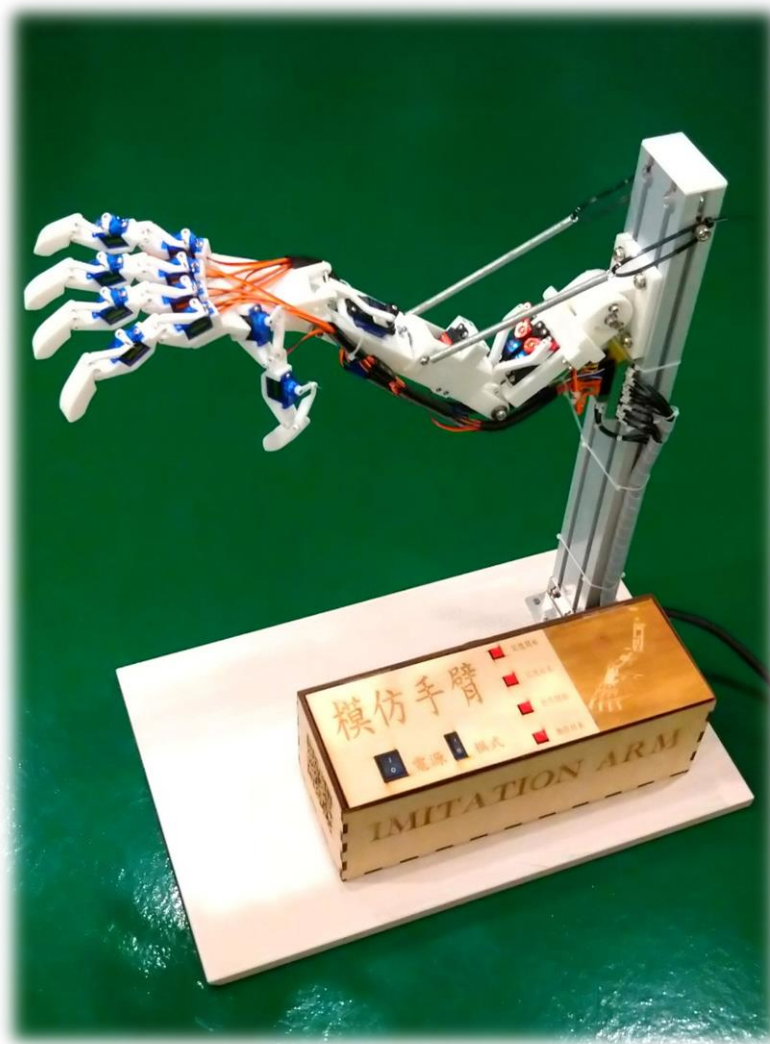


# 臺北市立大安高級工業職業學校專題製作競賽

## 【專題組】作品說明書



類別：電機與電子群

作品名稱：模仿手臂

關鍵詞：記憶路徑、四連桿機構、機械手臂

# 目錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明.....	2
一、硬體製作.....	2
二、電路雕刻.....	2
三、程式撰寫.....	3
四、特殊電機.....	3
五、成品美觀.....	3
肆、研究方法.....	4
一、研究流程.....	4
(一)、研究步驟.....	4
(二)、操作步驟.....	5
二、使用材料及工具.....	8
(一)、零件介紹.....	8
(二)、軟體介紹.....	12
(三)、機構原理.....	15
伍、研究結果.....	17
一、硬體結構.....	17
(一)、手掌部分.....	17
(二)、手腕部分.....	17
(三)、手臂部分.....	18
(四)、手套部分.....	18
二、控制端.....	19
(一)、操作面板.....	19
(二)、控制手套.....	19
三、成果展示.....	20
陸、討論.....	21
一、材質選用.....	21
二、馬達控制.....	21
三、滑軌設計.....	21
四、穩定精度.....	21
柒、結論.....	22
捌、參考資料及其他.....	23

## 圖目錄

圖 1 鋼鐵擂台劇照.....	1
圖 2 模仿手臂.....	1
圖 3 繪製 3D 模型.....	2
圖 4 3D 列印實體.....	2
圖 5 電路板設計.....	2
圖 6 電路板雕刻.....	2
圖 7 電路板成品.....	2
圖 8 程式撰寫及伺服馬達應用.....	3
圖 9 整合線路.....	3
圖 10 研究步驟.....	4
圖 11 模式選擇流程圖.....	5
圖 12 模仿模式流程圖.....	5
圖 13 記憶模式操作流程圖.....	6
圖 14 記憶流程圖.....	7
圖 15 動作流程圖.....	7
圖 16 SG-90.....	8
圖 17 SPT-5425LV.....	8
圖 18 CD74HC4067 類比多工器.....	9
圖 19 Micro SD 卡模組.....	9
圖 20 彎曲感測器.....	10
圖 21 可變電阻.....	10
圖 22 傾角感測器.....	10
圖 23 Mega2560 開發板.....	11
圖 24 Arduino logo.....	12
圖 25 Arduino 程式撰寫.....	12
圖 26 Arduino 介面及接線測試.....	12
圖 27 Rhino6 logo.....	13
圖 28 Rhino6 操作介面及列印實體.....	13
圖 29 3D 列印及實體組合.....	13
圖 30 Altium Designer logo.....	14
圖 31 電路圖及電路板設計介面.....	14
圖 32 電路板雕刻與實體.....	14
圖 33 曲柄搖桿機構.....	15
圖 34 手臂四連桿應用說明.....	15
圖 35 迴轉滑塊曲柄機構及手套四連桿應用說明.....	16
圖 36 聯軸器.....	16

圖 37 手掌結構.....	17
圖 38 X 軸之連桿及 Y 軸之聯軸器 .....	17
圖 39 手臂雙馬達配置.....	18
圖 40 迴轉滑塊曲柄機構動作.....	18
圖 41 控制手套俯視圖.....	18
圖 42 操作面板.....	19
圖 43 控制手套.....	19
圖 44 成品展示.....	20
圖 45 模仿手臂操作.....	20
圖 46 結論.....	22

## 表目錄

表 1 時間分配表 .....	4
表 2 SG-90 規格 .....	8
表 3 STP-5425LV 規格.....	8
表 4 CD74HC4067 規格.....	9
表 5 Micro SD 卡讀寫模組規格 .....	9
表 6 MPU-6050 規格.....	10
表 7 Arduino Mega2560 規格.....	11

## 【模仿手臂】

### 壹、摘要

在科技快速發展的今日，機器人的能力不斷提升，以穩定精準的機械人代替人力在工業生產上已成趨勢。然而，為了滿足「少量多樣」的彈性生產需求，如何快速讓機器人對應新的工作路徑之程式編成，便是產線工程師們的一大挑戰。因此本專題希望能做出一隻容易操作，且能直接「模仿學習」操作者手部動作，並記憶其路徑的機械手臂，用以提升機械手使用之便利性。

我們以手套上的感測器模擬手指及上肢關節動作，經由類比多工器將數值一併送至單晶片整合並轉換為馬達訊號。手臂是使用 3D 列印之 PLA 材質印製而成，有效率製造傳統機械加工難以做出之不規則形零件並且減輕重量，驅動則是使用伺服馬達配合連桿機構將馬達旋轉運動變成關節的往復運動。手臂之各操作模式皆整合在控制盒之面板上，以達成簡潔易懂，方便使用之功效。

### 貳、研究動機

我們都知道機器人能夠幫助人們完成許多重複性的動作，使我們的生活更加方便，無論在日常家務或是工業生產線，都已經成為一項不可或缺的存在。在去年參觀自動化展時，有一種特別的機械手吸引了我們的目光，它能夠記憶由操作者牽引走過之工作路徑，並且重複運行所記憶的路徑進行加工。這樣的操作方式一別於我們印象中機械手的操作方式，在好奇心驅使之下，我們上網查找資料得知那稱為「教導式手臂」。如此的操作模式使我們回想起了電影「鋼鐵擂台」中的主角機器人，一隻能夠跟隨操控者並且記憶下整套動作的拳擊機器人。假使我們將電影當中拳擊機器人的「跟隨動作」以及教導式手臂的「記憶路徑」兩個元素結合，讓機械手臂跟隨人的動作並記憶下來，便能使機械手臂之應用更加隨心所欲，不受單一功能的限制。

因此，我們希望藉由這次研究，應用我們學校所學之程式設計、機械結構、電路設計以及軟硬體之整合，透過一個輕量化、易操作並且有手指、手腕及手臂的機械手臂模型，呈現跟隨人手動作並且記憶以及重複路徑的功能，不但能夠符合當前工業趨勢之應用，更是讓童年對於科幻電影的嚮往成為現實。



圖 1 鋼鐵擂台劇照

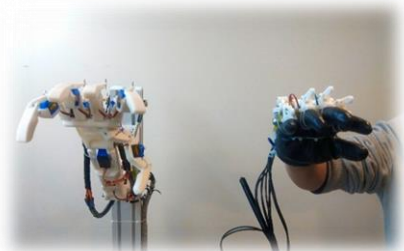


圖 2 模仿手臂

## 參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

### 一、硬體製作

在高一綜合活動選修課程中，我們學會使用 Rhino 6 建立 2D 以及 3D 的模型(如圖 3)，以及學習 3D 列印機的使用，讓我們繪製所構思的物品，並且在短暫時間內成為實體(如圖 4)，是非常便捷的硬體建構方式，也因此我們選用 3D 列印的 PLA 材質做為本次專題的主體，不但質地輕巧，更讓我們的實體具有一致性。控制盒的設計上，我們使用高三專題製作實習課中所學的雷射切割機製作，將繪製的 DXF 檔轉換以後使用雷射切割機將木板成型，並且以掃描標註按鈕之文字說明，兼具美觀，也讓介面容易理解。

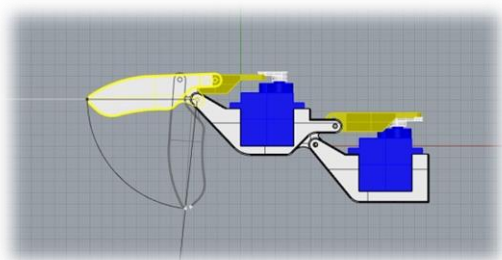


圖 3 繪製 3D 模型



圖 4 3D 列印實體

### 二、電路雕刻

高二的電子學實習課當中我們接觸了電路板的繪製以及雕刻，我們可以在 Altium Designer 繪製電路圖並轉為 PCB 板電路(如圖 5)，轉檔後再使用電路板雕刻機將自己設計的電路板刻出(如圖 6、7)。在設計較複雜的電路時，相比於使用麵包板拉線偏向實驗性質的簡單電路，將會需要一個更穩定的電路，而使用 Altium Designer 以及電路板雕刻機讓電路設計流程在自己手邊即可完成，是極為方便的工具。

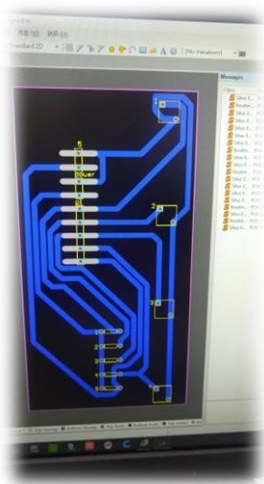


圖 5 電路板設計

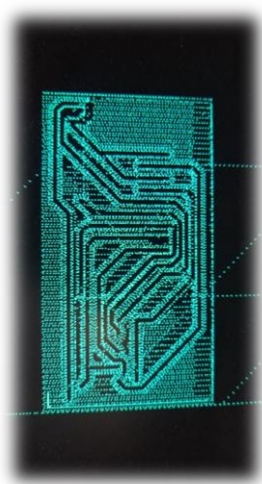


圖 6 電路板雕刻

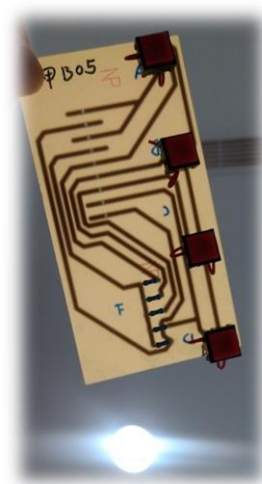


圖 7 電路板成品

### 三、程式撰寫

在高二的數位邏輯實習課，我們對於程式的邏輯有了初步認識，並且從 PLC 及 CPLD 程式撰寫中理解數位電路及演算法。在本次的專題中我們用課堂所學之 Arduino 撰寫程式，應用簡單的演算法將感測之數值轉化為馬達相對應之角度，並且使用資料選擇器將訊號統整輸入，使程式更有條理且更加穩定。(下圖 8 左)

```
101 void follow()
102 {
103   for(i=0;i<=9;i++)
104   {
105     if(i<8)
106       mux.channel(i);
107     switch(i)
108     {
109       case 0:
110         Serial.print("F1 = ");
111         v0 = analogRead(value); //v0=map(v0,0,50,90,10);
112         v0=map(v0,0,35,9,0); //50
113         v0=v0*10; //map(v0,9,1,90,10);
114         if (v0>=95) {v0=95;} else if (v0<10) {v0=10;}else{v0=v0;};
115         f1.write(v0);
116         Serial.print(v0);Serial.print(" // ");
117         break;
118       case 1:
119         Serial.print("F2 = ");
120         v1 = analogRead(value); //v1=map(v1,0,60,90,10);
121         v1=map(v1,0,50,9,0); //60
```



圖 8 程式撰寫及伺服馬達應用

### 四、特殊電機

高二的電工機械課程最後章節提到了特殊電機，其中伺服馬達具有快速響應、精準控制，以及輸出穩定的特性，且伺服馬達的電路能夠感測位置信號並且對目標值持續修正，此閉迴路系統的特性符合我們手臂定位控制的需求，因此我們選用伺服馬達作為機械手臂各關節之驅動。(上圖 8 右)

### 五、成品美觀

高一實習課時準備工業配線丙級檢定，同時訓練我們配線以及整線之能力。在本次專題中我們有許多的訊號線，因此線路的整齊度便非常重要，我們將機械手臂上伺服馬達之訊號線接至線路整合的端子台，讓線路長度統一，並且將所有馬達火線及地線共接後和所有訊號線一併拉至控制盒，並且使用束線帶及捲式束線帶使線路整齊規律(如圖 9)。



圖 9 整合線路



## 肆、研究方法

### 一、研究流程

#### (一)、研究步驟

在六月底定下專題題目後，便開始我們的製作流程。我們首先從手臂硬體的設計開始著手，並配合程式驅動伺服馬達不斷嘗試連桿機構的設計，接著開始設計電路，著手控制手套及操作盒之設計，最後做程式與硬體的最終整合以及外觀的修飾，完成專題成品。專題的時間分配及研究步驟分別如下表 1 及圖 10：

表 1 時間分配表

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
1.購買材料							
2.蒐集資料							
3.程式設計							
4.電路設計							
5.手臂製作							
6.手套製作							
7.控制盒製作							
8.成品測試							

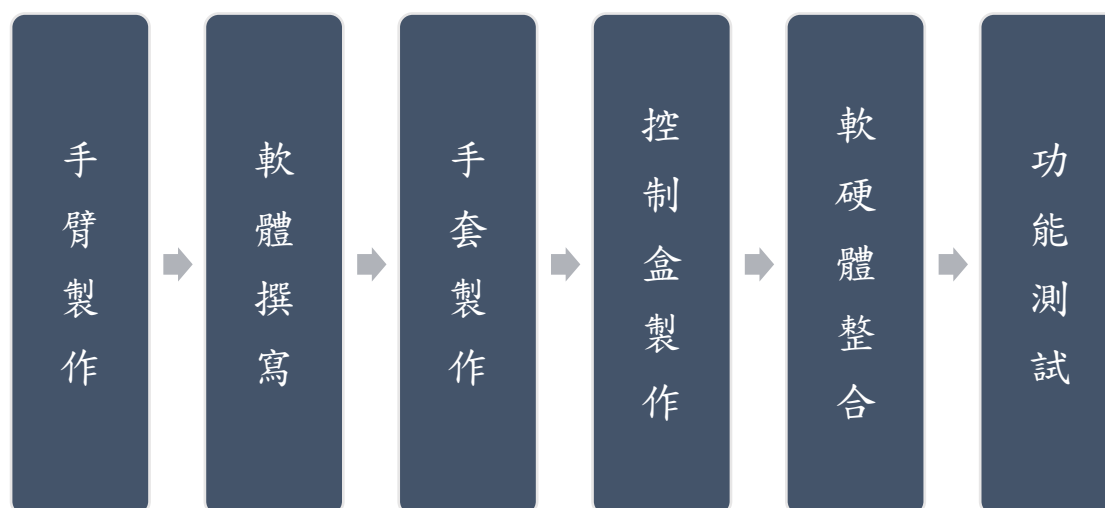


圖 10 研究步驟

## (二)、 操作步驟

### 1、 模式切換

模仿手臂分為模仿模式以及記憶模式，模式切換由控制面板之模式選擇開關控制，其動作流程如下圖 11 所示。模仿模式以及記憶模式如下說明。

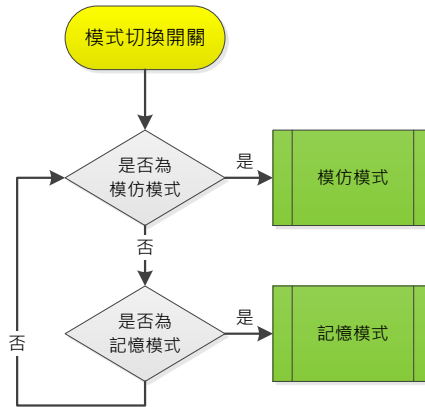


圖 11 模式選擇流程圖

### 2、 模仿模式

當切換到模仿模式，操作者配戴控制手套並且做出動作，手套上的感測器數值會依序通過多工器傳輸至 Mega2560 板經由演算法轉換為馬達角度，多工器數據選擇的功能如同一道門，配合 Switch 函式將轉換後的數值送至相對應的伺服馬達，其工作流程如圖 12 所示：



圖 12 模仿模式流程圖

### 3、記憶模式

記憶模式於控制面板有四個按鍵，分別控制記憶流程及動作流程。記憶開始鍵及記憶結束鍵用來決定記憶動作之起始與結束，動作開始鍵以及動作結束鍵則用來重複記憶動作以及停止並復歸原點。其操作流程如下圖 13 所示：

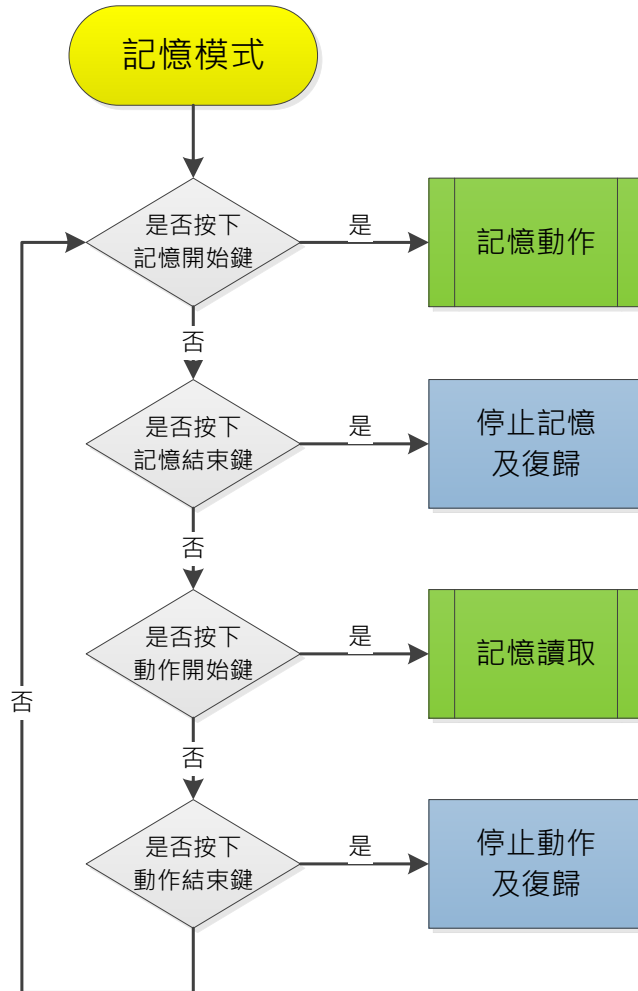


圖 13 記憶模式操作流程圖

#### (1)、記憶流程

當按下記憶開始鍵，會將 SD 卡原先建立的紀錄清除，並在 SD 卡內重新建立 Arm.txt 檔案，機械手開始跟隨操作者動作並且將轉換後之角度數值驅動伺服馬達，同時將數值依序寫入 SD 卡中。在按下結束記憶鍵後，關閉檔案並儲存，同時將手臂復歸原點。詳細動作流程如下圖 14 所示：

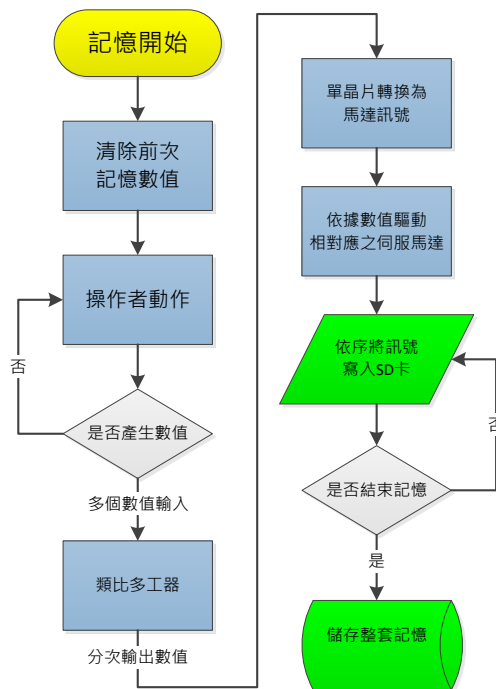


圖 14 記憶流程圖

(2)、動作流程

按下動作開始鍵後，開啟 SD 卡內之 Arm.txt 檔案並且讀取，將其中的 ASCII 碼合併轉換為馬達角度後依序驅動伺服馬達，重現先前所記憶之動作。當按下動作結束鍵，會停止現有動作並且將機械手臂復歸回到原點。動作流程如圖 15 所示：

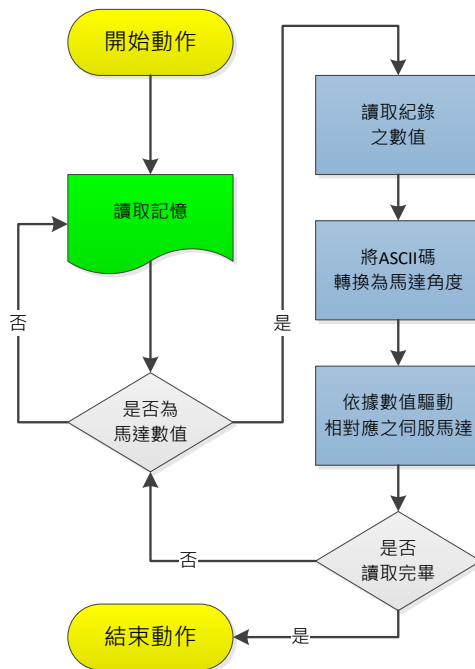


圖 15 動作流程圖

## 二、使用材料及工具

### (一)、零件介紹

#### 1、伺服馬達(SG-90)

SG-90 是一顆簡單型的伺服馬達，擁有 1.8kg/cm 的扭矩及 0 至 180 度的角度控制，內部由直流馬達、減速齒輪、電位器及控制電路所組成。其輕巧且體積較小，符合手指外型及不須大轉矩之簡單抓握的需求，因此我們使用 SG-90 伺服馬達(圖 16)在機械手指節部分模擬關節的彎曲。SG-90 之規格如下表 2：

表 2 SG-90 規格

產品尺寸	23×12.2×29mm
重量	9g
無載速度	0.12s/60° (4.8V)
可控角度	0~90°/180°max
產品扭矩	1.8kg/cm(6V)；1.4 kg/cm (4.8V)
工作電壓	3.0V~7.2V
工作模式	類比



圖 16 SG-90

#### 2、伺服馬達(SPT-5425LV)

SPT-5425LV 伺服馬達有極大的轉矩，普遍使用在越野遙控車的轉向馬達，其可轉角度為 0 至 90 度。在本專題中由於肘部及腕部較長產生之力臂對於馬達之負荷也較重，我們將原先轉矩為 13kg/cm 之 MG-996R 伺服馬達更換為 25kg/cm 之 SPT-5425LV 舵機(圖 17)並且搭配四連桿機構，以解決伺服馬達失步的問題。SPT-5425LV 之規格如下表 3：

表 3 SPT-5425LV 規格

產品尺寸	40.5×20×40.5mm
重量	57g
無載速度	0.22s/60° (4.8V)；0.18s/60° (6V)
可控角度	0~90°
產品扭矩	24kg/cm(4.8V)；26 kg/cm (6V)
工作電壓	4.8V~6V
工作模式	類比



圖 17 SPT-5425LV

### 3、類比多工器(CD74HC4067)

在本專題中因為輸入元件數量眾多，為了簡化主控板的輸入端，我們在控制手套上設置了一片類比多工器(圖 18)將多個輸入訊號統一並依序輸出至單晶片，並且配合程式之 Switch 函式將數值分次輸出。CD74HC4067 之規格如下表 4：

表 4 CD74HC4067 規格

產品尺寸	40x18x3.6mm
重量	2g
工作電壓	2~6V
類比輸入	C0-C15 16 通道
通道控制	S0-S3



圖 18 CD74HC4067 類比多工器

### 4、Micro SD 卡讀寫模組

SD 卡讀寫模組(圖 19)用於記憶部分，減少消耗單晶片記憶體之負擔。在記憶模式中，讀寫模組依序將手臂動作姿態的數值記錄下來，讀出後轉為 ASCII 碼，需經由函式轉換為原先寫入之角度。Micro SD 卡讀寫模組之規格如下表 5：

表 5 Micro SD 卡讀寫模組規格

工作電壓	5V
尺寸	42x24x12mm
重量	5g
支援種類	Mirco SDHC 卡(<=32G)



圖 19 Micro SD 卡模組

## 5、彎曲感測器

彎曲感測器(圖 20)是一個可以藉由外界施力造成形變來改變本身電阻值的零件，應用領域廣大，包括醫療手套、人機介面等。彎曲感測器可折彎一千萬次以上，但隨使用次數增加，精度將隨之降低。其體積輕薄，在本專題中裝置於手套前端，感測前段指節的彎曲程度。

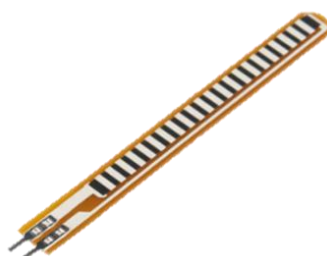


圖 20 彎曲感測器

## 6、可變電阻

原先我們使用滑鼠中之鼠標編碼器作為手指後端的感測元件，因為鼠標編碼器的體積小，在設計手套上相對簡潔，但數位式的輸出精度不足，不符合我們需求，因此我們改用 B(直線形)類 10K $\Omega$  的可變電阻(圖 21)替代，裝置在控制手套之手背上，藉由連桿帶動旋轉改變阻值，感測後段指節的彎曲程度。



圖 21 可變電阻

## 7、三軸傾角感測器(MPU-6050)

MPU-6050(圖 22)是一塊能夠測量三軸傾斜角度以及加速度的模組，其使用標準 I<sup>2</sup>C 通信協定與 Arduino 開發板互相連結，普遍應用於四軸空拍機上及平衡機構上。在專題中我們將感測器裝置於手套以及手臂上，測量腕部 X、Y 軸以及肘部 X 軸相對角的變化量。傾角感測器之規格如表 6：

表 6 MPU-6050 規格

產品尺寸	15.5x21x3.5mm
通信方式	標準 I <sup>2</sup> C 通信協定
工作電壓	3~5V
內部工作電壓	2.375V-3.46V

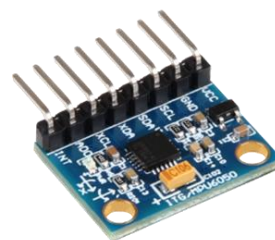


圖 22 傾角感測器

#### 8、Arduino Mega 2560 微控制板(ATmega2560)

Arduino Mega2560 板(圖 23)為整個專題控制的中樞，Arduino 開發板就如一台微型電腦主機，是所有外接模組運作的核心。因為 Arduino 為開放源碼的單晶片微控制器，具有廣大充足的資源，在程式撰寫也較容易，是友善且好入門的開發環境。Arduino Mega 2560 微控制板之規格如下表 7：

表 7 Arduino Mega2560 規格

產品尺寸	102 x 53.6 x 15.3mm
重量	35g
主控芯片	ATmega2560
工作電壓	5v
數位 I/O 接腳	54(其中 14 支提供 PWM 輸出)
類比輸入接腳	6 組
時脈速度	16MHz
閃存空間	256KB



圖 23 Mega2560 開發板



## (二)、軟體介紹

### 1、Arduino

Arduino(圖 24)是一個開放源碼的開發環境，擁有許多函式庫及模組套件供開發者應用，也使軟體設計及電子裝置的應用更為便捷。撰寫的語法與 C 及 C++相似，但又更為容易理解，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。Arduino 程式以 setup()及 loop()兩個函式為主體(圖 25)，隨編寫者需求能夠加上副程式及使用所需之函式庫。軟體編譯成功後，再將開發板與外部電路和感測器做整合(圖 26)，完成實體。



圖 24 Arduino logo

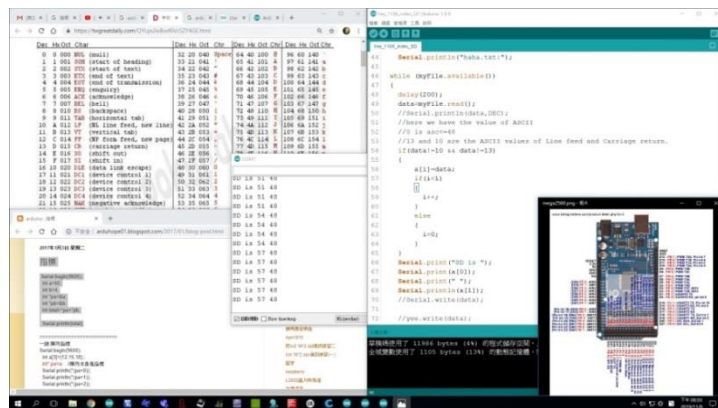


圖 25 Arduino 程式撰寫

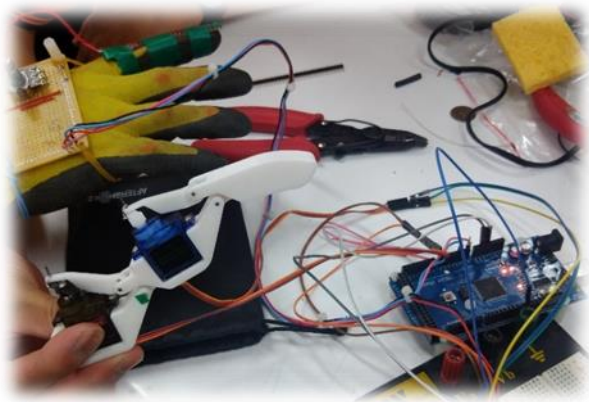
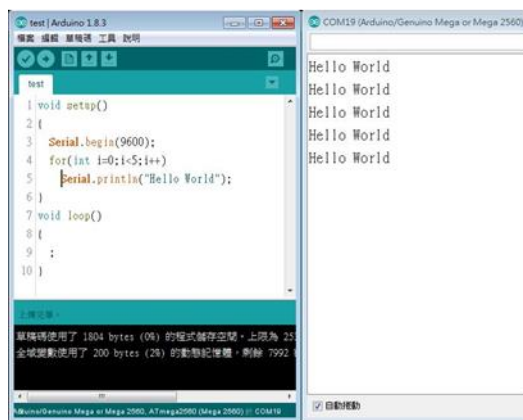


圖 26 Arduino 介面及接線測試

## 2、Rhino6

Rhino6(圖 27)是一款能夠藉由曲線以及曲面建構 2D 草圖及 3D 物件的繪圖軟體，廣泛應用於工業設計、美術設計、玩具及建築相關等領域。內建曲面工具可以精確地製作動畫、工程圖、分析評估以及生產用的模型。繪製的物件搭配 3D 列印機，能夠快速地將使用者的構思實體化，非常便捷。在專題中我們使用 Rhino 6 設計手部主體以及拉桿結構(圖 28)並且由 3D 列印機印製出成品(圖 29)。



圖 27 Rhino6 logo

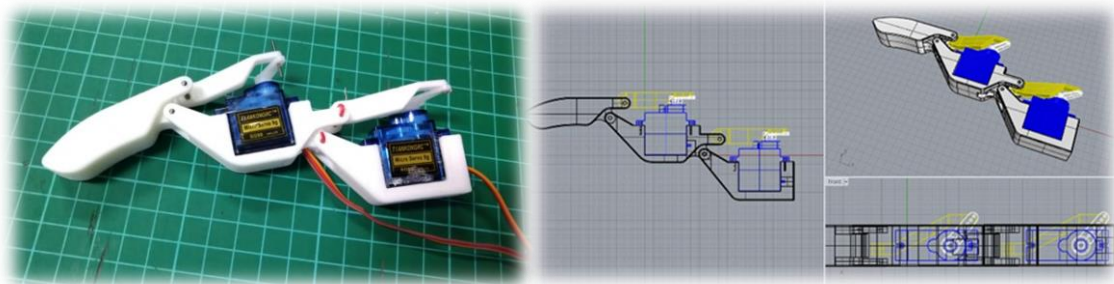


圖 28 Rhino6 操作介面及列印實體

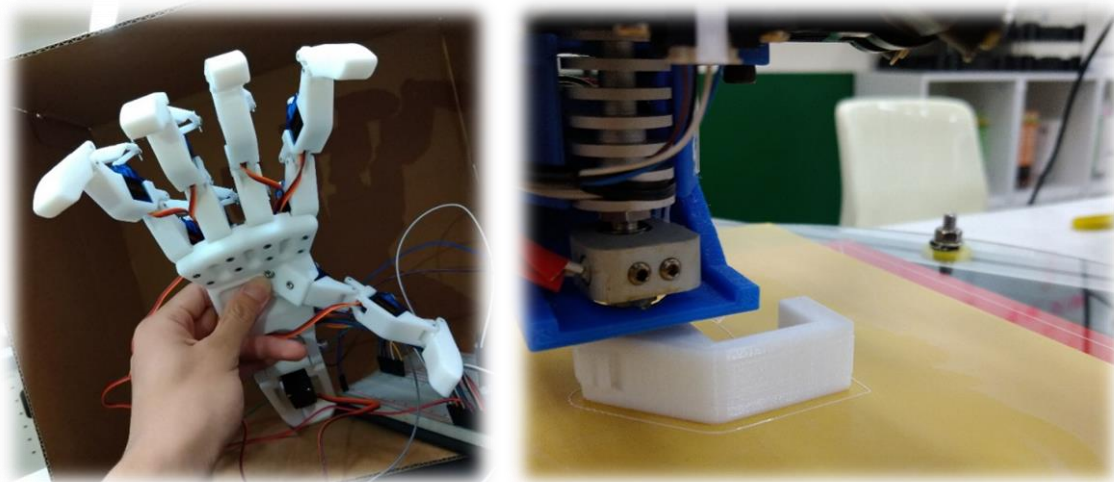


圖 29 3D 列印及實體組合

### 3、Altium Designer

Altium Designer(圖 30)能夠編譯多種程式、設計電路圖以及電路板(圖 31)，具有將一個設計方案從概念轉變為最終成品所需的全部功能，在專題中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，完成並轉檔後再使用電路板雕刻機將設計的電路板刻出(圖 32)。在設計較複雜的電路時，相比於使用麵包板拉線偏向實驗性質的簡單電路，電路板將使我們電路實體更為便利且穩定。



圖 30 Altium Designer logo

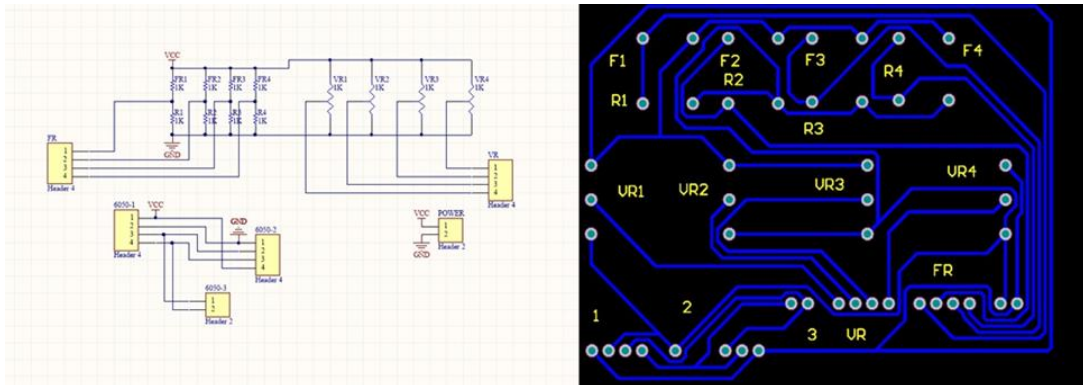


圖 31 電路圖及電路板設計界面

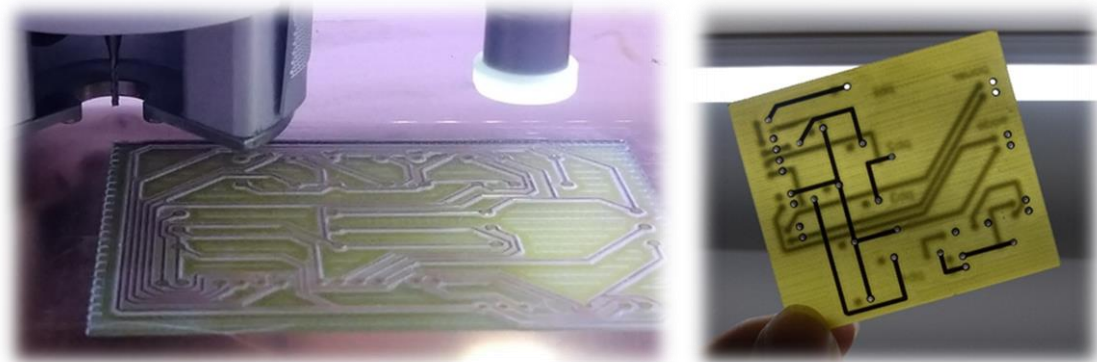


圖 32 電路板雕刻與實體

### (三)、機構原理

#### 1、四連桿機構

在一個專題當中，時常會包含自己專業領域之外的知識，我們的專題機械手臂便是應用了許多機械方面的原理。對於馬達驅動結構的設計，除了上網找資料外，我們也參考了機械科的機械原理課程內容，在專題中我們便是將四連桿機構的曲柄搖桿機構及迴轉滑塊曲柄機構應用於手指及手掌之擺動。

##### (1)、曲柄搖桿機構

如圖 33 所示，AB 桿可作旋轉運動，而 CD 桿僅能作往復搖擺運動，此機構稱為曲柄搖桿機構。本專題將原理應用在手指關節擺動(圖 34 右上)及手腕擺動(圖 34 右下)即是採用此機構設計，結構配合伺服馬達旋轉帶動連桿 AB，用來驅動手指及手臂連桿 CD 之擺動。

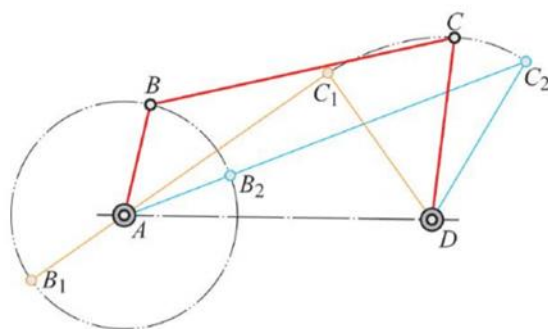


圖 33 曲柄搖桿機構

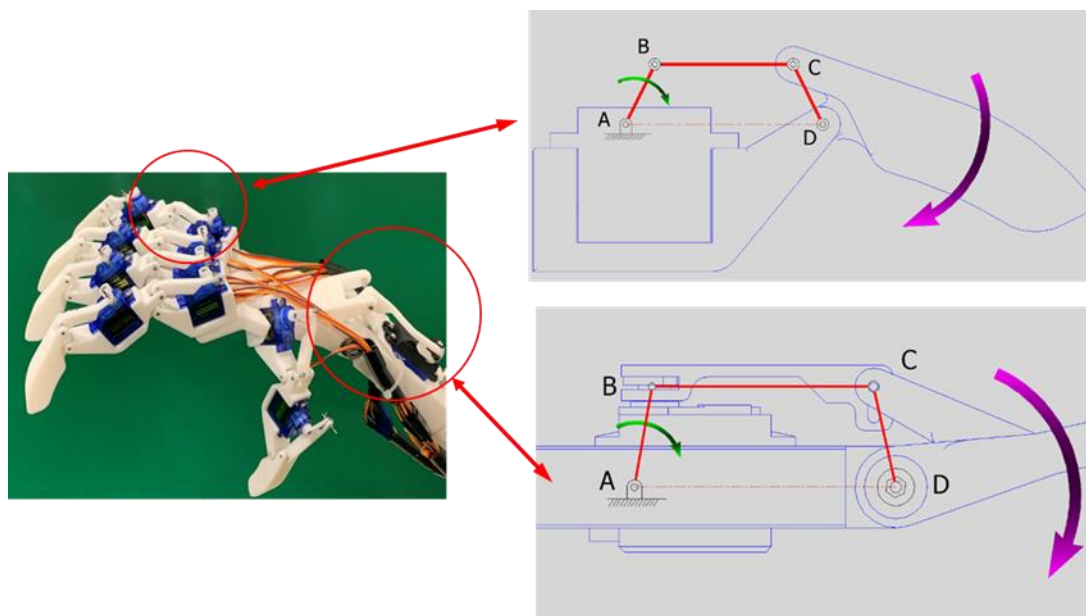


圖 34 手臂四連桿應用說明

## (2)、迴轉滑塊曲柄機構

如下圖 35 右側中，連桿 2 為整體結構之固定機架，也就是手套(圖 35 左側)上端連桿座以及手指後端關節之間的固定距離。連桿 3 繞軸心 A 旋轉，滑塊 4 則會於連桿 1 之滑槽上往復直線滑動，此時連桿 1 將被驅動，並以 B 點為軸心作搖擺運動，此為迴轉滑塊曲柄機構。本專題將此機構應用在在操作手套之指節彎曲進行可變電阻訊號傳輸上，如下圖 35 左側所示，指節 3 的彎曲運動，帶動滑塊 4 驅使連桿 1 進行擺動，用來驅動連桿轉動可變電阻。

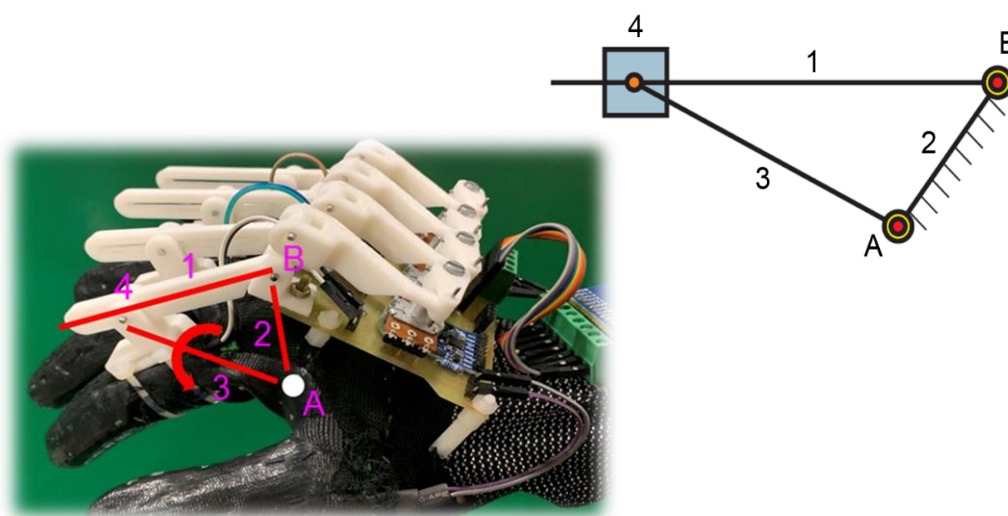


圖 35 迴轉滑塊曲柄機構及手套四連桿應用說明

## (3)、聯軸器

聯軸器是一種機械零件，可以連接二個不同機器的軸，在傳動過程中一起旋轉。在專題中我們是將馬達與手臂之旋轉軸使用聯軸器進行連接，馬達進行轉動同時帶動手臂進行正反方向之轉動，如下圖 36 所示。

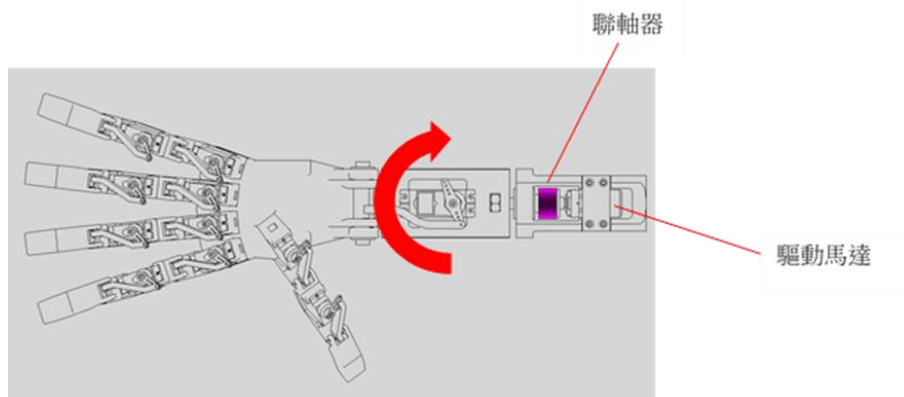


圖 36 聯軸器

## 伍、研究結果

### 一、硬體結構

模仿手臂之主體結構由 3D 列印之 PLA 材質印製，細部說明分為手掌、手腕、手臂及手套四部分，說明如下：

#### (一)、手掌部分

手掌指節部分為 SG-90 伺服馬達結合曲柄搖桿機構所驅動，總計十個指節的馬達分別拇指及中間三指前段指節由控制手套的彎曲感測器控制，尾指及中間三指之後端指節由可變電阻搭配四連桿之迴轉滑塊曲柄機構控制。手掌部分的結構如下圖 37：



圖 37 手掌結構

#### (二)、手腕部分

手腕部分之 X 軸及 Y 軸使用較大轉矩的 SPT-5425LV 伺服馬達由控制手套之傾角感測器所控制，X 軸搭配曲柄搖桿機構使手掌上下擺動，Y 軸驅動馬達裝置於手臂後段，採用聯軸器與前段手臂相連做手腕之左右擺動。下圖 38 分別為手腕 X 軸(左)之連桿結構及 Y 軸(右)之聯軸器配置。



圖 38 X 軸之連桿及 Y 軸之聯軸器

### (三)、手臂部分

手臂後段手肘使用兩顆 SPT-5425LV 伺服馬達並列反向旋轉驅動手臂上下之擺動，並在後端搭配彈簧減輕馬達負擔避免失步，手臂部分由控制手套延伸之第二片三軸傾角感測器固定於手臂上控制。手臂之驅動馬達配置如圖 39 所示。



圖 39 手臂雙馬達配置

### (四)、手套部分

控制手套之結構由前方感測器以及後方類比多工器組成。最前端的手套內側縫一片布以配置及固定彎曲感測器，彎曲感測器外側由熱縮套管保護，並能維持感測器不受外力時為平直狀態。手背配置一塊電路板整合感測器電路，同時前端之電木裝置連桿之固定座，連桿為可變電阻配合迴轉滑塊曲柄機構，而滑塊固定於手指最後段上方。兩片三軸傾角感測器分別裝置於手套背面以及第二片由杜邦線延伸拉至手臂固定分別取得數值。手套尾端為排線將感測器數值送至多工器進行數據選擇，再將電源線及信號一併出線回到控制盒內部之主控電路。下圖 40 及 41 分別為迴轉滑塊曲柄機構之動作解析以及控制手套俯視圖。



圖 40 迴轉滑塊曲柄機構動作

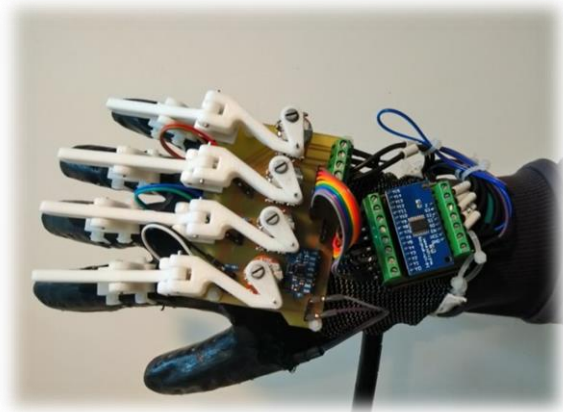


圖 41 控制手套俯視圖

## 二、控制端

### (一)、操作面板

操作面板(圖 42)位於控制盒頂面，整體使用木板經由雷射切割機加工製成。左半部為開關以及模式選擇。當切換到模仿模式時，機械手會跟隨操作者做出相對應的動作。右半部為記憶模式之操作按鈕。當切換至記憶模式時，操作流程如下：

1. 按下記憶開始鍵，程式將 SD 卡原先記憶的數值清除，機械手跟隨手部動作並且將數值傳入 SD 卡讀寫模組儲存。
2. 按下記憶結束鍵，手臂停止記憶並且復歸至原點。
3. 按下動作開始鍵，單晶片開始讀取記憶之數值並且驅動手臂，做出先前所記憶的動作。
4. 按下記憶結束鍵，中止動作並且復歸至原點。

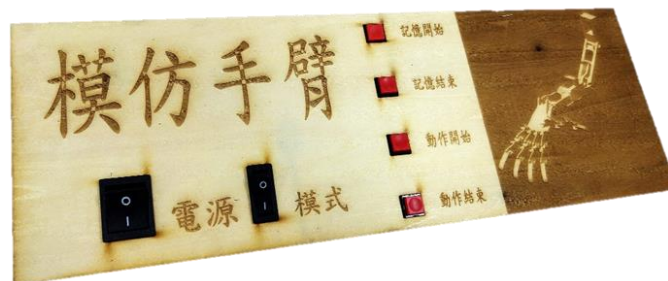


圖 42 操作面板

### (二)、控制手套

控制手套(圖 43)前端裝置彎曲感測器取得前段手指之動作，中間裝置四連桿機構配合可變電阻抓取後段指節之動作。三軸傾角感測器一片配置於手背及另一片固定於水凝膠黏於前臂獲取相對角控制馬達。手套後段為類比多工器，將數值統一輸出。

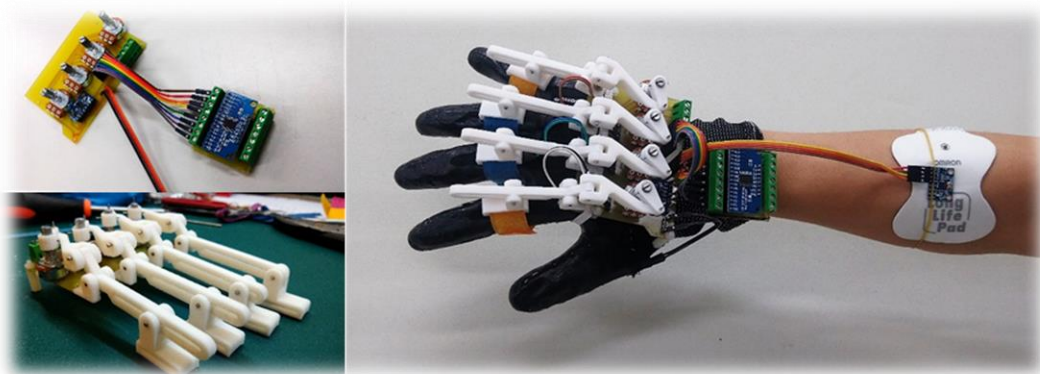


圖 43 控制手套



### 三、成果展示

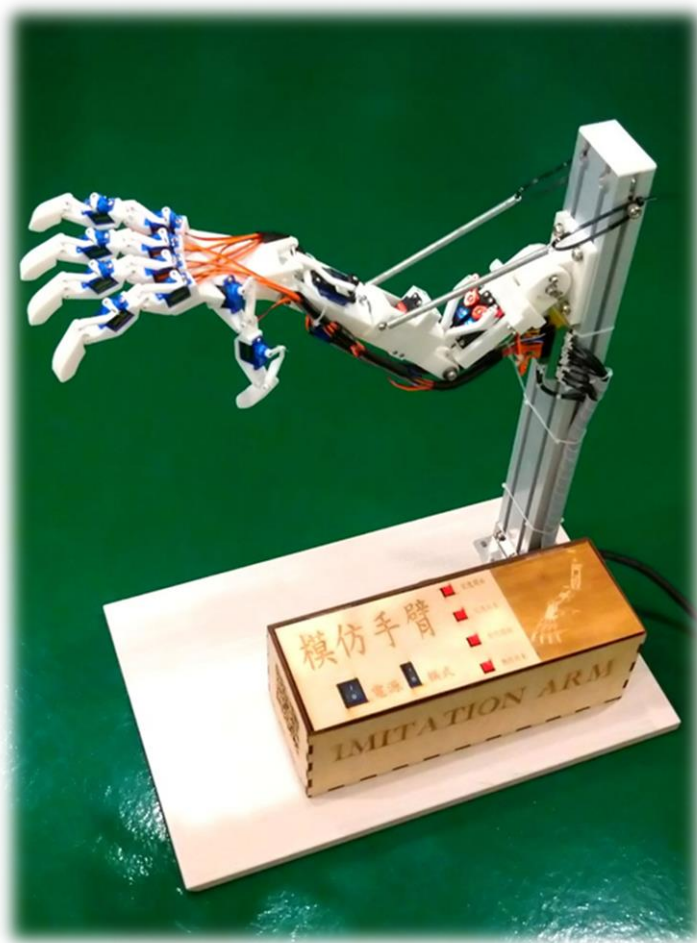


圖 44 成品展示

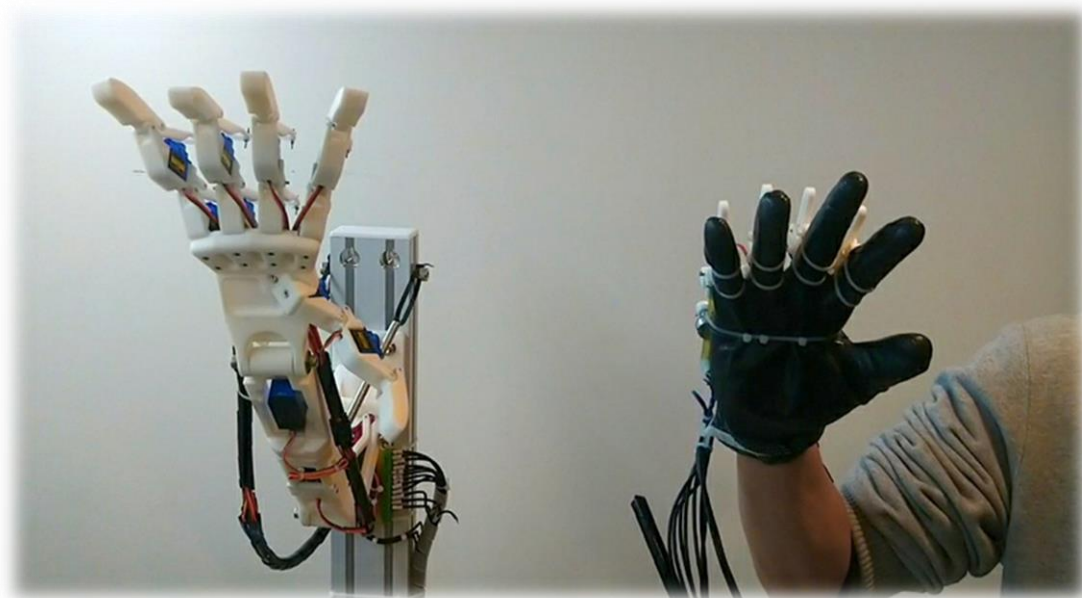


圖 45 模仿手臂操作

## 陸、討論

### 一、材質選用

在專題的主結構選用上，原先的設計是使用兩片電木中間固定銅柱作為手臂外型軀殼，但強度不佳，支撐點過於少馬達難以配置，美觀也不具一體性，於是我們改使用高一所學的 3D 建模以及 3D 列印機印製出我們手臂的主體，不但在製作上簡便有效率，更是比傳統機械製造之加工來的有彈性，能夠自由塑型配置馬達及連桿結構。其材質輕巧，列印成品內部的支架具有足夠的機械強度，美觀上更是具有一致性，生產的花費也相對便宜，因此我們選用 3D 列印的 PLA 材質作為我們主體的材質。

### 二、馬達控制

在馬達的控制上，為了使手套設計更為簡單，我們將手指細微動作較少的拇指及尾指分別簡化，拇指部分於側邊使用彎曲感測器測量數值，而尾指的部分使用可變電阻與連桿機構和其餘三指並列，在不失重大動作差異的條件下使手套外觀更有條理。

### 三、滑軌設計

在專題製作過程中，我們查找了很多機械領域相關的知識，也在設計連桿的過程中不斷的失敗與常識。在手套可變電阻拉桿的設計是我們最大的瓶頸，設計時我們延用馬達驅動的曲柄搖桿機構，卻發現機構運作是不合原理的，最前端連接到手指的端點無法順利跟隨手臂擺動，而是形成三角點卡死。最後我們發現，不只可變電阻連接需要連桿，延伸至手指也得運用連桿才能順利運作。經過一翻改良，最終我們在可變電阻與拉桿座間運用曲柄搖桿機構，而拉桿座至手指的部份我們增加了滑軌，運用的是迴轉滑塊曲柄機構。

### 四、穩定精度

本次專題的輸入端眾多，為了整合以及配合程式的撰寫，我們使用類比多工器將數值由 4 個輸出 pin 腳所控制的訊號輸出端將數值依序傳送至主控電路。多工器資料選擇的功能猶如一扇門，多個數值必須依序通過一扇門，相對便會產生延遲，而我們選用的彎曲感測器以及可變電阻屬於便宜且易取得的元件，但皆不是屬於高精度的感測元件，我們伺服馬達的使用也並不是一個極為完善的伺服系統，因此手臂會在動作上受到雜訊的干擾而不穩定。經實驗後我們的解決方法為利用演算法將差值過大的訊號濾除，使數值皆在馬達可控制範圍內，並且在結構的穩定度上我們在後端加上了拉伸彈簧，並且在驅動力臂大易產生晃動的伺服馬達部分我們使用副程式降低馬達速度，有效解決晃動問題。在未來有機會進一步研究的情況下，我們會嘗試提高感測元件的解析度及單晶片的處理速度，才能讓成品更加精進，符合工業及市場的需求。

## 柒、 結論

模仿手臂在經過不斷的嘗試與改進後，我們以 3D 列印作為主體，具有足夠的機械強度並達成我們輕量化的目標，並且在關節部分利用機械原理的四連桿作為馬達推動手臂的結構做出手指、手腕及手臂的動作。操作部份我們將所有控制整合於控制手套及控制面板，讓機械手臂的操作更加簡單易懂，初次操作的使用者皆能很快上手，程式部份我們利用多工器配合 Switch 函式以及副程式，雖然造成些許延遲，但能有效減輕單晶片運作時記憶體消耗並使程式更加穩定。

雖然在專題中我們成功將機械手的操作方式簡化，達成讓機械手臂更加簡便及應用的目的，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，並在單晶片解析度提高的情況下將機械手臂的控制手套改為無線，增加操作的便捷性並且使操作地點不再受到手套連接訊號線的限制。

一個完整的專題所需的，絕對不只單一領域的能力，在專題製作過程中，有很多專業知識是我們先前從未接觸過的，像是不熟悉電子零件使用上的通信協定問題，軟硬體整合的設計，甚至是我們遇到最大的難題：機械原理的應用。我們皆是不斷的上網查找資料，以及不斷的透過試誤法在嘗試中學習，才能順利將機械與控制整合，設計出我們的模仿手臂。也相信藉由這次專題的經歷，不僅增強了自學的能力，更是培養我們做事的態度，對日後的發展絕對是大有幫助。

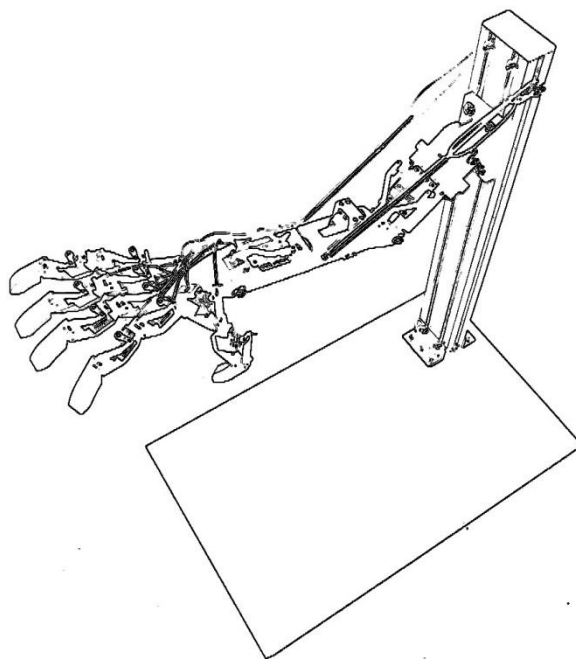


圖 46 結論

## 捌、參考資料及其他

- How to connect two MPU6050。2019 年 7 月 31 日。取自 <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=118937.0>
- ASCii 碼對照表。2019 年 10 月 21 日。取自 <http://ascii.911cha.com/>
- Arduino 筆記(16)：讀取/寫入 SD 卡資料。2019 年 8 月 11 日。取自 <https://atceiling.blogspot.com/2017/03/arduino-sd.html?m=1>
- Use The Data In SD card To Run The Servo Motor。2019 年 8 月 1 日。取自 <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=310008.0>
- 聯軸器。2019 年 11 月 2 日。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%81%94%E8%BD%B4%E5%99%A8>
- 迴轉滑塊曲柄機構原理圖。2019 年 10 月 12 日。取自 [http://www.pmai.tn.edu.tw/df\\_ufiles/df\\_pics/32710%E7%AC%AC14%E7%AB%A0.pdf](http://www.pmai.tn.edu.tw/df_ufiles/df_pics/32710%E7%AC%AC14%E7%AB%A0.pdf)
- Muxing Around With The CD74HC4067+Arduino。2019 年 11 月 30 日。取自 <https://bildr.org/2011/02/cd74hc4067-arduino/>
- STP-5425LV 規格。2020 年 1 月 17 日。取自 <https://goods.ruten.com.tw/item/show?21907813154089>
- SG-90 規格。2020 年 1 月 17 日。取自 <https://goods.ruten.com.tw/item/show?21623847332135>
- CD74HC4067 規格。2020 年 1 月 17 日。取自 <https://goods.ruten.com.tw/item/show?21712594048159>
- MicroSD 卡讀寫模組規格。2020 年 1 月 17 日。取自 <https://goods.ruten.com.tw/item/show?21924745657754>
- MPU-6050 規格。2020 年 1 月 17 日。取自 <https://www.taiwaniot.com.tw/product/invensense-gy-521-mpu6050-mpu-6050-6dof-%E9%99%80%E8%9E%BA%E5%84%80%E5%8A%A0%E9%80%9F%E5%BA%A6%E6%A8%A1%E7%B5%84%EF%BC%88%E9%99%84%E6%8E%92%E9%87%9D%EF%BC%89/>
- Arduino Mega2560 開發板規格。2020 年 1 月 17 日。取自 <https://www.taiwaniot.com.tw/product/arduino-mega-2560-r3-%E9%96%8B%E7%99%BC%E6%9D%BF-atmega2560-16au/>
- 柯雲龍、潘建安(2012)。機械原理 II。台北市：台科大圖書。