

屏東縣第63屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科別：生活與應用科學一(機電與資訊)

組別：國中組

作品名稱：有溫度的聲音

關鍵詞：聲音速度測量、超音波、ESP32

編號：B6002

研究動機

我們參加的社團是科學研究社，其中一個實驗專題是老師要求我們設計一個實驗來測量聲音的速度。我們運用ESP32 配合聲音傳感器來設計一個測量聲音速度的儀器。但是實驗的過程中發現許多干擾的因素影響聲音速度測量的準確度。經過反覆思考，改良實驗設計，後來我們發現原本用來測量距離的超音波模組，可以用來精準的在短距離內測量聲音的速度，並且還可以計算出當時空氣的溫度，以下我們就開始詳細介紹我們的實驗設計過程。

實驗目的

1. 設計測量聲音速度的儀器
2. 探索聲音測量的方法
3. 發展出聲音速度測量的實驗模組

文獻探討

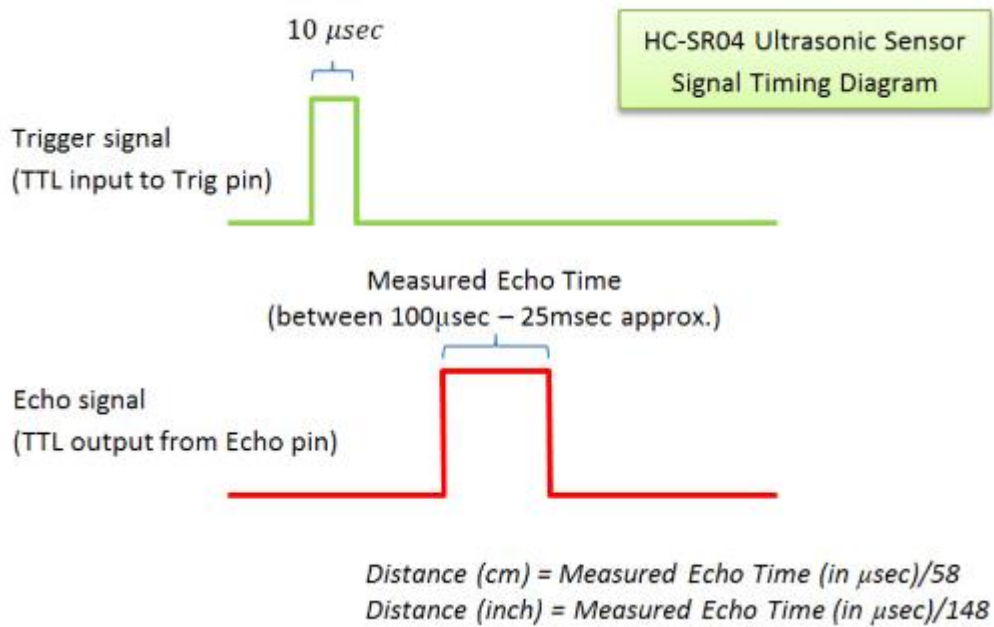
聲音的速度是指聲音在介質中傳遞的速度，通常以米/秒（m/s）為單位。以下是測量聲音速度的方法：

1. 用物理實驗：可以使用物理實驗測量聲音速度，例如使用共振管或測定聲音在不同介質中的傳播速度。共振管可以用來測量聲音波長和頻率，並且可以計算出聲音速度。聲音在不同介質中的傳播速度取決於介質的密度和彈性模量。
2. 使用計算公式：聲音速度可以根據其在介質中的性質使用一些計算公式來推算。例如，聲音在空氣中的速度可以使用以下公式來計算：
$$v = 331.4 + 0.6T$$
其中， v 是聲音在空氣中的速度（單位：米/秒）， T 是攝氏溫度。這個公式適用於攝氏0度到40度的範圍內。

3. 使用聲音速度測量儀器：現代科技提供了多種測量聲音速度的儀器，例如聲速計、聲速測量儀等。這些儀器可以通過測量聲音傳遞的時間和距離來計算出聲音速度。

無論使用哪種方法，測量聲音速度都需要精密儀器和正確的技術，才能得到準確的結果。

超音波感測器量測距離原理



實驗設計一：

透過藍牙連線來測量聲音的速度

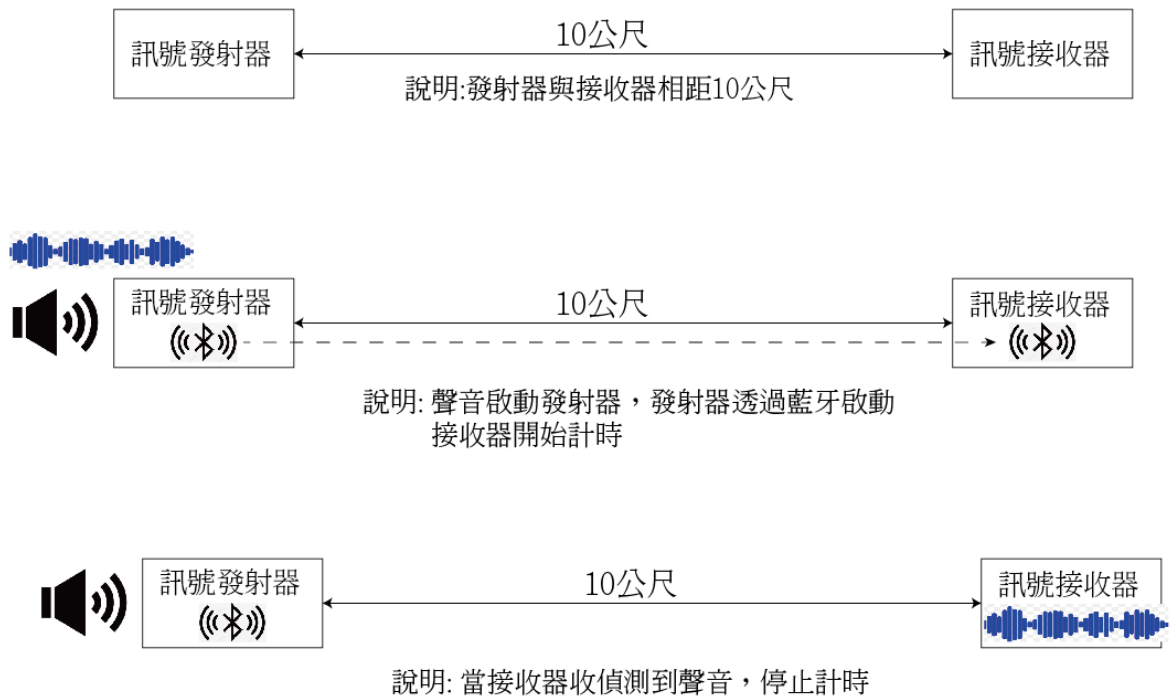
實驗設計說明:

1. 設計兩個儀器，一個訊號發射器，一個接收器。
2. 這兩個儀器透過藍牙連接傳遞訊號。
3. 實驗需要製造一個聲音來作為測量聲音速度的依據，此後將此聲音簡稱為聲源。
4. 利用電磁波比聲音速度快的特性，測量聲音傳遞的時間，再除以聲音傳遞的距離，就可以計算出聲音在空氣中傳遞的速度。

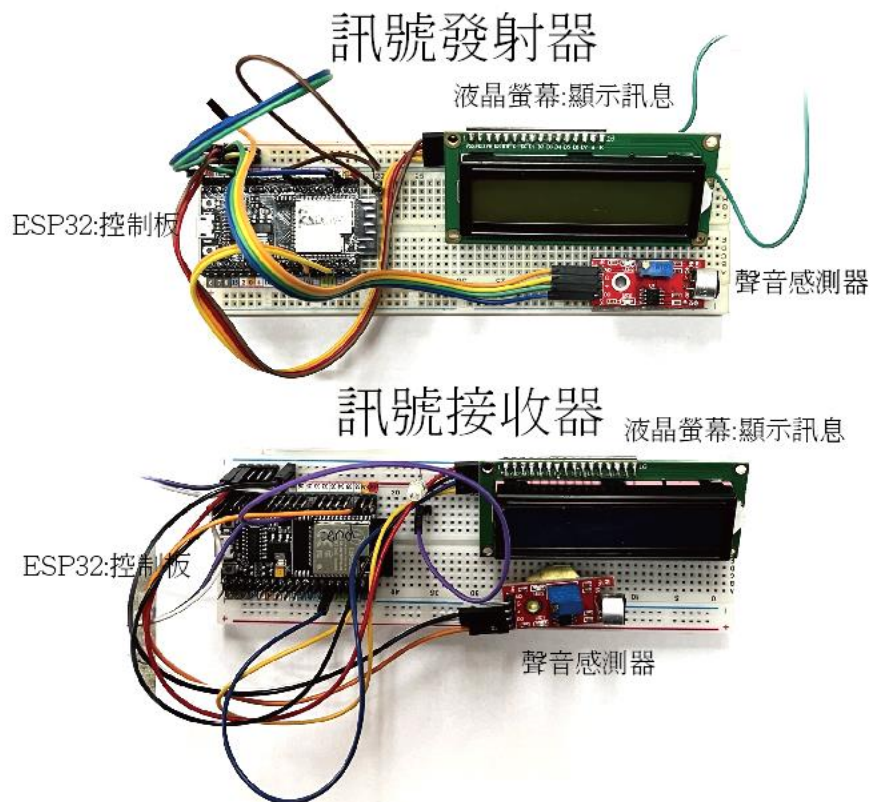
實驗步驟說明:

1. 將訊號發射器跟訊號接收器透過藍牙互相連接傳遞訊號。
2. 訊號發射器跟訊號接收器相距10公尺
3. 聲源與訊號發射器在同一側，當聲源發出聲音時，在旁邊的訊號發射器立刻接收到聲音的訊號，同時聲音發射器會透過藍牙立即傳送訊號給10公尺對面的訊號接收器，訊號接收器收到藍牙訊號後，就開始啟動計時。等到聲源的聲音傳送到接收器時，接收器立即記錄當下的時間，就可以計算出聲音傳遞過程的時間差，發射器跟接收器相距10公尺，除以以聲音傳遞的時間差，就可以計算出聲音的速度。

實驗步驟示意圖:



實驗儀器設計:



藍牙訊號發送端程式碼

```
宣告 float 變數 dt 為 0
宣告 float 變數 end 為 0
宣告 float 變數 start 為 0

啟動
  藍牙設備名稱 "send"
  ESP32 LCD設定位址在 0x27 字元 16 行 2
  無限循環
    設定數位腳位 33 為(0~1) 0
    LCD特效 螢幕清除
    LCD輸出 "starting....."
    輸出藍牙字串 "wait"
    重複 當 讀取數位腳位 36 = 0 執行
      輸出藍牙字串 "start"
      LCD特效 螢幕清除
      LCD輸出 "send ready"
      設定數位腳位 33 為(0~1) 1
      延遲 2 秒
```

The image shows a block-based programming script for an ESP32 microcontroller. The script is organized into several sections: variable declarations, initialization, and a main loop. It uses a combination of purple, blue, green, and dark blue blocks. The main loop is enclosed in a purple '無限循環' (Infinite Loop) block. Inside the loop, it sets digital pin 33 to output mode (0), clears the LCD, outputs 'starting.....', and sends 'wait' via Bluetooth. A '重複' (Repeat) block with a '當' (When) condition '讀取數位腳位 36 = 0' (Read digital pin 36 = 0) contains the core logic: sending 'start', clearing the LCD, outputting 'send ready', setting pin 33 to output mode (1), and a 2-second delay.

聲音接收端程式

```
宣告 float 變數 v 為 0
宣告 String 變數 data 為 ''
宣告 float 變數 during_time 為 0
宣告 float 變數 end 為 0
宣告 float 變數 start 為 0

啟動
藍牙設備名稱 "receive" 連接到設備 "send"
ESP32 LCD 設定位置在 0x27 字元 16 行 2
從第 0 字元第 0 行輸出
LCD 輸出 "connect ready"
延遲 1 秒
無限循環
LCD 特效 背景清除
LCD 輸出 "starting....."
如果 藍牙是否有資料 執行
  變數 start 設為 執行時間
  變數 data 設為 讀取藍牙字串
  如果 data = "start" 執行
    延遲 10 毫秒
    重複 當 讀取數位腳位 36 = 0
    執行
    變數 end 設為 執行時間
    設定數位腳位 33 為(0-1) 1
    LCD 特效 背景清除
    變數 during_time 設為 end - start
    變數 v 設為 5000 + during_time
    從第 0 字元第 0 行輸出
    LCD 輸出 字串組合 "dt:" 字串組合 during_time "ms"
    從第 0 字元第 1 行輸出
    LCD 輸出 字串組合 "V:" 字串組合 v "m/s"
    延遲 10 秒
    設定數位腳位 33 為(0-1) 0
```

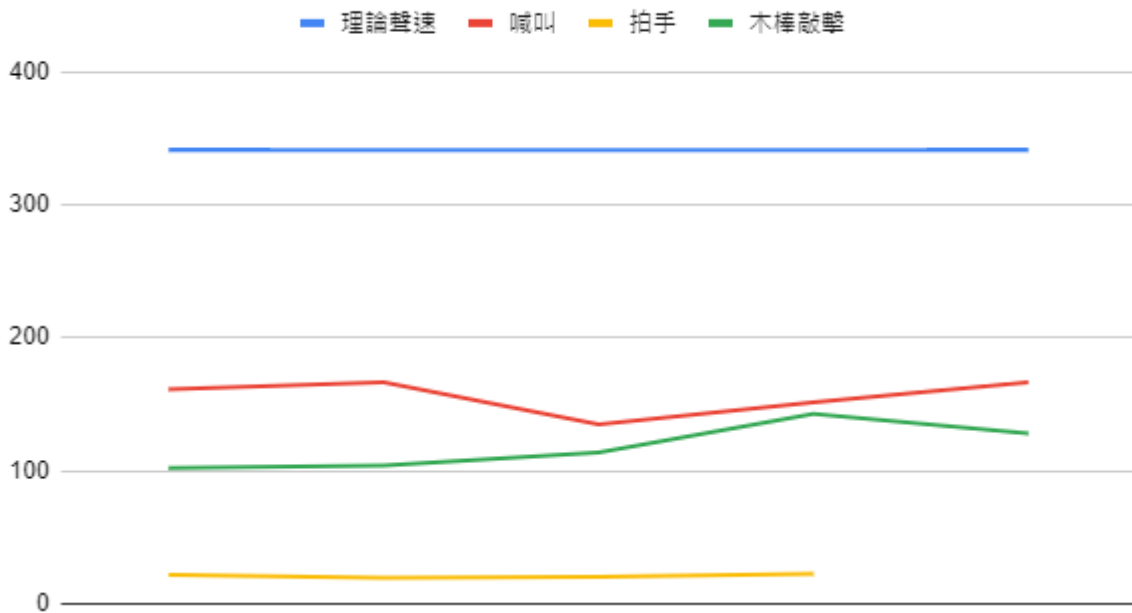
實驗結果:

實驗聲源：拍手			
環境氣溫	理論聲速	測量聲速	誤差
17°C	341.2 m/s	21.93 m/s	93.5%
17°C	341.2 m/s	19.38 m/s	94%
17°C	341.2 m/s	20.41 m/s	94%
17°C	341.2 m/s	22.73 m/s	93.3%

實驗聲源：啊一聲（由人喊叫）			
環境氣溫	理論聲速	測量聲速	誤差
17°C	341.2 m/s	161.29 m/s	52.7%
17°C	341.2 m/s	166.67 m/s	51.5%
17°C	341.2 m/s	135.1 m/s	60.4%
17°C	341.2 m/s	151.52 m/s	55.6%
17°C	341.2 m/s	166.67 m/s	51.2%

實驗聲源：木棒互相快速敲擊一次			
環境氣溫	理論聲速	測量聲速	誤差
17°C	341.2 m/s	102.04 m/s	70%
17°C	341.2 m/s	104.17 m/s	69%
17°C	341.2 m/s	113.64 m/s	66%
17°C	341.2 m/s	142.68 m/s	58%
17°C	341.2 m/s	128.21 m/s	62%

理論聲速、喊叫、拍手和木棒敲擊



實驗討論:

1. 實驗過程發現聲音傳感器的靈敏度調整會影響實驗的準確度。
2. 若是將聲音傳感器靈敏度調高，實驗過程會很容易受到環境噪音的干擾，而影響測量的精準度。
3. 實驗過程發現會有反射回音的干擾。
4. 發射器與接收器的距離太短，聲音間隔太短，不易測量。
5. 實驗的聲響若是震動發出聲音的時間太長，聲音容易重疊干擾。

實驗一結論:

1. 實驗的環境越安靜越好，才能避免環境噪音干擾實驗。
2. 實驗的環境要選擇空曠的場域，才能減少回聲干擾，例如學校操場
3. 實驗距離不要過短，建議10公尺較佳。
4. 實驗聲音建議使用兩木棒互相敲擊發出聲響，產生的聲音訊號較為集中。
5. 實驗數據與理論值相差甚遠，需要更深入探討誤差原因。
6. 此實驗儀器設計無法準確測得聲音的速度。

實驗設計二：看見聲音

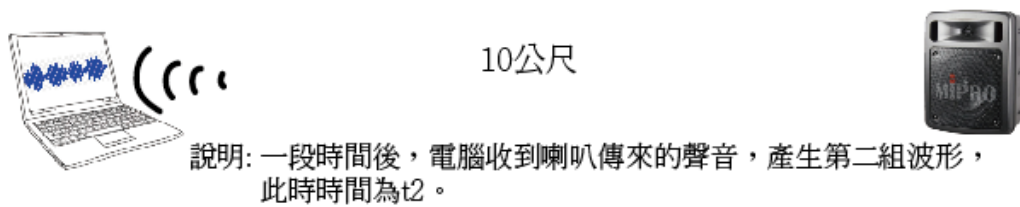
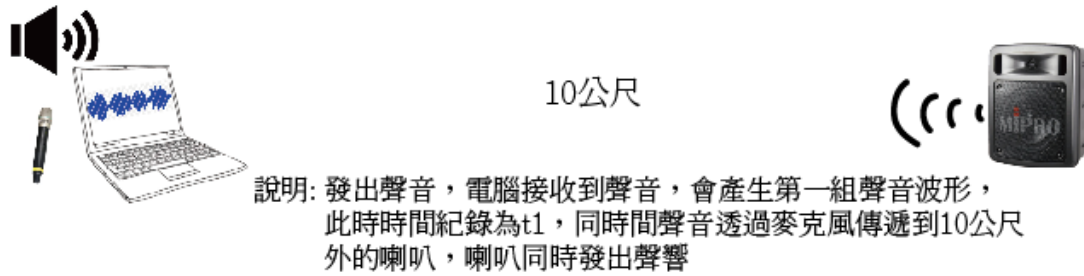
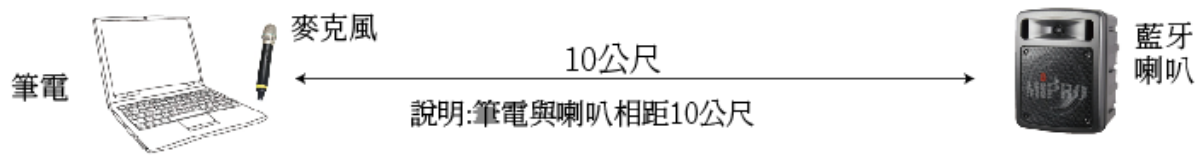
實驗設計動機說明:

實驗一的數據與理論值相差甚遠。本組想透過聲音錄音軟體Audacity來將聲音視覺化，藉此軟體來了解聲音傳遞過程的情形，透過聲音波形，來了解反射聲波對實驗干擾的情形，藉此用來修正實驗的設計。

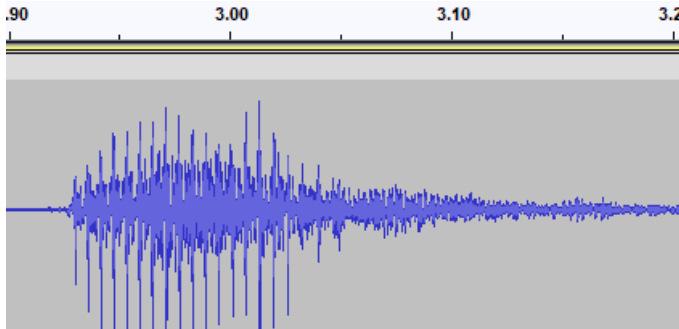
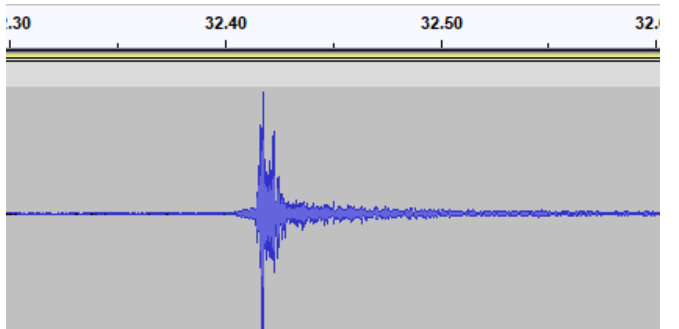
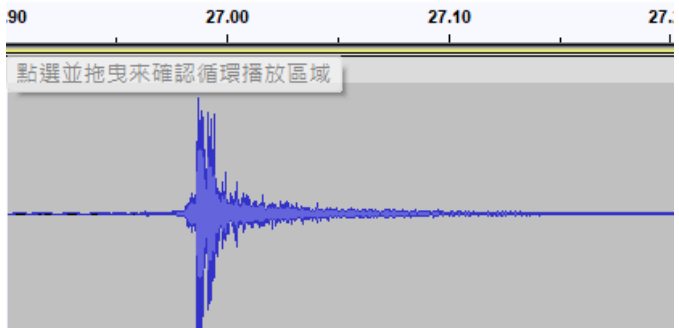
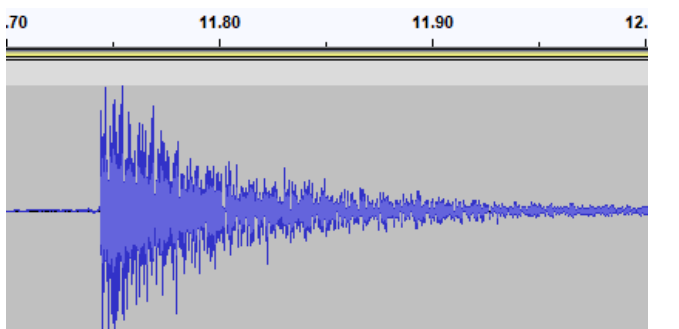
實驗步驟說明:

1. 電腦安裝聲音錄音軟體Audacity。
2. 電腦與麥克風在同一側，喇叭放在10公尺的另一側。
3. 當音源發出聲音時，電腦上會呈現一個聲音的波形。此時對應的時間就是聲音傳遞的起始時間 t_1 。
4. 聲音會透過麥克風傳遞到10公尺外的喇叭，聲響會由10公尺外的喇叭開始向電腦的方向傳遞。
5. 當電腦端收到傳遞過來的聲響時，會記錄到第二組聲音的波形，此波型對應的時間就是 t_2 。
6. 將 t_2-t_1 就是聲音傳遞10公尺所需的時間，即可利用此時間差計算出聲音的速度。

實驗步驟示意圖:



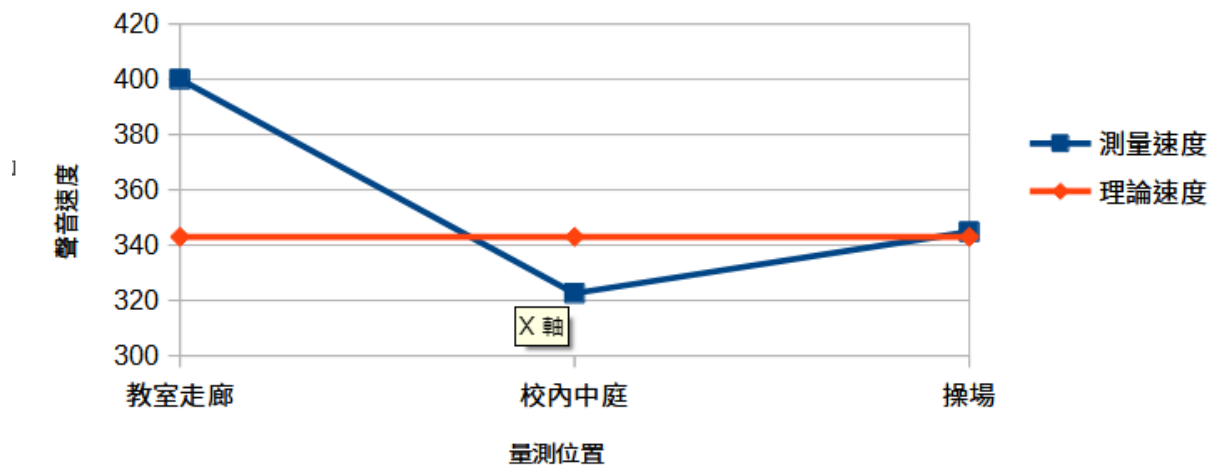
實驗結果:

<p>啊一聲波形</p> <p>聲響時間 70~90ms</p>	
<p>拍手聲音波形</p> <p>聲響時間 10~12ms</p>	
<p>木棒相互敲擊波形</p> <p>聲響時間 10~12ms</p>	<p>點選並拖曳來確認循環播放區域</p> 
<p>金屬棒相互敲擊波形</p> <p>聲響時間 80~100ms</p>	

實驗位置	t1	t2	時間差	距離	測量速度	理論速度	誤差	聲源
教室走廊	9.276s	9.301s	0.025s	10m	399m/s	343m/s	56.9%	木棒敲擊
校內中庭	6.302s	6.333s	0.031s	10m	322.5m/s	343m/s	-20.4%	木棒敲擊
操場	6.056s	6.085s	0.028s	10m	344.8m/s	343m/s	1.8%	木棒敲擊

看見聲音

用 Audacity 量測聲音的速度



實驗討論:

1. 實驗發現，拍手與木棒相互敲擊的聲音訊號最集中(10ms-12ms)，是最適合做為聲音測量的音源。
2. 根據實驗結果發現，適合作為聲音速度測量音源的分別為木棒相互敲擊聲→拍手聲→金屬棒相互敲擊→啊一聲。
3. 實驗地點應選在空曠處，可以減少因為回聲所造成的測量誤差。

實驗二結論:

1. 此方法可以較準確的測得聲音的速度，本組認為與筆電麥克風很靈敏有關，用筆電搭配Audacity錄音軟體，可以將聲音圖像化，任何細微的環境音都可以被準確的紀錄，透過聲音的波形，我們可以很準確地找出聲音傳遞的時間差，測得的聲音速度與理論值會非常接近。

2. 實驗時，要選在空曠處，可以避免回聲的干擾，本組發現在操場的實驗效果最佳。

實驗設計三：

結合實驗一與實驗二的實驗改良

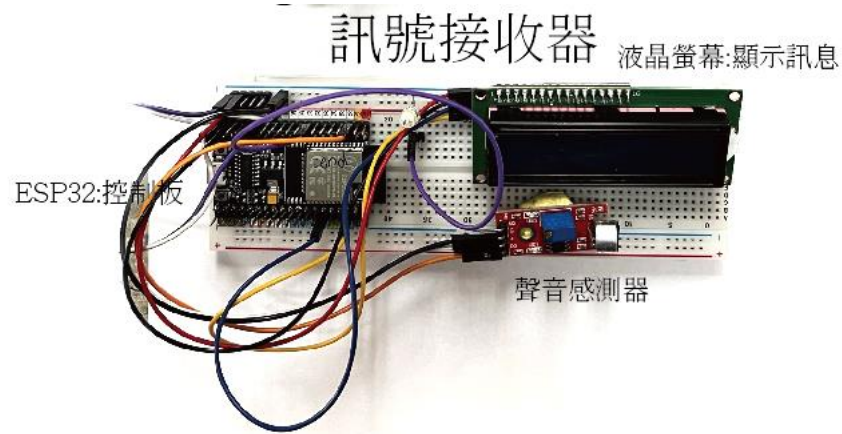
實驗設計說明:

實驗二大幅提高了實驗的準確性，可以從波形精準判斷聲音傳遞所需的時間，進而推算出聲音的速度，我們利用實驗二來改良實驗一，我們要利用自製測量儀器來自動記錄聲音傳遞的時間，來提升測量的精準度與便利性。

實驗步驟說明:

1. 製作一個聲音測量儀器
2. 聲音測量儀器與麥克風在同一側，喇叭放在10公尺的另一側。
3. 當音源發出聲音時，會啟動聲音測量儀器開始計時。
4. 聲音會透過麥克風傳遞到10公尺外的喇叭，聲響會由10公尺外的喇叭開始向聲音測量儀器的方向傳遞。
5. 當測量儀器收到傳遞過來的聲響時，會停止計時。即可計算出聲音傳遞的時間差。
6. 即可利用此時間差計算出聲音的速度。

實驗儀器設計:



```
#include <LiquidCrystal_I2C1.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C1 lcd(0x27, 16, 2);
```

```
float v = 123;  
float dt = 0;  
float end = 0;  
float start = 0;
```

```
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(36,INPUT);  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();  
}  
void loop()  
{  
  lcd.clear();  
  lcd.print("starting.....");  
  while ((digitalRead(36) == 0) {
```

```
}  
start = (millis());  
delay(10);  
while ((digitalRead(36)) == 0) {  
}  
end = (millis());  
dt = (end - start);  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print((String("dt :")+dt+String("ms")));  
lcd.setCursor(0, 1);  
v = 10000 / dt;  
lcd.print((String("v :")+v+String("m/s")));  
delay(10*1000);  
}
```


實驗步驟示意圖:

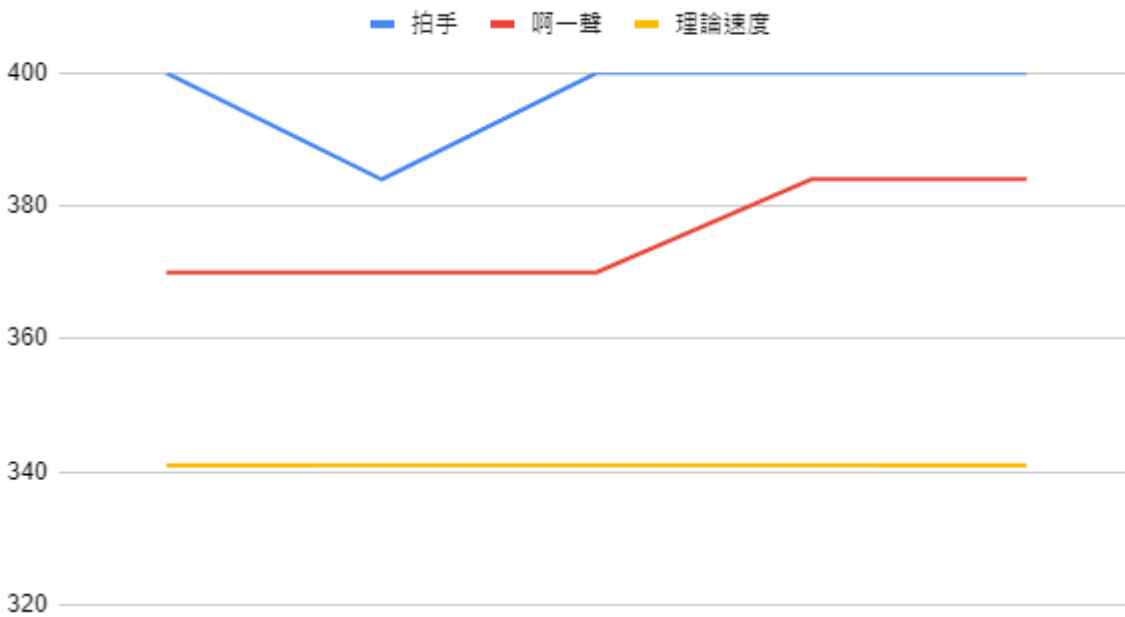


實驗結果:

實驗位置	時間差	距離	測量速度	理論速度	誤差	聲源
校內中庭	27ms	10m	370.3m/s	341.2m/s	8.54%	啊一聲
校內中庭	29ms	10m	344.8m/s	341.2m/s	1.06%	啊一聲
校內中庭	27ms	10m	370.3m/s	341.2m/s	8.54%	啊一聲
校內中庭	26ms	10m	384.6m/s	341.2m/s	12.7%	啊一聲
校內中庭	26ms	10m	384.6m/s	341.2m/s	12.7%	啊一聲

實驗位置	時間差	距離	測量速度	理論速度	誤差	聲源
校內中庭	25ms	10m	400m/s	341.2 m/s	17.2%	拍手
校內中庭	26ms	10m	384.6m/s	341.2 m/s	12.7%	拍手
校內中庭	25ms	10m	400m/s	341.2 m/s	17.2%	拍手
校內中庭	25ms	10m	400m/s	341.2 m/s	17.2%	拍手
校內中庭	25ms	10m	400m/s	341.2 m/s	17.23%	拍手

實驗三



實驗討論:

1. 實驗三是結合實驗一與實驗二的改良型實驗，目的是要用自製測量儀器取代筆電，但是實驗結果發現，誤差仍是很大。
2. 本組認為會有這麼大的誤差，主要是因為自製測量儀器麥克風靈敏度不及筆電的靈敏，因此測量的結果與理論值仍有很大差距。
3. 本組綜合上列實驗一、二、三發現，要有一個好的測量結果必須具備以下三個條件:
 - a. 空曠的場地，可以減少迴音干擾
 - b. 聲源發出的聲響時間越短越好，聲音才能有好的辨識度。
 - c. 聲音的偵測模組越靈敏越好。

實驗設計四：

用超音波測距模組來測量聲音的速度

實驗設計構想:

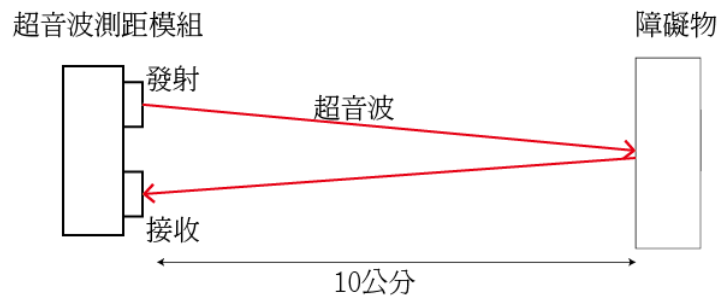
超音波測距模組有一個超聲波發射單元(trig)與超聲波接收單元(echo)，利用程式控制超聲波發射單發射超聲波，超聲波遇到障礙物後會反彈，當超聲波接收單元(echo)收到反彈回來的聲波後，就可以計算出超聲波去回所需的時間，再乘上聲音的速度，就可以計算出障礙物與超音波測距模組之間的距離。

我們可以先量測出超聲波測距模組與障礙物之間的距離，利用超聲波測距模組，可以測量出聲波與障礙物之間，聲波去回的時間，如此一來，就可以計算出聲音的速。

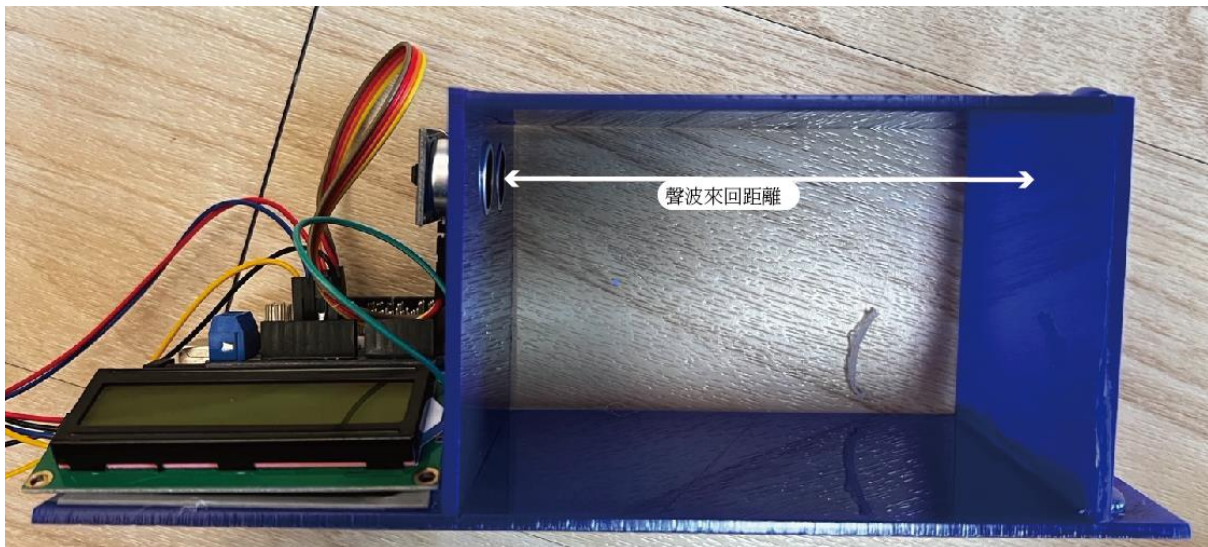
實驗步驟說明:

1. 製作一個超聲波測距儀。
2. 超聲波測距模組與障礙物固定 10 公分距離。
3. 偵測聲波來回 20 公分所需時間，即可求出聲音速度。

實驗步驟示意圖:



實驗儀器設計:



儀器程式碼:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
int during_time ;
float v ;

// 此函式可以求出超聲波來回12.9公分距離的單趟時間
float getduringtime(int trig, int echo) {
    digitalWrite(trig, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig, LOW);
    pinMode(echo, INPUT);
    return pulseIn(echo, HIGH) / 2;
}

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(11, OUTPUT); // trig 11 號腳位
    pinMode(10, INPUT); // echo 10號腳位
    lcd.begin(16, 2);
}

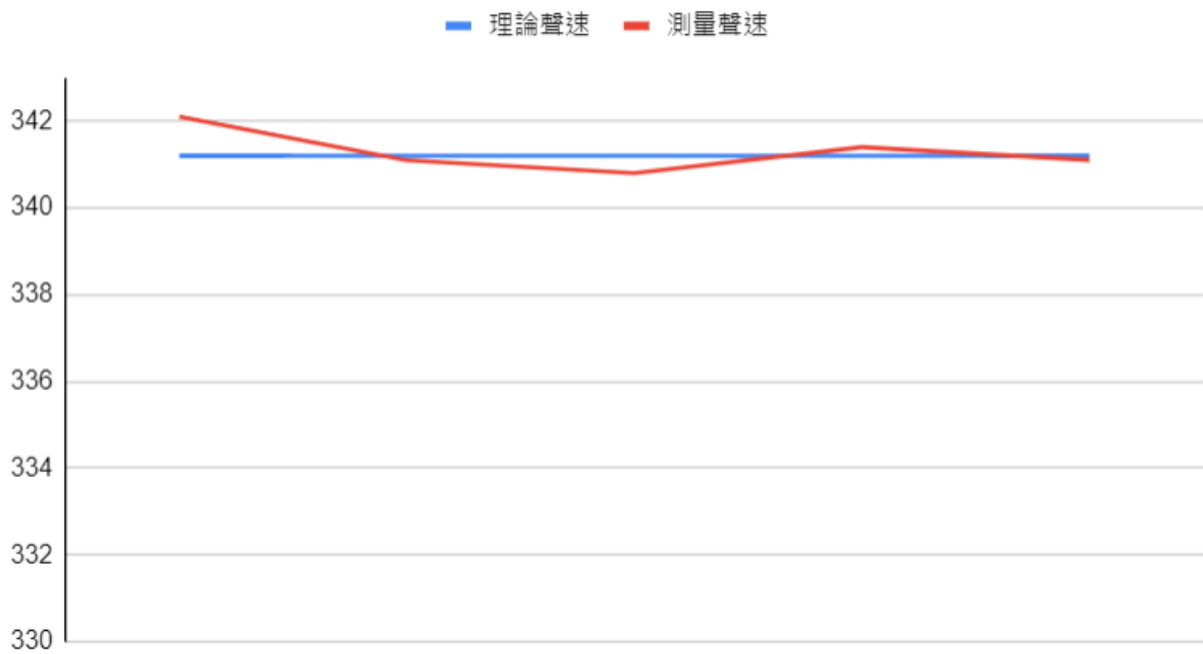
void loop()
{
    // 反覆偵測10次時間，求平均
    for (int count = 0; count < 10; count++) {
        during_time = during_time + getduringtime(11, 10) ;
        delay(100);
    }
}
```

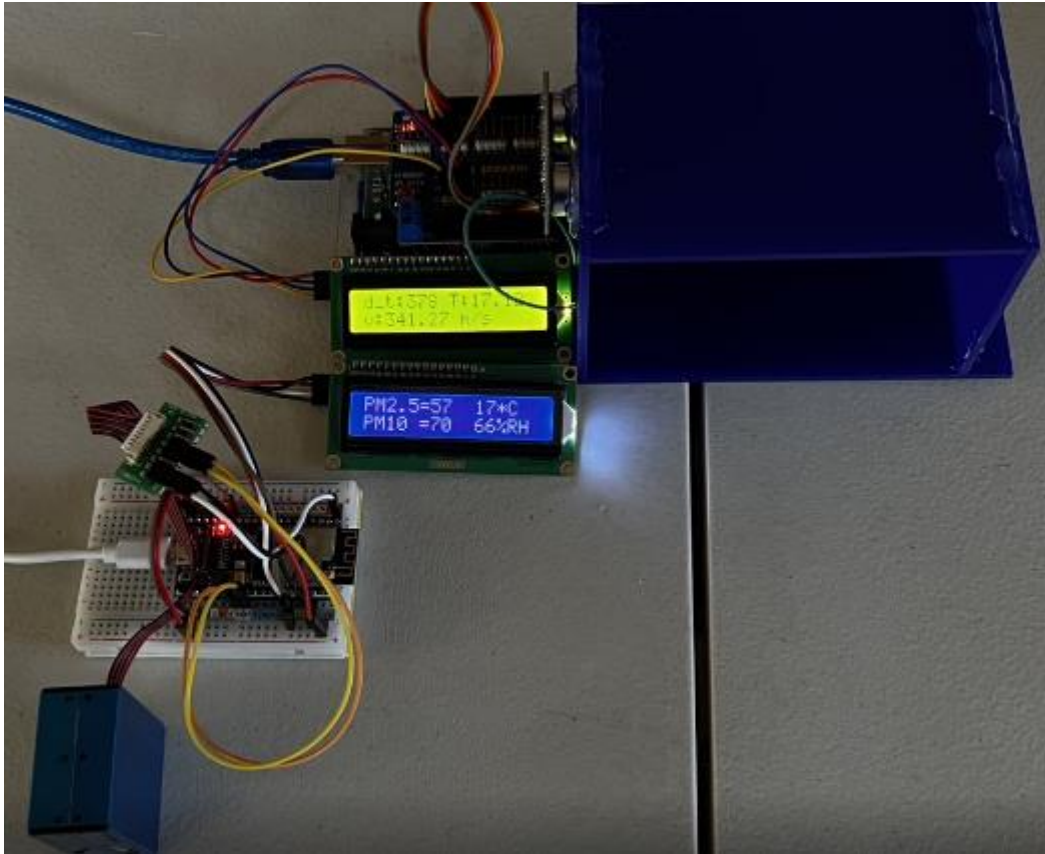
```
}  
during_time = during_time / 10 ;  
//24攝氏度 345.4m/s during_time = 374 ; 偵測距離 d = 345.4 * 374 = 12.9 cm  
v = 11.6 * 10000 / during_time ;  
lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("d_t:");  
lcd.setCursor(4, 0); lcd.print(during_time);  
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("v:");  
lcd.setCursor(2, 1); lcd.print(v);  
lcd.setCursor(9, 1); lcd.print("m/s");  
lcd.setCursor(8, 0); lcd.print("T:");  
float T = ( v - 331 ) / 0.6 ;  
lcd.setCursor(10, 0);lcd.print(T);  
}
```

實驗結果:

實驗聲源：超音波測距模組			
環境氣溫	理論聲速	測量聲速	誤差
17°C	341.2 m/s	342.1 m/s	0.2%
17°C	341.2 m/s	341.1 m/s	0.02%
17°C	341.2 m/s	340.8 m/s	0.11%
17°C	341.2 m/s	341.4 m/s	0.05%
17°C	341.2 m/s	341.1 m/s	0.02%

超音波測距模組_理論聲速和測量聲速





實驗討論:

1. 由上圖的測量結果得知，本組設計的超音波聲速偵測儀，偵測到聲音的速度為341.27m/s，換算成當時的溫度約為17.12°C。
2. 本組用空氣品質偵測模組(攀藤PMS5003)所偵測到的室溫是17°C。
3. 比對兩個不同儀器所偵測的空氣溫度非常接近，誤差都在1%以內。
4. 本組在實際測量操作中發現，由於聲音的速度相對很快，所以非常微小的距離改變對於整個測量的結果會有很大的影響，因此本組將超聲波行進的路線固定。
5. 本組將超聲波行進的範圍做成一個固定形狀的矩形，這樣就可以讓超聲波行進的距離固定，降低測量的不準確性。
6. 此模組只要12公分的距離即可測量聲音的速度，並且可以由測得的聲音速度來計算出當時空氣的溫度。
7. 此實驗模組可以在很小範圍精準測量聲音速度，並且可以由聲音速度計算出空氣的溫度，此實驗模組值得推廣在教學實驗上。

結論

1. 測量聲音速度時，實驗地點須選在空曠處，避免回聲干擾實驗結果。
2. 測量聲音速度的聲源，發聲時間要越短越好，建議使用木棒相互敲擊作為音源。
3. 依據本組的實驗結果，使用筆電搭配錄音軟體Audacity，測量到的聲音速度最接近理論值。
4. 本組實驗一與實驗三所設計的儀器，受限於麥克風的靈敏度影響，因此無法準確測出聲音在空氣中的速度。
5. 本組在實驗四中，使用超音波測距模組來測量聲音的速度，準確度非常高。此儀器可以在短距離內完成聲音速度的量測，並且可以利用量測到的聲音速度，來計算出當時環境的溫度。
6. 依據本組的實驗結果，若是要做聲音速度的實驗，本組建議採用的方法是超音波測距模組或筆電搭配錄音軟體Audacity。
7. 運用超音波測距模組來做聲音速度的測量實驗，可以用極短距離完成實驗，可以有很高的準確度，更可以讓學生了解，如何將測距用途的模組應用在聲音速度測量的實驗。
8. 筆電搭配錄音軟體Audacity來測量聲音速度，可以透過錄音軟體將聲音視覺化，讓學生可以透過聲音波形的紀錄，清楚了解聲音傳遞的時間差，讓學生可以清楚了解聲音速度計算的實驗方法。
9. 建議可以讓學生先用筆電搭配錄音軟體Audacity來測量聲音速度，透過錄音軟體的波形呈現，讓學生清楚了解聲音速度測量的方法，再運用超音波測距模組來做聲音速度的測量實驗讓學生了解，可以將測距用途的模組應用在聲音速度測量的實驗。
10. 本組的實驗報告可以讓學習者了解科技如何應用在科學實驗。用科技設備來提升實驗的便利性、準確性與創意性。

未來展望

1. 本組會繼續找尋靈敏度更好的聲音感測模組來改良實驗一與實驗三的實驗裝置。
2. 本組將繼續研究在液體與固體中測量聲音速度的裝置與方法。。