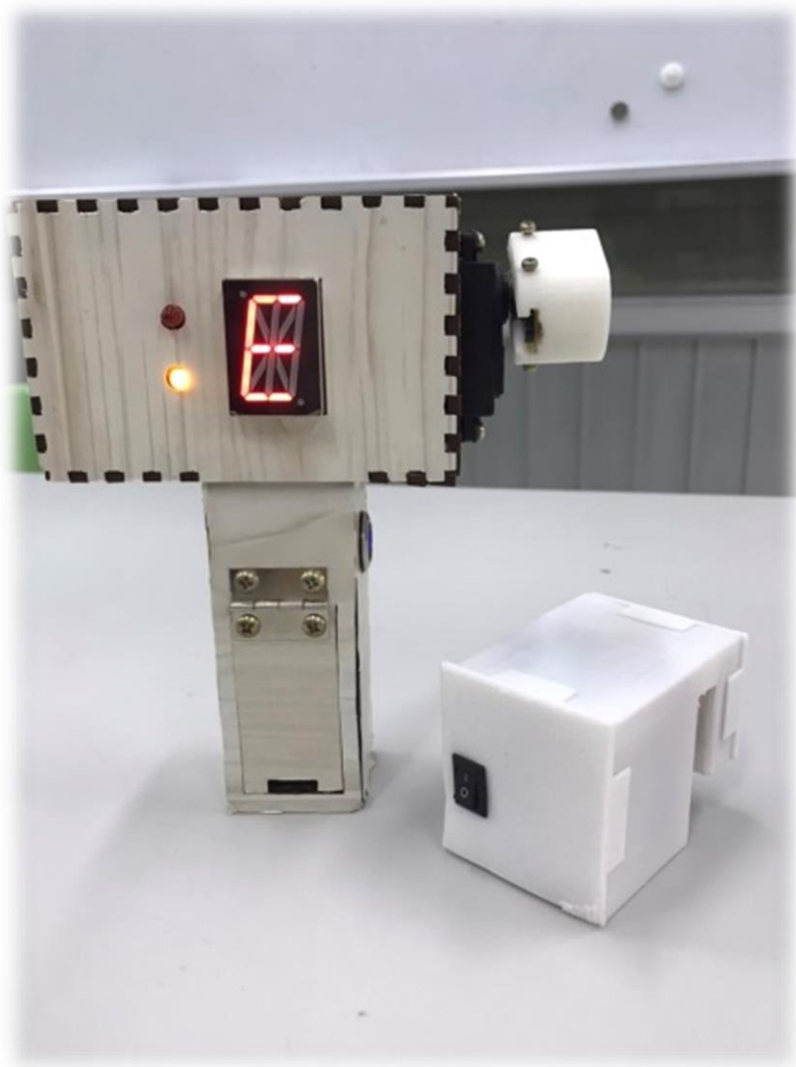


全國高級中等學校專業群科 110 年專題及創意製作競賽

「專題組」作品說明書



群別：電機與電子群

作品名稱：超神調音器

關鍵詞：吉他、自動調音

目錄

壹、摘要	1
貳、研究動機	2
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明	3
一、硬體製作	3
二、電路設計	4
三、電路雕刻	4
四、程式撰寫	5
五、特殊電機	5
肆、研究方法	6
一、研究流程	6
(一)、研究步驟	6
(二)、操作步驟	6
二、使用材料及工具	7
(一)、零件介紹	7
(二)、軟體介紹	11
伍、研究結果	14
一、收音端	14
(一)、收音端外殼	14
(二)、麥克風	14
(三)、收音端程式	15
(四)、無線通訊	15
二、控制端	15
(一)、控制端外殼	15
(二)、弦鈕扣	16
(三)、控制端程式	16
(四)、顯示器與指示燈	16
三、成果展示	17
陸、討論	18
一、零件選用	18
二、材質選用	18
三、馬達控制	18
四、弦鈕扣設計	18
五、穩定精度	19
六、音頻判斷程式	19
柒、結論	20
捌、參考資料及其他	21

圖目錄

圖 1 調音示意圖.....	2
圖 2 Onshape 設計圖.....	3
圖 3 AutoCAD 設計圖	3
圖 4 比較器設計圖.....	4
圖 5 電路板設計.....	4
圖 6 電路板成品.....	4
圖 7 程式撰寫.....	5
圖 8 伺服馬達應用.....	5
圖 9 研究步驟.....	6
圖 10 MG996R	7
圖 11 HC-12.....	8
圖 12 LM358.....	8
圖 13 MAX4466	9
圖 14 微調可變電阻.....	9
圖 15 ATmega328 微控制器	10
圖 16 十六段顯示器.....	10
圖 17 Arduino logo	11
圖 18 Arduino 程式撰寫	11
圖 19 Onshape logo	12
圖 20 3D 列印及實體.....	12
圖 21 Altium Designer logo.....	12
圖 22 電路圖及電路板設計.....	13
圖 23 電路板雕刻與實體.....	13
圖 24 AutoCAD logo	13
圖 25 收音端外殼實體.....	14
圖 26 比較器電路.....	14
圖 27 控制端外殼實體.....	15
圖 28 暗槽設計.....	16
圖 29 固定用螺絲.....	16
圖 30 顯示器與指示燈.....	17
圖 31 顯示器卡諾圖.....	17
圖 32 指示燈電路.....	17
圖 33 成品展示.....	17
圖 34 調音器操作.....	17

表目錄

表 1 專題時間分配.....	6
表 2 MG996R 規格	7
表 3 HC12 規格	8
表 4 LM358 規格.....	8
表 5 MAX4466 規格	9
表 6 ATmega328 規格	10

【超神調音器】

壹、摘要

本專題希望能做出一台精準、到哪都能輕鬆調音，且能自動偵測目前正在調音的吉他弦，並快速輕鬆將弦自動轉到準確音高的調音器。

此調音器分為收音端和手持調音端(控制端)兩個部分。收音端的麥克風感測到撥弦聲之後經由比較器電路將數值送至單晶片，並透過內部演算法得到頻率值，接著由音頻高低判斷該將弦調高或調低，將正反轉信號透過無線傳輸模組傳給控制端完成調音流程。收音端放置在吉他音箱，因此大幅減少外部干擾，而夾式設計也解決了手機調音器沒位置放的困擾。手持端的顯示器能夠告知使用者當下的音高和馬達調音的狀態。由於設計為能夠自動偵測並自動調音的機器，因此使用者只須要按下電源鍵之後撥弦，便能調至準確的音高。

比起傳統調音器以及手機 APP 需要一邊盯著螢幕，一邊撥弦，一邊轉弦鈕，超神調音器不但操作步驟更加簡單，且精密的演算法讓誤差範圍更為縮小。結構材質則選用 3D 列印的 PLA 線材以及木板，因此本專題能夠以便宜的成本，製作出方便、高品質的調音器。

貳、研究動機

身為一個熱愛吉他的人，在表演時希望能呈現給觀眾最動聽的音樂，而一首動人的曲目除了要有美妙的旋律、精準的節奏...等因素外，音準更是首要的條件，若彈出的音不準往往會造成觀眾無法感受到演奏者想傳達的感受。因此，彈奏前需要幫吉他做一件非常重要的事——「調音」，讓每條弦在各自的音準上。

調音器主要分為夾式以及手機兩種，現在大部分都使用手機調音器，但是手機調音器充滿著許多缺點，像是需要有一個空間放置(如圖 1)，而且不能距離吉他太遠，手機的收音非常容易受外界干擾，倘若身處在一個充滿著雜音的地方，像是練團室、戶外等空間，便成了冬扇夏爐，毫無用處。

而對於剛接觸吉他的人們，調音是一件非常困難的事，初學者常常因為不知道每條弦的音高，發生轉過頭而斷弦的慘劇。因此為了方便樂手，讓擁有一個搖滾巨星夢想的人不會因為調音這件小事而放棄前途，讓我們有了做自動調音器的想法。



圖 1 調音示意圖

參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

一、硬體製作

在高三的專題製作實習中我們學會了 3D 列印以及雷射切割，而我們使用了 Onshape 繪製收音端外殼及吉他的弦鈕扣(如圖 2)，並用 3D 列印將實體呈現出來。弦鈕扣使用暗槽的設計，能與馬達做緊密的接合，增加機械強度。3D 列印不僅輕鬆地完成了我們結構較為複雜的印體機構，而且所用到的 PLA 線材輕巧方便。而手持握把端我們使用了 AutoCAD 來設計(如圖 3)，並將圖片透過 RDworks 轉檔，使用雷射切割將木板切成我們設計的握把。硬體製作除了美觀之外，還有效的保護了內部電路。

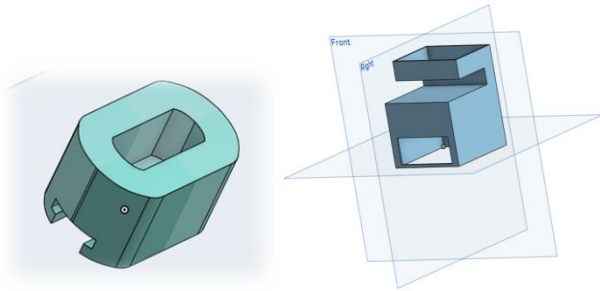


圖 2 Onshape 設計圖

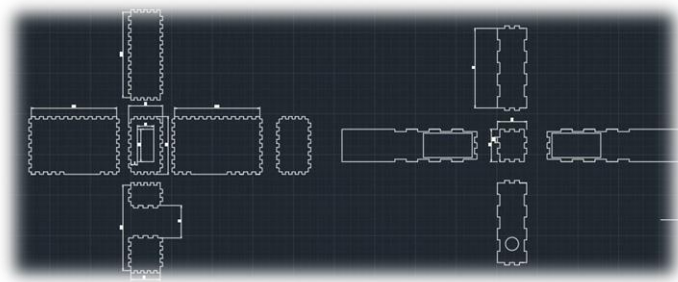


圖 3 AutoCAD 設計圖

二、電路設計

在高二的電子學課程中，學到了運算放大器(OPA)的原理。我們決定藉此來設計此專題最重要的部分，也就是音頻感測電路。圖 4 為我們使用比較器設計的電路圖，藉由可變電阻調整直流準位能夠讓收音端的麥克風濾掉更多雜訊，收到更清晰的吉他聲，OPA 能夠將輸入聲音波形轉換成高、低態訊號供程式讀取，也提高了感測電路的精準度。

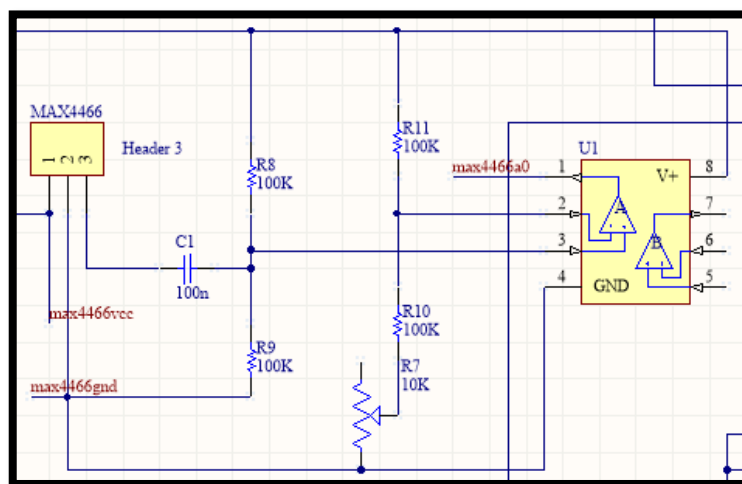


圖 4 比較器設計圖

三、電路雕刻

高二的電子學實習課中介紹了如何繪製及雕刻電路板，我們使用 Altium Designer 來繪製設計的收音端及控制端電路圖，並轉為 PCB 版電路(如圖 5)，最後透過電路板雕刻機將電路刻出來(如圖 6)，相較於麵包板接線，電路雕刻能夠在更小的空間塞下更多的元件，進而縮小電路體積，讓我們的成品更加小巧、方便。

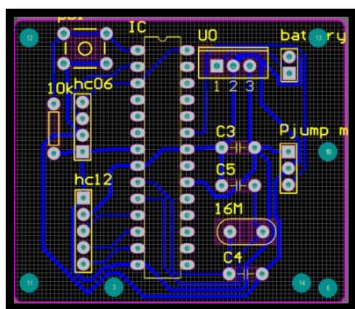


圖 5 電路板設計

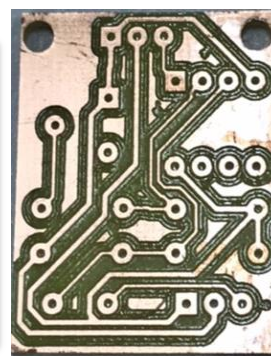
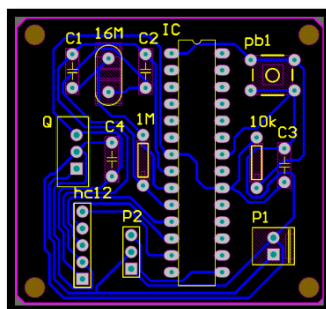


圖 6 電路板成品

四、程式撰寫

高三的微處理機控制實習讓我們對程式語言有了基本的掌握，我們決定使用 Arduino 來撰寫程式。結合高二所學的數位邏輯，幫助我們寫出了計算音頻的演算法以及馬達的控制程式(如圖 7)，並利用卡諾圖來設計十六段顯示器顯示目前的音高，最後將所撰寫的程式燒錄至控制晶片內，讓調音器順利運作。

```
void loop() {  
  int i=0;  
  if (cmd[1] == 255) {myServo.write(90);}  
  
  // send message from bluetooth  
  if ((strlen(cmd)-strlen(cmd)-1)>0) {  
    for (int i=0; i<2; i++) {  
      cmd[i] = (cmd[i+1]-48);  
      Serial.print(cmd[i]);  
      Serial.print("\n");  
    }  
  }  
  
  if (cmd[1] == '3') {  
    myServo.write(75);  
    digitalWrite(2, LOW);  
  }  
  
  if (cmd[1] == '2') {  
    myServo.write(105);  
    digitalWrite(2, LOW);  
  }  
  
  if (cmd[1] == '0') {  
    myServo.write(90);  
    digitalWrite(2, HIGH);  
  }  
  
  if (cmd[0] == 'A') {  
    A_36();  
  }  
  if (cmd[0] == 'B') {  
    B_36();  
  }  
}
```

圖 7 程式撰寫

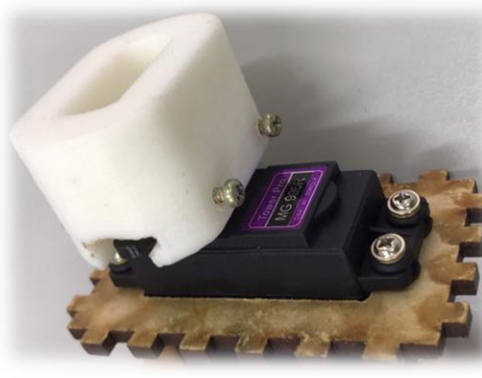


圖 8 伺服馬達應用

五、特殊電機

在高二的電工機械中提到了各種特殊電機，其中介紹到伺服馬達能夠精準控制正逆轉角度及速度，且閉迴路系統讓馬達的感測更加穩定。因此本專題決定使用伺服馬達作為帶動吉他弦鈕旋轉的樞紐(如圖 8)，使調音器能以穩定速度精準的調到準確音高。

肆、研究方法

一、研究流程

(一)、研究步驟

在七月初決定專題題目後，我們便開始製作。我們首先從測量不同的感測器，選擇適合吉他音頻的元件著手，接著嘗試使用不同轉矩的馬達轉動弦鈕，挑選夠力的電動機，再來開始撰寫軟體，之後著手設計電路，接著將硬體軟體整合，最後設計外殼以及外觀的修飾，完成專題成品。專題的時間分配及研究步驟分別如下圖 9 及表 1：

表 1 專題時間分配

	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
輸入元件							
輸出單元							
軟體撰寫							
設計電路							
軟硬體整合							
功能測試							

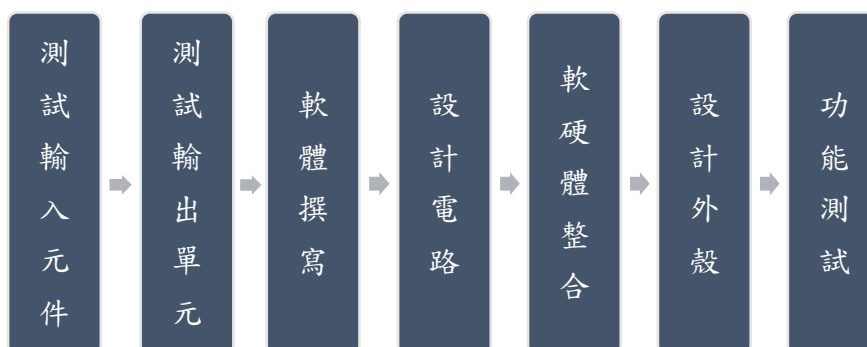


圖 9 研究步驟

(二)、操作步驟

1、開機

將麥克風盒卡在吉他音箱口上，再按下收音端的船型開關，同時也壓下弦鈕控制端握把上的按鈕開關。

2、接收聲音訊號

撥動琴弦，麥克風會將接收到聲音訊號傳輸至設計過得比較器，輸出得到方波訊號，再送至控制單元 ATmega328。

3、內部訊號處理

經過內部演算法，將音訊轉換為頻率值，並與設定參數值比對確認目前在微調哪一條弦，再來和準確音高頻率比較，決定目前該轉緊(馬達正轉)或轉鬆(馬達反轉)。

4、通訊

收音端決定馬達正反轉之後，將控制訊號經由無線傳輸至控制端的 ATmega328 進行調整。

5、調音

輸出訊號控制伺服馬達，帶動弦鈕扣進行旋轉，調音時紅燈亮起，黃燈亮時則表示調音完成。

二、使用材料及工具

(一)、零件介紹

1、伺服馬達(MG996R)

MG996R 是一顆簡單型的伺服馬達，擁有 11kg/cm 的扭矩及 0 至 360 度的速度控制，內部由直流馬達、減速齒輪、電位器及控制電路所組成。其轉矩大，足夠轉緊弦鈕，加上他的反應速度快，可讓我們做出精準的急停，因此我們使用 MG996R 伺服馬達(圖 10)在控制弦鈕順逆轉。MG996R 之規格如下表 2：

表 2 MG996R 規格

產品尺寸	40.7*19.7*42.9mm
重量	55g
反應速度	0.14 s/60° (6 V)
產品扭矩	9.4kg/cm(4.8V), 11kg/cm(6V)
工作電壓	4.8-7.2V
工作模式	類比



圖 10 MG996R

2、無限串口通訊收發模塊(HC-12 SI4463)

HC-12 SI4463 通訊模組，把串列速率設為高速率，可以短時間傳送大量數據，但會犧牲通信距離，由於收音及控制兩端的距離不會太遠，所以我們選用 HC-12 SI4463(圖 11)作為收音端與控制端通訊裝置。HC-12 SI4463 之規格如下表 3：

表 3 HC12 規格

產品尺寸	27.8*14.4*4mm
工作頻率	433.4-473.0MHz
工作電壓	3.2-5.5V
工作模式	數位



圖 11 HC-12

3、雙運算放大器(LM358)

LM358(圖 12)內部包括有兩個獨立的、高增益、內部頻率補償的雙運算放大器，為了處理音訊，在本專題中我們使用一組放大器，設計一比較器放置在收音端。LM358 之規格如下表 4：

表 4 LM358 規格

產品尺寸	6.4*7.6*3.8mm
單位增益頻帶	1MHz
工作電壓	3-32V
變動率	0.3V/ μ s



圖 12 LM358

4、麥克風放大器(MAX4466)

MAX4466(圖 13)該放大器具有出色的電源噪聲抑制能力，在背面包括一個微調電位器來調節增益，因此我們選用它作為接收聲音訊號的原件。麥克風放大器之規格如下表 5：

表 5 MAX4466 規格

尺寸	47.7 *16* 9.6 mm
工作電壓	2.4-5V
增益帶寬積	600kHz



圖 13 MAX4466

5、微調可變電阻

我們把 10k Ω 的微調可變電阻(圖 14)放在運算放大器的非反相輸入端，以便改變準位，讓頻率值更加準確。



圖 14 微調可變電阻

6、微控制器 IC(ATmega328)

ATmega328(圖 15)的接腳數足夠我們的輸出與輸入，並且有體積小的優勢，所以選擇它為整個專題控制的中樞，ATmega328就如人類的大腦，是分析資料與下達動作的核心。因為 Arduino 為開放源碼的單晶片微控制器，具有龐大的資料庫，所以在程式撰寫相對輕鬆，是好入門的開發環境。ATmega328 微控制器之規格如下表 6：

表 6 ATmega328 規格

產品尺寸	35.5*10.2*4.8mm
工作電壓	1.8-5.5V
數位 I/O 接腳	14(其中 6 支提供 PWM 輸出)
類比輸入接腳	6 隻
時脈速度	16MHz
閃存空間	32KB



圖 15 ATmega328 微控制器

7、十六段米字顯示器

我們使用十六段顯示器(圖 16)顯示偵測到的音符名稱。相較於七段顯示器，十六段顯示器能夠顯示出所有英文字母的大寫，能夠讓調音器在面板的呈現上更加完整。



圖 16 十六段顯示器

(二)、軟體介紹

1、Arduino

Arduino(圖 17)是一個擁有巨量函式庫及模組套件，且為開放源碼的開發環境，提供開發者使用，也使軟體設計(圖 18)及電子裝置的應用更為方便。撰寫程式的語法與 C 及 C++類似，但更為容易理解，因此在進入門檻低使用又極為廣泛的特性下，我們選用 Arduino 作為我們程式設計的軟體。軟體編譯成功後，再將開發板與外部電路和元件做整合測試，完成實體。



圖 17 Arduino logo

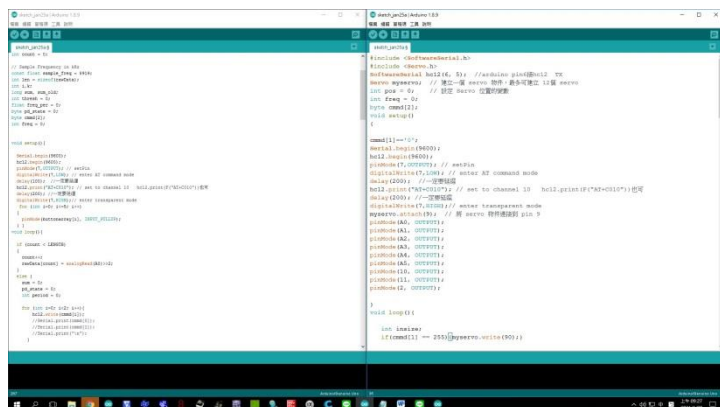


圖 18 Arduino 程式撰寫

2、Onshape

Onshape(圖 19)是一個免費且快速的計算機輔助設計軟體系統，它主要著重於機械立體繪圖，軟體通過網際網路編寫(如圖 20 左)。Onshape 可以多個編寫者通過雲端服務一起編輯文檔，允許團隊可以在設計上共享且進行協作。所以我們選擇使用 Onshape 來繪製用來轉動弦鈕的弦鈕扣，及放置收音電路的外殼的立體圖，再使用 Cura(3D 列印切片應用程式)轉檔，並用 3D 列印機做出實體(如圖 20 右)。



圖 19 Onshape logo

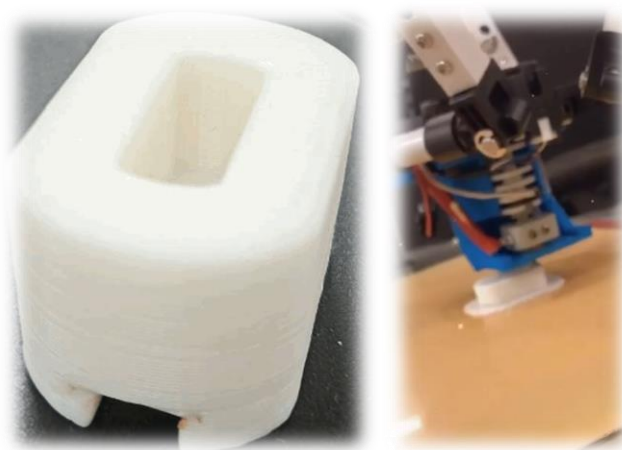


圖 20 3D 列印及實體

3、Altium Designer

Altium Designer(圖 21)是一個能夠設計電路圖以及電路板雕刻的軟體，擁有將設計方案從電路圖轉換為實際電路佈線所需的完整功能。我們使用此軟體的電路圖及電路板繪製功能設計所需電路板(如圖 22)，並輸出雕刻檔與鑽洞檔後再使用電路板雕刻機將電路板實現(如圖 23)。在設計較複雜的電路時，對比於使用麵包板接單心線，電路板將使電路體積縮小，穩定度提高。



圖 21 Altium Designer logo

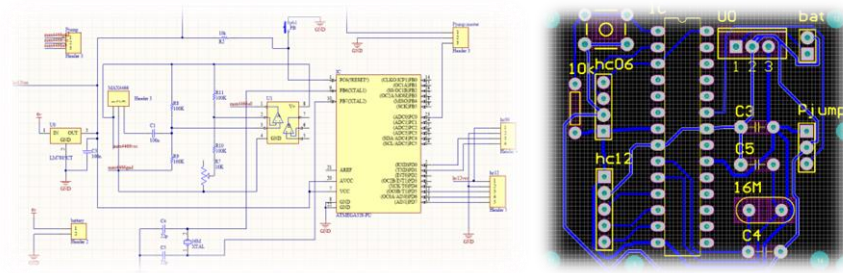


圖 22 電路圖及電路板設計

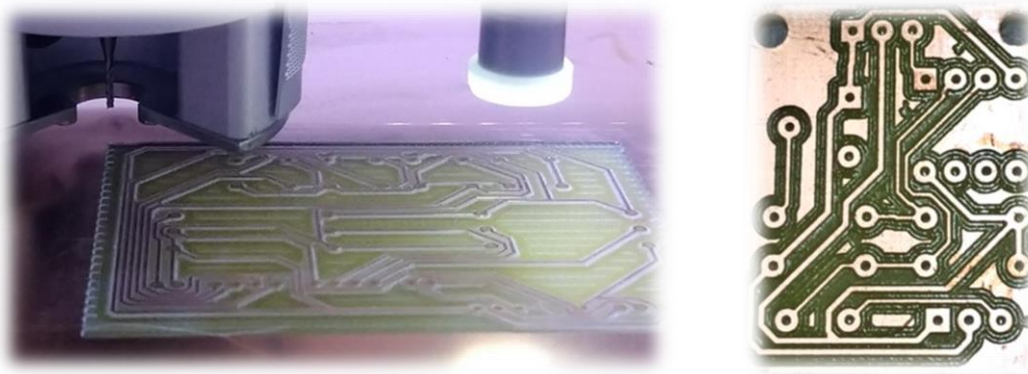


圖 23 電路板雕刻與實體

4、AutoCAD

AutoCAD(圖 24)是由 Autodesk 開發的繪圖程式軟體，具有功能強、上手容易、使用便利和良好的系統開放性的特點。它能使用實體、曲面和網面物件精準繪製出任何平面圖並加以註解與編輯，也可將比較圖面、加入圖塊、建立明細表等工作自動化。因此我們選用 AutoCAD 來繪製出我們弦鈕扣控制端電路的外殼，接著使用 RDWorks 進行轉檔，並使用雷射切割機切割木板，做出精準且牢固的外殼。



圖 24 AutoCAD logo

伍、研究結果

一、收音端

收音端外殼使用 PLA 材質由 3D 列印機印製，細項說明分為麥克風、收音端程式和無線通訊三部分，說明如下：

(一)、收音端外殼

由於我們要將收音端放在吉他音箱內，且不用手持，所以將外殼設計成一個口字形(如圖 25)，以便使用者可以輕鬆地將它卡在音箱壁上。為了使外殼的厚度細薄，所以我們選擇使用 3D 列印來製作外殼，另外也利用了塑膠具有韌性的特點，將我們的殼蓋設計為可拆解的，以防電路故障及軟體修改時的困難。



圖 25 收音端外殼實體

(二)、麥克風

為了使麥克風的訊號方便處理，我們設計了一個比較器電路(如圖 26)，由放大器 LM358、電阻及微調可變電阻所組成，能使雜亂無序的聲音訊號，變成規則的方波，接著再使用軟體程式計數單位時間內的波峰數，以測量訊號頻率。



圖 26 比較器電路

(三)、收音端程式

我們將設計的比較器電路透過 Arduino 進程式撰寫。藉由基礎的快速傅立葉轉換，以及類比計數的概念，讓程式能夠讀取頻率值，接著由每條吉他正確音高之頻率為基準，與讀取之頻率作比較，用以判斷目前弦發出的聲音過高或過低，轉為正反轉信號指令及音名之值藉字串分割的概念，由無線通訊(HC-12)分別將訊號給予控制端的馬達以及十六段顯示器，完成收音端程式處理。

(四)、無線通訊

我們將無線串口通訊收發模塊(HC12)作為連接收音與控制兩端的橋樑，之所以使用此元件是因為相較於其他通訊模組，HC-12 方便了許多，只要設定在相同頻道，一兩行程式即能完成配對，其高鮑率串口讓延遲非常低，能夠非常迅速的將訊號由主端(收音端)傳送至從端(控制端)。

二、控制端

(一)、控制端外殼

我們將控制端的外殼設計成槍的形狀，讓使用者容易手持，也將電源設計在大約食指的位置，以方便開關，最後我們在握把的底部加裝絞鍊，讓電池盒的外殼可以在沒電時輕鬆打開更換電池。由於我們的馬達轉矩很大所以使用密迪板製作(如圖 27)，增加機械強度。

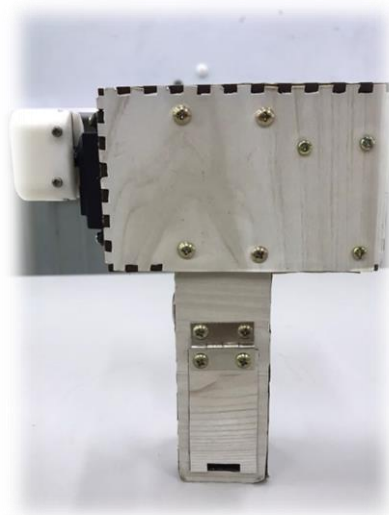


圖 27 控制端外殼實體

(二)、弦鈕扣

弦鈕扣由 Onshape 設計，弦鈕扣口的大小剛好與大部分的吉他弦鈕扣契合，以方便使用。我們也弦鈕扣與馬達轉軸處設計了暗槽(如圖 28)，使馬達轉軸可以滑入，但由於轉軸的形狀是中間寬兩側細，所以暗槽寬度必須為中間的寬度，否則無法滑入，但若這樣設計，轉動時轉軸與弦鈕扣的軸心會稍微偏，所以我們從暗槽左右兩邊鎖入四根螺絲(如圖 29)，以保持弦鈕扣穩定不偏轉。

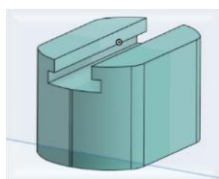


圖 28 暗槽設計



圖 29 固定用螺絲

(三)、控制端程式

控制端的電路連接了馬達、顯示器以及指示燈。接收到主端傳來的訊號後，經由從端的正反轉指令以完成馬達控制，接著依照目前的音高，選擇相對應的副程式後呈現於顯示器上，最後我們利用高低態觸發的概念來決定 LED 指示燈之狀態(調音中為紅燈，調音完成為黃燈)。相較於收音端複雜的演算法還要簡單許多。只要將從主端接收到的訊號經由 if、else 進行判斷，決定該執行哪種指令，即可完成控制端的程式處理。

(四)、顯示器與指示燈

圖(30)為調音器之顯示器與指示燈。為了減少輸出腳位的使用，所以我們先將需要字母的真值表列出，再利用卡諾圖簡化(如圖 31)，以保持輸出接腳數為最小值，接著將顯示器的接腳經過電阻排接到微控制器，來限制電流。在指示燈方面，為了達成節省接腳的目的，我們將兩個發光二極體接在同一迴路，從兩二極體中間拉出訊號線(如圖 32)，如此可以達成一隻接腳控制兩燈的目的。

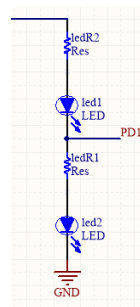
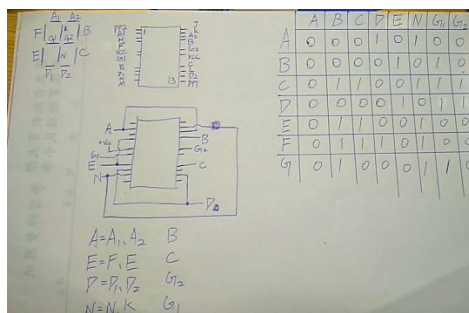


圖 30 顯示器與指示燈

圖 31 顯示器卡諾圖

圖 32 指示燈電路

三、成果展示

圖 33 為我們的最終成品，左邊是調音器的控制端，右邊則是收音端。圖 34 為實際使用之示意圖。

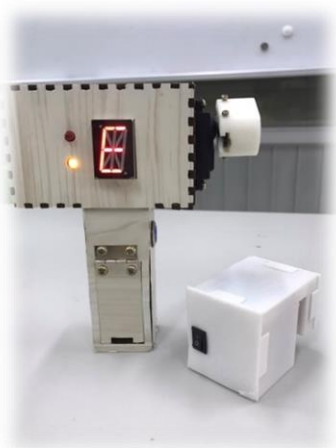


圖 33 成品展示



圖 34 調音器操作

陸、討論

一、零件選用

在製作音頻感測器時，一開始我們打算使用震動感測，於是我們嘗試使用壓電式陶瓷震動傳感器和三軸加速度計製作，但因為這些感測元件的輸出訊號較為複雜，讓程式撰寫的難度增加不少，所以最後我們決定使用聲音感測，其電容式麥克風因為具有高靈敏度、收音好等特性，因此最後選用此元件作為感測模組。

二、材質選用

在握把外殼材質的選用上，剛開始我們跟機械科主任討論出可以使用塑膠一體成型的方式來製作，但是因為電路固定問題及 16 段顯示器位置擺放問題，最後我們選用 0.3 公分的木板搭配高二下學期實習課所教的雷切設備，並採用拼圖的方式分別製作出來在組成握把的外殼。

在收音部分的外殼，我們原本也使用 0.3 公分木板來製作，但是因為吉他出音口預留的位置太小，而電路所需空間太大，如果使用更薄的木板則會有因為機械強度不足導致容易損毀之疑慮，所以我們改成使用體積較小且機械強度足夠的線材，搭配高二實習課所學的 3D 列印學以致用來完成收音部分。

三、馬達控制

在馬達選用上，一開始我們選購 MG90S 伺服馬達，在第一次放到吉他弦鈕上實際測試，卻發現在聲音調高時，因為轉矩不夠導致轉不動，所以我們挑選下一顆馬達時特別注意轉矩這個部分，最後我們找到了 MG996R 伺服馬達，這顆伺服馬達擁有 13kg 大轉矩，足夠我們使用。

四、弦鈕扣設計

弦鈕扣因為要配合吉他弦鈕的大小，所以我們直接選用 PLA 線材使用 3D 列印來完成，實測時卻發現轉軸與弦鈕扣無法完全密合，我們與機械科主任討論出，可以使用暗槽的設計，並把四個角鎖上小螺絲讓轉軸及弦鈕扣緊密接合並且增加機械強度。

五、穩定精度

我們遇到最大的問題就是收音及調音的精準度，吉他的聲音並不是很漂亮的單一弦波組成，而是由許多諧波所組成，所以當我們用程式去抓取我們要的範圍，同時也會抓到許多我們不需要的雜音，導致無法判斷準確音高。因此我們設計了一個比較器電路並提高觸發準位，順利的讓收音端只收到吉他的基本波，大幅增加了精準度。

六、音頻判斷程式

由於市面上並沒有能夠將收到之聲音轉為頻率供 Arduino 使用的模組，所以我們得自行設計音頻感測程式。首先我們將麥克風接收到的聲音波形透過比較器電路轉為高、低態交替的訊號，並輸入至 Arduino 進行計算，程式主要是透過演算法測試出輸入訊號在一秒內變換之次數，再將其計數結果輸出，完成音頻判斷程式之處理。

柒、結論

超神調音器在經過不斷的嘗試與改進後，我們決定使用電容式麥克風以及比較器電路來製作頻率感測器，其麥克風具有高靈敏度的聲音感測，加上輸出訊號清晰的比較器，搭配放於吉他出音口的設計，感測程式則結合基礎快速傅立葉轉換(FFT)及演算法的概念，讓此作品能夠精準判斷音頻。控制端則擁有十六段米字顯示器以及 LED 燈，能將調音狀態及時告知使用者，再加上可以自動偵測目前調音的弦，讓初學者就算還不了解吉他也能夠輕鬆調音。

雖然在專題中我們順利完成了幫吉他調音的步驟，但仍有許多可以更加精進的部分。期許未來有機會能夠提高感測器的精密及穩定度，並結合手機 APP，讓超神調音器不僅僅能進行基本調音，還能夠配合某些歌曲進行特殊調弦。而硬體部分我們則希望能夠將電路板改為 SMD 元件，以及手握端由木板改為其他可塑性較高的材質(PLA、塑膠等)，用以縮小體積，讓使用者更加輕鬆、方便。

單憑高一、二培養的個人專業能力，是沒辦法呈現出一個完整的專題的。在製作專題的一開始，我們遇到了非常多的難題，像是吉他調音原理、軟硬體整合設計，以及最棘手的部分：音頻感測演算法的撰寫。透過大量尋找網路及周邊的資源，結合所有資料的概念整合，加上組員的合作無間，才能完成我們的超神調音器。藉由這次的專題製作，讓我們能夠從失敗中學習，經歷的許多挫折，塑造了最後的成功。自學的能力、面對困難的態度，以及處理問題的方法，是我們最大的收穫，也是在未來必須具備的能力。

捌、參考資料及其他

- Fast Fourier Transform (FFT) for Arduino。2019 年 7 月 31 日。取自
<https://create.arduino.cc/projecthub/abhilashpatel121/easyfft-fast-fourier-transform-fft-for-arduino-9d2677?fbclid=IwAR1deiU2gag-x9h2HWY6GhgZXgPcaSJfY8apKcO-herRVlUg9WiBiyZn6hc>
- Simple Audio Frequency Meter。2019 年 10 月 21 日。取自
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SimpleAudioFrequencyMeter>
- Arduino FFT Library。2019 年 8 月 11 日。取自
<http://wiki.openmusiclabs.com/wiki/FFTFunctions?fbclid=IwAR0SCoFciSzGPIVQ-fzq9OrDI9akCKtmSn4rw77gXyz1AFN7XGU4n0ROsSc>
- Arduino : How to Control Servo Motor With Arduino。2019 年 8 月 1 日。取自
<https://www.instructables.com/Arduino-How-to-Control-Servo-Motor-With-Arduino/>
- Arduino and HC-12 Long Range Wireless Communication Module。2019 年 11 月 2 日。取自
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-hc-12-long-range-wireless-communication-module/>
- Arduino 輸入字串切割成陣列。2019 年 10 月 12 日。取自
<https://gist.github.com/hunandy14/7337c945691c8eee8486e7756592d66c>
- Max4466 規格。2019 年 11 月 30 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?22003214229580>
- MG996R 規格。2020 年 1 月 17 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?22034159195067>
- HC-12 規格。2020 年 1 月 17 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?22019524614871>
- ATMEGA328P-PU 規格。2020 年 1 月 17 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?21717035778840>
- LM358 規格。2020 年 1 月 17 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?21640807629500>
- Arduino UNO 開發板規格。2020 年 1 月 17 日。取自
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- 澀谷道雄(2009)。世界第一簡單傅立葉分析。新北市：世茂。
- 趙英傑(2020)。超圖解 Arduino 互動設計入門。台北市：旗標。