

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：工程學科

作品名稱：聽音辨位--聲波的測量應用

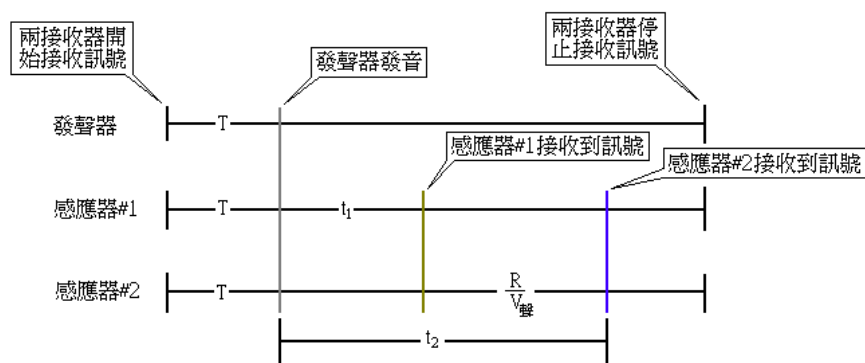
得獎獎項：工程學科第三名

學 校：臺北市立麗山高級中學

作 者：潘建宏、陳幸萱

摘要：

本實驗設計主要是以波的傳送速度(特別是聲波)，以及接收收到的時間值來做實驗、運算、討論。而其特點是爲了應用於實際生活中，做了許多異於平常測量方法的設計。主要是使用時間差($|t_1 - t_2| \times V = \text{發聲器到兩感應器的距離差}$)來消彌掉一般測量時，需要採取同步的條件，說明如下：



圖一 時間差示意圖

註： $R = |t_1 - t_2| \times V = \text{發聲器到兩感應器的距離差}$

1. 由以上的圖中， $t_1' = T + t_1$ 爲實際由感應器開始感應到感應器#1 接收到訊號的時間；同理， $t_2' = T + t_2$ 爲實際由開始感應到感應器#2 接收到訊號的時間。而 T 爲感應器開始感應到發聲器開始發聲的的時間(之後的 T 皆爲如此)。由以下式子得知：

$|t_1' - t_2'| = |(T + t_1) - (T + t_2)| = |t_1 - t_2|$ 及爲本實驗所需的時間差。利用減法將 T 消除，便及爲發聲器與感應器不必採取同步，此爲本實驗目標以及優點之一。

2. 之後的公式推導中，實際由感應器開始感應到感應器接收到訊號的時間中，表示爲 t_1 、 t_2 、 t_3以此類推。

像是市面上販售的反射式測距器由於其直線性的限制，在我們可負擔的情況下，就只能做一維的測量，而在本實驗中，我們使用多個感應器，而可測量至二、三維空間，並使測出的物體由相對位置轉爲絕對位置。再加上正在計劃中的測量儀器改良與自製，例如利用電腦的音效卡接上麥克風或是其他感測器，以及電子零件、電路的組合與設計。而在於一般的實際應用面上可配合工業的破壞性檢測，甚至是橋樑的斷裂處、各種振源的測量，亦或是人員的搶救，都應有不錯的效果與利用價值。

Abstract :

- 1.The major design of experiment is to spot the location of an object by experiment, calculating and discussing of such figures like the transmission speed of the waver (especially sound wave), plus time value of the receptor and so on to get the result.
- 2.In practice, the ordinary measuring method has to be implemented under the circumstance of synchrony: however, the distinguishing characteristic in the experiment is to overcome such restriction with the use of the “time lapse” concept.
- 3.The reflecting measuring instrument on the market is limited by its “straight-line characteristic.” Instead, we use multiple sensors to spot the absolute location of an object in its 1-D, 2-D, 3-D form.
- 4.We have now been working on the improvements of the measuring instruments, for instance, using sound cards to connect to the microphone to make a new sensor; also, the redesign and combination of other electric parts and circuits are also under construction.
- 5.We plan to apply the experiment not only in spotting the location of an object but also in further spotting the location of vibration coming from various objects (e.g. in the use of rescue).

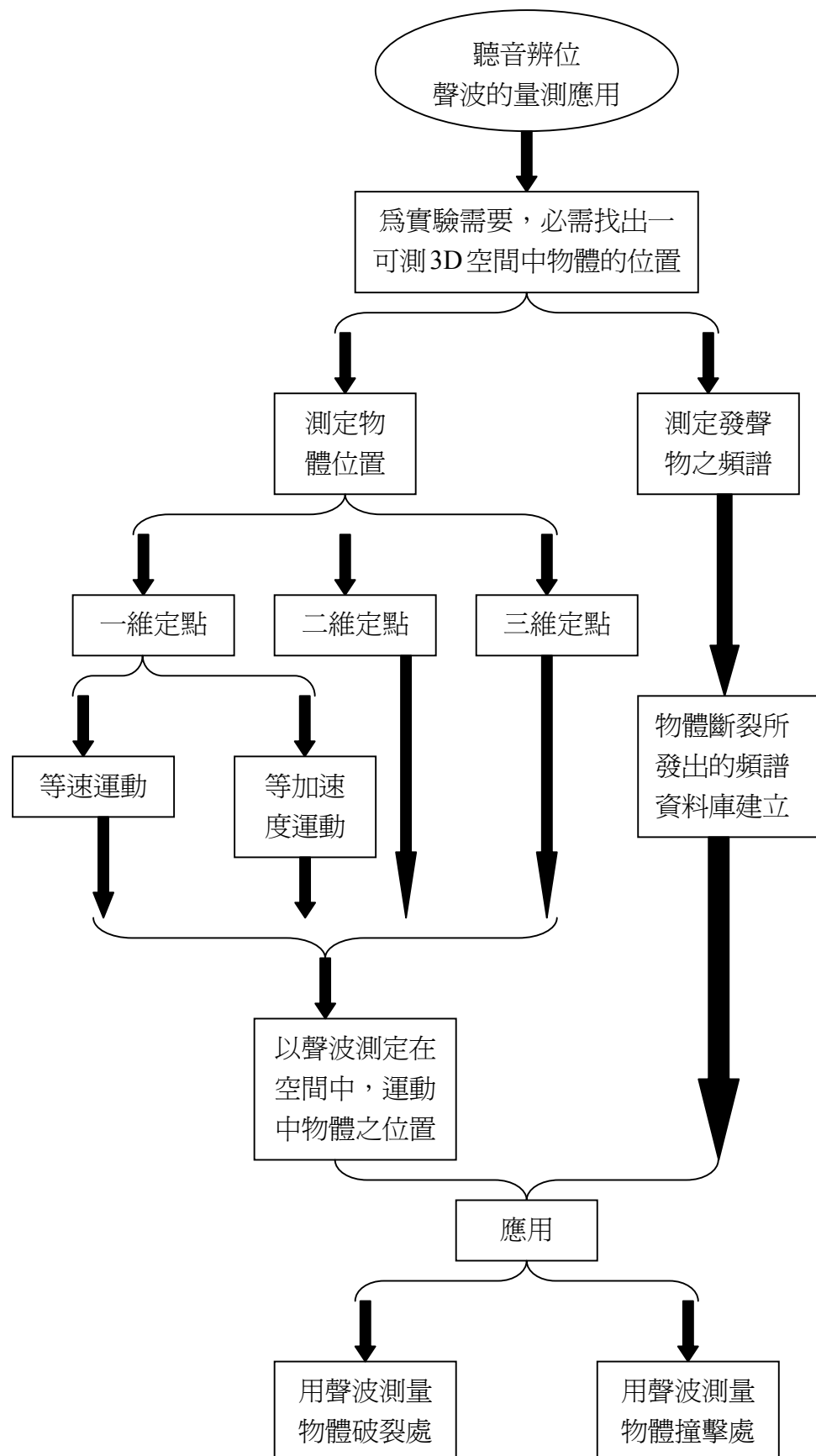
研究動機：

在尋思科展題材時，我們想到了一個趣味和挑戰性兼具的題目；正想著手進行時，發現需要準確測量距離和速度、加速度的工具，並能經過電腦處理數據，剛好又碰上我們物理課剛教完的一些運動學定理，以及圓錐曲線公式，於是我們就想由已學到的東西以及一些背景知識，自己來製作測量的工具。沒想到製作過程並不簡單，充滿了變因和許許多多尚需探討的疑惑；儀器也需要不斷的改良再改良，實驗方法更是多如恆沙，必須經由不斷的嘗試錯誤與相互討論、激發靈感，方能萬中選一，挑出最合適的方法與流程；儼然自成一個研究專題！因此我們就先全心全意的把心力放在這個題目上，希望能有所成果！

研究目的：

1. 測量及模擬空間中定點聲源的位置。
2. 測量一維空間中聲源物體的速度、加速度。
3. 模擬三維空間中運動的聲源物體之位置。
4. 探討被動聲波測量的應用。

聽音辨位－聲波的量測應用流程圖：



文獻探討：

1. 聲音在空氣中傳導的速度：

$$\Rightarrow V_{\text{聲}} = 331 + 0.6 \times T_{\text{temperature}}$$

2. 雙曲線公式、定義：

雙曲線上任一點到兩焦點的距離差為定值

設兩焦點座標 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 雙曲線上的任一點為 (x, y)

$$\Rightarrow \left| \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} - \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} \right| = \text{定值} = k$$

3. 雙曲面公式、定義：

雙曲面上任一點到兩焦點的距離差為定值

設兩焦點座標 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 雙曲面上的任一點為 (x, y, z)

$$\Rightarrow \left| \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} \right| = \text{定值} = k$$

4. 都普勒效應：

當波源與接收器產生相對運動時，所接收到的頻率會與波源發出的頻率有所不同，這就稱為都普勒效應。

$$\Rightarrow f_{\text{new}} = \frac{V_{\text{聲}} \pm V_{\text{物}}}{V_{\text{聲}} \pm V_{\text{感}}} f_{\text{old}}$$

實驗器材：

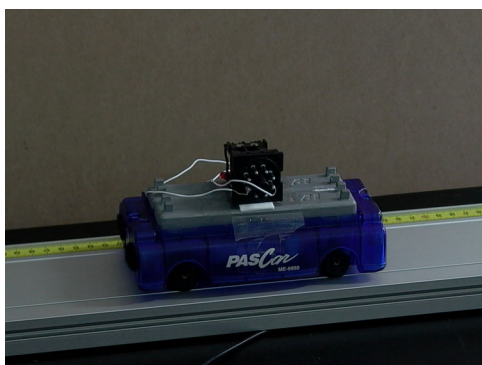
1. PASCO 聲音感測器
2. PASCO 溫度感測器
3. PASCO 電壓感測器
4. 光滑滑軌、滑車
5. 等速運動的電動台車
6. 音叉
7. 喇叭($4\Omega 3W$ 、 $8\Omega 0.4W$)
8. 蜂鳴器($3V 8W$ 、 $6V 8W$)
9. 繼電器#1($5V 500\Omega$)、繼電器#2($28VDC 2.8\Omega$)、繼電器#3($12V$)
10. 示波器
11. 電源供應器
12. 頻率產生器
13. 超聲波接收器、發射器
14. 電腦
15. 數位相機



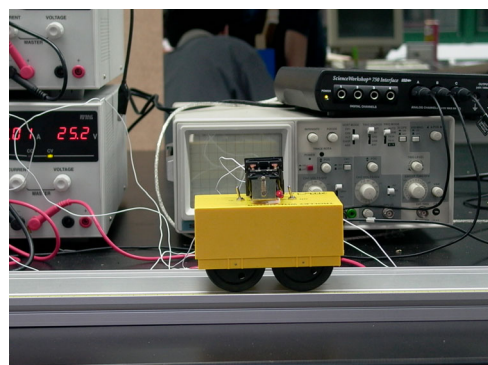
PASCO 聲音感測器



PASCO 溫度感測器



光滑滑軌、滑車

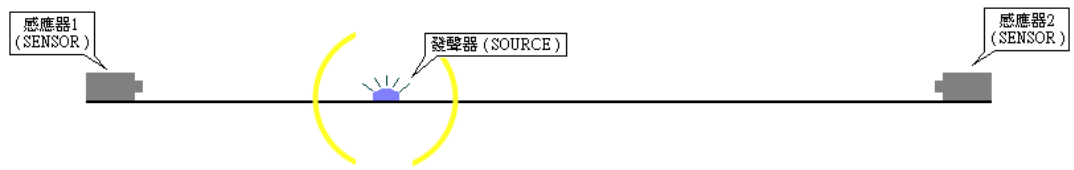


等速運動的電動台車

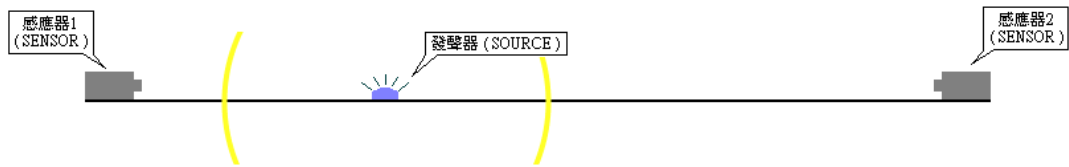
研究過程：

實驗構想：

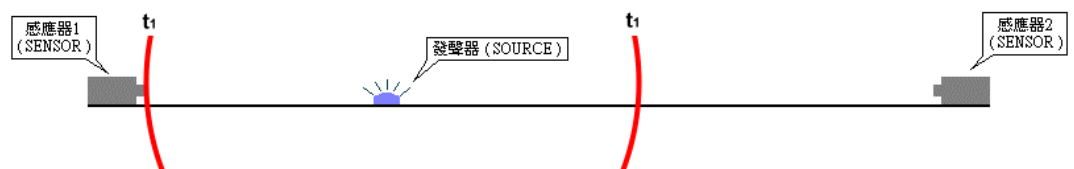
1. 我們知道物體單位時間的位移極為速度，聲音單位時間所走的距離為聲速。
2. 我們利用位移 = 速度 × 時間
⇒ 發生體到感應器的距離 = 聲速 × 開始發聲的時間至接收到聲波的時間
3. 由聲波到感測器所測得的時間差計算發聲器位置，如**實驗構想圖**。
4. 我們計算發聲器至兩感應器的距離，發聲器至感應器#1 的距離為 r_1 ，發聲器至感應器#2 的距離為 r_2 。聲波從發生至感應器#1 接收到的時間為 t_1 ，聲波從發生至感應器#2 接收到的時間為 t_2 。將以上所量得的數值帶入**推導公式(一)**。



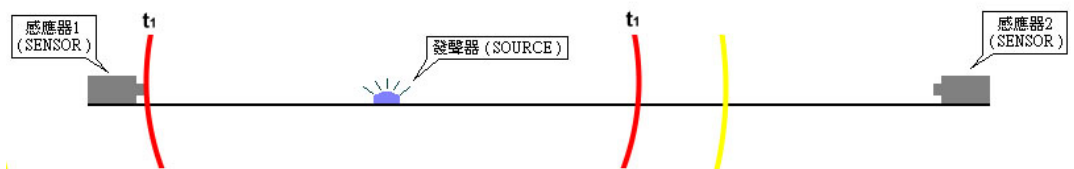
實驗構想圖 (a)



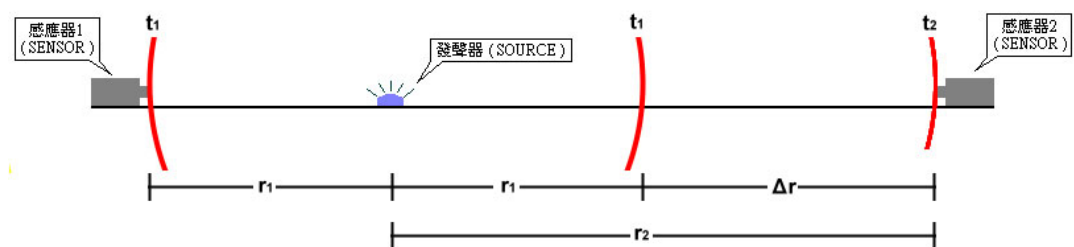
實驗構想圖 (b)



實驗構想圖 (c)



實驗構想圖 (d)



實驗構想圖 (e)

實驗一、測量一維空間中定點聲源的位置

● 實驗原理：

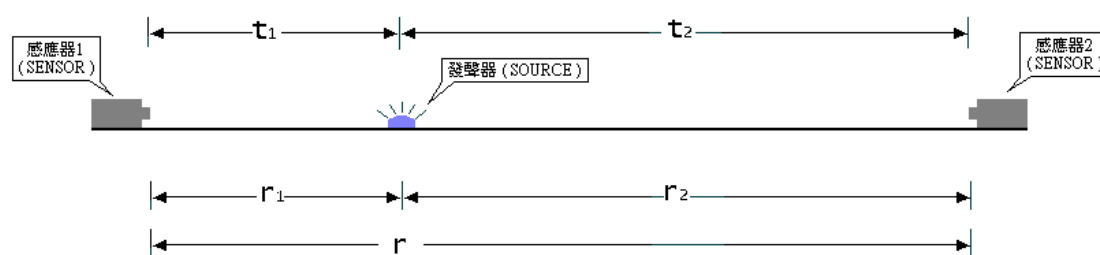
使繼電器(待測物體)在兩聲音感測器間，並皆處於同一平面；由於物體距離兩聲音感測器距離不同，聲音所行走的路徑長也就不同。所以當物體突然發出一聲響時，聲音感測器在電腦上所顯示的圖形變會產生一明顯起伏，且兩感測器所顯示的圖形會相似。

利用此點，我們將繼電器擺在待測物體上，並與電源供應器串聯；當通以足夠電壓的瞬間，繼電器將會敲擊一下，若不改變電壓直至量測結束，實驗圖形便只會有一明顯起伏(繼電器只敲擊一下)，以方便觀測。

但若物體不是擺在兩感測器正中央，所接收到的明顯起伏(物體突然發出的聲響)將會有一時間差，利用此時間差即可推出與感測器間的距離。

實驗公式推導及示意圖如下：

(位置公式推導)



公式推导图

r_1 ：發聲器到感應器 1 的距離(cm) t_1 ：聲音從發聲器到感應器 1 的所需時間(s)

r_2 ：發聲器到感應器 2 的距離(cm) t_2 ：聲音從發聲器到感應器 2 的所需時間(s)

r ：感應器 1 到感應器 2 的距離(cm)

V 為聲速

由聲速公式得知： 設實驗時溫度為 $T^{\circ}\text{C}$

$$V_{\text{聲}} = 331 + 0.6 * T \text{ (m/s)}$$

又因為 $r = r_1 + r_2$

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\text{所以 } \begin{cases} V * \Delta t = \Delta r = r_2 - r_1 & \text{--- ①} \\ r = r_1 + r_2 & \text{--- ②} \end{cases}$$

$$\rightarrow \textcircled{2} - \textcircled{1} : r - V \cdot \Delta t = (r_1 + r_2) - (r_2 - r_1)$$

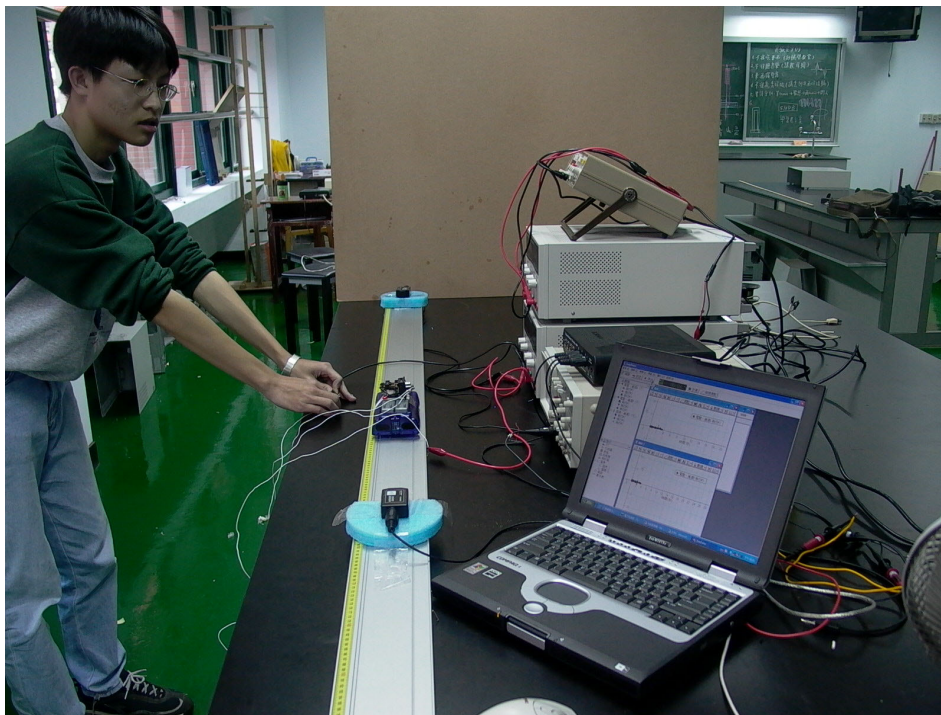
$$r - V \cdot \Delta t = 2r_1$$

$$\rightarrow r_1 = \frac{r - V \times \Delta t}{2}$$

$$\rightarrow r_1 = \frac{r}{2} - \frac{V \times \Delta t}{2}$$

.....推導公式(一)

● 實驗裝置圖：



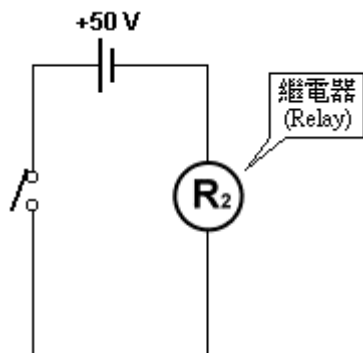
照片一：定點裝置照片



照片二：定點測距實驗記錄照

● 實驗步驟：

1. 將感測器 1、感測器 2 分別置於有刻度軌道兩端，兩聲音感測器的距離為 150cm
2. 將繼電器#2(待測物體)放在兩聲音感測器間，並使三者在同一直線上
3. 使訊號產生器與電源供應器並聯，示意圖如下



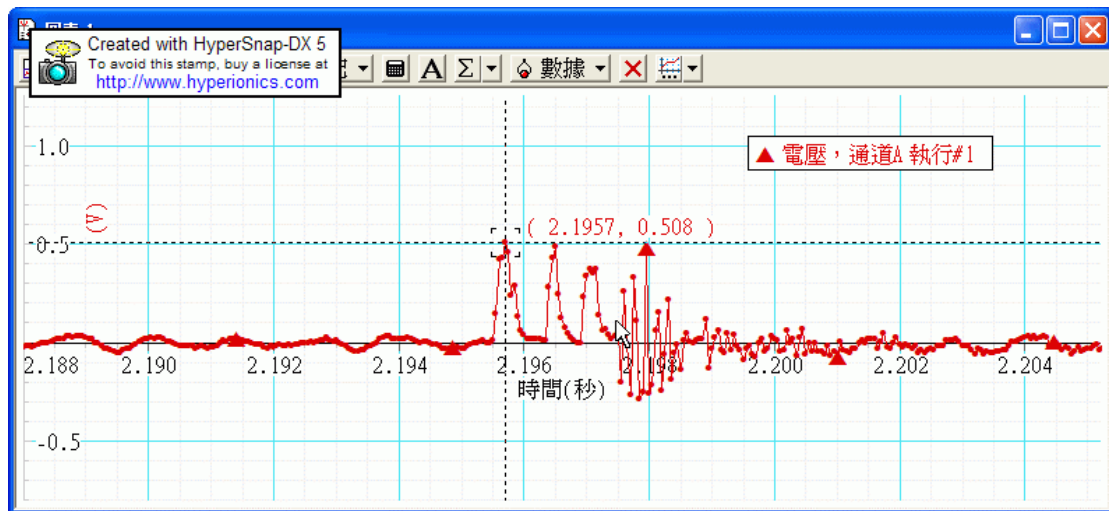
(電路圖 1) 聲波定點控制電路圖

4. PASCO 開始收集數據
5. 通一 50V 之電壓給繼電器，直到測量結束不改變電壓
6. 分析兩聲音感測器接收之數據，由時間差推得距離

- 數據處理：

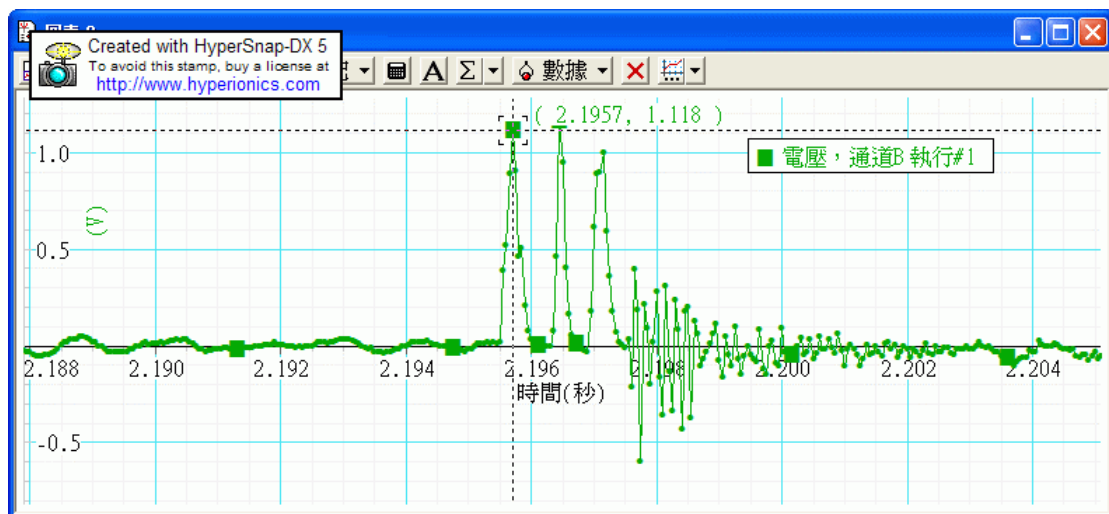
下圖(圖一、圖二)是定點測距時，物體(發聲源)置於兩感測器中央，75cm 時所記錄的實驗圖形(全長 150cm)；溫度為 22.3℃。

圖一、圖二分別為感測器 1、感測器 2 的記錄圖形放大圖；可以看見只使繼電器敲擊一下時所造成的起伏。



(圖一) 感測器 1 記錄圖形

橫座標：時間(秒) 縱座標：電壓(V)



(圖二) 感測器 2 記錄圖形

橫座標：時間(秒) 縱座標：電壓(V)

由兩圖比較可看出波形十分相似，我們此時便可找出為同一聲響的點，算出其時間差，代入推導公式(一)，

$$\begin{aligned} V(\text{聲速}) &= 331 + 0.6 * T_{\text{temperature}} \text{ (m/s)} \\ &= 331 + 0.6 * 22.3 \\ &= 344.38 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

以感測器 1 為點，向感測器 2 之方向為正；

$$\text{物體位置 } r_1 = \frac{r}{2} - \frac{V * \Delta t}{2}$$

$$\rightarrow r_1 = (150/2) - 344.38 * (2.1957 - 2.1957) / 2 \\ = 75(\text{cm})$$

與實際位置相符，誤差值為零。

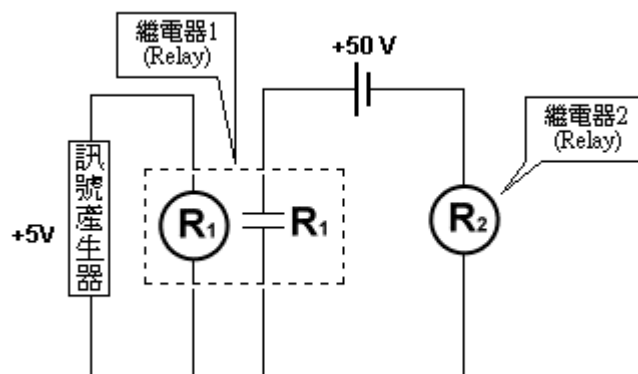
實驗二、測量一維空間中聲源物體之速度

● 實驗原理：

本實驗我們使用電動台車，使其能做等速度運動；並先以 PASCO 距離感測器測定其速度，當做實際速度值。

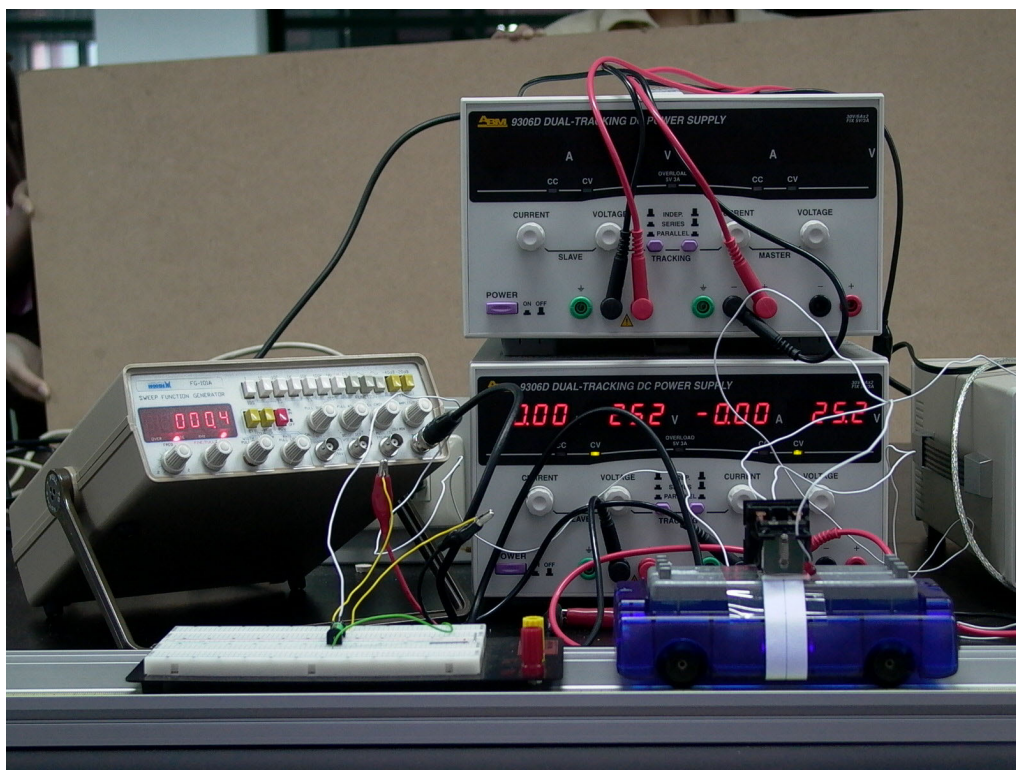
本實驗用到兩個繼電器，繼電器#1 為 5V500Ω，繼電器#2 為 28V DC 2.8Ω。由於繼電器#1 聲音過小，但訊號產生器所提供最大電壓為 5V，無法推動聲響較大的繼電器#2(所需最小電壓為 28V)，所以必須將訊號產生器與繼電器#1 串聯，再與繼電器#2 連接，以達到聲音感測器所能感應到的響度。

電路圖如下：



(電路圖 2) 聲波頻率控制電路圖

照片如下：



照片三：兩繼電器與實驗裝置之連接照片

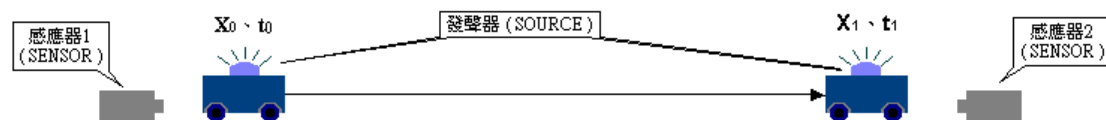
實驗裝置：將兩繼電器各接一電源供應器，分別供以 5V(繼電器#1)和 50V(繼電器#2)的電壓；繼電器#2 固定於台車上，再將頻率產生器與繼電器#1、繼電器#2 串聯，調整頻率產生器至所需頻率，經由繼電器#1 以控制繼電器#2 之敲擊頻率。台車置於水平軌道上，軌道兩端各放一聲音感測器。當台車開始等速運動，繼電器#2 也以一定頻率敲擊。

分析兩聲音感測器圖形，由於台車距離兩感測器的距離不斷改變，所顯示圖形會相似但有一時間差(時間差也會改變)。在兩圖形上各找出與另一圖形相對應的兩點，用實驗一的方法可求出兩不同位置，其差值即為位移。同時也能由圖形得知此段位移所需時間，因此便能求知速度。

實驗公式推導如下：

(速度公式推導)

下圖為電動台車自 X_0 等速運動至 X_1 之示意圖



速度公式推导图

X_0 ：初位置 (單位:cm)

t_0 ：初位置的時間 (單位:秒)

X_1 ：末位置 (單位:cm)

t_1 ：末位置的時間 (單位:秒)

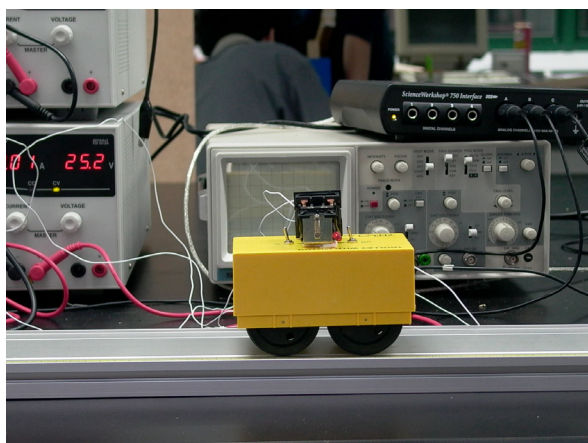
由速度定義得知：

$$\text{速度} = \frac{\text{位置的變化量}}{\text{時間的變化量}} = \frac{\text{末位置} - \text{初位置}}{\text{時間的變化量}}$$

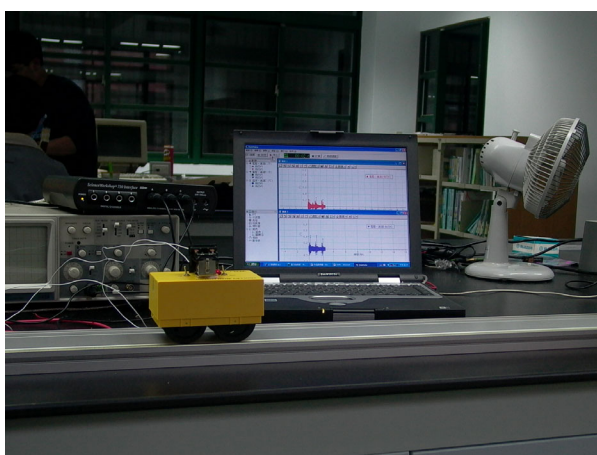
$$\rightarrow V_{\text{車}} = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_{\text{末}} - X_{\text{初}}}{t_1 - t_0} = \frac{X_1 - X_0}{\Delta t}$$

.....推導公式(二)

● 實驗裝置圖：



照片四：等速運動實驗裝置照片



照片五：等速運動實驗記錄照

● 實驗步驟：

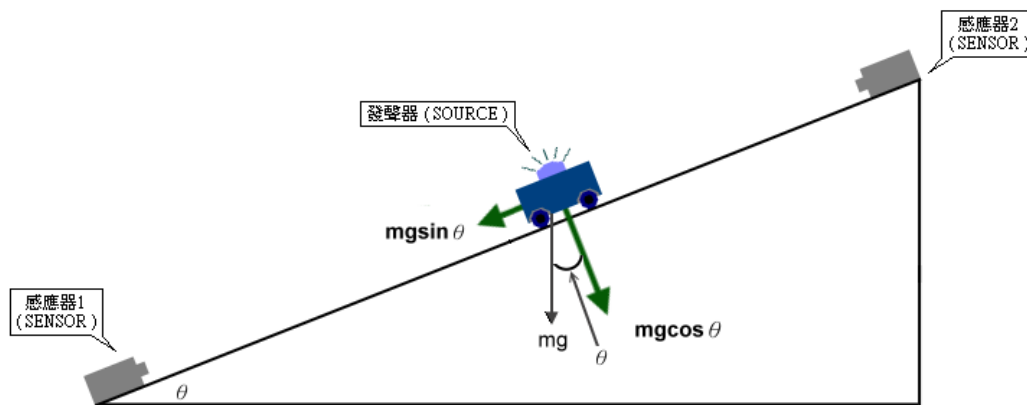
1. 在一長 200cm 的水平軌道上置一台車，將繼電器#2(28VDC2.8 Ω)固定於台車上，並在軌道兩側各放一聲音感測器
2. 將訊號產生器和繼電器#1(5V500 Ω)串聯，並使訊號產生頻率為 0.5HZ
3. 將繼電器#1 與台車上之繼電器#2 連接，使繼電器之敲擊頻率為 0.5HZ
4. PASCO 開始收集數據
5. 使台車開始作等速運動
6. 分析兩聲音感測器所接收之數據，比對兩圖形得知定時間內之位移，以推算物體運動之速度

實驗三、測量一維空間中聲源物體之加速度

● 實驗原理：

本實驗所使用之滑軌為一光滑軌道，其摩擦力幾乎可以忽略。使用的滑車運動時所產生的摩擦力也極小，因此可以不考慮摩擦力的影響。

我們將軌道的一端墊高，使其與水平面產生一夾角 θ ；使滑車自軌道上滑下(並不給滑車得以改變運動狀態的力)，此時滑車做等加速度運動，加速度為 $g\sin\theta$ (不考慮摩擦力)。由滑軌長度和墊高高度即可求得 $\sin\theta$ 值，以推算當時加速度。



mg ：滑車所受的重力 (N)

$mg\sin\theta$ ：滑車的下滑力 (N)

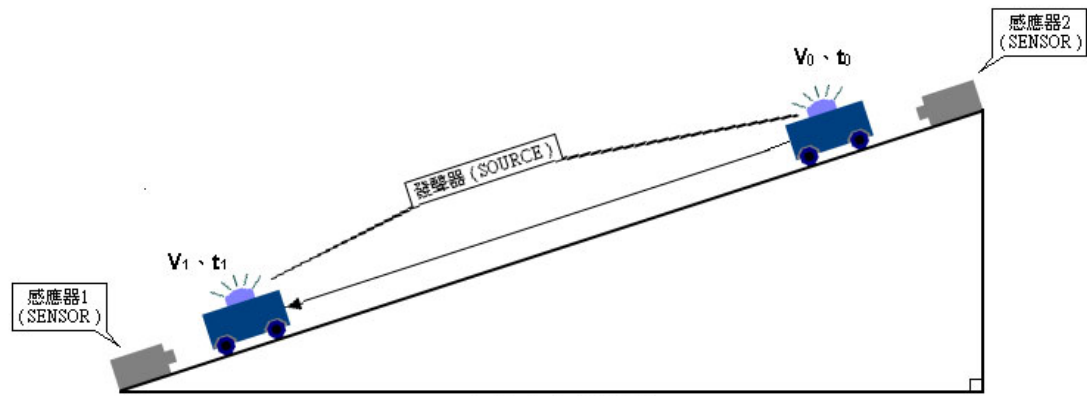
θ ：滑軌和地面的夾角 (度)

$mg\cos\theta$ ：滑車對滑軌的下壓力 (N)

而其他裝置皆與實驗二同，繼電器#2 固定於台車上，將頻率產生器與繼電器#1、繼電器#2 串聯，調整頻率產生器至所需頻率，經由繼電器#1 以控制繼電器#2 之敲擊頻率。

而由聲音感測器所顯示圖形求位移的方法也和實驗二相同，且同樣藉圖形能求得位移所需時間差，將位移除以時間差平方即得加速度。

實驗公式推導及示意圖如下：
(加速度公式推導)



加速度公式推導圖

V_0 ：初速度 (單位：cm/s)

t_0 ：初速度的時間 (單位：s)

V_1 ：末速度 (單位：cm/s)

t_1 ：末速度的時間 (單位：s)

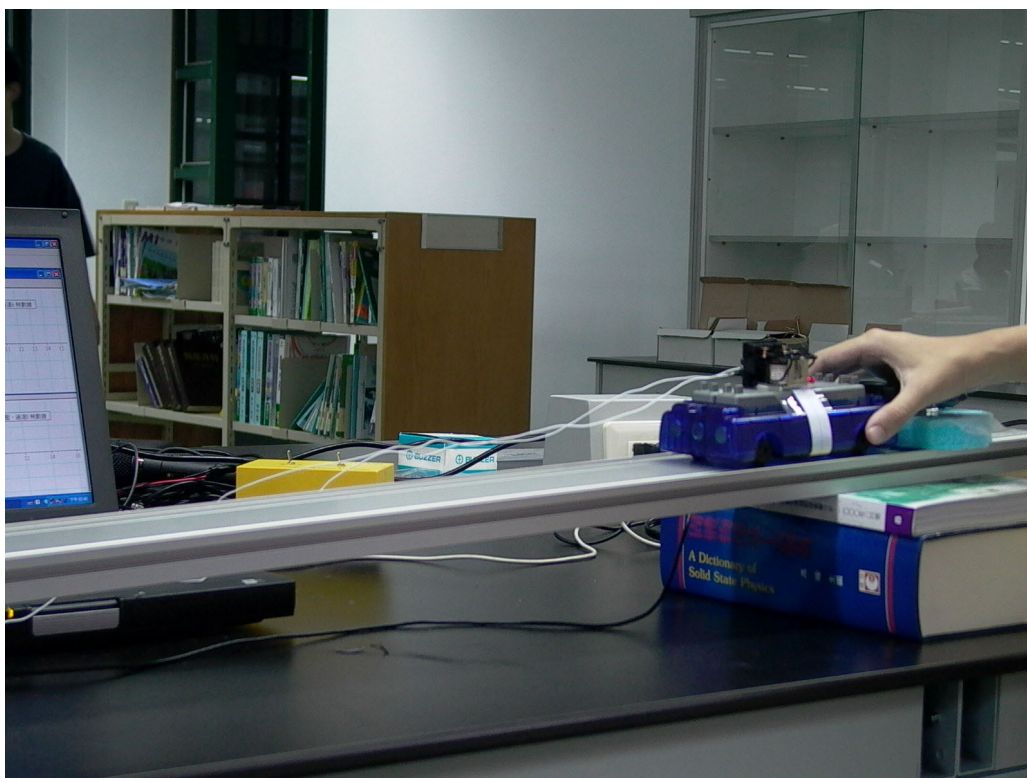
由加速度定義得知：

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度的變化量}}{\text{時間的變化量}} = \frac{\text{末速度} - \text{初速度}}{\text{時間的變化量}}$$

$$\rightarrow a_{\text{車}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_{\text{末}} - V_{\text{初}}}{t_1 - t_0} = \boxed{\frac{V_1 - V_0}{\Delta t}}$$

.....推導公式(三)

● 實驗裝置圖：



照片六：等加速運動實驗裝置照片



照片七：等加速運動實驗記錄照

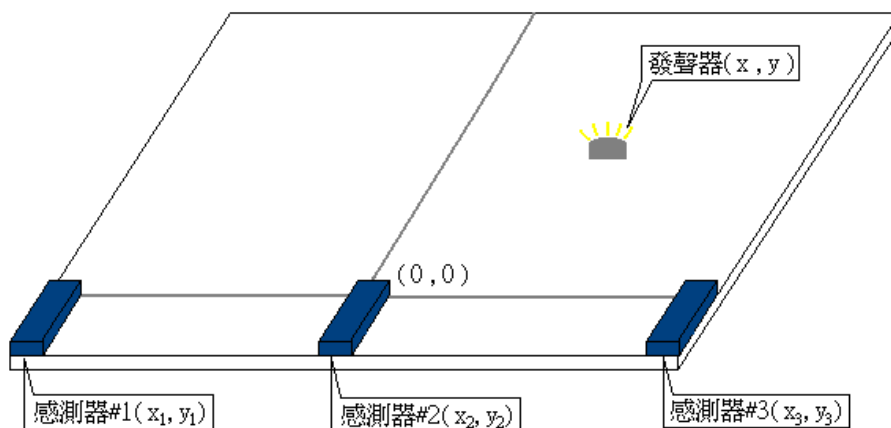
● 實驗步驟：

1. 使用一長為 200cm 的光滑滑軌，將滑軌一端墊高 10cm，使滑軌與水平面一夾角 θ
2. 將繼電器#2(28VDC2.8 Ω)固定於台車上
3. 將訊號產生器和繼電器#1(5V500 Ω)串聯，並使訊號產生頻率為 0.5HZ
4. 將繼電器#1 與台車上之繼電器#2 串聯，藉由繼電器#1 使繼電器之敲擊頻率也為 0.5HZ
5. PASCO 開始收集數據
6. 使台車開始下滑
7. 分析電壓感測器之記錄圖形求得加速度

實驗四、測量二維空間中定點聲源的位置

● 實驗原理：

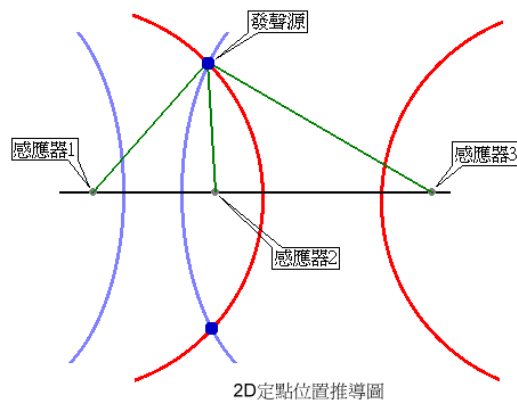
使三感應器在同一條直線上，繼電器(待測物體)感測器有效感應範圍之間，並皆處於同一平面如圖二。由於物體距離三聲音感測器距離不同，聲音所行走的路徑長也就不同。所以當物體突然發出一聲響時，聲音感測器在電腦上所顯示的圖形變會產生一明顯起伏，且三感測器所顯示的圖形會相似。



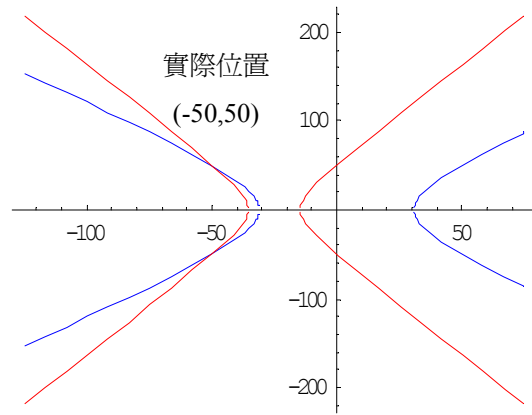
(圖三) 聲波測量二度空間中物體的定點位置實驗裝置圖

利用此點，我們將繼電器擺在待測物體上，並與電源供應器串聯；當通以足夠電壓的瞬間，繼電器將會激磁一下，若不改變電壓直至量測結束，實驗圖形便只會有一明顯起伏(繼電器只激磁一下)，以方便觀測。

接收到的明顯起伏(物體突然發出的聲響)將會有一時間差，利用此時間差即可推出與感測器間的距離。實驗公式推導及示意圖如下：



圖四(a) 公式推導圖



圖四(b) 實際求解模擬圖

r_1 : 發聲源至感應器#1 的距離(cm) t_1 : 感應器啟動到感應器#1 接收到聲音的時間(s)
 r_2 : 發聲源至感應器#2 的距離(cm) t_2 : 感應器啟動到感應器#2 接收到聲音的時間(s)
 r_3 : 發聲源至感應器#3 的距離(cm) t_3 : 感應器啟動到感應器#3 接收到聲音的時間(s)

(位置公式推導)

以感應器 2 為原點，感應器#1、#2、#3 連線為 X 軸，建立一平面座標係

設感應器#1 位置：(x_1 , y_1)

感應器#2 位置：(x_2 , y_2)

感應器#3 位置：(x_3 , y_3)

設物體位置為(x , y)

$$\begin{cases} r_1 = V_{\text{聲}} \times (t_1 - T) = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \\ r_2 = V_{\text{聲}} \times (t_2 - T) = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \\ r_3 = V_{\text{聲}} \times (t_3 - T) = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \end{cases}$$

由圓錐曲線—雙曲線定義知：雙曲線上任一點到兩焦點距離差 = $K = 2a$

1.以感應器#1、#2 為焦點

$$\Rightarrow r_1 - r_2 = [V_{\text{聲}} \times (t_1 - T)] - [V_{\text{聲}} \times (t_2 - T)] = V_{\text{聲}} \times t_1 - V_{\text{聲}} \times t_2 = 2a_{12}$$

$$\Rightarrow \left| \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \right| = 2a_{12} \quad \text{—— ①}$$

2.以感應器#2、#3 為焦點

$$\Rightarrow r_2 - r_3 = [V_{\text{聲}} \times (t_2 - T)] - [V_{\text{聲}} \times (t_3 - T)] = V_{\text{聲}} \times t_2 - V_{\text{聲}} \times t_3 = 2a_{23}$$

$$\Rightarrow \left| \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \right| = 2a_{23} \quad \text{—— ②}$$

①式、②式聯立求解 $\Rightarrow (x, y)$

.....推導公式(四)

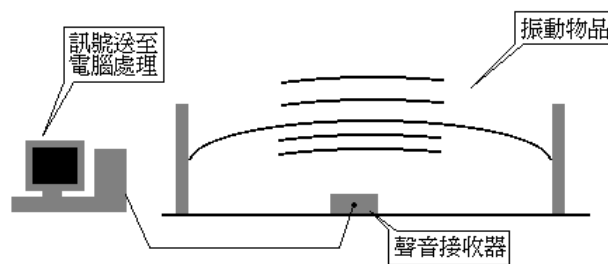
● 實驗步驟：

- 1.將感測器#1、感測器#2、感測器#3 分別依序置於一平面座標系 X 軸上。
- 2.將繼電器(待測物體)放平面上。
- 3.電源供應器與繼電器串聯，示意圖與**電路圖 1** 同。
- 4.PASCO 開始收集數據。
- 5.通一 50V 之電壓給繼電器，直到測量結束不改變電壓。
- 6.分析三聲音感測器接收之數據，由時間差推得距離。

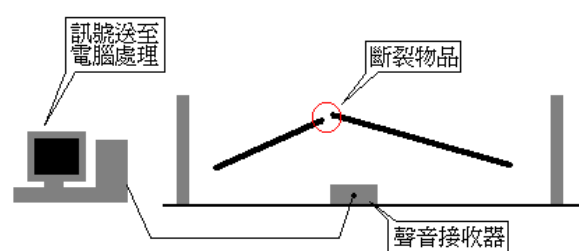
實驗五、比較物品在振動以及斷裂時的波譜

● 實驗原理：

本實驗為比較物體音振動和斷裂時所發出聲音的波譜。先利用訊號產生器產生訊號至振動儀，使得物品產生振動，之後發出聲音並使用電腦音效卡接上接收音喇叭，接收因振動發生的聲音，並記錄下來。在使物品突然斷裂，也以同樣的方式紀錄下音波。最後在從中比較以上兩種情況下的波譜。其裝置示意圖如下：



圖五 (a)物品振動時



圖五 (b)物品斷裂時

● 實驗步驟：

1. 欲振動物體一端固定，另一端接上振動儀，振動儀再接上訊號產生器。
2. 電腦開始接收因振動發出聲音的訊號。
3. 訊號產生器發出訊號，振動儀開始使物品振動。
4. 電腦蒐集數據完畢。
5. 電腦開始接收因斷裂發出聲音的訊號。

6. 物品斷裂。
7. 電腦蒐集數據完畢。
8. 比較以上兩種情況下的波譜。

實驗結果與討論：

實驗一、測量一維空間中定點聲源的位置

1.實驗方法演進：

一開始我們想到能測定距離的方法有很多種，顧慮到實驗的難易度，我們優先考慮利用光和聲音兩種方法。

但若是以光來測量，則有許多我們現階段技術能力無法解決的問題。最嚴重影響實驗可行性的是光的速度過快，與一般實驗中的運動物體速度相差太大；而且由於光是直線進行的，若到待測物體與感測器間出現角度或物體不是做直線運動，則需要相當多組發射和接收器，實驗設計和數據處理上必定有所困難；於是我們選擇了較易測量觀察且器材較易取得的聲音方面來著手。

決定實驗工具後，就開始一連串的嘗試。剛開始我們並沒有想到只給一個單音的方法，而是使用喇叭或麥克風，調整其頻率發出連續的聲波。但無論是喇叭或麥克風，其發出聲音波型皆為複合波，波形往往難以分辨；再加上麥克風和喇叭所發出的聲音頻率與我們生活周遭的各種聲音頻率範圍相近，極易受到外界干擾。我們也曾為了摒除外界干擾，將整組儀器移至人煙稀少、四周有吸音效果的室內進行實驗，但卻仍因波形過於複雜無法分析圖形。

後來我們分別嘗試過了音叉、蜂鳴器等不同發音源，想藉此改變波形以方便觀察。音叉雖然波形單純，但的聲音太小，需要加裝共鳴箱；裝上共鳴箱後的體積又過大，而且具有方向性。蜂鳴器則無法解決複合波所帶來的問題。

最後我們想到若只讓發聲源發出一聲響，若響度夠大，即使是複合波仍可清楚分辨出對應波形加以處理分析，因此便嘗試使用繼電器，從此定點的實驗進行的十分順利，而且準確度也極高。

2.實驗結果討論：

結果：下圖為定點測距的數據分析，所有實驗皆以編號感測器 2 的感測器為原點，以感測器 1 的方向為正向，感測器 1、2 間距離為 150cm。溫度為 20°C。

距感測器 2 (X=140cm) 感應頻率 20000HZ

次數	1	2	3	4	5	平均	標準差
感測器 1	1.4225	3.4773	0.782	0.9708	0.7552		
感測器 2	1.4191	3.4735	0.7783	0.9671	0.7514		
實驗值	133.31	140.17	138.46	138.46	140.17	138.11	2.82

(表一) 定點測量距感測器 2 (140cm)

距感測器 2 (110cm) 感應頻率 20000HZ

次數	1	2	3	4	5	平均	標準差
感測器 1	0.8953	1.2667	1.3863	1.0262	1.0762		
感測器 2	0.8933	1.2647	1.3844	1.0242	1.0743		
實驗值	109.30	109.30	107.59	109.30	107.59	108.61	0.94

(表二) 定點測量距感測器 2 (110cm)

距感測器 2 (75cm) 感應頻率 20000HZ

次數	1	2	3	4	5	平均	標準差
感測器 1	2.1957	1.3753	1.4421	2.0565	1.4929		
感測器 2	2.1957	1.3753	1.4421	2.0565	1.4929		
實驗值	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	0.00

(表三) 定點測量距感測器 2 (75cm)

距感測器 2 (40cm) 感應頻率 20000HZ

次數	1	2	3	4	5	平均	標準差
感測器 1	1.7269	1.2668	2.0023	2.0759	1.6467		
感測器 2	1.729	1.2688	2.0043	2.078	1.6487		
實驗值	38.99	40.70	40.70	38.99	40.70	40.01	0.94

(表四) 定點測量距感測器 2 (40cm)

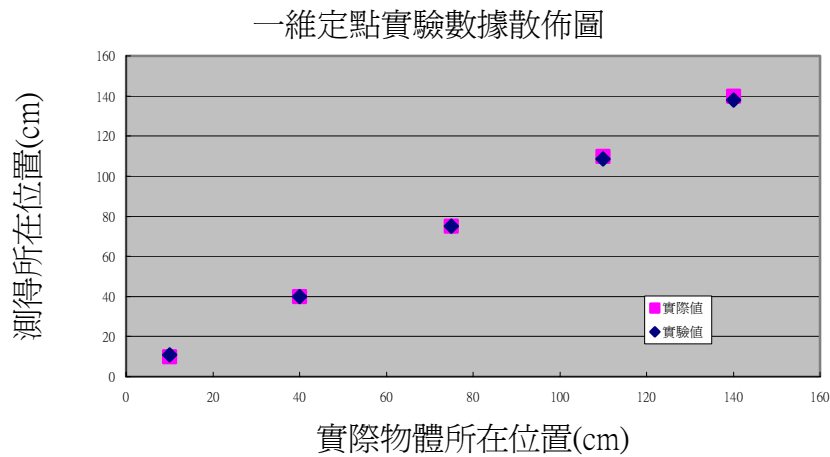
距感測器 2 (10cm) 感應頻率 20000HZ

次數	1	2	3	4	5	平均	標準差
感測器 1	0.9265	1.7954	1.7293	1.4125	1.0219		
感測器 2	0.9303	1.7992	1.733	1.4162	1.0256		
實驗值	9.83	9.83	11.56	11.55	11.55	10.86	0.94

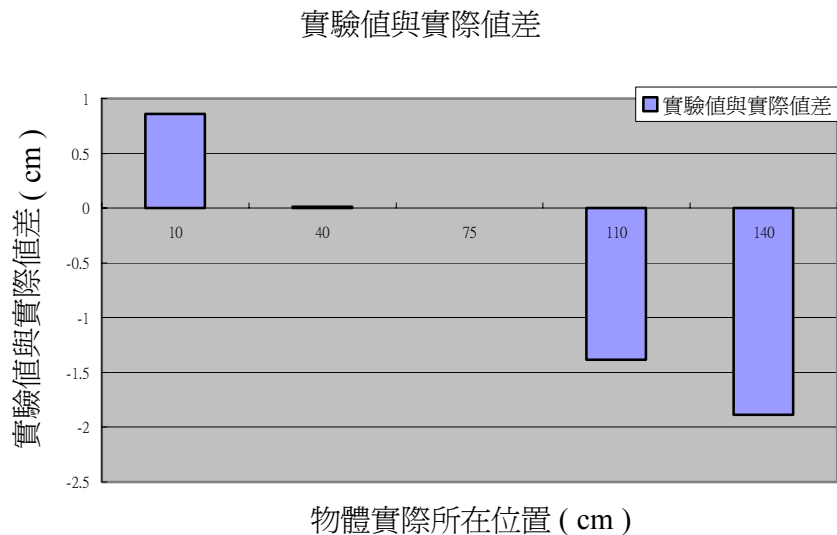
(表五) 定點測量距感測器 2 (10cm)

由以上數據得知，以聲波測量定點物體的位置，極為準確，具有實際的實用性。而大致上除了一些的誤差來源，在一般狀況下(噪音不太大，一般人聲即可)，皆可使用這套方法測量物體位置。

下圖為實驗數據散佈圖，橫軸為物體的位置，縱軸為實驗測得的位置，每一組數據至少有 5 組樣本。



圖六 (a)定點測距實驗數據散佈圖



圖六 (b)實驗值與實際值差

由此圖可知，在兩感測器中點 75cm 處之時，測量最為準確，誤差為零。但隨著距兩感測器的差值越大，誤差也越大。

討論：我們推測造成距兩感測器的差值越大，誤差越大的可能原因為下列幾點：
自然誤差：

1. 雜音干擾：

原因：距兩聲音感測器距離不同時，受到外界干擾的程度也不同。或是可以說聲音所的時間越長，所受雜音的干擾越多。

目前解決方法：在較安靜無聲的時候做實驗，例如夜晚或是隔音室。

2. 聲音衰減：

原因：聲音因距離長短，聲音振幅衰變的多寡也不同，距離越長，聲音衰減的越多；距離越短，聲音衰減的越少。

目前解決方法：將音源調大，以及在感應器的範圍作實驗。

3. 其他接觸物：

原因：由於發聲器接觸至桌面，此時聲波傳輸的介質就由 1 種增加為 2 種。一為空氣，另一為桌子—鐵桌。此時由於聲波在固體傳輸的速度較在空氣中快，又接收器也接觸到桌面，也同時的接收到從桌子以及空氣的訊號。由於速度快慢的不同，感應器接收到兩訊號的時間也不同，造成 PASCO 判讀的錯誤，也就造成了誤差。此問題為繼雜音干擾第二大的誤差來源。(此原因尤在作加速度實驗時最為明顯)

目前解決方法：在接收器下墊著海綿。也可將其由布、棉織物包裹。

人為誤差干擾：

1. 置放誤差：

原因：置放發聲器時，因為是由人眼所辨識位置，且用手置放發聲器。由於尺的最小刻度為公釐(mm)，也就是有效位數只到小數點第一位(以公分為單位)，其餘在小的位數都算是估計值，並不準確。因此我們對於由儀器測出的值，也只能接受至公釐。

目前解決方法：使發聲器體積接近點波源。

2. 抓點誤差：

原因：當我們測量到一組數據時，必須來判讀它。由於從發生器(喇叭、蜂鳴器、繼電器)發出的聲音是複合聲，其波形並不好看，有時更是複雜到無法判讀。而音叉波形就好看多了，但是由於要控音叉發聲的時間並不好控制，所以假如碰到較複雜的圖形，往往都會抓錯數據。

目前解決方法：使用繼電器，雖然繼電器所發出的聲音也為複合音，但是發音的時間極短，接收到的脈波時距趨近於 0，因此在判讀上就準確多了。

實驗二、測量一維空間中聲源物體之速度

1. 實驗方法演進：

一開始我們就使用能做等速運動的電動台車，目的是為了紀錄連續性，但繼電器間和電源供應器之間的電線往往會牽動台車，使其無法做等速度運動。而有時就算沒有電線牽扯，台車也跑了一小段就停了，顯然是電池電壓不足，即使換了許多廠牌和不同原理的電池情況未改善。

2. 實驗結果討論：

所有實驗皆以編號感測器 2 的感測器為原點，以感測器 1 的方向為正向，感測器 1、2 間距離為 200cm。等速運動的電動台車在滑軌上等速移動。

目前由於實驗器材的問題，使實驗無法進行，其原因如下：

(1)：滑車所使用電池太小，馬達消耗電力太快，導致速度不穩。

改進方法：使用電量較大的電池，如鉛蓄電池；或使用步進馬達。

(2)：由於現在繼電器的頻率控制線是由外部接到黏在台車上，因此很容易因電線的阻力而改變台車移動的速度。

改進方法：可使用振盪電路放在台車上，以控制繼電器發生頻率。

<P.S.>都卜勒效應

我們由公式得知當發聲物與感應物有相對速度時，會有都卜勒效應產生。

$$f_{new} = \frac{v_{聲} \pm v_{物}}{v_{聲} \pm v_{感}} f_{old}$$

假設感應器靜止不動，發聲器每秒移動 1m，聲速 340(m/s)則由公式算出 f_{new} 大約是 f_{old} 的 1.0029 倍，影響極小。而在我們的實驗中，物體移動速度並不到 1(m/s)，所以可忽略都普勒的影響。此外，我們所接收的是發聲器發出聲音的時間，與聲音頻率無關，因此就不受到都卜勒效應的干擾。

實驗三、測量一維空間中聲源物體之加速度

1.實驗方法演進：

由於前兩個實驗所得的經驗，我們一開始就使用繼電器並將之固定於運動物體上。

(1) 由於現在繼電器的頻率控制線是由外部接到黏在台車上，因此很電線的阻力對台車速度的影響極大。

改進方法：可使用振盪電路放在台車上，以控制繼電器發生頻率。

(2) 滑車滑行時會發出聲音，速度越快時影響數據判讀的雜音也越大。

(3) 不同介質對實驗數據的影響：如同實驗一，此時聲波傳輸的介質由 1 種增加為 2 種。一為空氣，另一為桌子—滑軌。由於聲波在固體傳輸的速度較在空氣中快，接收器也接觸到桌面，因此同時接收到從桌子以及空氣的訊號。而由於速度快慢的不同，感應器接收到兩訊號的時間也不同，造成 PASCO 判讀的錯誤，也就成了誤差。

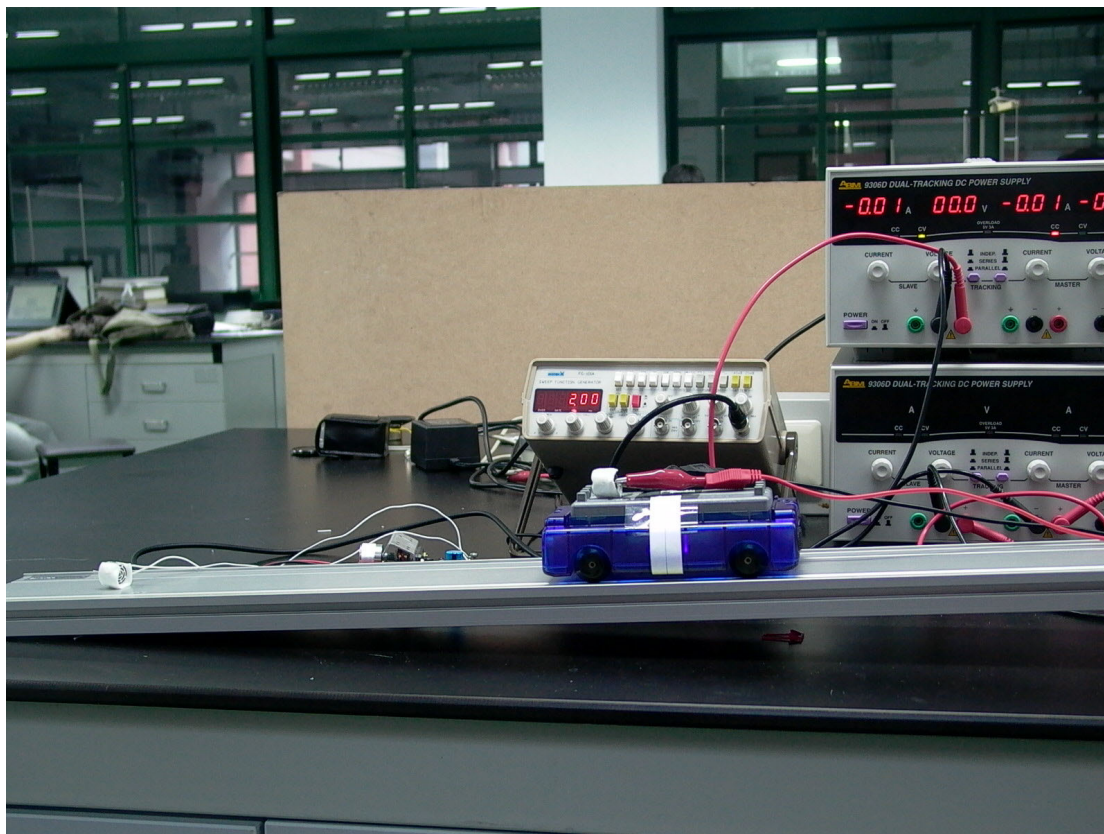
針對(2)(3)兩點我們使用極不易受干擾的超聲波，台車在高速度下產生的雜音、不同介質的傳聲問題對於超音波的發射和接收器在電腦上顯示的電壓變化圖影響皆不大。因此我們擬定了下面的實驗方法：

以聲音測定等加速度運動物體之加速度 — 「超音波」

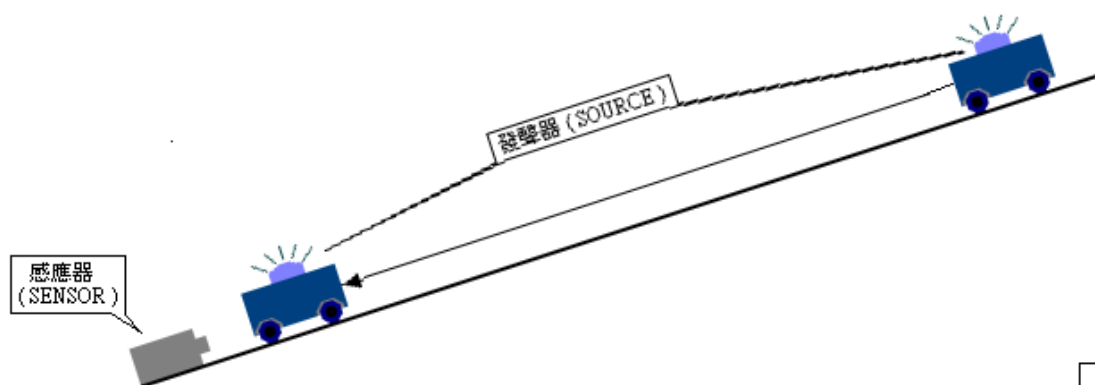
(1) 長為 200cm 的光滑滑軌，將滑軌一端墊高 10cm，使滑軌與水平面一夾角 θ

(2) 在台車上固定一超聲波接收器

(3) 將超聲波發射器置於斜面底



- (4) 超聲波發射器與接收器分別個接一個電壓感測器
- (5) 發聲器通以 5V 電壓，使其發聲頻率為 20000Hz
- (6) 20000Hz 的訊號透過擴大機，再經由超聲發聲器發出



超聲波加速度示意圖

- (7) PASCO 開始收集數據
- (8) 使台車開始下滑
- (9) 分析電壓感測器之記錄圖形求得加速度

2.實驗結果討論：

由於是超聲波，其聲音的頻率較高，跟一般人耳所接受到的雜訊頻率大為不同，我們預期可輕易的辨別出我們的數據，又強度夠，不會受到外界雜訊的影響。因此他有較優秀的抗干擾性。

實驗四、測量二維空間中定點聲源的位置

1.實驗方法演進：

應用 PASCO 的一維定點測定實驗數據準確度很高，但由於儀器讀秒位數只能到小數點以下第四位，允許誤差範圍估計值單位為公釐；但我們想減小允許誤差範圍，於是我們就自製電路及程式設計了一套儀器，一方面達到我們的需求，一方面也可以降低器材昂貴的費用。

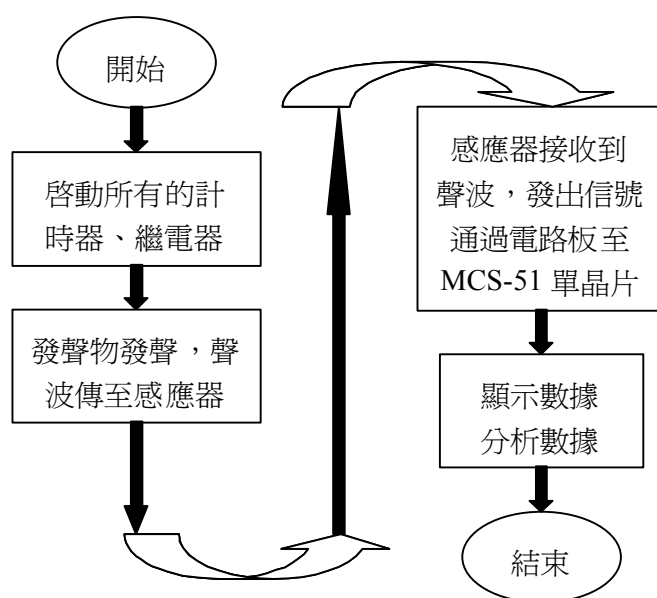
自製感應器

由於現在使用的主要儀器為 PASCO，雖然這套儀器極為精密，可測量至極小的位數，但礙於成本，此套儀器不便宜，對於一般的用戶不一定負擔得起，實用性也就並不高。另一方面為了更準確的數字，以及更快速的量測，我們決定嘗試使用 MCS-51 單晶片，配合其餘的電子電路，做出一套適合一般人使用的儀器，不論是實驗上，亦或是實際應用能有更好的效果。附件一為電路設計圖。

以下為實驗原理：

計時、控制：

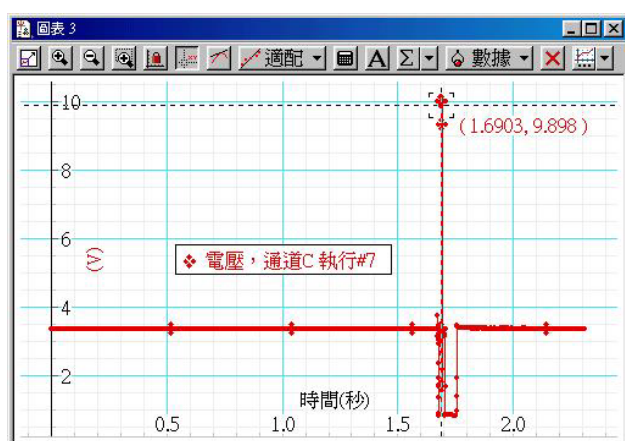
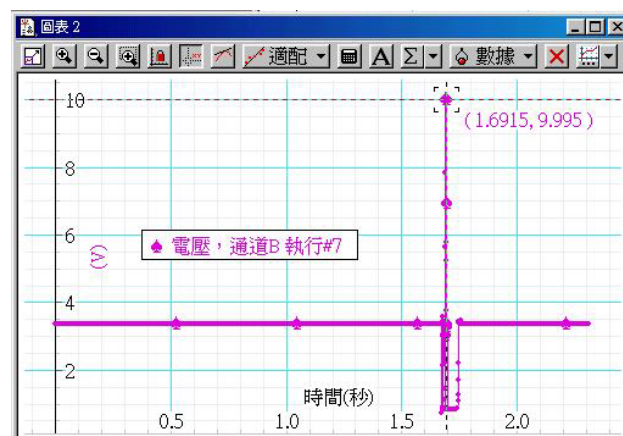
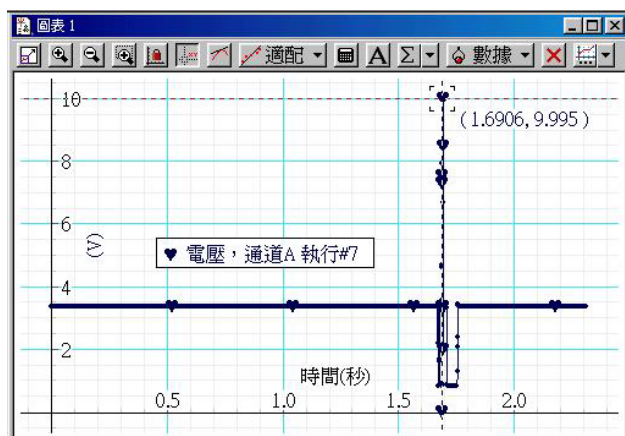
在電路中，主控制部分為一顆 MCS-51 單晶片，它內部有兩個計時器，我們使用其中一個作為計時用。並且使用其堆積器中數個 byte 當作秒、1/100 秒、1/10000 秒、1/1000000 秒，組合成一個馬錶，再由 MCS-51 單晶片中的 LCD 顯示出。其整個流程如下：



圖七 自製電路流程圖

2.實驗結果討論：

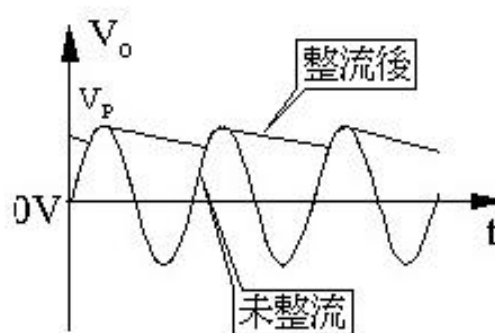
在操作實驗時，我們發現由感應器所讀取的數據與理論值相差甚遠，如下圖：



此為以聲源為座標(0, 50)，感應器 A(50, 0)，B(0, 0)，C(-50, 0)的實驗紀錄，聲源位置的實驗值算法為利用 14 頁的推導公式(二)， t_1 、 t_2 、 t_3 分別為(1.6906)、(1.6905)、(1.6903)秒帶入。但我們做了多次實驗後，發現標準差超出可接受範圍太多，我們歸結可能的原因如下：

1.電容：

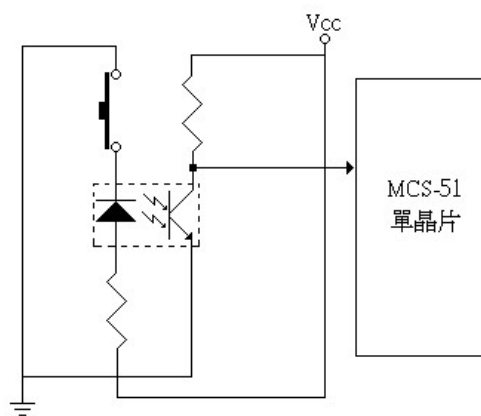
為了將所接收到的聲波由不規則的信號轉為接近方波的信號，如此一來除了使用 PASCO 抓點時較容易外，要傳至 MCS-51 單晶片的信號也較單純。但是由於電容是採取先充電再放電的電子零件 如右圖，又因為每一顆電容的規格在實際上仍有 2%左右的誤差，造成了充放電的時距不盡相同，所以這究可能是我們目前無法成功的原因。



圖八 波形轉換圖

2. 週遭干擾：

在電子電路中不只是電磁波，最忌諱的就是電磁、電桿.....等的干擾。但由於我們使用的發聲器－繼電器中有電磁鐵，可能因此造成電磁感應，而影響了我們的實驗。改善此現象必須做一些抗干擾措施，像是判斷持續觸發，一段時間後才承認這個信號。在我們的電路中改進方法則可採取反向觸發的防範措施。



圖九 反向抗干擾示意電路圖

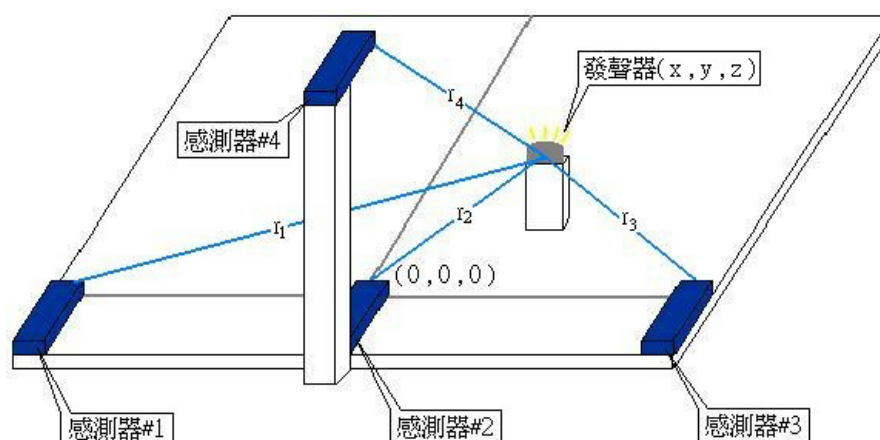
以下為**實驗四的推廣**：

實驗 A、模擬三度空間中聲源物體的定點位置

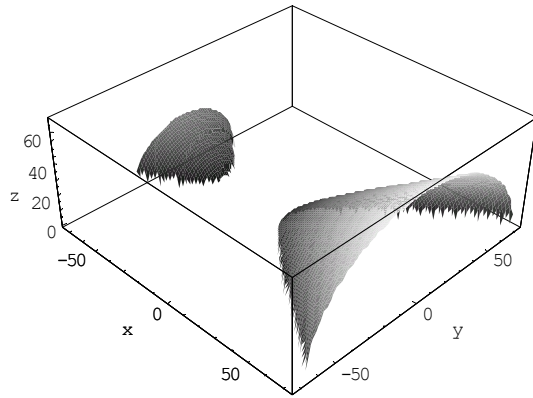
● 實驗原理：

使三感應器在同一條直線上，另一感應器置於垂直於桌面、另三感應器上方。繼電器(待測物體)感測器有效感應範圍之間，並皆處於同一空間。由於物體距離四聲音感測器距離不同，聲音所行走的路徑長也就不同。所以當物體突然發出一聲響時，聲音感測器在電腦上所顯示的圖形變會產生一明顯起伏，且兩感測器所顯示的圖形會相似。

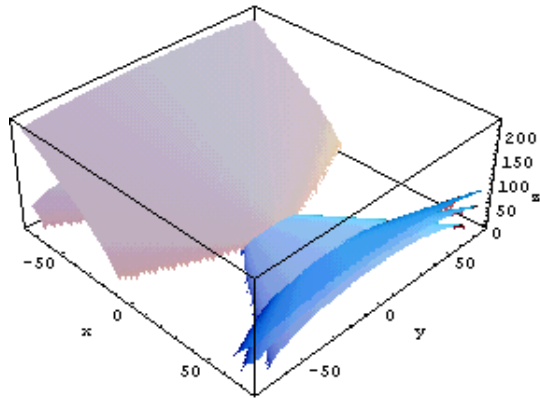
利用此點，我們將繼電器擺在待測物體上，並與電源供應器串聯；當通以足夠電壓的瞬間，繼電器將會激磁一下，若不改變電壓直至量測結束，實驗圖形便只會有一明顯起伏(繼電器只激磁一下)，以方便觀測。接收到的明顯起伏(物體突然發出的聲響)將會有一時間差，利用此時間差即可推出與感測器間的距離。實驗公式推導及示意圖如下：



聲波測量三度空間中物體的定點位置實驗裝置圖



雙曲面



3 維實際求解模擬圖

r_1 : 發聲源至感應器#1 的距離(cm) t_1 : 感應器啓動到感應器#1 接收到聲音的時間(s)
 r_2 : 發聲源至感應器#2 的距離(cm) t_2 : 感應器啓動到感應器#2 接收到聲音的時間(s)
 r_3 : 發聲源至感應器#3 的距離(cm) t_3 : 感應器啓動到感應器#3 接收到聲音的時間(s)
 r_4 : 發聲源至感應器#4 的距離(cm) t_4 : 感應器啓動到感應器#4 接收到聲音的時間(s)

(位置公式推導)

以感應器 2 為原點，感應器#1、#2、#3 連線為 X 軸，建立一平面座標係

設感應器#1 位置：(x_1, y_1, z_1)

感應器#2 位置：(x_2, y_2, z_2)

感應器#3 位置：(x_3, y_3, z_3)

感應器#4 位置：(x_4, y_4, z_4)

物體位置為(x, y, z)

$$\begin{cases} r_1 = V_{\text{聲}} \times (t_1 - T) = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} \\ r_2 = V_{\text{聲}} \times (t_2 - T) = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} \\ r_3 = V_{\text{聲}} \times (t_3 - T) = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} \\ r_4 = V_{\text{聲}} \times (t_4 - T) = \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} \end{cases}$$

由圓錐曲線—雙曲面定義知：雙曲面上任一點到兩焦點距離差 = $K = 2a$

1. 以感應器#1、#2 為焦點

$$\Rightarrow r_1 - r_2 = [V_{\text{聲}} \times (t_1 - T)] - [V_{\text{聲}} \times (t_2 - T)] = V_{\text{聲}} \times t_1 - V_{\text{聲}} \times t_2 = 2a_{12}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & \left| \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} \right| \\ & = 2a_{12} \quad \text{—— ①} \end{aligned}$$

2. 以感應器#2、#3 為焦點

$$\Rightarrow r_2 - r_3 = [V_{\text{聲}} \times (t_2 - T)] - [V_{\text{聲}} \times (t_3 - T)] = V_{\text{聲}} \times t_2 - V_{\text{聲}} \times t_3 = 2a_{23}$$

$$\Rightarrow \left| \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} \right| = 2a_{23} \text{ —— ②}$$

3. 以感應器#3、#4 為焦點

$$\Rightarrow r_3 - r_4 = [V_{\text{聲}} \times (t_3 - T)] - [V_{\text{聲}} \times (t_4 - T)] = V_{\text{聲}} \times t_3 - V_{\text{聲}} \times t_4 = 2a_{34}$$

$$\Rightarrow \left| \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} - \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} \right| = 2a_{34} \text{ —— ③}$$

①式、②式、③式聯立求解 $\Rightarrow (x, y, z)$

.....推導公式(五)

●實驗步驟：

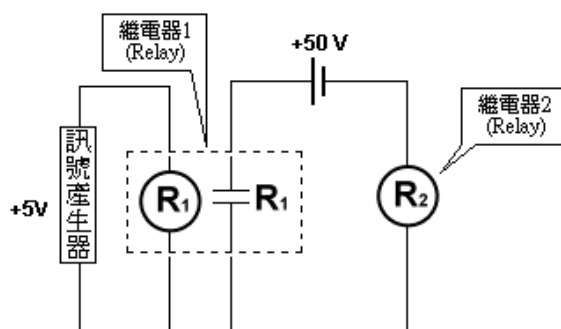
1. 將感測器#1、感測器#2、感測器#3 分別依序置於一立體座標係 X 軸上，感測器#4 置於 Z 軸正向。
2. 將繼電器(待測物體)放立體空間中。
3. 電源供應器與繼電器串聯，示意圖與**電路圖 1** 同。
4. PASCO 開始收集數據。
5. 通一 50V 之電壓給繼電器，直到測量結束不改變電壓。
6. 分析四聲音感測器接收之數據，由時間差推得距離。

實驗 B、模擬在空間中運動聲源物體之位置

●實驗原理：

本實驗我們使用與**實驗三**相同的裝置，計算方式也相同，並以鐵絲做出軌道，再將繼電器吊起，綁上繩子繞過步進馬達使其能做運動；並以 V8 攝影下其運動軌跡以及狀態。最後在計算出每秒再空間中的絕對位置，在與 V8 拍下的位置做比較與修正，並畫出 X-t、Y-t、Z-t 圖。

本實驗用到兩個繼電器，繼電器#1 為 5V500Ω，繼電器#2 為 28V DC 2.8Ω。由於繼電器#1 聲音過小，但訊號產生器所提供最大電壓為 5V，無法推動聲響較大的繼電器#2(所需最小電壓為 28V)，所以必須將訊號產生器與繼電器#1 串聯，再與繼電器#2 連接，以達到聲音感測器所能感應到的響度。電路圖如下：



(電路圖 3)聲波頻率控制電路圖

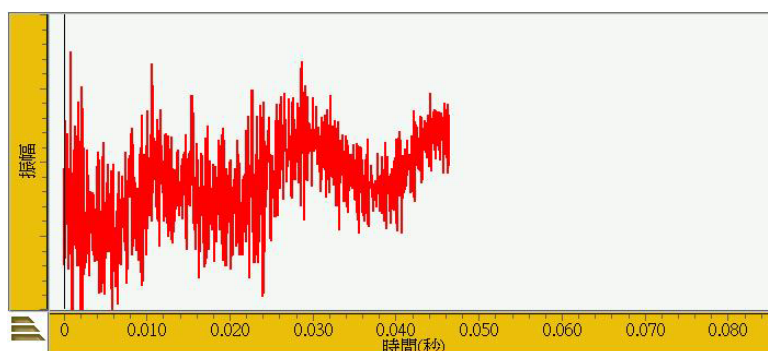
●實驗步驟：

1. 與實驗三相同的裝置，並以鐵絲做出軌道，再將繼電器吊起，綁上繩子繞過步進馬達使其能做運動。
2. 啟動感應器開始感測，V8 開始錄影。
3. 將訊號產生器和繼電器#1(5V500 Ω)串聯，並使訊號產生頻率為 1.0HZ。
4. 將繼電器#1 與繼電器#2 串聯，藉由繼電器#1 使繼電器之激磁頻率也為 1.0HZ。
5. 使繼電器#2 開始運動。
6. 分析電壓感測器之記錄圖形並繪出 X-t、Y-t、Z-t 圖。

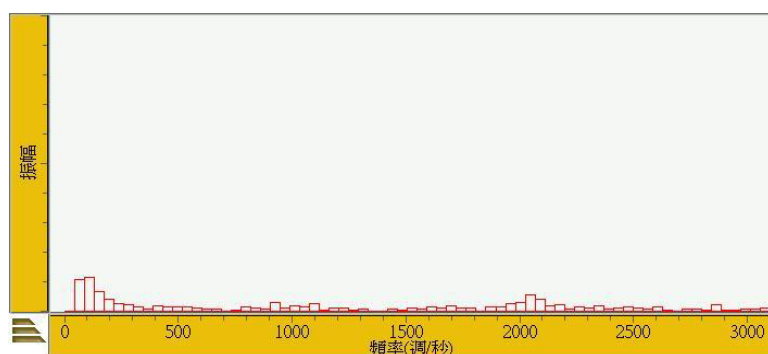
實驗五、比較物品在振動以及斷裂時的波譜

在一般日常生活中，物體所發出的聲音除了音叉外，皆為複合波。又在實際生活中，大部分的聲音並不是單純的像本實驗中的發聲器簡單的只發出一個波如 圖(a)，這對於電腦的判斷能力來說，要準確地接收有效的聲波是一件不容易的事。

因此我們想出了一個比對的方法。就是利用每一個複合波都有它的主要頻率的性質如 圖(b)。我們只要先把欲測物的破裂聲紀錄下來，分析其頻譜，找出它的主要頻率，將所有的資料都存檔，做成資料庫。未來只要一接收到未知的聲音，分析其頻譜，再從資料庫中做比對，就可判定這聲波是否接收有效。



圖十(a) 紙張撕裂聲



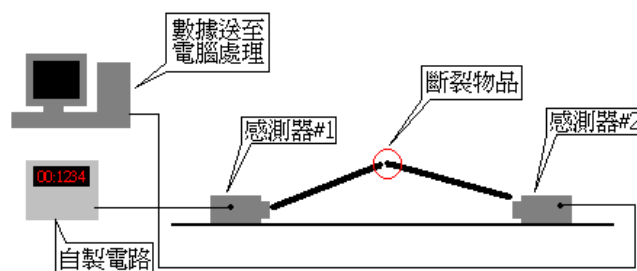
圖十(b) 紙張撕裂聲之頻譜

以下為**實驗五**的推廣應用：

實驗 A、模擬物體破裂處

●實驗原理：

本實驗利用上一個實驗之結果，分辨出物體振動和斷裂所發出聲音的波譜，即可知是否有無斷裂。假如物品有遭受斷裂，再測量斷裂處的位置。其裝置示意圖如下：



圖十一 聲波測量物體破裂處裝置圖

●實驗步驟：

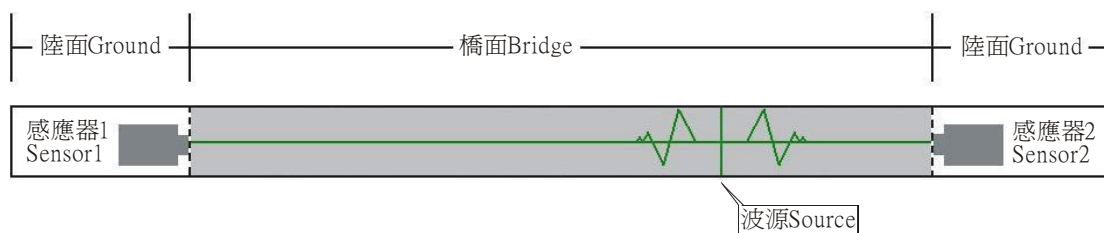
1. 兩感測器至於欲斷物品兩端，將訊號線接至電腦音效卡以及自製電路。
2. 電腦、自製電路開始接收訊號。
3. 物品斷裂。
4. 蒐集數據完畢。
5. 計算以及分析所得數據。

●實驗應用：

綜合本實驗以及實驗五本實驗類似破壞性檢測，因此在一般工業時，可以測量物體是否有無受損亦或是測量其斷裂處，特別是一般橋樑的斷裂。



圖十二 模擬橋樑斷裂處裝置圖 A

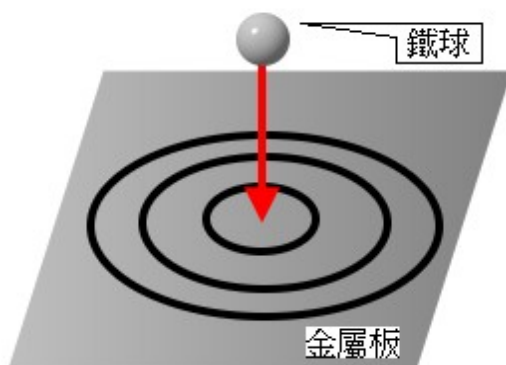


圖十二 模擬橋樑斷裂處裝置圖 B

實驗 B、模擬物體撞擊處

●實驗原理：

本實驗為物體振動的震源處。其方法類似**實驗二**，將一鐵球從高處使其自由落下，使其撞擊金屬板而發出橫波，接收因振動發出的波，並記錄下來。最後計算出其波源位置，方法與實驗二相同。其裝置示意圖如下：



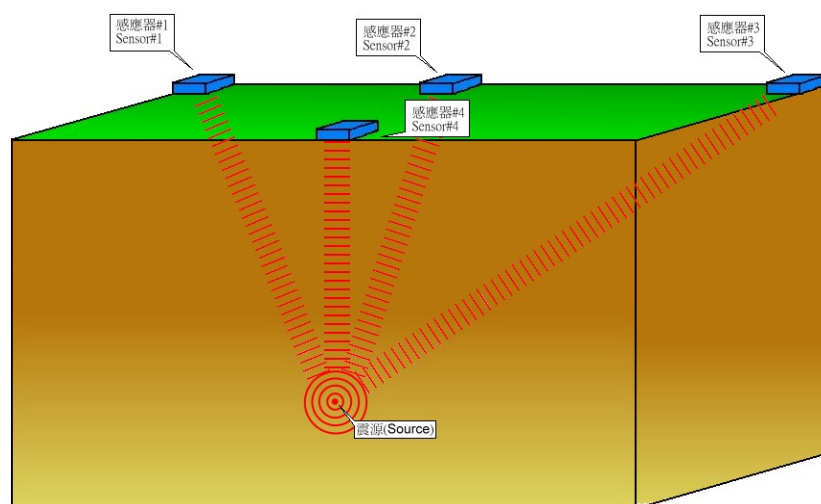
圖十三 聲波測量物體撞擊處裝置圖

●實驗步驟：

- 1.將感測器#1、感測器#2、感測器#3 分別依序置於一平面座標系 X 軸上。
- 2.鐵球置於金屬片上方。
- 3.電腦、自製電路開始蒐集數據。
- 4.鐵球落下，撞擊到金屬板。
- 5.蒐集數據完畢。
- 6.分析三個聲音感測器接收之數據，由時間差推得距離。

●實驗應用：

本實驗得應用範圍甚廣，像是一般地震震央的測量，同樣也可以使用相同的方法測出其震央位置。一般來說，只要是由「波」來傳送，我們只要知道波在此介質中傳輸的速度，再量得接收到的時間，都可以相同的方法測出其發出波的位置。



圖十四 模擬地震震央處裝置圖

實驗結論：

實驗一結論：

本實驗經由不斷的嘗試，最後所得到的實驗方法已可以準確的測定物體定點位置，而且實驗程序明瞭、數據處理方便，測量值誤差也可控制在 3 公分以內。因此這個實驗的初步階段實驗目的可說是已達成，稍加改進便可加以應用。

實驗二結論：

由於電動台車所使用電池提供之電壓不足以供給馬達所消耗的電力，所以無法使台車做等速運動。而控制繼電器頻率的訊號產生器與台車上繼電器連接的電線產生的阻力也會嚴重影響台車的運動速度。

因為時間的不足，所以我們僅想出了解決方法，尚未做出進一步的實驗；但在未來實驗裡頭，我們所擬定的方法如下：

對電壓不足的改進方法——可以並聯數個電池，或是使用較大的電池，如鉛蓄電池。

對電線產生阻力的解決方法——可使用振盪電路放在台車上，以控制繼電器發生頻率。

實驗三結論：

因為此實驗台車運動的聲音會影響數據的收集，使我們無法準確的處理數據。所以我們改用了較不易受外界聲音干擾的超聲波為發音源，搭配電壓感測器將流經超聲波發射器和接收器的電壓分別以 PASCO 顯示在電腦上。

總結：

1. 我們成功利用了課堂上所學的數學幾何，以及波的物理概念，找出一套新的測距系統，並將其由相對座標轉為絕對座標。
2. 這套測距系統不只適用聲波，不論是哪種介質，只要知道波速、更改適用的感測器，都可以用這個方法找出波源的位置。
3. 利用這種被動式聲波測量，我們推廣了一些可行的應用。
4. 目前此套被動式聲波測距儀器雖然尚在努力中，但由文獻探討我們相信未來將可有效地應用於生活科技。

各種一維測量方式比較：

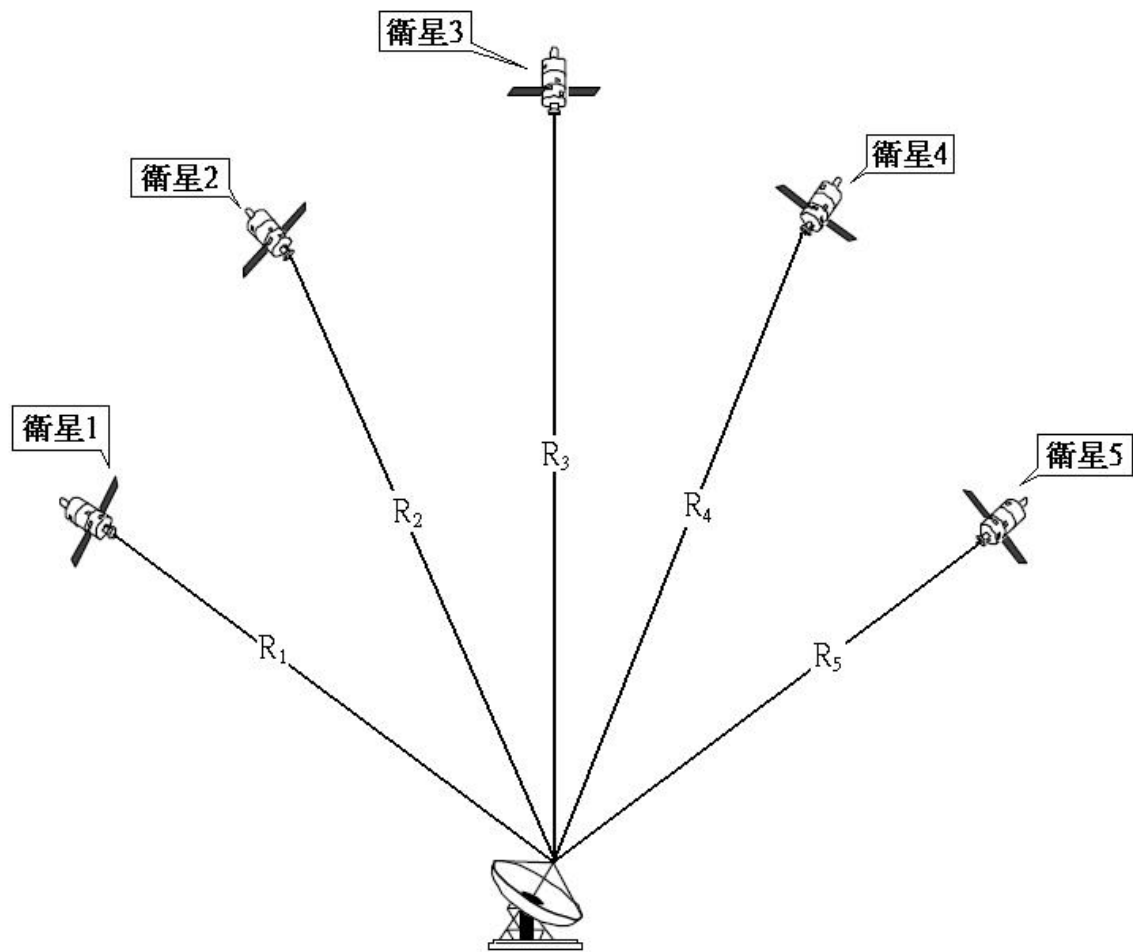
種類：	優點：	缺點：
聲波測距	因為波速較慢，所需計時器的位數較少，所以成本較低。	聲音易擴散，精密度較光學低。
光學測距	光束易集中，適合需要精密度高的測量。	成本高。

各種三維測量方式比較：

種類：	計算方法：	優點：	缺點：	應用：
聲波定位 (本實驗)	建立一個虛擬的座標系。已知各感應器的座標，藉由波源發出聲波測出數據，再將數據帶入雙曲線、雙曲面公式，求得波源座標。	這是一套由我們自己研究出的測量方法，雖然目前尚未應用在實際生活中。	1.易受傳輸介質不同而有誤差。 2.未有較適合的感應器。 3.計時器的準確度不夠高。	可應用處： 1. 導航 2. 物品定位 3. 人員搜救 4. 物體損壞處檢測
影像處理	由數張同一景物，但不同焦距，而產生不同模糊程度的影像。由這些影像數位化、灰階化後，帶入 高斯式 運算，以求得景物深度。	這套技術已經發展有些年了，雖然還未非常成熟，但已具相當的參考價值。	由原本線性圖案轉為數位，這過程會產生失真，因此解析度為一大問題， 占記憶容量 。易受光線的 顏色、明暗程度 不同干擾。	1. 事發現場蒐證 2. 像機焦距設定 3. 外型、表面測量
三軸交點	利用與三軸平行的線，相交一點。	最簡單而直接。	無法測量大範圍和移動中物體。	
GPS	衛星經由衛星星曆得知衛星自己的位置座標（已知），再由電磁波測得衛星與欲測物之向量，經由數學向量加法求得預測的物座標。	在目前，其準確度已經相當的高。因為衛星所在位置是外太空，因此其測量的範圍也非常廣泛。	電磁波極容易受到周圍環境而干擾，特別是大氣層的擾動。因此在測量時，需要數個衛星同時測量、互相校正， 成本高 。	1. 飛彈導航 2. 飛機導航 3. 地形探測 4. 物品定位 5. 人員搜救

參考自：

1. **GPS 衛星測量接收儀定位精度驗證之研究** 國立交通大學 土木工程系
研究生：汪俊寰 指導教授：陳春盛
2. **由最佳散焦影像序列測距** 暨南國際大學 資訊工程學系
研究生：郭維新 指導教授：石勝文
3. **空間域影像景深估測與移動物體偵測規避之研究** 朝陽科技大學 資訊工程系碩士班
研究生：郭泓棚 指導教授：張原豪



向量 R_1 ：衛星 1 至雷達的向量

向量 R_3 ：衛星 3 至雷達的向量

向量 R_5 ：衛星 5 至雷達的向量

衛星 1 位置： (x_1, y_1)

衛星 3 位置： (x_3, y_3)

衛星 5 位置： (x_5, y_6)

向量 R_2 ：衛星 2 至雷達的向量

向量 R_4 ：衛星 4 至雷達的向量

衛星 2 位置： (x_2, y_2)

衛星 3 位置： (x_4, y_4)

雷達位置： (x, y)

圖十五 衛星定位示意圖圖

衛星定位公式表示：

$$(x, y) = (x_1, y_1) + \vec{R}_1 = (x_2, y_2) + \vec{R}_2 = (x_3, y_3) + \vec{R}_3 = (x_4, y_4) + \vec{R}_4 = (x_5, y_5) + \vec{R}_5$$

參考自：GPS 衛星測量接收儀定位精度驗證之研究
國立交通大學 土木工程系
研究生:汪俊賓 指導教授:陳春盛

實驗心得：

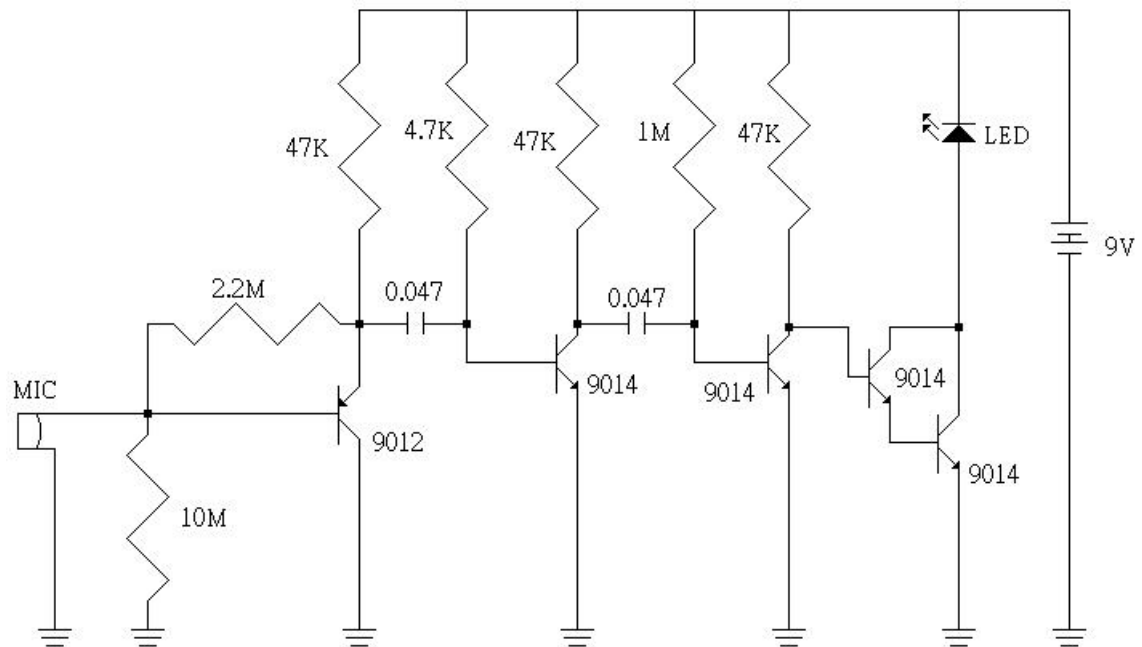
經過這次的實驗，我們對於聲學有了更進一步的認識以及了解。雖然到目前為止仍有需多地方需要克服，但是對於定點的測距已經確定了它的實用性，已經可以測量靜止的物體，對我們來說已經是一大突破。回想起最初，我們找遍了全台北，尋找以及蒐集了許多的發聲器—喇叭、蜂鳴器、音叉乃至於超音波，我們無不逐一試過。有時同學一不小心，在我們實驗時說了一句話、掉了一件物品，我們都得從來，雖然極為氣餒，但爲了準確性，還是得重來不可。當然在這期間也受了大家不少的幫忙，同學在我們實驗時會停止討論，不出聲音。家長也是從旁協助良多，不論是晚回家的接送，感應器的測試，更重要的幫我們指點了迷津，解決了許多的重大瓶頸。最辛苦的就是老師了，老師每天都留下來陪我們做實驗，留到很晚，也送我們回家，有時碰到了材料問題，老師也親自跑到光華商場買材料，在這段期間，金老師已經不知道他在從學校到光華商場的路上來回了幾次。而超音波是家長的建議，買超音波接、發收器是老師出的力，而實際執行部份就是我們兩個蘿蔔頭，雖然一開始並不知如何使用，但稍微摸索以及家長的指導、老師的統合，也就使適用了。吳老師也爲了我們厚著臉皮，多次的向萬芳高中藉 PASCO 以及各項的儀器，來回了好幾次，我們也都覺得不好意思了。而這整個過程就是在老師的統合下及努力的到光華商場，超聲波也才能在所有發聲器中脫穎而出，不論是頻率、波形以及強度，皆成爲了我們即將在這整個實驗中的主軸以及主要應用器材，更重要的是我們不可以枉費了大家的苦心幫忙，以及之前的努力，必須再接再厲，努力做出一套有用的器材來。

參考書目：

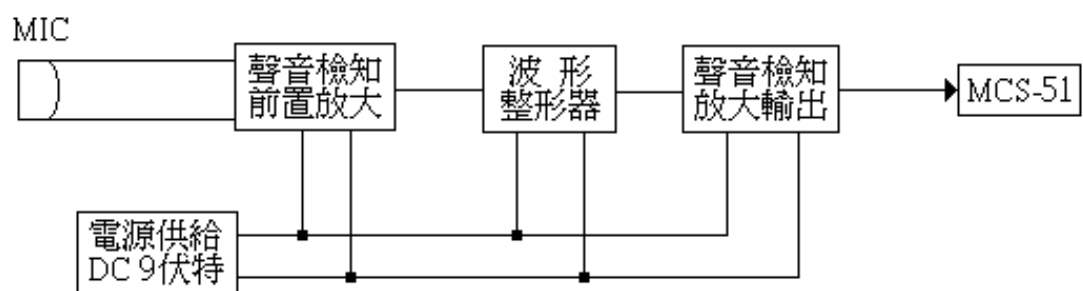
1. **最新 C 語言學習實務**
旗標出版股份有限公司出版；施威銘主編
2. **CMOS 手冊**
儒林圖書公司出版；Don Lancaster 著，林成文譯
3. **線性 IC 的應用、製作、實驗**
三民書局出版；林益海編譯，魏榮堂校閱
4. **8051 單晶片實作寶典**
益眾資訊有限公司出版；鄧錦程編著
5. **超音波工程－初版**
全華圖書股份有限公司出版；鄭正東編譯
6. **國中理化課本第三冊**
台灣書局出版；國立編譯館編著
7. **高一基礎物理**
龍騰出版社出版
8. **高中數學課本第四冊第一章 圓錐曲線**
翰林出版社出版
9. **基礎物理 教師手冊**
大同資訊企業股份有限公司
10. **GPS 衛星測量接收儀定位精度驗證之研究**
國立交通大學 土木工程系 研究生：汪俊寰 指導教授：陳春盛
11. **由最佳散焦影像序列測距**
暨南國際大學 資訊工程學系 研究生：郭維新 指導教授：石勝文
12. **空間域影像景深估測與移動物體偵測規避之研究**
朝陽科技大學 資訊工程系碩士班 研究生：郭泓棚 指導教授：張原豪

附件一：

自製電路圖：



參考自：CHD-107 聲波開關



參考自：聲控來客報知器 方塊圖

附件二：

自製電路圖—8051 單晶片組合語言程式：

```
.include D:\Zack\8051\Bios.m
```

dr_address	equ 01h
ir_address	equ 00h
clear	equ 00000001b
cursorh	equ 00000010b
backone	equ 11001010b
nextone	equ 11001011b
stop	equ 11001101b
scencergotbit	reg 20h.0
getkeybit	reg 20h.2
second	reg 31h
sec001	reg 32h
sec00001	reg 33h
sec0000001	reg 34h
howmanyscencers	reg 35h
scencersnumber	reg 37h
numberofscencer	reg 38h
howmanytimes	reg 39h
tenbyte	reg 3ah
noebyte	reg 3bh
keyboardbuffer	reg 36h
scencer1sec	reg 40h
scencer1sec001	reg 41h
scencer1sec00001	reg 42h
scencer1sec0000001	reg 43h
scencer2sec	reg 44h
scencer2sec001	reg 45h
scencer2sec00001	reg 46h
scencer2sec0000001	reg 47h
scencer3sec	reg 48h
scencer3sec001	reg 49h
scencer3sec00001	reg 4Ah
scencer3sec0000001	reg 4Bh
scencer4sec	reg 4Ch

scencer4sec001	reg 4Dh
scencer4sec00001	reg 4Eh
scencer4sec0000001	reg 4Fh
scencer1low	reg 50h
scencer1high	reg 51h
scencer2low	reg 52h
scencer2high	reg 53h
scencer3low	reg 54h
scencer3high	reg 55h
scencer4low	reg 56h
scencer4high	reg 57h

```

org 00h
jmp reset
org 13h
jmp getkey
org 1bh
jmp timerint

```

reset:

```

setb ie.7
mov sp,#60h
call initiallcd
call clearlcd
print #string1
call initial8279
call timer
call initialmessagein

```

main:

```

call clearlcd
call lcdhome
print #string2
call getkeyfifo

```

nextstep:

```

mov a,keyboardbuffer
call keynumber
mov howmanyscencers,a
putnum

```

```

    clr    keyboardbuffer
    call   goenter
    mov    a,howmanyscencers
    clr    c
    subb   a,#5
    jnc    reset
    mov    numberofscencer,howmanyscencers
    mov    dptr,#-15                ;establish the ram
    mov    scencer1low,dpl          ;
    mov    scencer1high,dph         ;
    mov    dptr,#-11                ;
    mov    scencer2low,dpl          ;
    mov    scencer2high,dph         ;
    mov    dptr,#-7                 ;
    mov    scencer3low,dpl          ;
    mov    scencer3high,dph         ;
    mov    dptr,#-3                 ;
    mov    scencer4low,dpl          ;
    mov    scencer4high,dph         ;
    call   clearlcd
    call   lcdhome
    print  #string3
    call   goenter
;-----
starttimer:
    push   numberofscencer
    call   timer
    call   clearlcd
    call   lcdhome
    print  #string8
waitscencers:
    call   messagein
    jmp    waitscencers
;-----
printdata:
    clr    tr1
    mov    dptr,#0
    mov    r1,#40h
    mov    r3,numberofscencer

```

```

        mov    scencersnumber,#1
printscencer:
        call   printdataofscencer
waitkeyin:
        call   getkeyfifo
        cjne   a,#nextone,checkback
        mov    r3,scencersnumber
        cjne   r3,#4,printnextscencer
        jmp    waitkeyin
;*****  jmp    nexttime
printnextscencer:
        inc    scencersnumber
        jmp    printscencer
checkback:
        cjne   a,#backone,waitkeyin
        mov    r3,scencersnumber
        cjne   r3,#1,printbackscencer
        jmp    waitkeyin
printbackscencer:
        dec    scencersnumber
        mov    a,r1
        subb   a,#4
        mov    r1,a
        jmp    printscencer
;*****
        mov    r5,#4
dec4times:
        clr    c
        dec    dpl
        jnc    keep
        dec    dph
keep:
        djnz   r5,dec4times
        jb     scencergotbit,lastback
        dec    scencersnumber
        inc    r3
        push   psw
        setb   rs0
        mov    a,r1

```

```

    subb    a,#4
    mov     r1,a
    pop     psw
    jmp     printscencer
nexttime:
    mov     r3,numberofscencer
    mov     scencersnumber,#1
    mov     20h,#1
    jmp     printscencer
lastback:
    mov     scencersnumber,#4
    mov     r3,#0
    jmp     printscencer
;*****
;-----
printdataofscencer:
    call    clearlcd
    print   #string4
    mov     a,scencersnumber
    putnum
    mov     a,#':'
    call    putdr
    print   #string6
    mov     a,@r1
    inc     r1
    mov     b,100
    div     ab
    putnum
    mov     a,b
    call    describnumber
    putnum
    mov     a,b
    putnum
    mov     a,#':'
    call    putdr
    mov     a,@r1
    inc     r1
    call    describnumber
    putnum

```



```

    mov  a,b
    putnum
    mov  a,@r1
    inc  r1
    call describnumber
    putnum
    mov  a,b
    putnum
    mov  a,@r1
    inc  r1
    call describnumber
    putnum
    mov  a,b
    putnum
    ret

string1 db '          Loading....!','$'
string2 db '          How many scencers:','$'
string3 db '          Start experimentation!','$'
string4 db '          Scencer','$'
string5 db '          Finished experit!','$'
string6 db '          The time:','$'
string8 db '          Experiting.....','$'
;-----
goenter:
    waitenter
    ret
;-----
;Lcd Program
;-----
initiallcd:
    mov  a,#38h
    call putir
    mov  a,#00001101b
    call putir
    mov  a,#06h
    call putir
    ret
;-----

```

```

putdr:
    call  checkbusy
    mov   r0,#dr_address
    movx  @r0,a
    call  gonop
    ret

;-----
putir:
    call  checkbusy
    mov   r0,#ir_address
    movx  @r0,a
    ret

;-----
readir:
    mov   r0,#ir_address
    mov   @r0,a
    ret

;-----
checkbusy:
    push  a
wait:
    call  readir
    jb    acc.7,wait
    pop   a
    ret

;-----
clearlcd:
    mov   a,#clear
    call  putir
    ret

;-----
lcdhome:
    mov   a,#cursorh
    call  putir
    ret

;-----
;a=x
;b=y
gotoxy:

```

```

        anl    b,#01111b
        jnb    b.0,dosetbit6
        setb   acc.6
dosetbit6:
        setb   acc.7
        call   putir
        ret

;-----
printstring:
        push   a
printloop:
        clr    a
        movc   a,@a+dptr
        cjne   a,#'$',next
        sjmp   endprint
next:
        call   putdr
        inc    dptr
        jmp    printloop
endprint:
        pop    a
        ret

;-----
printhex:
        push   dph
        push   dpl
        push   a
        swap   a
        anl    a,#0fh
        call   puthex
        pop    a
        anl    a,#0fh
        call   puthex
        pop    dpl
        pop    dph
        ret

;-----
puthex:
        call   checkbusy

```

```

    mov  r0,#dr_address
    mov  dptr,#ascii_table
    movc  a,@a+dptr
    movx  @r0,a
    ret

.DATA
ascii_table  db  '0123456789ABCDEF'
;-----
gonop:
    nop
    ret
;-----
;Keyboard Program
;-----
initial8279:
    mov  r0,#21h
    mov  a,#00010000b
    movx  @r0,a
    mov  a,#00110100b
    movx  @r0,a
    mov  a,#01010000b
    movx  @r0,a
    mov  a,#10010000b
    movx  @r0,a
    mov  tcon,#0
    setb  ie.2
    ret
;-----
getkeyfifo:
    clr  ie.2
    mov  r0,#21h
waitfifo:
    movx  a,@r0
    anl  a,#00001111b
    jz   waitfifo
    dec  r0
    movx  a,@r0
    mov  keyboardbuffer,a
    setb  ie.2

```

```

    ret
;-----
getkey:
    jb  p3.3,nokey
    push  a
    mov  r0,#20h
    movx  a,@r0
    mov  keyboardbuffer,a
    cjne  a,#stop,nokey
    clr  tr1
    call  clearlcd
    call  lcdhome
    print #string5
    setb  20h.2
    pop  a
    jmp  printdata
nokey:
    setb  20h.2
    pop  a
    reti
;-----
keynumber:
    clr  acc.7
    clr  acc.6
    ret
;-----
;The Timer Program    (use Timer1 Mode.2 100us interrupt)
;-----
initialtimer:
    mov  tmod,#00100000b
    mov  th1,#256-100
    mov  tl1,#256-100
    ret
timer:
    setb  tr1
    clr  tr1
    ret
timerint:
checksec000001:

```

```

    push    a
    mov     a,sec00001
    inc     a
    mov     sec00001,a
    cjne    a,#100,goretfortimer
checksec0001:
    clr     sec00001
    mov     a,sec001
    inc     a
    mov     sec001,a
    cjne    a,#100,goretfortimer
checksec:
    clr     sec001
    mov     a,second
    inc     a
    mov     second,a
goretfortimer:
    pop     a
    reti

;-----
goret:
    ret
goreti:
    reti

;-----
;Data in
;-----
initialmessagein:
    mov     tcon,#00000000b
    ret
messagein:
readtime:
scencer1:
    jnb     p1.0,scencer2
    mov     scencer1sec0000001,t11
    mov     scencer1sec00001,sec00001
    mov     scencer1sec001,sec001

```



```

    mov    scencer1sec,second
    ret
    clr    c
    mov    a,dpl
    mov    dpl,scencer1low
    mov    dph,scencer1high
    call   incdptr
loadscencer1data:
    mov    a,scencer1sec0000001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    a,scencer1sec00001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    a,scencer1sec001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    a,scencer1sec
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    scencer1low,dpl
    mov    scencer1high,dph
    ret
scencer2:
    jb     p1.2,scencer3
    mov    scencer2sec0000001,t11
    mov    scencer2sec00001,sec00001
    mov    scencer2sec001,sec001
    mov    scencer2sec,second
    ret
    clr    c
    mov    a,dpl
    mov    dpl,scencer2low
    mov    dph,scencer2high
    call   incdptr
loadscencer2data:
    mov    a,scencer2sec0000001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr

```

```

    mov  a,scencer2sec00001
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  a,scencer2sec001
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  a,scencer2sec
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  scencer2low,dpl
    mov  scencer2high,dph
    ret
scencer3:
    jb  p1.4,scencer4
    mov  scencer3sec0000001,t11
    mov  scencer3sec00001,sec00001
    mov  scencer3sec001,sec001
    mov  scencer3sec,second
    ret
    clr  c
    mov  a,dpl
    mov  dpl,scencer3low
    mov  dph,scencer3high
    call  incdptr
loadscencer3data:
    mov  a,scencer3sec0000001
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  a,scencer3sec00001
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  a,scencer3sec001
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  a,scencer3sec
    movx  @dptr,a
    inc  dptr
    mov  scencer3low,dpl
    mov  scencer3high,dph

```

```

ret

scencer4:
    mov    scencer4sec0000001,t11
    mov    scencer4sec00001,sec00001
    mov    scencer4sec001,sec001
    mov    scencer4sec,second
    ret
    clr    c
    mov    a,dpl
    mov    dpl,scencer4low
    mov    dph,scencer4high
    call   incdptr
loadscencer4data:
    mov    a,scencer4sec0000001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    a,scencer4sec00001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    a,scencer4sec001
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    a,scencer4sec
    movx   @dptr,a
    inc    dptr
    mov    scencer4low,dpl
    mov    scencer4high,dph
    ret

incdptr:
    mov    r0,#16
inc16times:
    inc    dptr
    djnz   r0,inc16times
    ret

```

```

;-----
;Describe Numbers Program
;-----

```

```

describnumber:
    mov    b,#10
    div    ab
    ret
;-----
    end

```

```

;-----
;BIOS.M
;-----

```

```

putnum    .MACRO
    setb   acc.4
    setb   acc.5
    call   putdr
    .ENDM

```

```

;-----
print.MACRO string
    push   dptr
    mov     dptr,string
    call    printstring
    pop     dptr
    .ENDM

```

```

;-----
waitenter .MACRO
enterequ 11001100b
waitenter:
    call    getkeyfifo
    cjne    a,#enter,waitenter
    ret
    .ENDM

```

```

;-----
nothingtodo .MACRO
foreverloop:
    mov     p1,#01010101b
    jmp     foreverloop
    .ENDM

```

評語及建議事項

1. 整體實驗規劃良好，雖然於一主體實驗時所得實驗精度僅略佳於10%，但於口試時能迅速確認量測精度未能達成之主要原因，表現可圈可點。
2. 以雙曲線、雙曲面交點，再加上聲波傳遞方向等因素，綜合取得定位成果，思緒完整。
3. 可考量於整體架構傳輸瓶頸，相對精度配合等方面進行改良及作進一步的討論，以使作品更為完善。
4. 整體表現優異，殊值持續鼓勵。