

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高職組 機械科

第一名

090906

機械手臂交握模擬智慧化工具機自動進料

學校名稱：國立花蓮高級工業職業學校

作者：  職三 王皓平  職三 顏 暄  職三 曾繼緯	指導老師：  江銘瑜  高忠福
---	-----------------------------

關鍵詞：機械手臂交握、智慧化工具機

## 得獎感言

參加這次的全國科展，在這當中，我們學到了很多，從一開始只有一隻手臂，到現在演變成兩隻手臂交握，除了我們的認真堅持之外，最重要的是有指導老師的用心與陪伴，才能有今天的佳績。

從電腦繪圖開始，老師給我們很多的基本概念，像是手臂的組成、夾爪的設計、馬達的選擇、工業 4.0 基本概念……等。我們從翻閱書籍與網路查詢再加入我們基本設計的概念，一步步的將手臂設計出來，先設計出一隻手臂，再從第一隻手臂的缺點作改良設計，製造出第二隻。在設計手臂時，如果有一手臂的關節出了問題，可能就要花非常長的時間去做修整與改良，也從繪圖程式中模擬手臂的動作，所以我們花了大概 4~5 個月的時間製作第一隻手臂。

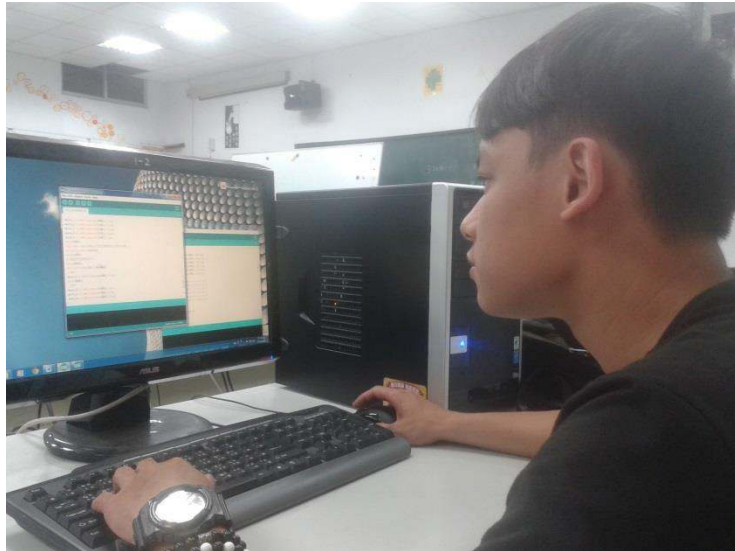
在程式設計中，為了讓交握位置準確，我們在馬達旋轉角度的數值控制，不斷的修正很多，還有在兩隻手臂傳遞訊息的程式設計，我們則由指導老師的方向翻書設計，但是設計過程中遇到很多難題，這也是我們最難跨過的一關，因為一開始在調整程式角度時，兩隻手臂常常會碰撞在一起，或單隻手臂在開始動作時，會碰撞到工作台(放物件的平台)，所以我們花了很多時間在做程式的設計與角度的調整。

文書設計，為了讓我們科展主題顯出，我們在文書方面也參考了很多不同風格報告，我們也講幾個重要大綱先定好，再由大綱方向延伸探討，過程中我們發現手臂上很多東西的來源我們都不太清楚，藉由詢問、翻書、網路查詢……等，我們對手臂的了解與功用，更深入一層。

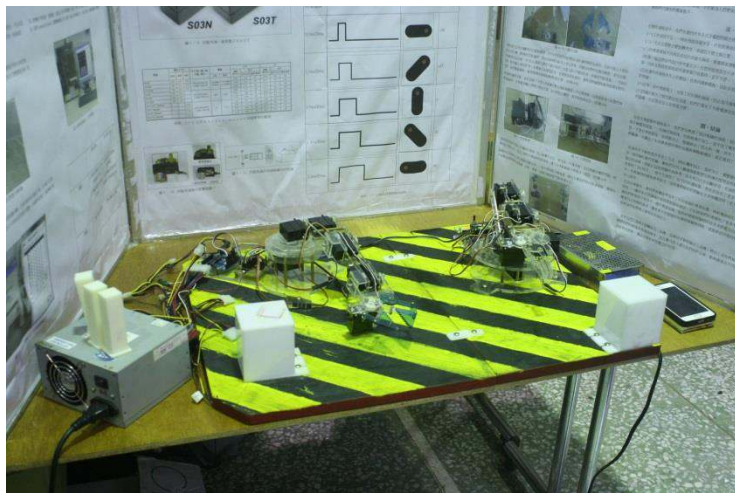
在東區科展評審老師給我們的建議，我們也以不同方式改良與測試，從新擬定一個數據表，將手臂振動問題，一步步的調整與解決。我們也將未來手臂改良的方式以影片呈現，讓更多智慧化業者或需要時用在教育方面的使用者，能有更多方向可以設計改良。

製作手臂過程中，我們非常感謝指導老師的支持與教導，給予我們很多方向，讓我們每一個人在這過程中，學習到很多不同的知識，也讓我們對智慧化更進一步了解與認識。

從東區科展到全國科展，過程中的努力，對我們來說是最難能可貴的，非常謝謝指導老師的用心也謝謝科展的每一位評審老師的建議，使我們有相當大的收穫，未來也希望有這方面的比賽讓我們有更多進步的空間。



在程式設計方面，我們主要是翻閱 Arduino 參考書以及上網搜尋相關程式撰寫的資料，遇到問題時指導老師會指引我們尋找答案。



從東區科展中，我們了解到作品不足的地方，雖然有幸獲得了晉級的機會，但我們從比賽回來後，馬上針對評審說的問題點去做修改。



感謝評審老師對我們的肯定，讓我們得到了不錯的成績，也感謝一路上支持我們的指導老師，但我們也不會因此而自得意滿，在未來我們也會去嘗試挑戰各種不同類型的專題作品。

## 摘要

本作品係針對工廠各式設備、加工機等夾持工件時需要人工作業，會有危險及低效率的缺失。因此設計兩部機械手臂交握(Handshake)模擬機械手臂與各式加工機械設備交換工件的功能，同時具有增進工作效率及兼顧安全之優點。

使用電腦設計製圖軟體 Inventor 設計多軸式機械手臂，以電腦做動作模擬分析。

以 AutoCAD 檔案運用雷射切割壓克力做成手臂零件，也使用 3D 建模轉 STL 檔案以 3D 列印零件加上伺服馬達組裝做成機械手臂。運用 Arduino 控制馬達，寫成手臂交握程式，完成軟硬體電路測試組裝。

整體來說是機械設計及智慧化工具機的實務作品。未來可延伸作為機械手臂與各式加工機械、搬運車等設備轉移工件使用。

# 壹、研究動機

## 一、研究背景與動機

工業生產朝向「自動化」發展，純人力生產的產業逐漸被取代，許多精密的生產組裝流程，都不再使用人力，其中最常使用的就是「機械手臂」，跟人力相比成本低出許多，速度也大大提升許多，且減少許多人工生產作業中，可能產生工業傷害，因此機械手臂成了現代「自動化」生產的重要元素。

本專題製作相關課程教材包含「機械電學實習、機械加工實習、機械設計製圖、立體電腦製圖、實物測繪、設計與加工實習、雷射加工技術、電腦輔助設計與製造、精密量測、3D 列印技術」等技術知識能力。

本專題的主要目的，在於能夠透過模擬機械手臂交握的過程，來給與大家更認識現代工業生產「自動化」的大概情況，並能透過此專題帶給大家更多關於「自動化」方面的想法，並能更廣泛運用在各個地方。希望大家看完我們的報告後，能夠也試著做出各式各樣動作的機械手臂，並激發大家更多關於「自動化」方面的想法，大家可以自己試著做做看，手臂的程式也都是免費、簡單的軟體，程式主體是用 A d u i n o 為主體。

## 二、報告架構

本報告將按照下列架構來論述；第一章研究動機；第二章研究目的；第三章說明設計所有有用到的程式語言，包含機械手臂的程式語言、伺服馬達介紹及其驅動方式，也描述所有的軟硬體介紹其中包含機械手臂的驅動電路板、驅動電池，雷射束加工 (LBM)、3D 列印等…各種設備，以及設計機械手臂所牽涉到的軟體亦將在此一併介紹；第四章為研究過程及方法，分別對機械手臂的製作流程與各個零件作說明與比較，作出表格讓製作的成本能有更清楚的分析呈現；第五章為研究結果，將完成後比較出此專題所帶來的效益，將完成後與未完成所帶來的差別，第六章為問題與討論，將過程中所遇到的問題與解決方法，依依呈現在報告中，讓大家能看完報告後，不僅僅能對此專題有更深的了解，也能在家試作時能參考我們的報告，進行問題改善；第七章為結論，我們將製作專題過程中所學的一切詳細報告，也介紹了作品未來的發展性；第八章為參考文獻。

## 貳、研究目的

希望大家閱讀此報告後，對工業型機器手臂設計組裝產生興趣且對「智慧化工具機自動進退料」流程有更進一步的認知，也可以自行獨立設計與完成心目中理想的機械手臂。也希望藉由本報告，可以把我們所遇過的一些問題及解決方法提供給大家，大家在閱讀後能快速的解決問題及找到正確的解決方法。

本專題研究目的是作為智慧化工具機應用，實務上可以延伸應用作為機械手臂與各式加工機械、搬運車、倉儲、檢驗裝置等設備之間轉移工件使用，或是自動焊接及自動切割等工作應用。

## 參、研究設備及器材

### 一、Arduino UNO 控制板

Uno 是義大利文「1」的意思，代表 Arduino 開發工具迎向 1.0 版的里程碑(註：於 2011.11.30 發表，在此之前，開發工具軟體的版本是 0019, 0023 之類的編號)。同時，Arduino UNO 控制板的插槽設計，也稱為「1.0 腳位 (1.0 Pinout)」。比起之前的板子，多了 SDA 和 SCL (位於 AREF 插孔左側) 以及 IOREF (位在 RESET 插孔左側)。

UNO 控制板最大的特色是採用了另一個微控制器 (MEGA16U2 或 MEGA8U2)，作為 Arduino 與電腦 USB 溝通的序列轉換介面。因此，UNO 的生產成本比較高，售價甚至比後進 Arduino Leonardo (李奧納多) 板子還貴一點，此控制板共有 11 支接點 (2~13)。

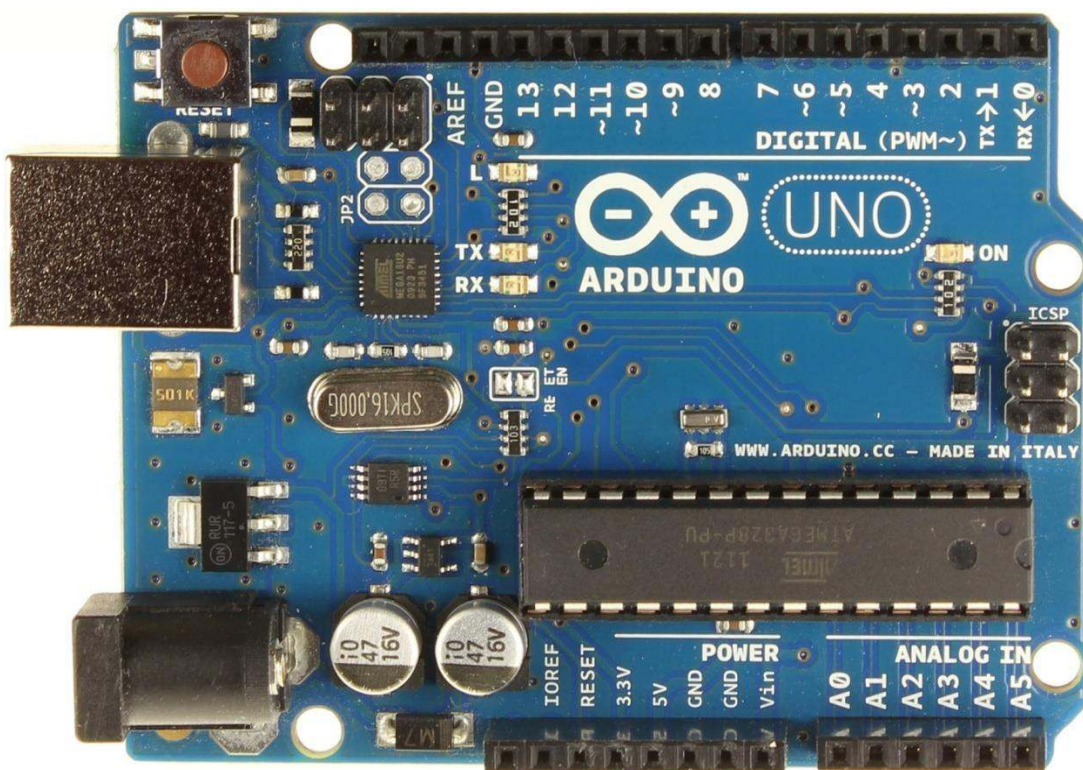


圖 3 - 1 Arduino UNO 控制板

## 二、電源

馬達跟控制板皆需要 5v 的電力，但我們的手臂兩台手臂，分別由第一版跟第二版合作的，所以架構上稍有不同，第一版手臂因為許多地方都還不如第二版完善，外觀上部分也都略為粗糙。

第一版電源部分是用電腦的電源供應器(圖 3-2)，將供應器上 5v 的線做出接點，提供電源，第二版因考慮到電源供應器太大不好攜帶，且外觀並不美觀，於是我們使用 12v 的外接電源(圖 3-3)，並在電路板上焊上變壓器，讓電力進入後轉為需要的電壓。

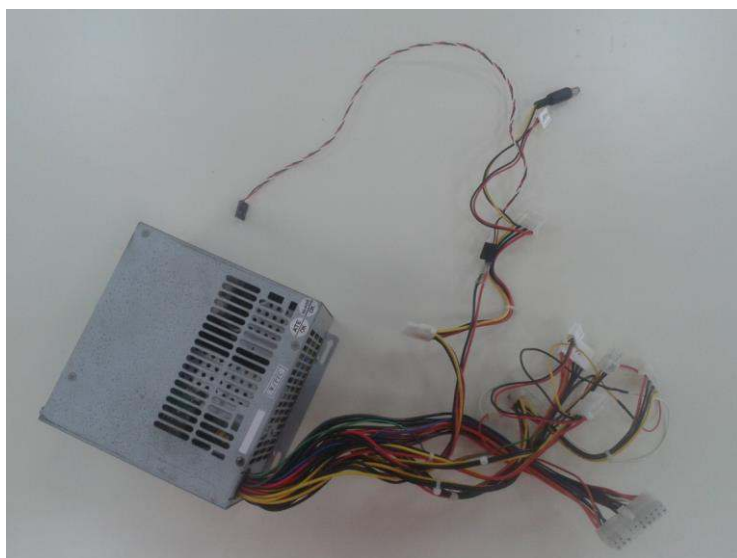


圖 3-2 電源供應器



圖 3-3 12v 外接電源



### 三、雷射束加工【LBM】

雷射束加工（Laser Beam Machining）是利用能量密度很高的激光束使工件材料熔化、汽化和蒸发而達到切割材料效果的高能束加工，雷射束加工主要運用於打孔、切割、焊接、表面處理等....使材料成形和改形一系列加工工藝當中。

雷射切割機內部是利用鏡片反射，將雷射反射至加工噴頭中運作，在機器當中裝有自動控制，讓電腦檔匯入機器當中後，能依照電腦檔的圖形自動進行切割，並且能自行調整雷射功率，依需求切割各種材料厚度。



圖 3-4 雷射切割進行過程圖

本專題所選用的雕刻機為 Mercury II M40 雷射雕刻機，主要切割材料為壓克力板，它的最  
大切割為 800x570x165 公厘，功率跟速度可以由 0.1~100%依自身需求調整，自動對焦功能，z  
軸移動由電動自動控制。

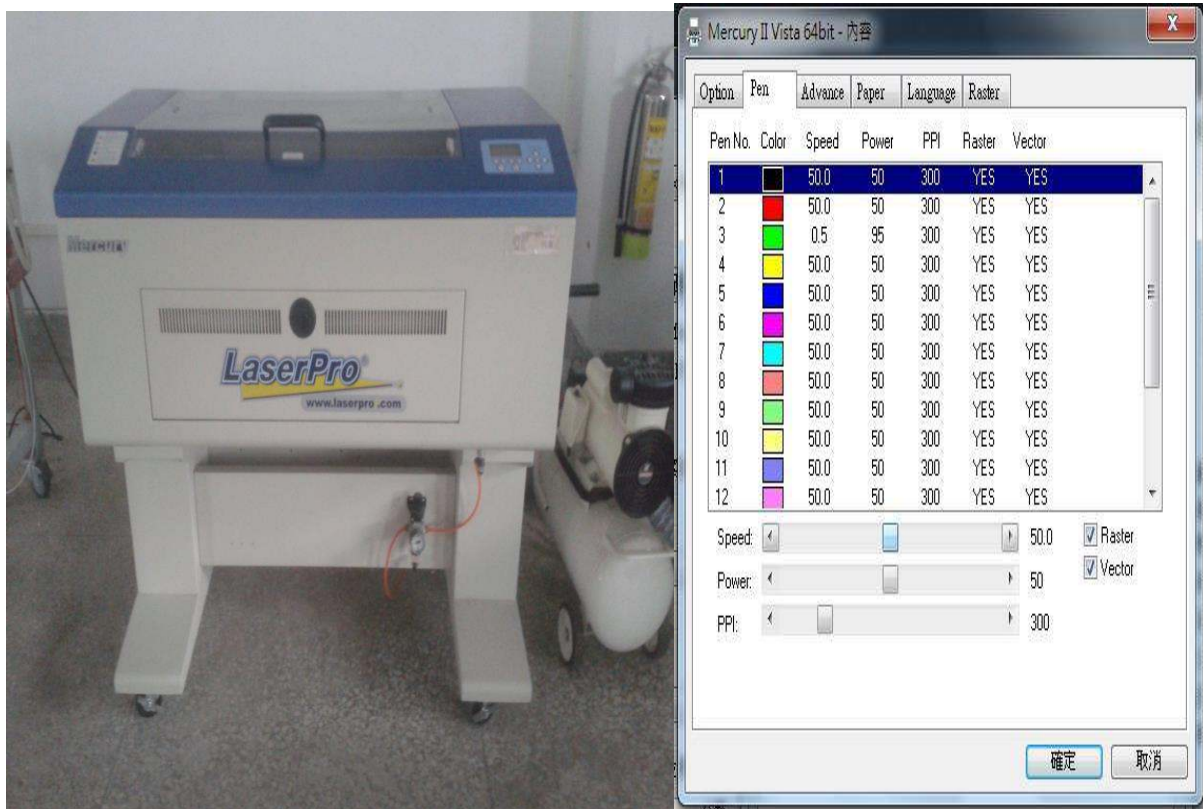


圖 3-5 雷射切割機(左)、功率調整圖(右)

第二版機械手臂底座、連接點，都是由 3D 列印機製作而成，製作出得成品比起壓克力板，較為美觀且抗壓力較高，能將 Autodesk Inventor 立體圖轉檔成 STL 檔案，載入印表機當中，用 ABS 線一層層堆疊列成實體。

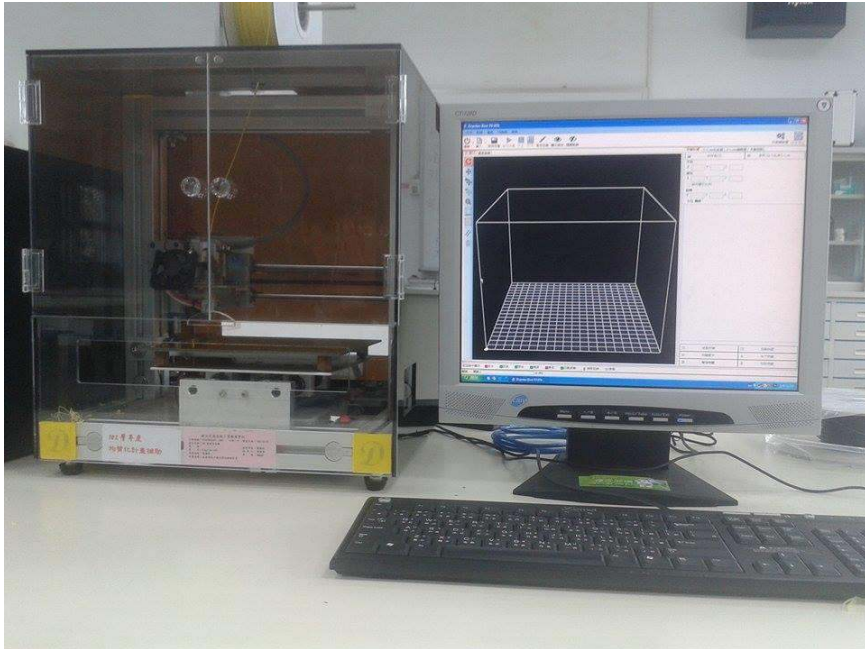


圖 3-6 應用程式圖(右) 、3D 列印機(左)

雷射切割與 3D 列印的優缺點比較表

	雷射切割	3D 列印(ABS)
優點	1.切割外型較為方正的零件較為方便 2.可雕刻精細文字在壓克力板上	1.適合做出各式各樣曲面的模型 2.作品外觀比起雷射切割的壓克力拼裝較好看
缺點	1.不適合做立體曲面模型	1.支架抗壓能力不高



## (二) Auto CAD

許多製圖產業從以前到現在都是運用此軟體進行作業，CAD 的運用範圍很廣泛，很多雕刻機都會需要，因為此軟體為本校製圖科所使用的製圖軟體，因此我們專題也應用到我們所學，將 Inventor 的 ipt 檔轉為 CAD 的 dwg 檔後，在利用此軟體進行排版，最後匯入雷射切割機中進行切割。

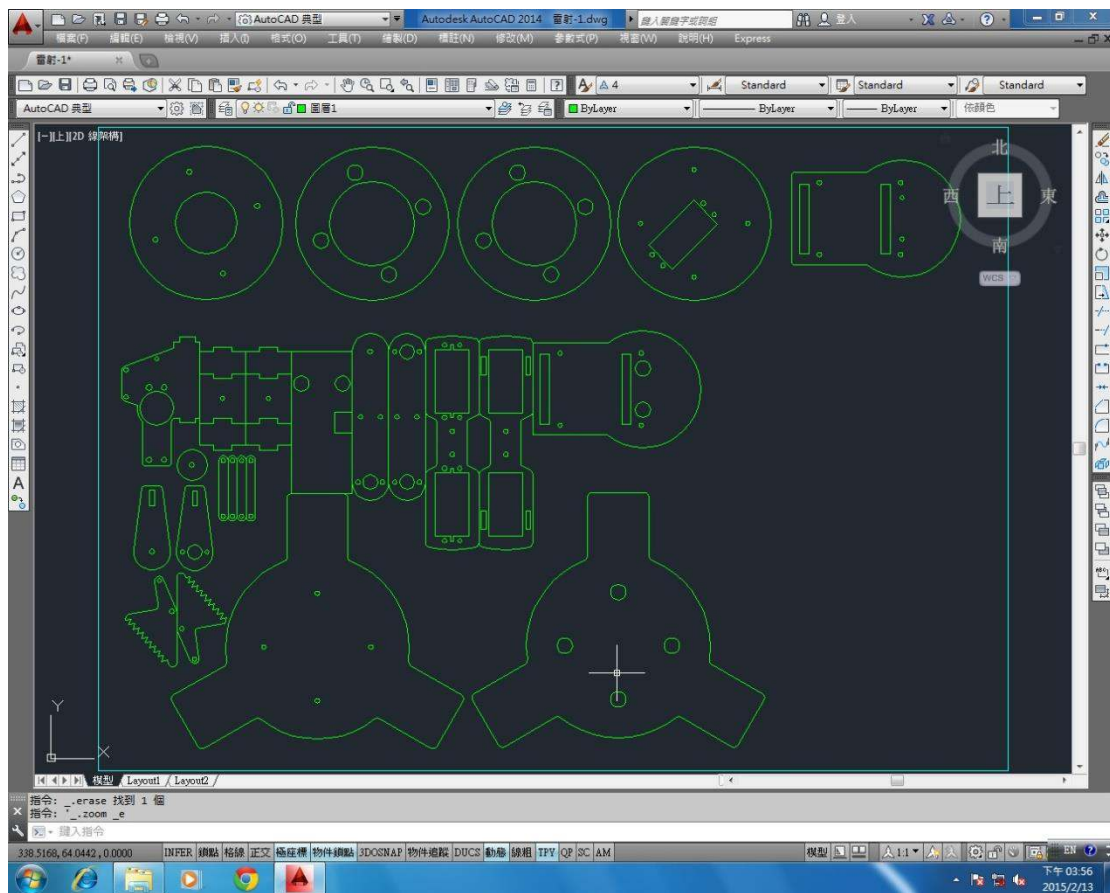


圖 3-8 Auto CAD

## 五、機械手臂使用程式語言【A r d u i n o】

A r d u i n o 是一種開放式的硬體與軟體，軟體的開發環境可在網路上免費下載，而網路上也有許多 Arduino 的作品程式可以參考，並依據自身之需求進行修改，且價格並不會太高。其特色如下：

- 入門簡單：程式操作並不困難，只需要電學基礎就可輕鬆操作。
- 彈性設計：可依自身需求修改、設計出自己所需的程式。
- 應用地方多：程式可以應用在馬達控制、遠端遙控等..許多地方。
- 購買管道多：許多電子材料行、網購、拍賣網都可購買的到。

## 六、伺服馬達介紹以及脈波寬度調變訊號控制



圖 3-9 伺服馬達—廣營電子 S03 T

本專題製作報告採用的伺服機為廣營電子公司的 S03T 全金屬齒輪含雙滾珠培林，我們選用的馬達是可以定位的馬達。當它接受到一個脈波寬度，它就會轉動到所對應的位置，微小普通型的伺服馬達角度有 90~360 度、扭力 1~8 公斤的分別，再上去還有更大且更高扭力的馬達。一個伺服馬達內部構造的組成由上到下分別為:齒輪變速組、小型直流馬達、可調電壓

器和電子控制板下圖 3-10 所示。伺服馬達跟步進馬達的差別在於伺服馬達具有高扭力且控制很容易，伺服馬達的接線有三條，顏色通常是黑、紅、白或者是棕、紅、橙，黑色接地線(GND)，紅色電源線(VDD)，白(橙)則接要控制訊號線(PWM)，三條線路不能接錯，否則會使伺服馬達損毀無法動作如下圖 3-11 所示；我們之所以選用此型號的伺服馬達，原因是在同大小及重量的馬達中，S03T 的馬達扭力最強，因此我們在大小與扭力的考量下，選擇此型號的馬達。

型號	價格 (NT\$)			尺寸(長 x 寬 x 高) 公厘 / 英吋	重量		4.8V			6V		
	STD	2BB	MG		公克	盎司	速度 (秒/60°)	扭力		速度 (秒/60°)	扭力	
								公斤-公分	盎司-英吋		公斤-公分	盎司-英吋
S03N	280	330	550	39.5x20.0x35.6 1.56x0.79x1.40	41(2BB) 64(MG)	1.45(2BB) 2.26(MG)	0.23	3.4	47	0.18	4.0	56
S03NF	280	330	550				0.18	2.8	39	0.15	3.2	44
S03NXF	280	330	550				0.15	2.2	31	0.12	2.5	34
S03T	280	330		39.5x20.0x39.5 1.56x0.79x1.56	46	1.62	0.33	7.2	100	0.27	8.0	111
S03TF	280	330					0.27	5.80	81	0.22	6.5	90
S03TXF	280	330					0.21	5.00	69	0.17	6.2	86
S03T-FET 2BBMG			590	39.5x20.0x39.5 1.56x0.79x1.56	73	2.57	0.32	8.0	110	0.28	9.0	125
S03T 2BBMG			550				0.33	7.4	103	0.28	8.0	111
S03TF 2BBMG			550				0.27	6.00	83	0.22	7.0	97
S03TXF 2BBMG			550				0.21	5.60	78	0.17	6.4	89

表格 3-1 GWS servo motor 詳細規格比較表

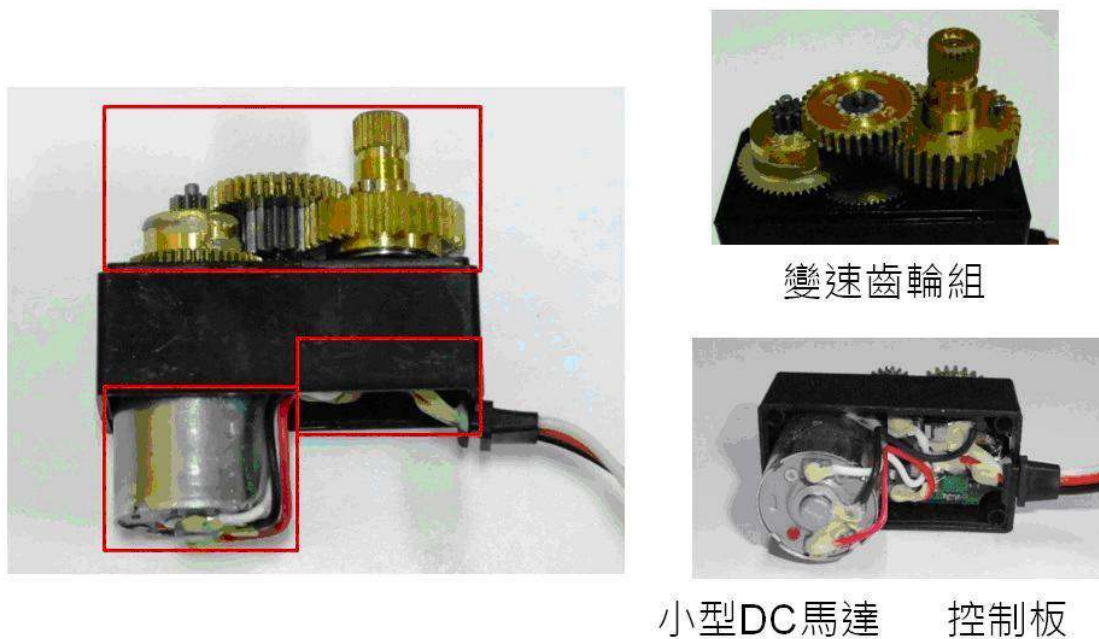


圖 3-10 伺服馬達線內部構造圖

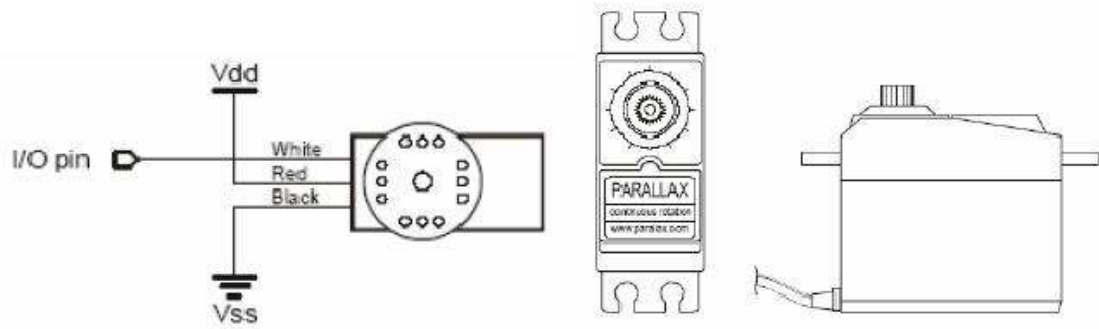


圖 3-11 伺服馬達外部線路圖及外型圖

伺服機的動作原理及詳細規格如圖 3-12 及表 3-1，輸入 PWM 控制訊號給控制電路板，控制電路板會依照輸入的 PWM 訊號所對應之角度與目前馬達角度做比較並驅動 DC 馬達正轉或反轉，馬達轉動帶動變速齒輪組轉動，控制電路板的可變電阻旋鈕嵌入變速齒輪下方，變速齒輪轉動使可變電阻阻值大小改變，控制電路板利用可變電阻的分壓得知道目前轉動角度，繼續驅動馬達直到轉動到設定角度才停止，並持續做角度控制。更高階的伺服馬達可直接將主軸角度資料傳出，回授方式不會採用可變電阻分壓方式，會使用更精準的量測方式做回授，例如光學旋轉編碼器。



圖 3-12 伺服馬達動作原理











PWM(Pulse-Width Modulation)中文為脈波寬度調變，是利用訊號高低來改變功率來控制輸出，輸入訊號的週期必須在 15m~20mS 之間且要有規律，在這週期時間內數位訊號維持 1(High)的時間要在 0.5m~2.5mS 之間，其轉動角度的 PWM 微不同，同型號的伺服馬達也會有誤差值，其轉動角度和 PWM 訊號如表格 3-2，而本專題之伺服馬達轉動對照表如表格 3-3 所示。



表格 3-2 基本伺服馬達

時間/週期	轉動角度
0.5ms / 20ms	+90°
1.5ms / 20ms	0°
2.5ms / 20ms	-90°

表格 3-3 PWM 訊號控制角度對應

時間/ 週期			
0.7ms/ 20ms			+90°
1.1ms/ 20ms			+45°
1.5ms/ 20ms			0°
1.9ms/ 20ms			-45°
2.3ms/ 20ms			-90°

成本分析如下:

名稱	數量	價格
十字頭螺栓	53	27
六角螺帽	45	23
防震螺帽	8	4
墊圈	6	2
銅柱	16	90
防震墊圈	20	4
壓克力板 (600mmx450mm)	1	150
木板(670mmx470mm)	1	300
GWS-S03T 伺服馬達	6	1500
Arduino-UNO	1	750

## 肆、研究過程或方法

### 一、製作流程

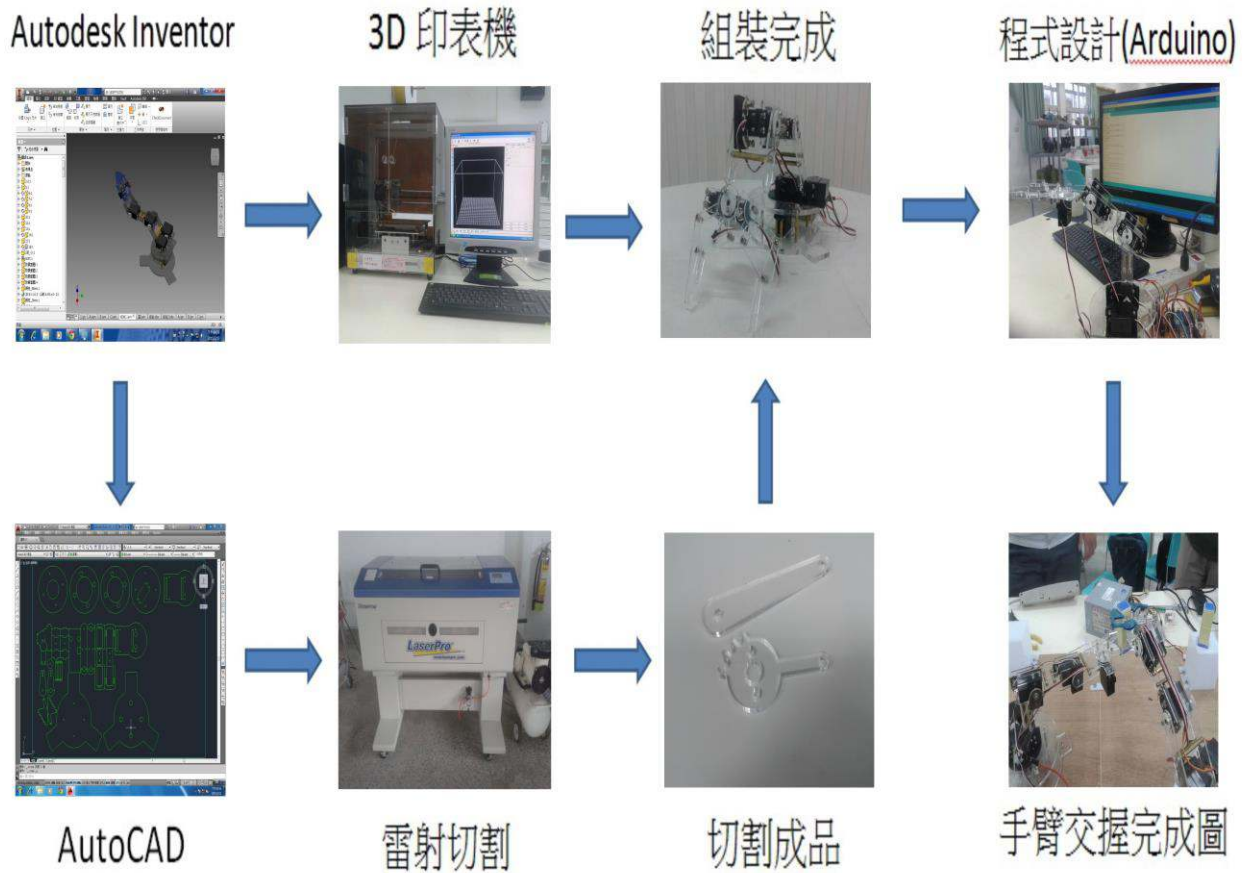


圖 4-1 機械手臂製作流程圖

整個製作流程先設計完整體架構後，再用 Inventor 畫出零件圖進行組裝確認無誤後，再將零件工作圖轉為 CAD 檔，到 AutoCAD 進行排版，完成後再匯入雷射切割機進行切割，切割完後再進行組裝，最後將程式輸入，訊號線互相連好，再一一測試交握位置，確定位置後，再以木板平台定位。

## 二、機械手臂零件列表

表 4-1 手臂零件表

名稱	數量	規格	備註
十字頭螺栓	30	M3x8	JIS B 1111 Z
十字頭螺栓	18	M3x10	JIS B 1111 Z
十字頭螺栓	5	M3x14	JIS B 1111 Z
六角螺帽	53	M3	JIS B 1181
墊圈	6	M3	JIS B 1256
銅柱	8	M3 x 10mm	
銅柱	2	M3 x 20mm	
銅柱	4	M3x30mm	螺紋大小 M3
銅柱	2	M3x50mm	螺紋大小 M3
防震墊圈	20	M3	
壓克力板	1	厚度 5mm	600mmx450mm
木板	1		670mmx470mm
GWS-S03T 伺 服馬達	6		

### 三、 組裝機構流程與各零件說明

選擇壓克力來當做機械手臂的主要材料，厚度 3mm、5mm，搭配螺絲、螺帽、底座模型(3D 列印)、馬達旋鈕片、銅柱、木板製作而成。

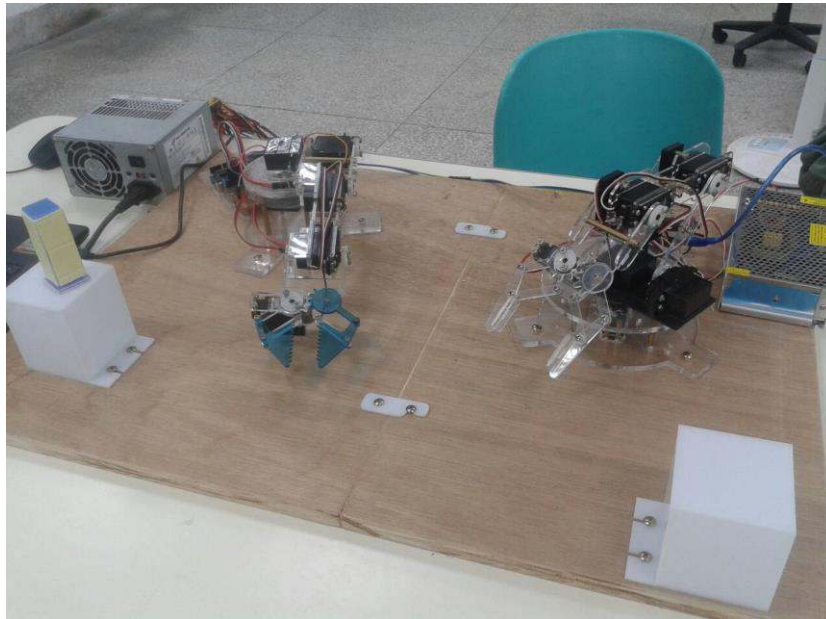


圖 4-2 手臂交握完成圖

製作過程中所有需要用到的零件:包括螺絲、螺帽、銅柱、馬達的旋鈕片、防震墊圈、木螺釘等…。



圖 4-3 工具箱

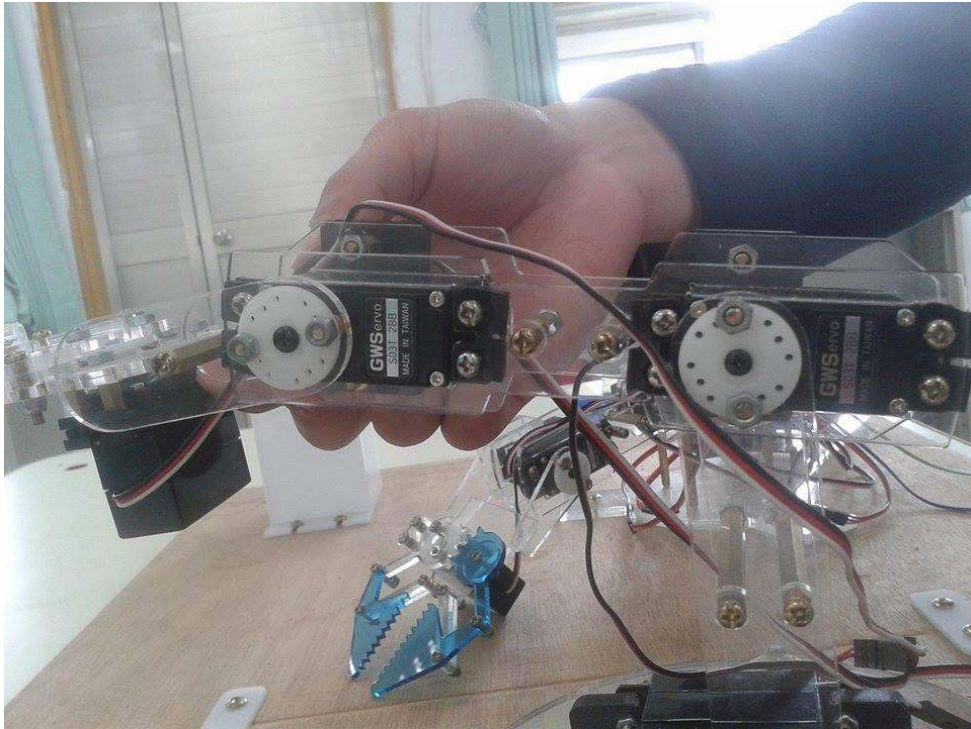


圖 4-4 馬達側版

利用長方形的側版，並在旁邊切兩個馬達大小的槽，讓馬達對應槽的位置放置，並在 2 個馬達中間切割出 2 個孔，來放置銅柱讓 2 馬達能夠固定。

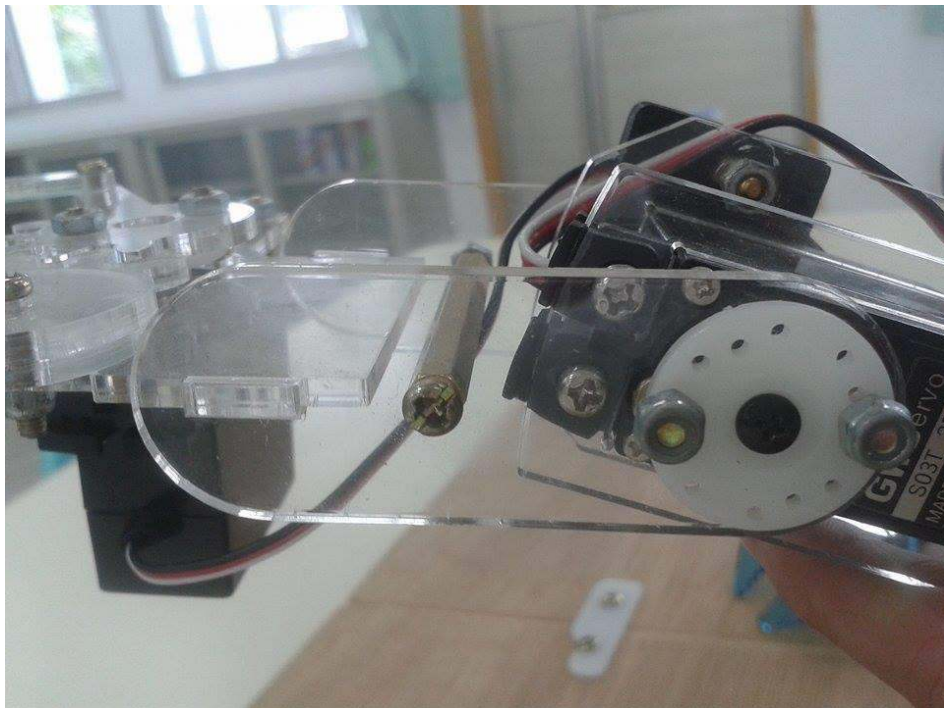


圖 4-5 U 型側版

能夠在側版上裝上馬達旋轉鈕片，一方面能加強馬達固定，另一方面能在側版中央多切出幾個孔，裝上銅柱來加強固定。



圖 4-6 夾爪樣式比較 第一版(右)第二版(左)

我們將夾爪的部分，先用 Inventor 用齒輪產生器模擬出適合的大小，確定無誤後，再用雷射切割機切割出來，利用齒輪嚙合傳動的原理，讓馬達能夠順利傳動完成夾合的動作。

在馬達夾爪傳動板前端，讓四個連桿連接在一起，並作出相對運動，讓形成對偶的連桿，組成運動連鎖系統，因在機械機構中至少四個連桿才能形成『拘束運動』，所以我們的夾爪就運用四連桿機構的原理，使夾爪在運形時能夠更加穩定，往我們所規定的方向運作。

	優點	缺點
鋸齒形夾爪(第一版)	夾持工件力道較強	接觸工件面積大，夾持較穩當
板夾式夾爪(第二版)	夾持軟工件易傷害表面形狀	不適合夾持表面光滑的工件

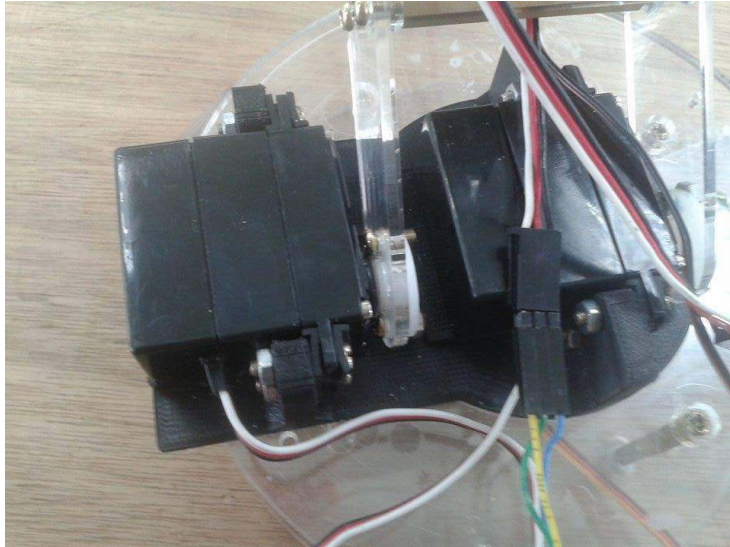


圖 4-7 底座模型

我們利用 3D 列印機列印出底座模型，3D 列印所使用的材質為 ABS 線材製作出來的，目前市面上大部份的 3D 列印機，都會使用此線材，原因是耐熱比起 PLA 高上許多，所做出的物件也較為軟韌，甚至在最後丟棄時可以回收，而 PLA 最後丟棄是不能回收的，比起 ABS 不環保許多，而會使用此技術，一方面比起第一版外觀上漂亮許多，抗壓能力也增強許多，在裝置底座馬達時，要特別將兩個馬達角度調至相同位置，我們實驗過後，發現這個關節需要同時使用兩個馬達，才有足夠扭力矩穩固抬起整隻手臂。

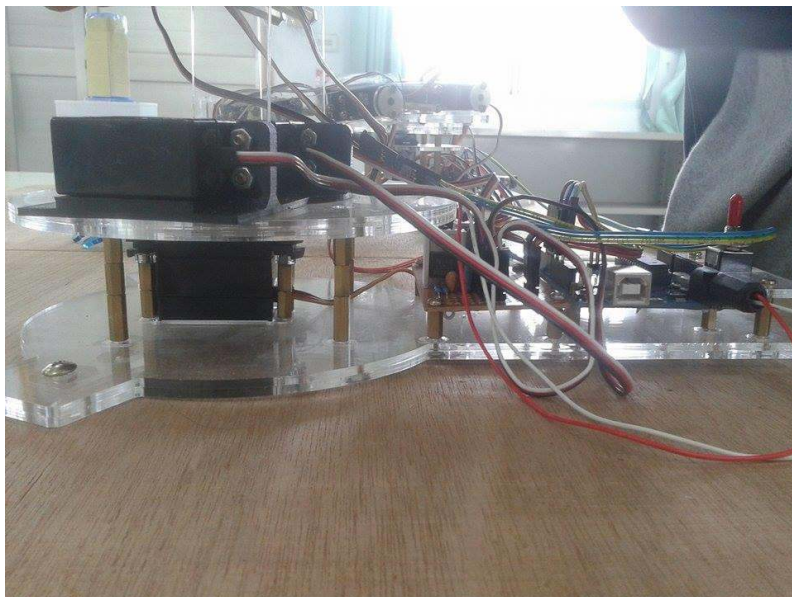


圖 4-8 支撐底板



利用銅柱撐起手臂，並在底座下方裝上馬達讓手臂本身能夠隨著工件位置移動，加長底座後方放置控制板跟電路板，方便電源輸入與程式修改位置，並在底板上鑽洞，與木板能夠定位。

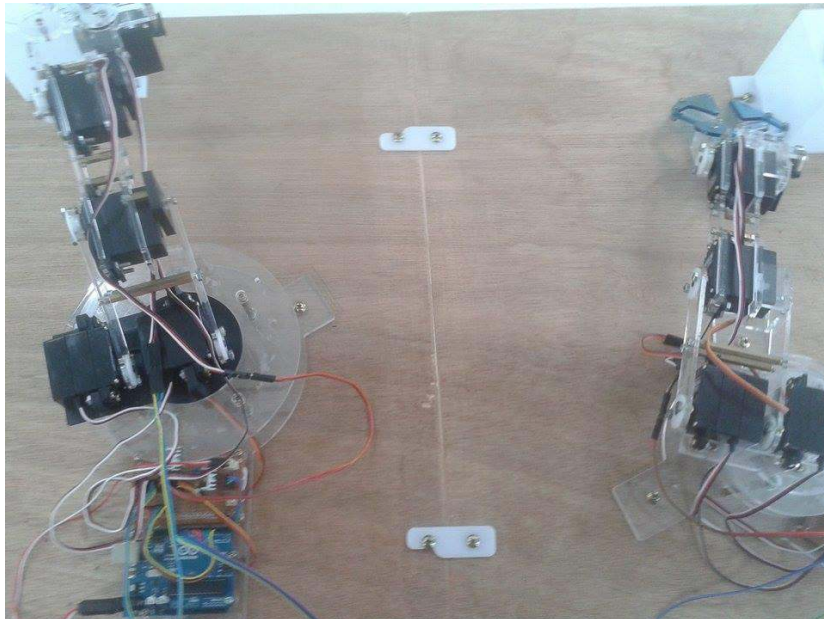


圖 4-9 木板連接

原本我們確認手臂與工件擺放位置後，在上頭鑽孔定位，原先是一大塊木板，但因考慮到攜帶問題，便將木板切割為 2 片，並在上頭用木螺絲與扣環連接，讓 2 片木板能夠方便貼合、固定。

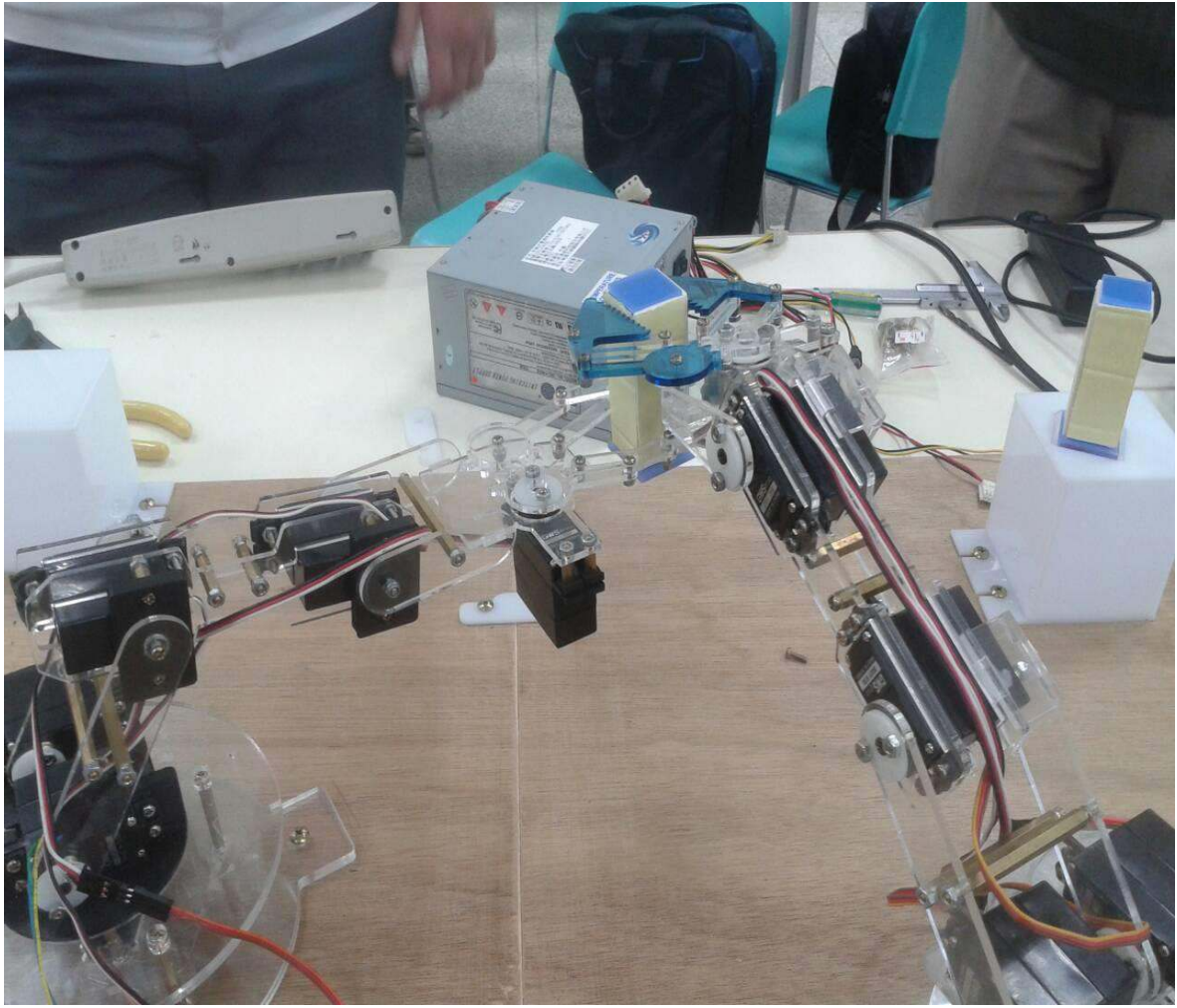


圖 4-10 機械手臂交握圖

此圖為完成後兩台手臂交握圖，一台手臂搭配 6 顆馬達，兩台手臂我們有自製連接線，讓兩台手臂藉由連接線做訊號傳遞、交換、溝通，詳細交換流程可參考(表 4-2)。

表 4-2 機械手臂 A 與機械手臂 B 交握程式概念表

機械手臂 A	機械手臂 B
程式初始化	程式初始化
定位 A 點	定位 B 點
.....	.....
抓物件 O	.....
等待訊號 B2	輸出訊號 B2
.....	等待訊號 A1
收到訊號 B2 後	.....
機械手臂 A 抓物件 O 到交握位置 H 點	.....
輸出訊號 A1	收到訊號 A1
同時等待訊號 B1	機械手臂 B 開始動作去交握位置 H 點抓物件 O
.....	.....
.....	.....
.....	抓穩物件 O 後輸出訊號 B1
收到訊號 B1 後	同時等待訊號 A2
機械手臂 A 放開物件 O	.....
離開交握位置 H 點	.....
輸出訊號 A2	收到訊號 A2
.....	機械手臂 B 抓物件 O
回到定位 A 點	離開交握位置 H 點
重覆程式	放好工件
	回到定位 B 點
	重覆程式

## 五、程式撰寫介紹

因專業領域不同，所以我們的程式撰寫大部分都是參考網路上開放式軟體(open source)，再去參考我們手臂的動作需求，看書一一修改動作，以下是我們所撰寫的程式介紹。

程式參考:

(1)使用 pinMode 函式，定義腳位是輸入或輸出的模式

(2)digitalWrite 函式，修改數位輸出腳位的狀態

(3)使用 writeMicroseconds(ms)指出使用脈衝持續時間多少毫秒來控制伺服機的輔助位置

(4)使用 delay 指令命令 Arduino 等待若干毫秒時間，不用動作

(5)使用 loop 函式不斷地重複執行程式碼

(6)使用 while 指令，做程式邏輯判斷

## 六、電路板

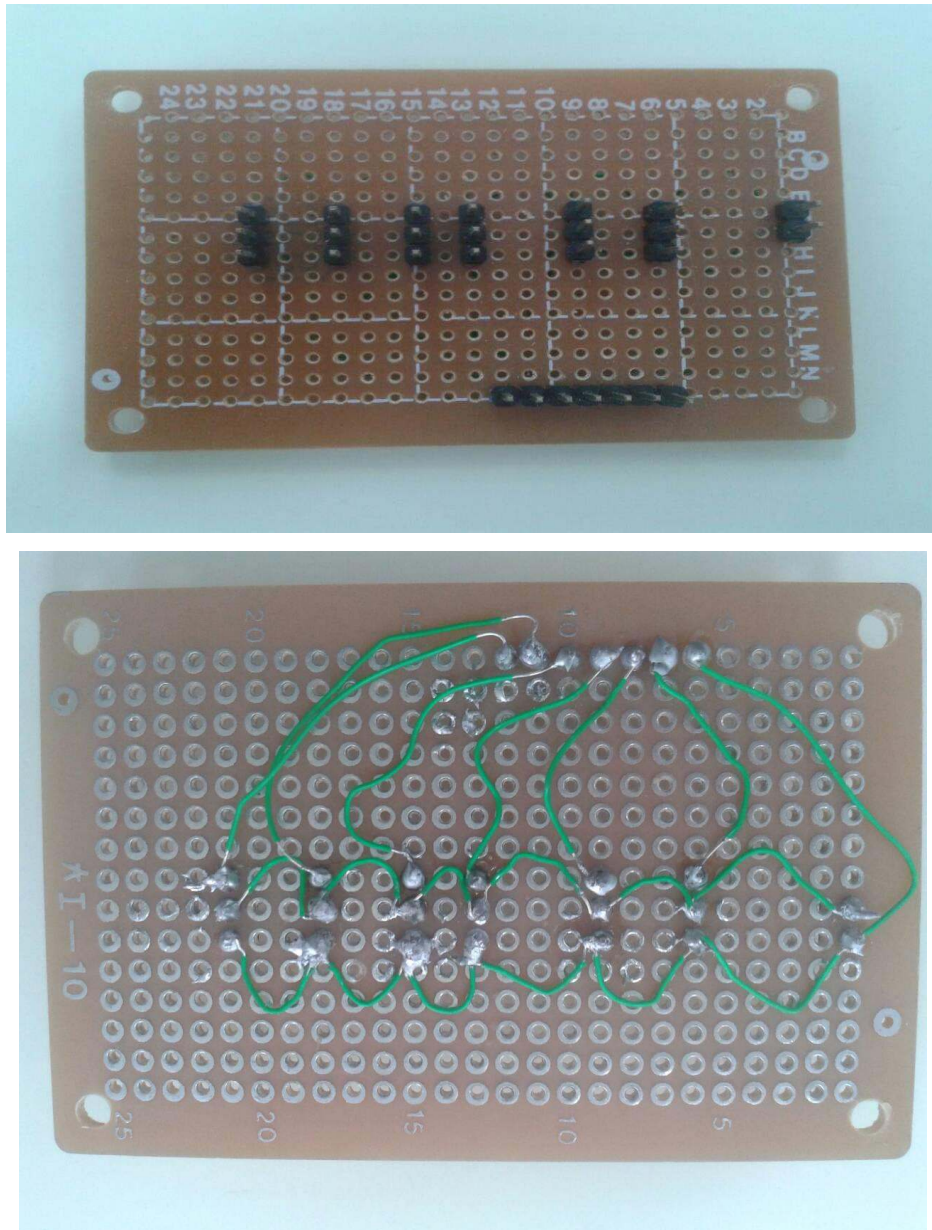


圖 4-11 電路板

我們在電路板前端焊了正負接點，並在後面焊了 6 組接點給馬達，在每組旁邊多焊了一個控制接點，在板子的最右側，都焊了一個訊號接點，與控制板連接。

## 伍、研究結果

此專題手臂完成後，除了清楚告訴大家「自動化」流程外，我們的手臂運作流程，也運用到實際工業「自動化」的流程當中，也能讓大家參考我們的做法後，對機械手臂的運作及構造有了更深一層的認識，也能參考我們的製作方法，自己可以嘗試、組裝、改良，做出各式各樣不同的機械手臂。

且我們所製作的機械手臂的零件，大多都是由身邊電子材料行購買，或是手邊容易取得的材料組成，因此成本比起購買一般市面上的機械手臂相較起來，價錢低廉許多，購買管道也相當多，希望大家參考我們所製作的專題後，能激發出大家更多不同的啟發與創意，讓更多地方能夠因為這個構想跟創意，使機械逐漸取代人力，不但能減少許多工業上的傷害，也能讓人們不必再花時間於純勞力的工作上，有更多時間跟人力去發展不同的領域，不但能為人們帶來便利性，也能有效率的幫助各個產業突破進步，成為幫助時代進步的幕後推手。

## 陸、討論

在製作過程當中，我們也遇到許多各式各樣的問題也經過多次討論後，想出的解決方法例如：

(一)工件高度不足，一開始預設高度不足，於是經過高度調整過後，可以直接套用至手臂下降的位置。

(二)一次次去調整手臂旋轉角度，來確認手臂交握位置。

(三)因專業領域不同所以在設計訊號交換時，看書摸索調整兩邊程式時並不容易。

(四)第一版因開始時設計時考量太少，只想到組裝是否干涉，並未仔細想過，進行組裝時是否順利好裝，因此在裝底座跟底座馬達要進行組裝時，並不方便。

(五)在運作時發現夾爪上的螺絲，容易因震動鬆脫，因此在底下的螺帽改用為防震螺帽大幅改良了鬆脫的問題。

(六)在第二版的電路版上，加裝了防反接的插座，防止每次接電時都要想正負接點是否接對的煩惱。

(七)因礙於板子已經切割定位完成，我們打算在下次將電源定位於手臂旁，一方面在外觀上不會有凌亂的感覺，在組裝定位上也相當方便。

## 柒、結論

在這次專題製作過程當中，我們更加熟悉了設計製圖的流程，從先有構想到手繪草稿再到軟體中從零件繪畫到組裝，一切確認無誤後，才開始進行加工，從中也了解到製圖課程中所學到的公差配合的重要性，不管在材料排版、組裝配合上，製圖都佔了很大的一塊，其中，也用到了之前課堂中所學習到的連桿機構，也讓這3年來課本裡所學的知識與科展作品做連結，真正達到了「學以致用」的概念。

從過程中了解熟悉許多加工方式，例如：鑽床加工、雷射加工、3D 列印、圓盤鋸使用等…。這些在未來職場上都能是一個很棒的實作經驗，讓我們在切入職場後能更加熟練的使用這些機具，也能了解這些加工方法能做出的效果，就能以這些經驗作為參考，在未來自己去判斷使用，在過程當中，我們也學會了現在各地推廣的「3D 列印」，從中也發現了 3D 列印的優缺點，對此技術有了更深一層的認識，在未來「3D 列印」也會運用到越來越多地方，這些實際操作的經驗在未來接觸到時，也不至於太陌生，甚至就能很快切入使用。

在這次專題中，讓我們有機會學習到了不同領域的專業知識，例如電路板的焊接、程式撰寫、接點控制等等……讓許多不同領域的東西與機械設計製圖做連結，不但使我們的科展作品有了更多不同的可能性與變化性，也讓我們學習到了更多不一樣的專業知識，這些技術跟經驗相信未來都能為自己帶來很大的幫助，也能隨著自己所學的越多，讓更多不同領域的知識與經驗做接軌，就能創造研發出更多不同的想法與創意，並將這些知識廣泛運用到各個地方。

未來我們打算將第二部機械手臂轉換為工具機，將加工流程模擬出來，讓其他工廠能夠將我們的模擬流程做為參考。並且讓其他人看完我們的作品後，能夠激發出不同的想法，使我們的作品能夠更創新，讓此技術能夠更廣泛的利用。



## 捌、參考資料及其他

- (1) <http://zh.wikipedia.org/wiki/Arduino> 維基百科-Arduino。
- (2) [http://newsletter.ascc.sinica.edu.tw/news/read\\_news.php?nid=2782](http://newsletter.ascc.sinica.edu.tw/news/read_news.php?nid=2782) ITS 通訊- Arduino 介紹。
- (3) <http://swf.com.tw/?p=569> 網昱多媒體-Arduino 簡介介紹。
- (4) 機械原理總複習講義……………葉輪編著。
- (5) 超圖解 Arduino 互動設計入門(第二版)…………… 趙英傑著。
- (6) <http://www.gws.com.tw/chinese/product/servo/standard.htm> 廣營電子有限公司-伺服馬達比較表。
- (7) <https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1610030610439> YAHOO 知識家-傳統加工與非傳統加工差異。
- (8) 王允上(2013)。《**機器人單晶片微電腦控制**》。全華圖書。
- (9) 高登·麥康(2014)。《**Arduino 機器人製作聖經**》。馥林文化。
- (10) 張木生等人著(2009)。《**電腦輔助製圖與實習 I**》。華興文化。
- (11) 陳春明等人著(2011)。《**機械製造 I II**》。文京圖書。

## 【評語】 090906

本創作利用雷射切割與 3D 列印設備完成手臂零件製作，並整合伺服馬達組裝做成機械手臂，透過馬達控制程式，實現兩個機械手臂接力運送物件的交握功能。本創作係機械設計及智慧化工具機的實務作品，具有衍伸應用性。此作品整合機械設計、機械加工、電腦輔助製造及程序控制技術，研發出一套動作順暢的機器人協力系統。學生不僅能善用機械本科知識，還能自行探索程式設計與伺服機控制技術，循序漸進完成計畫。機器人抓取、傳遞物件的動作有相當難度，本作品成功展示這些動作，難能可貴；未來若能持續改良，在自動化科技的教育上，深具啟發作用。