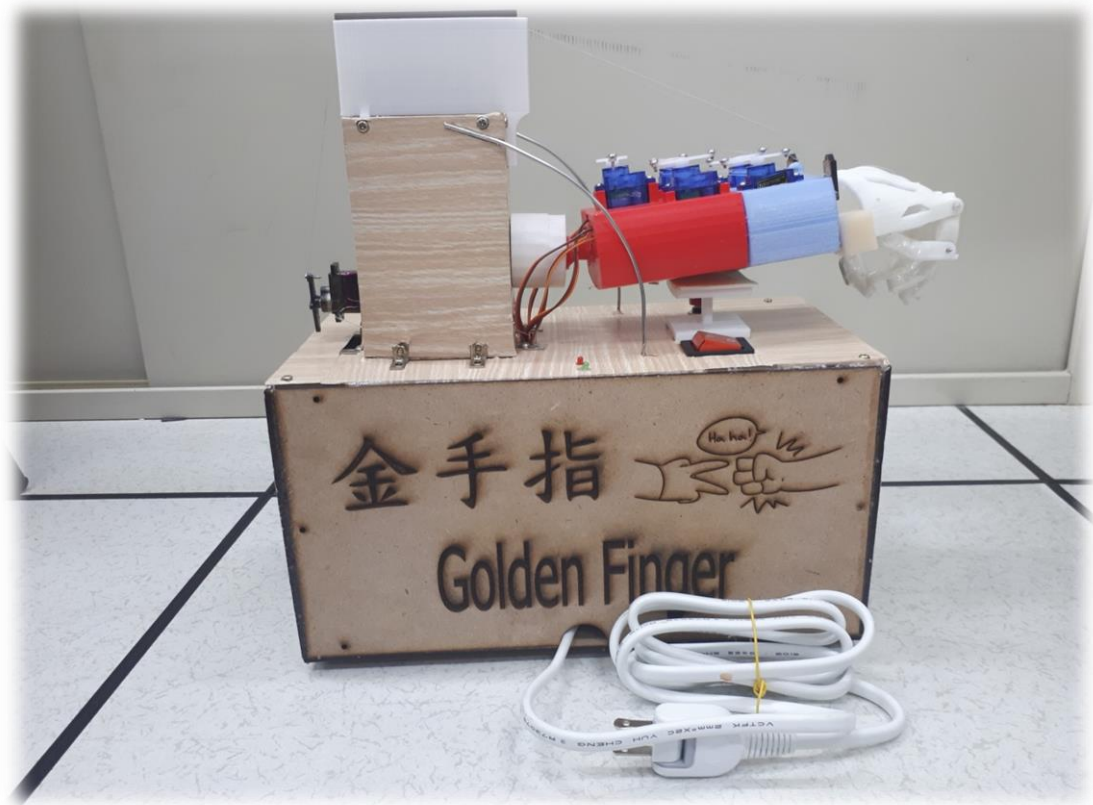


臺北市立大安高級工業職業學校專題製作競賽
「專題組」作品說明書



群別：電機與電子群

作品名稱：金手指

關鍵詞：影像辨識、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
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	7
(一)、零件介紹	7
(二)、軟體介紹	10
伍、研究結果	12
一、硬體結構	12
(一)、手指部分	12
(二)、手臂部分	12
二、控制端	13
(一)、操作方式	13
三、成果展示	13
陸、討論	14
一、材質選用	14
二、手掌控制	14
三、手臂控制	14
四、影像辨識	14
柒、結論	15
捌、參考資料及其他	17

圖目錄

圖 1	金手指.....	1
圖 2	印製手掌.....	2
圖 3	雷切外殼.....	2
圖 4	電路板設計.....	2
圖 5	電路板雕刻.....	2
圖 6	影像辨識.....	3
圖 7	底部外殼拆開後的伺服馬達.....	3
圖 8	研究步驟.....	4
圖 9	模式選擇流程圖.....	5
圖 10	猜拳模式流程圖.....	5
圖 11	復健模式流程圖	6
圖 12	SG-90	7
圖 13	MG-90S.....	7
圖 14	ATmega328pu.....	8
圖 15	樹莓派 3.....	8
圖 16	Logitech C270 Webcam.....	9
圖 17	Arduino logo	9
圖 18	Arduino 程式撰寫	9
圖 19	Pycharm logo	10
圖 20	Altium Designer logo.....	10
圖 21	電路圖設計.....	11
圖 22	電路板設計.....	11
圖 23	完成接線的電路板.....	11
圖 24	手掌結構.....	12
圖 25	拉動手臂的馬達.....	12
圖 26	切換開關及 LED.....	13
圖 27	開始按鈕.....	13
圖 28	內部結構.....	13
圖 29	外部結構.....	13
圖 30	金手指完成作品.....	15

表目錄

表 1 時間分配表.....	4
表 2 SG-90 規格	7
表 3 MG-90S 規格.....	7
表 4 ATmega328pu 規格.....	8
表 5 樹莓派 3 規格.....	8
表 6 羅技網路攝影機規格.....	10

【金手指】

壹、摘要

我們以網路攝影機偵測手指動作，經由解碼器將數值送至單晶片整合並轉換為訊號使馬達動作。手掌及手指是使用 3D 列印之 PLA 材質印製而成，能有效率製作出不規則形零件並減輕重量，驅動則使用伺服馬達。機械手臂各操作模式的切換皆使用按鈕開關及切換開關，以達成簡單易懂，方便操作之功效。

貳、研究動機

我們都知道機械手臂能幫助人們完成許多單調且重複的動作，使我們的生活更加方便，無論在日常生活或是工廠的生產線，都已成為了一項不可或缺的存在。在去年觀賞科裡專題成果發表時，有一隻特別的機械手臂吸引了我們的目光，它能夠記錄操作者的手部動作路徑，並且能將其記錄的路徑重現。這樣的操作方式有別於我們印象中機械手臂的動作模式，使我們產生靈感。因此，我們決定以該機械手臂的外型為雛型，著手製作我們的專題「金手指」。另外，現代人常因工作或課業繁忙而運動不足，造成大腦血液循環不佳，甚至導致失智。在我們上網蒐集資料之後，找到一種稱為「手指微運動」的方法，能夠有效降低失智的風險。假使我們將「機械手臂」及「手指微運動」兩個元素結合，便能使機械手臂之應用範圍更廣，不再侷限於傳統機械手臂功能的限制。

因此，我們希望藉由這次研究，應用在學校所學及自學之程式設計、機械結構、電路設計及軟硬體之整合，透過一個輕量化、易操作並且有手指及手臂的機械手臂模型(如圖 1)，不但能夠符合我們專題的研究動機，更能改善現代人的健康問題。

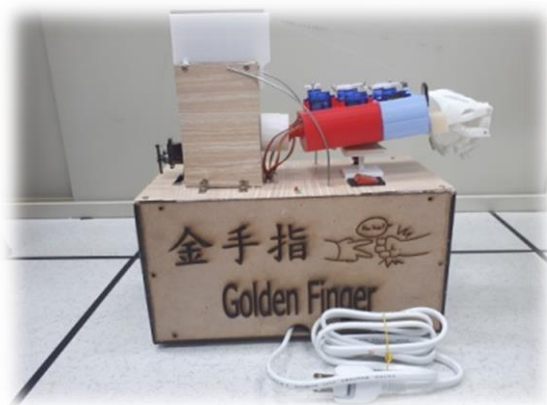


圖 1 金手指

參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

一、硬體製作

在高二的實習課中，我們學會建立 3D 的模型，學習 3D 列印機及雷射切割機的使用，讓我們繪製所構思的物品，並且在一定時間內成為實體，是非常便利的硬體建造方法，因此我們選用 3D 列印(如圖 2)的 PLA 材質做為專題的主體，質地輕巧又堅固，同時讓我們的實體更美觀。控制盒的外殼上，我們使用雷射切割機製作，將繪製的檔案轉換後使用雷射切割機將木板切割成型(如圖 3)，兼具美觀，也更符合我們專題的需求。



圖 2 印製手掌



圖 3 雷切外殼

二、電路雕刻

高二的實習課當中我們接觸了电路板的繪製以及雕刻，我們可以在 Altium Designer 軟體中設計電路圖並轉為 PCB 板電路(如圖 4)，轉檔後再使用雕刻機將自己設計的電路板刻出(如圖 5)。在設計較複雜的電路時，相比於使用麵包板做出程式測試的電路，將需要一個更穩定的電路，而使用手工銲接的方法既耗時又容易出問題，而使用 Altium Designer 以及電路板雕刻機讓電路設計能在短時間內完成，省去手動佈線的麻煩及減去人工操作的潛在錯誤，是非常便利的工具。

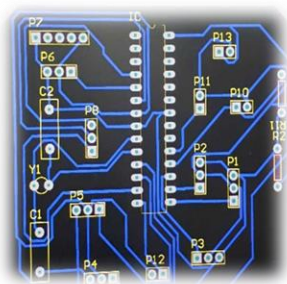


圖 4 電路板設計



圖 5 電路板雕刻

三、程式撰寫

在高二的數位邏輯實習課，從 PLC 及 CPLD 的課程中學習到基本的程式邏輯和演算法。在本次的專題中我們用課堂所學之 Arduino 撰寫主要的控制程式，進行訊號的轉譯，並進行馬達的控制，進而控制整隻手臂。另外，我們使用自學的 Python 語法，撰寫影像辨識的程式，並在樹莓派上運作，此程式能辨識出鏡頭畫面中手指的數量(如圖 6)，並將手指的數量以數位訊號的方式傳送至 Arduino，並進行後續處理。

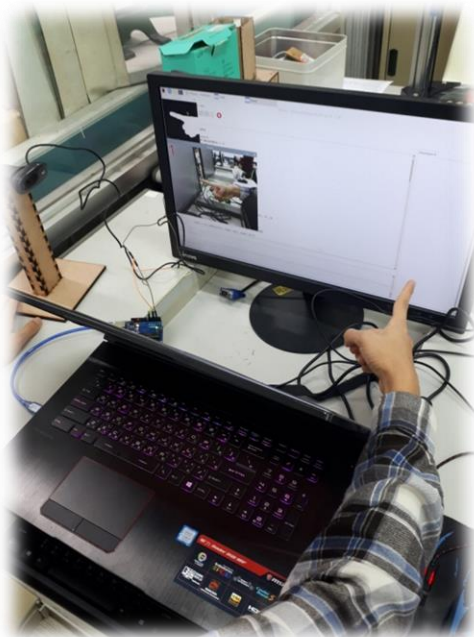


圖 6 影像辨識

四、特殊電機

高二的電工機械課程最後章節介紹到了伺服馬達，伺服馬達具有精準、反應快速，以及輸出穩定的特性，且伺服馬達的電路能夠感測馬達位置訊號並且對目標值持續修正，以保持精準度，穩定且快速的特性符合我們對手臂及手指控制的需求，因此我們選用伺服馬達作為機械手指及手臂之動作。另外，我們將伺服馬達底部的外殼拆下，以減少其佔用的體積。(如圖 7)

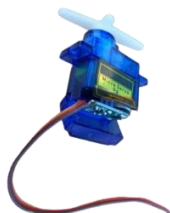


圖 7 底部外殼拆開後的伺服馬達

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釣魚線能拉動手指的設計，接著開始設計電路，著手於手臂拉動及外殼之設計，最後做程式與硬體的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 8：

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.認識樹莓派							
4.手臂製作							
5.外殼製作							
6.程式撰寫							
7.電路設計							
8.成品測試							

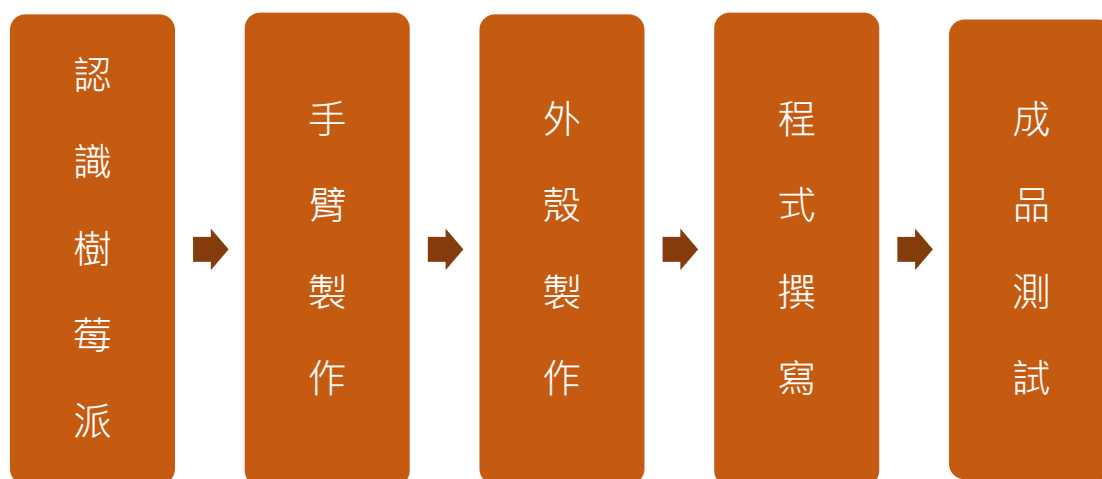


圖 8 研究步驟

(二)、操作步驟

1、模式切換

金手指分為猜拳模式以及復健模式，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 9 所示。猜拳模式以及復健模式如下說明：

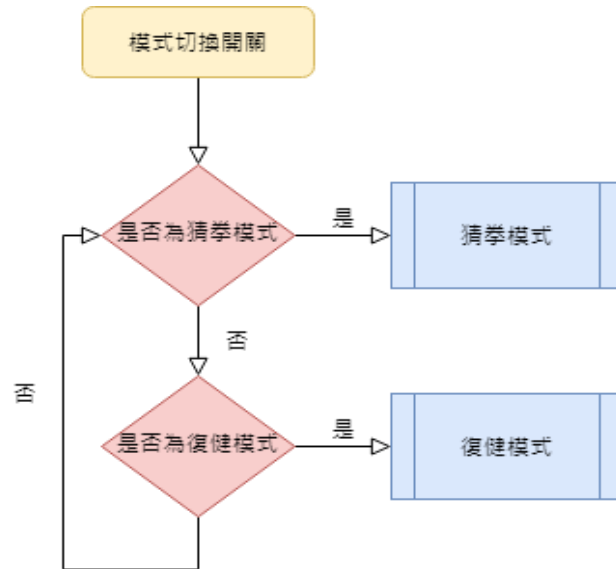


圖 9 模式選擇流程圖

2、猜拳模式

當切換到猜拳模式，程式便會等待按鈕的按壓，按下按鈕後，猜拳模式便開始，在猜拳模式當中，攝影機會隨時打開，樹莓派會隨時不停將手指訊息傳至 Arduino，其工作流程如圖 10 所示：

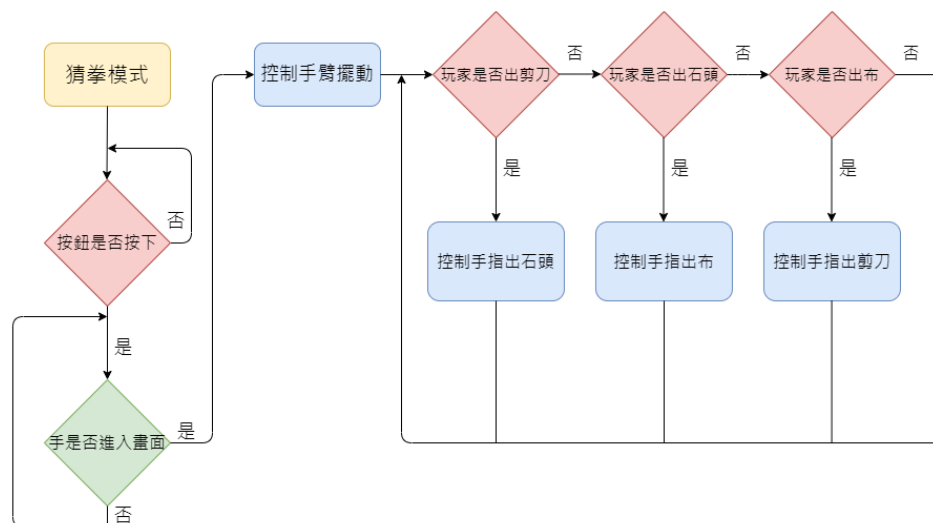


圖 10 猜拳模式流程圖

3、復健模式

開關切換至復健模式後，復健模式開始，手指便會開始動作。其操作流程如下圖 11 所示：

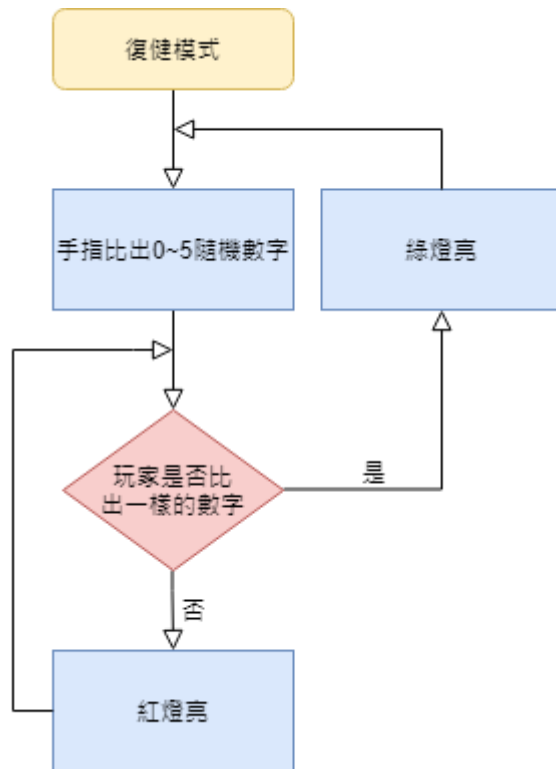


圖 11 復健模式流程圖

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 的轉矩，內部由直流馬達、齒輪箱、軸柄及控制電路所組成，可以透過 PWM 訊號控制轉動角度，範圍約為 0 至 180 度。其輕巧且體積較小，符合手指控制及不需大轉矩的需求，因此我們使用 SG-90 伺服馬達(圖 12)以拉動釣魚線的方式模擬手指的彎曲。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	0~180°
產品扭矩	1.8kg/cm
工作電壓	3.0~7.2V
工作模式	類比



圖 12 SG-90

2、伺服馬達(MG-90S)

MG-90S 伺服馬達有相對於 SG-90 較大的轉矩，普遍使用在小型機械手臂，其可轉角度為 0 至 180 度。在本專題中由於晃動手臂產生之反轉矩對於馬達之負荷較重，我們將原先轉矩為 1.8kg/cm 之 SG-90 伺服馬達更換為 2kg/cm 之 MG-90S 伺服馬達(圖 13)並且搭配釣魚線，以此拉動手臂，使其晃動。

MG-90S 之規格如下表 3：

表 3 MG-90S 規格

產品尺寸	22.8*12.2*28.5mm
重量	13.6g
無載速度	0.11s/60° (4.8V)
可控角度	0~180°
產品扭矩	2kg/cm
工作電壓	3.0~7.2V
工作模式	類比



圖 13 MG-90S

3、ATmega328pu

在本專題中扮演程式運行的中樞，ATmega328pu(圖 14)是一顆八位元 AVR 精簡指令型微控制器。我們將其搭配 Arduino UNO 開發版進行程式的燒錄以及測試，因為 Arduino 的高自由度及兼容性，我們決定使用 Arduino 進行主要的程式撰寫。ATmega328pu 之規格如下表 4：

表 4 ATmega328pu 規格

中央處理器種類	40x18x3.6mm
腳位數量	26-pin
工作電壓	5V
工作頻率	16MHz
記憶體大小	32kB

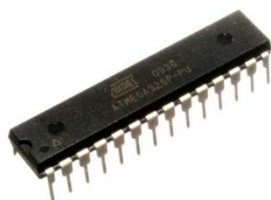


圖 14 ATmega328pu

4、樹莓派 3(Raspberry Pi3)

樹莓派(圖 15)是使用 Linux 介面的微型電腦，專為學生編程教育而設計，為了使影像辨識程式的運行微型化，使用它運行 Python 程式，能滿足我們將程式放進專題內部的需求。

樹莓派 3 之規格如下表 5：

表 5 樹莓派 3 規格

工作電壓	5V
尺寸	85.60 x 53.98 mm
重量	48g
USB 接口量	4 個



圖 15 樹莓派 3

5、羅技 Logitech C270 Webcam 網路攝影機

此攝影機接於樹莓派的 USB 孔，負責實時擷取畫面，供樹莓派中的 Python 程式進行影像辨識，由於羅技 C270(圖 16)的高幀數及高畫質符合我們對於程式運行要高速且精準的需求，故選擇此攝影機。

表 6 羅技網路攝影機 規格

影像畫質	1280*720 像素
通信方式	高速 USB2.0
幀數	30fps
視野	60°



圖 16 Logitech C270 Webcam

(二)、軟體介紹

1、Arduino

Arduino 是一個硬體和軟體的開源電子平台，它提供了易學易用的整合開發環境(Interactive Development Environment, IDE)，其特色為開發簡單，參考資料多。撰寫的語法與 C 及 C++相似，但更容易理解。因此在學習門檻低、價格便宜、使用範圍又極為廣泛的特性下，我們選用 Arduino 作為我們主要程式設計的軟體。Arduino 程式以 setup()及 loop()兩個函式為主體，隨編寫者需求能夠在網路上搜尋不同外接硬體所需的程式模組。



圖 17 Arduino logo

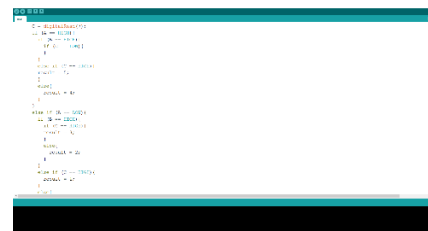


圖 18 Arduino 程式撰寫

2、Pycharm

Pycharm 是一個用於電腦 Python 編程的整合開發環境(Interactive Development Environment, IDE)，由捷克公司 JetBrains 開發，有簡單易懂的介面，易於安裝的模組及能快速建立的虛擬環境，由於這些方便、快速的特性，有助於我們在影像辨識程式上的測試，故選擇此開發環境。



圖 19 Pycharm logo

3、Altium Designer

Altium Designer(圖 20)能夠設計電路圖，並將電路圖轉換成刻電路板所需的所有檔案，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，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(圖 21、22)，完成並轉檔後再使用電路板雕刻機將設計的電路板刻出。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且容易錯亂的電路，電路板將使我們電路實體(圖 23)更為便利且穩定，並能排除潛在的人為疏失。



圖 20 Altium Designer logo

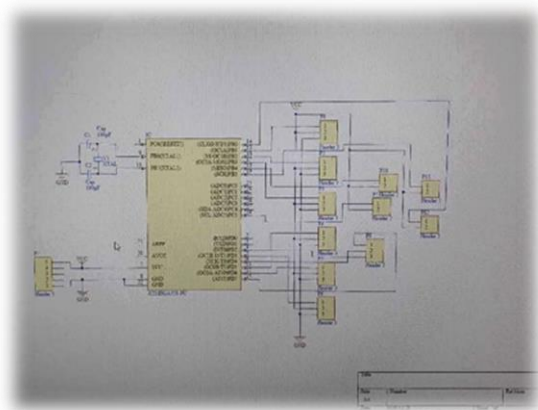


圖 21 電路圖設計

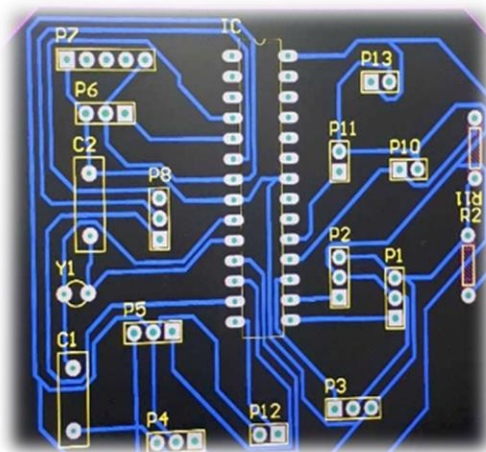


圖 22 電路板設計

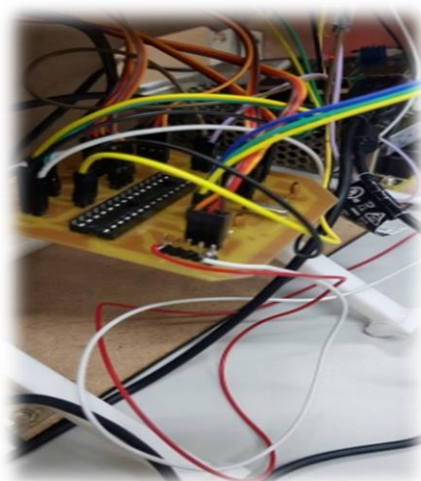


圖 23 完成接線的電路板

伍、研究結果

一、硬體結構

金手指之主體結構由 3D 列印之 PLA 材質印製，細部說明分為手指及手臂兩部分，說明如下：

(一)、手指部分

指節部分為 SG-90 伺服馬達拉動細線所驅動，細線的一端綁於馬達，細線穿過手指中間的細孔洞，最後固定於指尖的位置。馬達的正轉和反轉分別代表手指的握緊和張開。手指部分的結構如下圖 24：



圖 24 手掌結構

(二)、手臂部分

手臂使用 MG-90S 伺服馬達拉動細線已進行手臂的擺動，細線的一端綁於伺服馬達，在機構的最上端分成兩條線，固定於手臂前端的左右，即可進行拉動。手臂之驅動馬達配置如圖 25 所示：

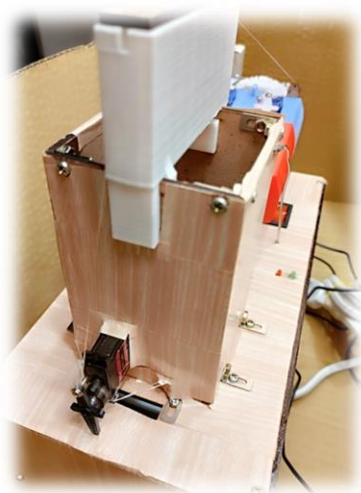


圖 25 拉動手臂的馬達

一、控制端

(一)、操作方式

操作部分位於控制盒頂端，為一 3mm 密迪板由雷射切割機加工而成。左半邊(圖 26)為模式切換及顯示用 LED，其中零代表猜拳模式，一代表復健模式；右半邊(圖 27)為模式開始的按鈕，按下按鈕即可開始使用當下所切換之模式。



圖 26 切換開關及 LED

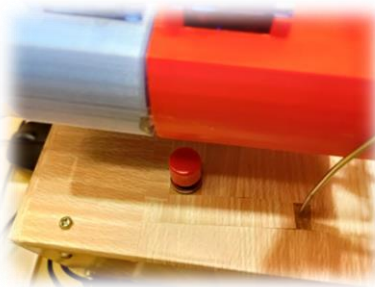


圖 27 開始按鈕

二、成果展示

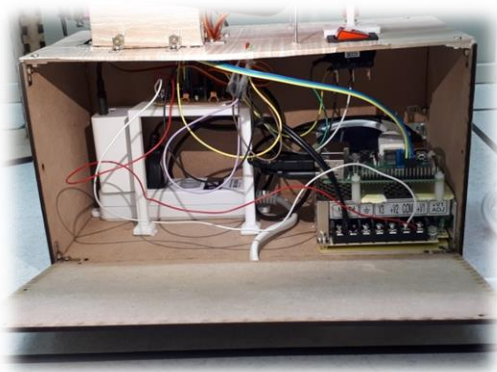


圖 28 內部結構

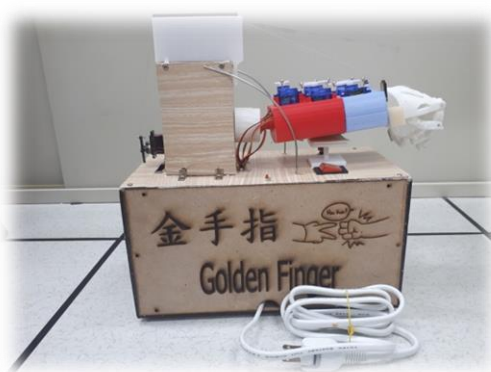


圖 29 外部結構

陸、討論

一、材質選用

我們使用高二所學的 3D 建模以及 3D 列印機印製出我們手臂的主體，不但在製作上方便有效率，更比傳統機械製造之加工來的更有可塑性，能夠自由配置馬達位置。另外，我們選用密迪板作為外殼，其材質輕巧，放置內部控制電路後仍具有足夠的機械強度，美觀上更是具有一致性，也相對便宜。

二、手指控制

人類控制手指的肌肉不在手掌上，而位在手臂下方。我們由此產生靈感把控制手指的馬達放在手臂上，再用釣魚線拉動模擬人類手指的運動情形，因此我們在自行印製的手掌及手指的關節處鑽了許多線槽，將釣魚線的一端穿入其中，再將釣魚線的另一端綁在伺服馬達的舵角片上，以控制手指的細微動作。並用手指關節插入白鐵線方便指節連接。

三、手臂控制

在專題製作過程中，我們查閱了很多機械手臂相關的知識，也在設計固定手臂的材料中不斷的遭遇失敗。起初，我們使用樂高積木的球窩頭來固定，卻發現摩擦力過大，導致伺服馬達卡死而無法順利拉動手臂。經過請教機械方面的專家關於球窩頭的原理後，我們決定自行以 PLA 材質繪製球窩頭，經過多次改良，最終成功印製出符合我們機械手臂的球窩頭。另外，我們將一顆轉矩較大的伺服馬達置於外殼後方，同樣將釣魚線綁在舵角片上來拉動手臂。

四、影像辨識

本次專題在影像辨識程式的部分使用 python 語言撰寫，使用網路攝影機實時擷取使用者的手部動作，並以人類膚色平均的 HSV 數值取出畫面中出現玩家手的部分，只要使用者的手在螢幕視窗內的方格中，程式就能利用畫面中指縫的數量，而手指數量便是指縫數量+1，有了手指的數量後，即可知道玩家的出拳，最終將玩家的出拳資訊以樹莓派腳位輸出的方式傳送至 Arduino 進行主控程式的後續處理，最後控制馬達拉動釣魚線以控制手臂及手指做出相應的動作。但經過程式的測試後我們發現玩家在使用時畫面的背景容易出現膚色的物件進而影響程式的辨識，為此我們使用白色的塑膠板至於畫面的背景，即可屏蔽掉任何會影響程式運作之物件。另外，由於程式辨識手指數量的機制為尋找指間數，玩家只要比出兩支手指都會被程式辨識為剪刀，在未來能有機會進一步發展的情況下，我們將會把影像辨識的程式替代為深度學習的物件辨識程式，提高辨識玩家手指的精準度。

柒、結論

金手指在經過不斷的嘗試與改進後，最後以 3D 列印作為主體，密迪板作為外殼，具有足夠的機械強度，同時達成輕量化的目標，利用馬達拉動手部做出手指及手臂的動作。操作部份我們分為猜拳及復健兩種模式，其切換方式我們選用切換開關，初次操作的使用者皆能很快了解。程式部份則分為馬達控制及影像辨識兩大部分。

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。希望未來能夠提高影像辨識的準確及穩定度，使動作更加流暢。

一個完美的專題所需的，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不曾接觸過的，像是不熟悉影像辨識，軟硬體整合的設計。我們皆是不斷的從書本和網路查詢資料，以及不斷的透過試誤法在嘗試中學習，才能順利將機械與電路整合，設計出我們的金手指(如圖 30)。也相信藉由這次專題的經歷，不僅增強了自學的能力，精進對各方面專業知識的領悟，更是培養我們做人處事的態度，對日後的發展絕對是大有幫助。



圖 30 金手指完成作品

捌、參考資料及其他

- Janken (rock-paper-scissors) robot with 100% winning rate。2020 年 7 月 31 日。取自
http://www.hfr.iis.u-tokyo.ac.jp/research/Janken/index-e.html?fbclid=IwAR0Q7id3Mip2t9ZOtRRV4miMzvyvNoAk_OTzH6N6nWyYeCxOBxGBbf5s2bw
- Arduino 筆記(16)：讀取/寫入 SD 卡資料。2020 年 8 月 10 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。2020 年 8 月 21 日。取自
<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=310008.0>
- SG-90 規格。2020 年 9 月 17 日。取自
<https://goods.ruten.com.tw/item/show?21623847332135>
- MG-90S 規格。2020 年 10 月 14 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?21524764545667>
- logitech C270 HD Webcam 規格。2020 年 10 月 17 日。取自
<https://www.ruten.com.tw/item/show?21903575887870>
- 懶番茄。2020 年 11 月 24 日。取自
<http://lazytomatolab.com/as-12/>
- 梁賢達、黃慧容 (2015)。電工機械 II。新北市：台科大圖書。
- 鄧文淵, 文淵閣工作室(2020)。Python 機器學習超進化：AI 影像辨識跨界應用實戰:基峰出版社。