

投稿類別：工程技術類

篇名：
超音波懸浮

作者：
曾柏凱。臺北市立大安高工。電子三乙
林祈均。臺北市立大安高工。電子三乙
詹沐恩。臺北市立大安高工。電子三乙

指導老師：
林家德老師

壹、前言

一、研究動機

我們本身就讀電子科，且都是熱愛音樂的人，常常會追蹤電子產業相關訊息。且有時會思考我們所學的樂器：小號、吉他、薩克斯風……的原理——駐波。偶然在網路上看到超音波懸浮的影片時，我們覺得十分特別。這項裝置和我們常接觸的理論息息相關，特別是因為其原理和駐波有關。我們想藉由這篇論文探討駐波對超音波懸浮裝置的影響，以及超音波之延伸應用，提升科技發展技術並降低意外風險。

二、研究目的

- (一) 了解超音波懸浮裝置原理。
- (二) 探討超音波懸浮之應用延伸。

三、研究方法

- (一) 文獻研究法：透過上網查詢超音波懸浮原理，得知其懸浮原理；並藉由書籍資料分析駐波之於超音波懸浮的影響。
- (二) 實證研究法：透過自製超音波懸浮裝置，證明此裝置得以作用，以及超音波懸浮裝置如何使保麗龍球、小鋁箔紙漂浮。
- (三) 觀察法：移動超音波懸浮裝置並觀察物體是否能跟隨裝置移動，若懸浮物體能跟隨裝置移動，若懸浮物體不能跟隨裝置移動，則觀察懸浮單件物體與懸浮多件物體之差異。

四、研究流程

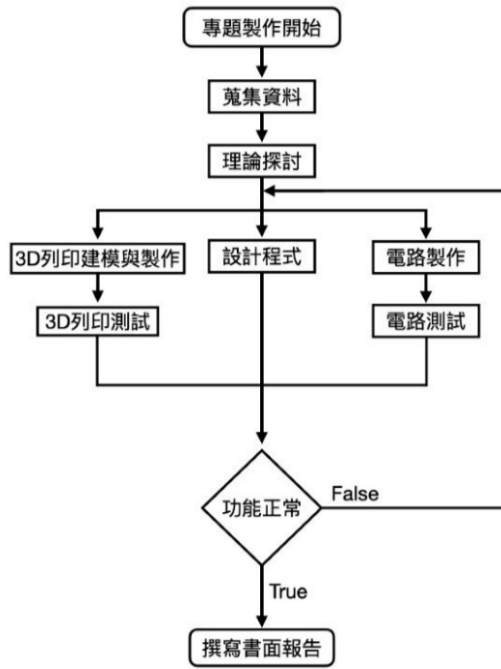


圖 1 研究流程（資料來源：自行製作）

貳、正文

一、系統架構圖

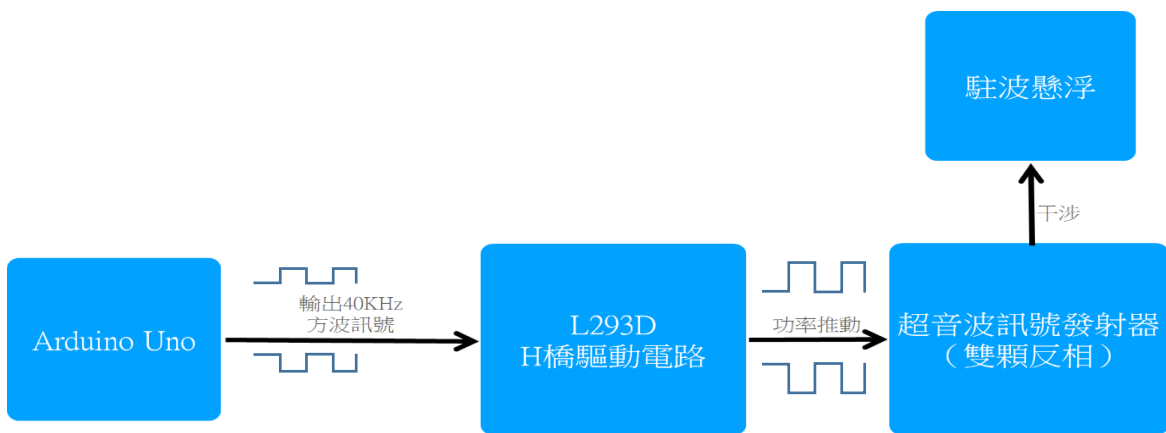


圖 2 系統架構圖（資料來源：自行製作）

二、認識駐波

(一) 當入射波遇到固定端時會以反相波傳回，當入射波、反射波 2 個波形重疊（干涉）後的合成波就會形成駐波（standing wave）。

- 1、駐波是由兩個振幅相同、頻率相同，但行進方向相反的波動形成。
- 2、駐波上的每一個質點皆作簡諧運動。
- 3、各質點振盪的幅度不相等，振幅為零的點稱為節點或波節（Node），振幅最大的點位於兩節點之間，稱為腹點或波腹（Antinode）。
- 4、相鄰兩波節的距離稱為半波長。共振管長度 $L = n \frac{\lambda}{2}$ ， $n=1, 2, 3, \dots$ 為波段數。

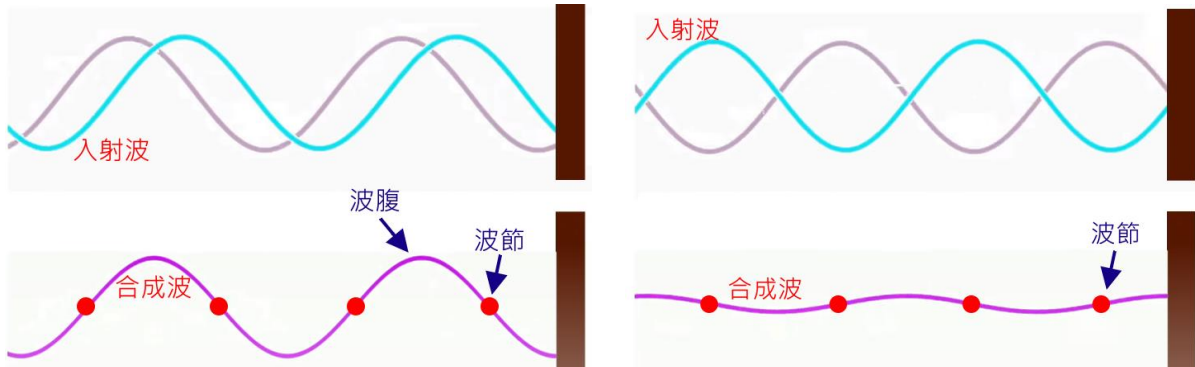


圖 3 駐波（資料來源：通訊博物館，2019）

駐波波形無法前進，且兩駐波將於半波長處產生節點，而節點為兩波形交會處為波形最穩定處。因此我們運用 Arduino Uno 開發板輸出 40KHz 訊號，並經由 L293D 產生功率，讓兩個超音波訊號產生器發出反相訊號，並調整 3D 列印出的支架，使其距離調整至半波長，以產生駐波，讓物體停留在壓力最小的節點上以達到懸浮效果。

三、裝置運作

（一）相關知識

1、Arduino Uno 開發板

Arduino Uno 以 ATmega328P 做為核心，板上配有 14 個數位輸入／輸出接腳（其中兩隻可作為 TX、RX 溝通）、6 個類比輸入、16 MHz 石英晶體、電源插孔、USB 連接孔及重置按鈕，如圖 4。

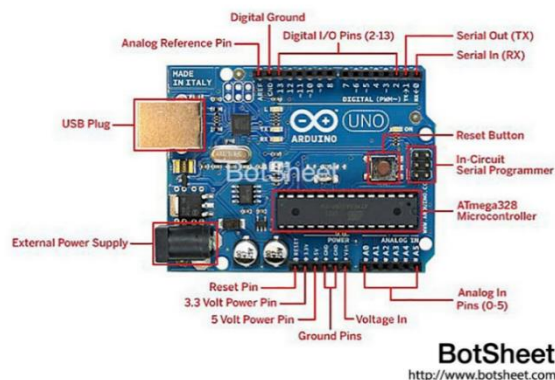


圖 4 Arduino Uno 開發板（資料來源：BotSheet.com）

2、超音波發射器

我們使用 40T-16，因為其所能發射出的頻率為 40KHz 且具高靈敏度，以及品質穩定。



圖 5 40T-16 零件圖（資料來源：勝特力電子零件材料公司）

3、L293D H 橋驅動電路

我們採用 L293D 來推動超音波發射器，目的是為了避免開發板電流無法推動，也防止裝置電流過大而燒毀開發板。

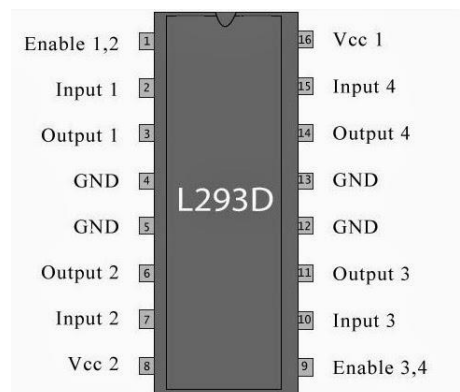


圖 6 L293D 腳位功能圖（資料來源：天花板隨記 blog）

（二）裝置程式碼

配合原理說明，本論文主要撰寫讓 Arduino Uno 以計時中斷的方式產生 40KHz 訊號。採用埠暫存器的寫法，讓埠 C 的 6 個腳位（A0~A5）能同時產生 40KHz 訊號，且相鄰兩腳間的訊號為反相，程式碼如下。

```

1 byte TP = 0b10101010; // 每一隻腳都可接收到反向訊號
2 void setup() {
3   DDRC = 0b11111111; // 使用到PORT C，故每個類比腳(A0~A5)都設為輸出
4   // 初始化計時器1
5   noInterrupts(); // 設定前先禁止中斷
6   TCCR1A = 0; // 設為一般用途Timer
7   TCCR1B = 0;
8   TCNT1 = 0;
9   OCR1A = 200; // 設定比較暫存器(16MHz / 200 = 80kHz square wave -> 40kHz full wave)
10  TCCR1B |= (1 << WGM12); // CTC模式
11  TCCR1B |= (1 << CS10); // 設定預除器為 1 ==> no prescaling
12  TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // 致能比較計時器中斷
13  interrupts(); // 致能中斷
14 }
15 // 中斷服務
16 ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
17   PORTC = TP; // 輸出TP值至PORT C(A0~A5)
18   TP = ~TP; // TP取補數，等待下次中斷時使用
19 }
20 void loop() {
21   // 不做任何事
22 }

```

圖 7 Arduino 程式碼（資料來源：自行製作）

四、裝置製作

（一）3D 列印裝置

- 1、首先搜尋 Thingiverse 上有關” Ultrasonic Levitator” 相關的 3D 專案，我們使用了 MakerBot 的 3D 檔，依據其建議使用 cura 將.stl 檔轉成.gcode 檔，如圖 8 所示，最後使用學校的 3D 列印機輸出成果。

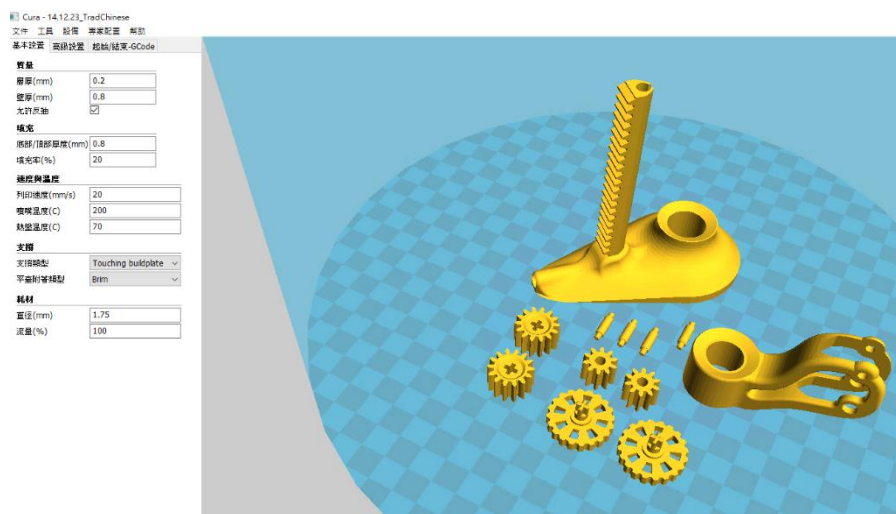


圖 8 使用 cura 將.stl 檔轉成.gcode
（資料來源：自行製作）

超音波懸浮

2、列印組裝圖，如圖 9 所示

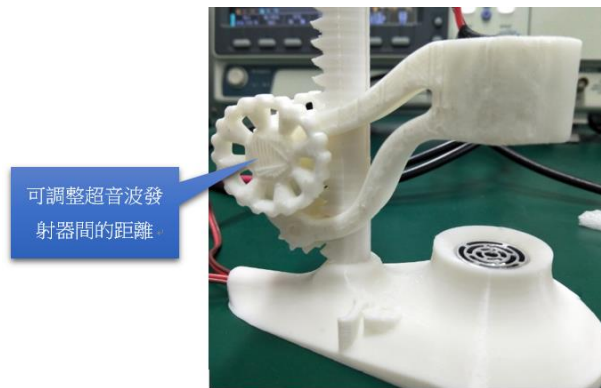


圖 9 組裝圖（資料來源：自行製作）

(二) 電路圖

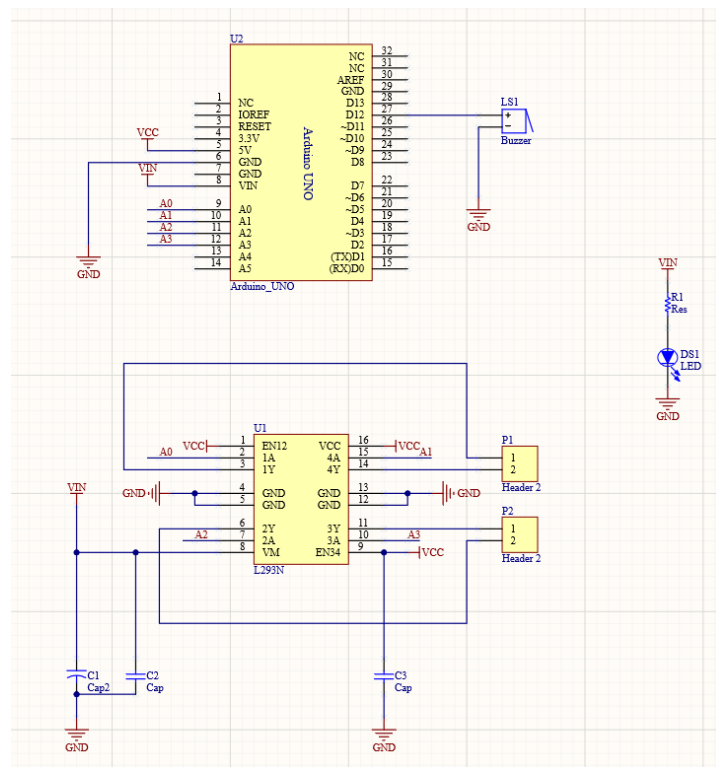


圖 10 超音波懸浮電路圖（資料來源：自行製作）

(三) 電路板之佈線

1、使用 Altium Designer 佈線及鋪銅，如圖 11。

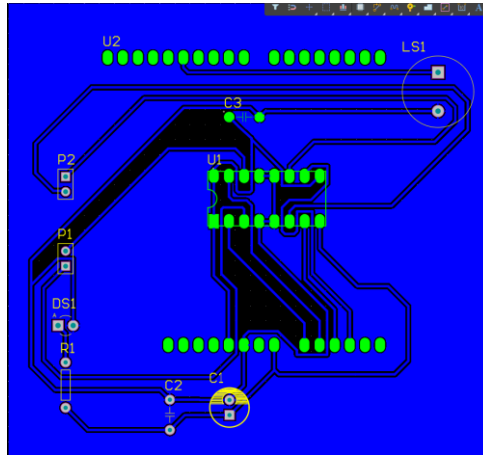


圖 11 電路板佈線圖（資料來源：自行製作）

2、將影印稿輸出後，覆蓋於單面印刷電路版上曝光，並放入顯影劑水溶液中顯影，最後放入蝕刻機蝕刻，鑽孔焊接完成電路板。

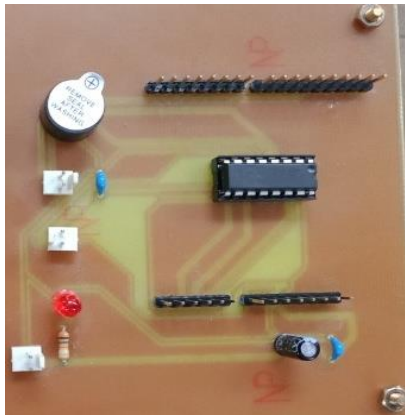


圖 12 焊接面（自行製作）

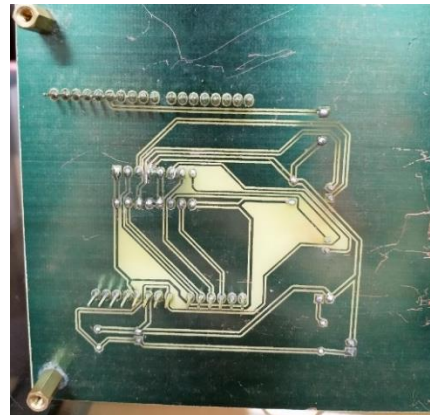


圖 13 零件面（自行製作）

3、結合 3D 列印後成果如圖 14。

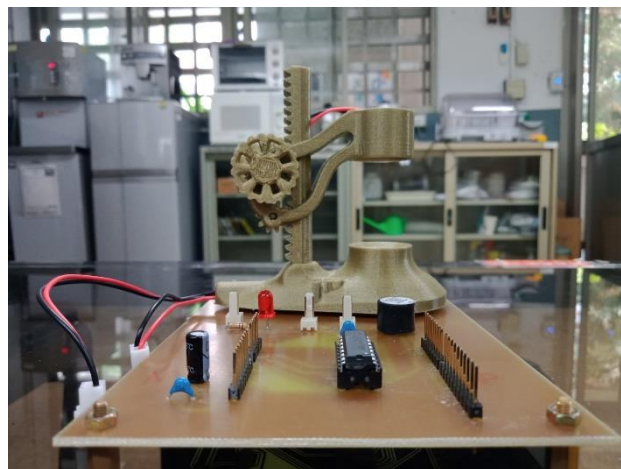


圖 14 自行製作的電路板成品（自行製作）

五、超音波懸浮成果測試

- (一) 接上電源。
- (二) 使用鑷子夾取保麗龍球，放在超音波懸浮的超音波發射器間，試試可否在某處懸停。
- (三) 等懸停後可繼續放第 2、3 或更多顆。
- (四) 討論測量可懸停的保麗龍球間的距離為多少 mm。接著進行底下計算，驗證此距離（半波長）是否正確？實驗證實，兩個保麗龍球間的距離約 4.3mm，正是波長的一半，結果非常正確；波長的計算如下：
 - 1、假設溫度 $T=25^{\circ}\text{C}$ 。
 - 2、計算聲音傳播速度 $C=331+0.6T=346\text{ m/s}$ 。
 - 3、 $C=f\times\lambda$ ，超音波 $f=40\text{kHz}$ ，故波長=8.65mm。

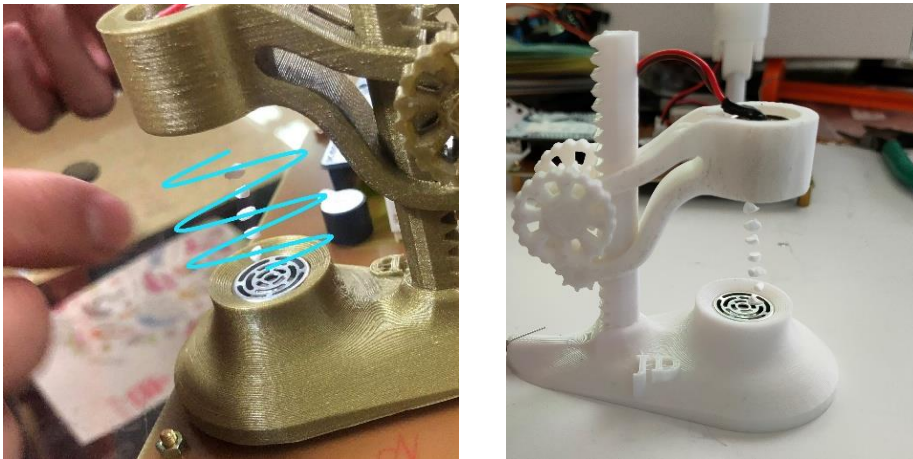


圖 15 實際測試保麗龍球間懸停的距離（自行製作）

六、超音波懸浮之延伸應用

- (一) 夾持小型電子元件：隨著科技日新月異，許多電子零件體積愈做愈小，我們在工場焊接時，常將小型的零件遺失，若能將超音波懸浮技術應用於工廠實習，便可將多個小型電子零件懸浮於裝置間，即能降低小型電子零件遺失的風險，且每個零件都將懸浮在節點上，就能清楚的看見每個零件一一陳列於裝置間。

- (二) 晶圓等易毀損物之運輸：「晶圓與面板容易在運送過程中，與夾持具或載具的磨擦而產生刮痕，造成不良品的產生，而使產能及效率下降。」(行政院國家科學委員會補助專題研究計畫，95)，此時便可藉由超音波懸浮裝置懸浮晶圓以減少摩擦，使不良品產生率降低。
- (三) 取代光鉗：光鉗是運用光線輻射壓控制及微小物體（如細胞）來達成所想之動作，但使用超音波則不會有輻射線對人體造成傷害。
- (四) 生物觀察研究：生物若不借助外力，無法克服地心引力之影響。透過超音波懸浮功能將生物懸浮在裝置中，藉此能觀察生物在微重力的環境下進行活動，觀察及研究生物的全貌等。

參、結論

- 一、運用能量會被限制在駐波節點的特性，讓物體可懸浮在裝置中。
- 二、藉由 L293D 產生功率推動超音波產生器，我們可推估輸出功率越大，可推動物體質量越大。
- 三、藉由此項裝置，可在未來發展更加自動化的技術，並可降低對人體或商品的損害，是具有潛力的一項技術。

肆、引註資料

- 一、Condruittoma (2019)。Ultrasonic Levitator Support。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://www.thingiverse.com/thing:3913290>
- 二、Ulrich Schmerold (2018)。Micro Ultrasonic Levitator。2020 年 10 月 13 日，取自 <https://makezine.com/projects/micro-ultrasonic-levitator/>
- 三、CEILING TSAI (2014)。Raspberry Pi 筆記 (7)：使用 L293D 驅動馬達。2020 年 10 月 11 日，取自 <https://atceiling.blogspot.com/2014/02/raspberry-pi-l293d.html>
- 四、蔡坤憲 (2017)。你知道亞得里亞海岸旁的「海風琴」嗎？2020 年 10 月 11 日，取自 https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article_detail.php?classify=c3&cid=283

- 五、 通訊博物館。2020 年 10 月 9 日，取自
http://www.cmm.gov.mo/chi/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_11_0_StandingWave.html
- 六、 非接觸式高精密平台之設計與控制應用：行政院國家科學委員會補助專題研究計畫。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://reurl.cc/m9xa8l>
- 七、 勝特力電子零件材料公司 40T/R-16 DataSheet 。2020 年 10 月 12 日，取自
http://images.100y.com.tw/pdf_file/40TR-16.pdf
- 八、 陳錫桓（1982）。**熱學，聲學**。臺北市：中央圖書出版社。