

臺北市立大安高級工業職業學校

電子科

專題報告

手勢操控智慧機械手

Gesture control smart
manipulator

學生 組長：徐崇瀚

組員：田晏慈

組員：陳忻揚

組員：黃韋文

指導老師：簡靖哲

中華民國 110 年 1 月

摘要

在電視上看到有關於達文西手臂的介紹，發現他給醫師帶來許多好處，除了能夠比較不累的坐在椅子上進行操控，對於手術的精密度也可以更加精細。因為看到這份介紹而對機械手臂感興趣，所以我們決定自己嘗試製作機械手臂。

我們的專題是分成上下兩層。手套彎曲改變的曲率值經由程式判斷後輸出字元，藉由藍芽傳送至車體以及手臂。之後判斷讀取到的字元進行我們設定的動作，以此達成我們的手勢操控。

手臂部分採用多關節手臂，可以進行更精密的動作。車體增加擴充板，分上下兩層，下層放 mega 板、車體轉向機構以及基本配線，上層放機械手臂。

關鍵字：機械手臂、手勢操控、Arduino

目錄

摘要.....	I
目錄.....	II
表目錄.....	IV
圖目錄.....	IV
第一章 前言.....	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 預期成果.....	1
1-3 研究目的.....	1
第二章 理論探討.....	2
2-1 ARDUINO 板.....	2
2-2 伺服馬達.....	2
2-2-1 MG996R.....	3
2-2-2 MG90S.....	4
2-2-3 PDI 6221MG(180).....	5
2-3 藍芽(HC-05).....	6
2-4 曲率感測器.....	7
2-5 三軸傳感器.....	8
2-6 L298N.....	9
第三章 專題準備.....	10
3-1 系統架構.....	10
3-2 系統流程.....	11
3-3 材料與設備.....	12
第四章 專題成果.....	13
4-1 手套和手臂.....	13
4-2 車體.....	13
4-3 藍芽.....	13
第五章 結論與建議.....	14
5-1 結論.....	14
5-2 建議.....	14
5-3 心得.....	16
5-3-1 徐崇瀚的心得.....	16
5-3-2 田晏慈的心得.....	16
5-3-3 陳炘揚的心得.....	17

5-3-4 黃韋文的心得	17
參考資料.....	18
Taiwaniot 三軸重力加速度 角度感測器.....	18
PlayRobot 曲率感測器	18
彎曲傳感手套(一) - 硬體製作.....	18
廣華電子商城 L298N.....	18
PlayRobot MG996R.....	錯誤! 尚未定義書籤。
PlayRobot MG90S.....	錯誤! 尚未定義書籤。
蝦皮 PDI-6221MG-180.....	18
Google 協作平台 直流馬達.....	18
Google 協作平台 直流馬達 - 基本結構.....	18
三軸傳感器 (來源:TAIWANIOT 網站).....	錯誤! 尚未定義書籤。
曲率 (來源:PlayRobot 網站).....	錯誤! 尚未定義書籤。
L298N (來源:taiwansensor 網站).....	18
MG996R (來源:蝦皮).....	19
MG90S (來源:PlayRobot 網站).....	錯誤! 尚未定義書籤。
PDI-6221MG (來源:蝦皮).....	錯誤! 尚未定義書籤。
直流馬達 (來源:維基百科).....	錯誤! 尚未定義書籤。

表目錄

表 1 ARDUINO 板.....	2
表 2 MG996R 規格.....	3
表 3 MG90S 規格.....	4
表 4 PDI 6221MG 規格.....	5
表 5 三軸加速度感測器規格.....	8
表 6 L298N.....	9
表 7 材料表.....	12
表 8 設備表.....	12

圖目錄

圖 1 MG996R(PlayRobot).....	3
圖 2 MG90S(PlayRobot).....	4
圖 3 PDI 6221MG(蝦皮).....	5
圖 4 HC05(google).....	6
圖 5 內部結構.....	7
圖 6 曲率感測器(PlayRobot).....	7
圖 7 三軸加速度感測器 (TAIWANIOT 網站).....	8
圖 8 L298N (來源：taiwansensor 網站).....	9
圖 9 結構圖.....	10
圖 10 流程圖.....	11

第一章 前言

1-1 研究背景

我們當初想要做機械手臂是因為前幾年達文西手臂的新聞造成很大的轟動，達文西機械手臂手術系統是透過醫師操控器械手臂來執行腹腔鏡手術，它的內視鏡手腕設計，靈活度超越了人的手腕，可消除醫師手部的顫動，它也提供了十倍放大及 3D 立體視覺效果，這些都不是傳統腹腔鏡所能達到，手術醫師則是坐在椅子上操作，更能專注在手術上，而我們的手臂理念相似，也是希望能夠以手臂代替我們的手，幫我們做事，能用於人工無法進行或者會耗費較多時間來做的工作。

1-2 預期成果

我們希望我們的機械手臂能隨著我們的手臂做出一樣的動作，當我們拿取物品時，它也能拿取；當我們彎曲手臂時他也要跟著彎曲。車體部分隨著手勢移動。

1-3 研究目的

希望能夠以手臂代替我們的手，幫我們做事，能用於人工無法進行或者會耗費較多時間來做的工作。因為它在精度與耐用性上可以減少許人為的不可預知問題 如果再加裝攝像頭它還能幫助我們了解眼睛看不到的地方發生什麼事 或是老人家不需要離開椅子就能以手勢操控的方式來拿去東西避免不必要的危險 而現在機械手臂也確實在汽車工業。模具製造。電子製程。農業。醫療。服務業都已經有在做使用。

第二章 理論探討

2-1 ARDUINO 板

表 1 ARDUINO 板

型號	MEGA	UNO
微控晶片	ATmega2560	ATmega328
工作電壓	5V	5V
Digital I/O	54	14
類比腳	15	5
Flash memory	256KB	32KB
面積大小	10.2*5.3	6.9*5.3

2-2 伺服馬達

伺服馬達的種類與運作原理

從玩具到機器人，甚或家用 DVD 播放器，伺服馬達遍佈在我們的生活中。伺服馬達依運轉方式，可以區分為非常多種。要挑選出適合你的馬達，得先了解其中的差別。

簡單來說，伺服馬達獨立運作，靠電力驅動，會依照設計者給予的命令和指定位置作動。在接收到命令時，移動至某一位置，靠反作用力保持在該位置上一段時間。馬達使用內部的線性或旋轉致動器，透過速度和加速度，控制直線或不同角度上的位置。伺服馬達大多經由電線、地線和控制線，於電壓 4.5V 至 6V 的環境運作。

DC 伺服馬達轉速高、力矩小，其餘組件再將其轉化為轉速低、力矩大的輸出動力。此設計能在短時間內產生強大的力量，正是經典物理公式「 $W = F \times D$ 」（功=力×位移）的最佳示範。

標準型伺服馬達

此類型馬達的設計只能在範圍 180 度以內旋轉，不可超出限制。適用於轉動範圍不大的裝置，如槓桿或車輪的連桿機構。

2-2-1 MG996R

MG996R 馬達為原 MG995 的升級產品，速度，拉力和精確度都比原裝產品有改進，是目前市場上性價比最高的大扭力馬達之一！



圖 1 MG996R(PlayRobot)

表 2 MG996R 規格

尺寸	40.8*20*38mm
重量	55g
速度	4.8V@0.20sec/60° 6.0V@0.19sec/60°
扭力	4.8V@13kg-cm、6.0V@15kg-cm
電壓	4.8V-7.2V
空載工作電流	120mA
堵轉工作電流	1450mA
角度偏差	回中誤差 0 度，左右各 45° 誤差 ≤ 3°
齒輪	金屬齒輪組

2-2-2 MG90S

MG90 為金屬數字舵機，MG90S 為模擬舵機，數字舵機於模擬舵機的電路不一樣、順滑度不一樣，適用於 450 直升機斜盤舵機，小型機器人，機械手，船模型，車模型等等。

機械轉向，全金屬齒輪，耐磨，給力摔機不怕炸、不怕撞的超級給力舵機。



圖 2 MG90S(PlayRobot)

表 3 MG90S 規格

產品尺寸	22.8 * 12.2 * 28.5mm
產品重量	13.6 克
工作扭矩	2KG / 厘米
反應轉速	0.11 秒/60 度(4.8V)
使用溫度	0°C-55°C
轉動角度	最大 90 度
舵機類型	數字舵機
使用電壓	4.8V
結構材質	金屬銅齒、空心杯電機、雙滾珠軸承

2-2-3 PDI 6221MG(180)



圖 3 PDI 6221MG(蝦皮)

特徵：全金屬齒輪可提供更高的精度和更長的使用壽命。
鋁殼具有更好的散熱性能，以確保伺服電機的正常運行。
高效率，低噪音，低耗電。最大扭矩可達 20kg。

表 4 PDI 6221MG 規格

舵機類型	數字舵機
工作頻率	1520us / 330Hz
速度	0.18sec / 60° (4.8V), 60sec (6V) 0.16sec
扭力	17.25kg / cm (4.8V), 20.3kg / cm (6V)
尺寸	約 40.5 * 40 * 20.2mm
重量	約 80 克

2-3 藍芽(HC-05)

藍牙透傳模組可以讓你原來使用串口的設備擺脫線纜的束縛在 10 米範圍內實現無線串口通信。使用該模組無需瞭解複雜的藍牙底層協定，只要簡單的幾個步驟即可享受到無線通訊的便捷。藍牙透傳模組只有 4 個 AT 指令，分別是測試通訊，改名稱，改串列傳輸速率，改配對密碼，AT 指令必須從 TXD, RXD 信號腳設置，不能通過藍牙通道設置。

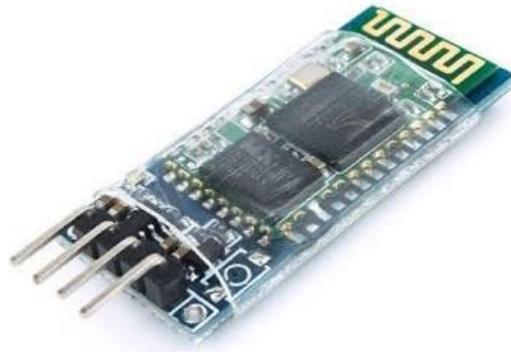


圖 4HC05(google)

2-4 曲率感測器

彎曲曲率檢知器 (2.2 吋)

這是一個簡單的彎曲感測器 2.2 吋(約 5.6cm)長。由於感測器彎曲，通過感測器的電阻增大。如任天堂電力手套。當感測器在外面的金屬墊在外面的彎曲的電阻變化的 Flex 當金屬墊在外面的彎曲 (文字於內側彎曲)。



圖 6 曲率感測器
(PlayRobot)

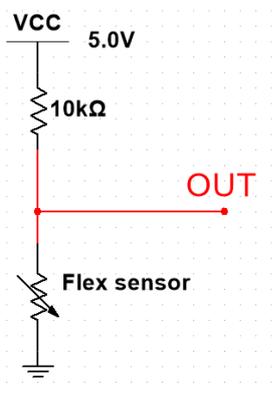


圖 5 內部結構

測量方式：利用串聯分壓，與 10KΩ 串聯，得出曲率感測器的電壓，再送進 Arduino UNO 的類比腳，進行數值的判斷。

2-5 三軸傳感器

ADXL335 是美國 ADI 推出的高精度類比三軸加速度感測器，它可以使用於測量傾斜檢測應用中的靜態重力加速度，以及運動、沖擊或振動導致的動態加速度等。小尺寸、薄型、低功耗、完整的三軸加速度計，提供經過信號調理的電壓輸出，能以最小 $\pm 3\text{ g}$ 的滿量程範圍測量加速度。它可以測量傾斜檢測應用中的靜態重力加速度，以及運動、衝擊或振動導致的動態加速度。

用戶使用 CX、CY 和 CZ 引腳上的電容 XOUT、YOUT 和 ZOUT 選擇該加速度計的頻寬。可以根據應用選擇合適的頻寬，X 軸和 Y 軸的頻寬範圍為 0.5 Hz 至 1600 Hz，Z 軸的頻寬範圍為 0.5 Hz 至 550 Hz。ADXL335 提供小尺寸、薄型、16 引腳、4 mm × 4 mm × 1.45 mm 塑膠引腳架構晶片級封裝(LFCSP_LQ)。

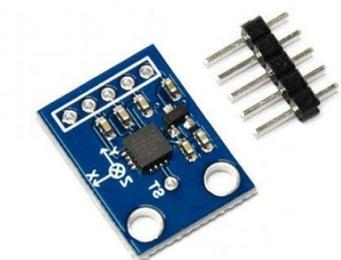


圖 7 三軸加速度感測器

(TAIWANIOT 網站)

表 5 三軸加速度感測器規格

控制晶片	ADXL335
每軸感測範圍	$\pm 3\text{g}$
供電電源	3 ~ 5V
低功耗	350 μA
耐受衝擊	10000 g
操作溫度	-40 ~ 85 °C

2-6 L298N

L298N 是 ST 公司生產的一種高電壓、大電流電機驅動晶片。此晶片採用 15 腳封裝。主要特點是：工作電壓高，最高工作電壓可達 46V；輸出電流大，瞬間峰值電流可達 3A，持續工作電流為 2A；額定功率 25W。內含兩個 H 橋的高電壓大電流全橋式驅動器，可以用來驅動直流馬達和步進馬達、繼電器線圈等感性負載；採用標準邏輯電平信號控制；具有兩個使能控制端，在不受輸入信號影響的情況下允許或禁止器件工作有一個邏輯電源輸入端，使內部邏輯電路部分在低電壓下工作；可以外接檢測電阻，將變化量反饋給控制電路。使用 L298N 晶片驅動馬達，該晶片可以驅動一台兩相步進馬達或四相步進馬達，也可以驅動兩台直流馬達。

表 6 L298N

主控晶片	L298N
電壓	5V
驅動電壓	5V~35V
電流	0mA~36mA
驅動電流	2mA
工作溫度	-20°C~135°C
工作環境溫度	-25°C~55°C
最大功率	25W

L298N 作為主驅動晶片，具有驅動能力強，發熱量低，抗干擾能力強的特點，內置的 78M05 通過驅動電源部分取電工作，但是為了避免穩壓芯片損壞，當使用大於 12V 驅動電壓的時候，需使用外置的 5V 邏輯供電。



圖 8 L298N

(taiwansensor 網站)

第三章 專題準備

3-1 系統架構

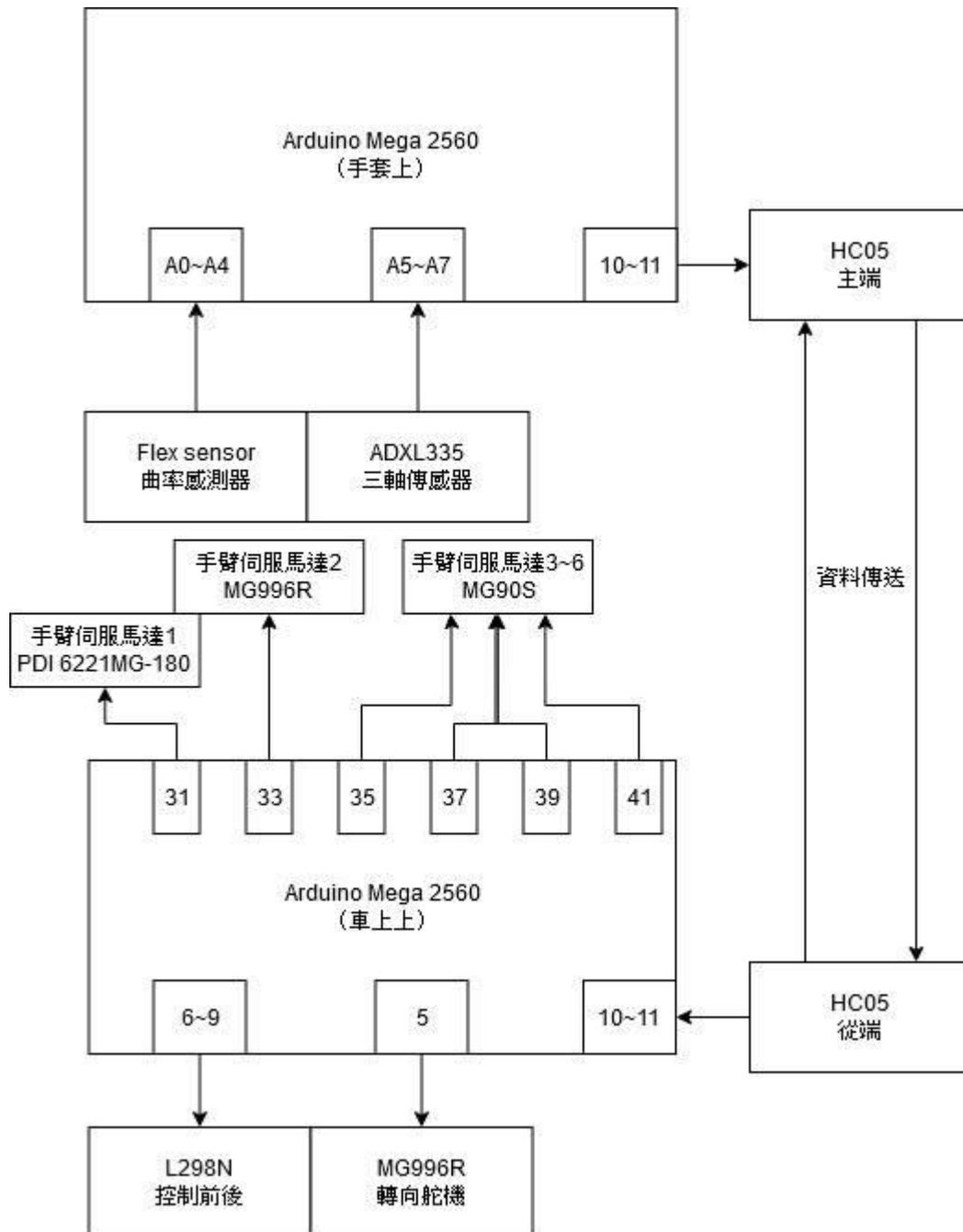


圖 9 架構圖

3-2 系統流程

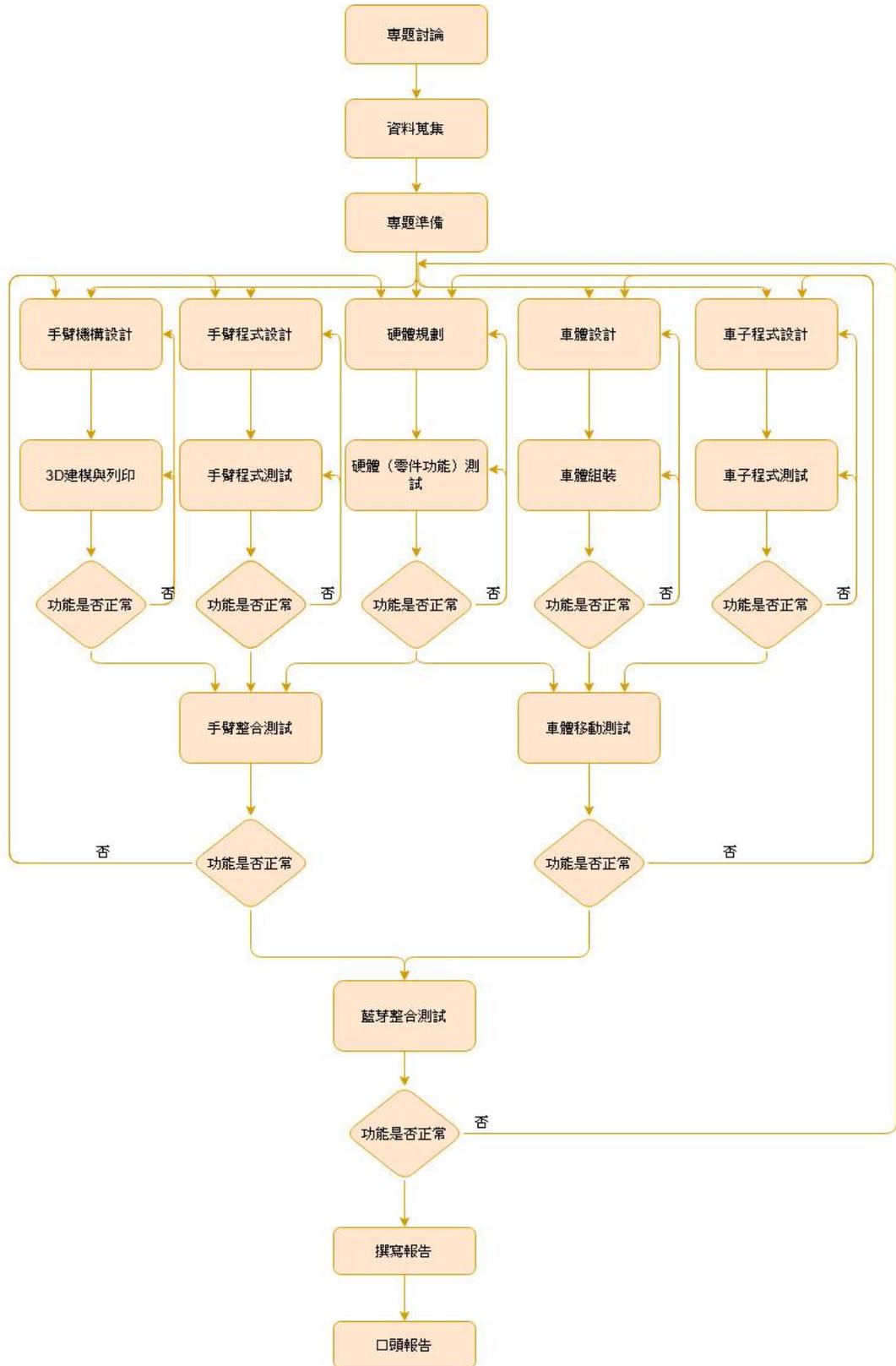


圖 10 流程圖

3-3 材料與設備

表 7 材料表

類別	材料名稱	數量	應用說明
硬體	MEGA 板	2	
	UNO 板	1	
	HC05	2	藍芽晶片
	直流馬達	2	HN-GH12-2048
	三軸傳感器	1	ADXL-335
	伺服馬達	1	MG996
	馬達驅動模組	1	L298N
	曲線感測器	4	Flex Sensor
結構	手臂	1	
	車體	1	
耗材	杜邦線	N	
	電池	N	

表 8 設備表

類別	設備、軟體名稱	應用說明
軟體	Arduino	主要程式編寫
	Onshape	3 D 模型繪圖
	Word	
	P P T	
	draw. io	畫流程圖
硬體	電腦	
	3 D 列印機	

第四章 專題成果

4-1 手套和手臂

彎曲手指後，可以改變手指上的曲率值。彎曲後的曲率值可以藉由我們的程式列出來，利用彎曲後的曲率值達到我們設定的範圍後，執行我們所設定的動作。判斷式大概像是曲率值大於 300 傳輸 A 小於 250 傳輸 B 之類的，之後藉由藍芽傳送到手臂上並判斷讀取到的是 A 或者是 B，然後讓該曲率控制的馬達轉到我們所設定的位置，以此來達成我們的操控。

4-2 車體

車子的部分是利用三軸傳感器來發送數值，隨著我們的手勢移動，三軸傳感器會改變其數值，一樣經過我們的程式列出狀態方便觀察。之後我們將它的數值訂範圍，利用不同的範圍來傳輸各種字元，一樣藉由藍芽傳輸到車子，判斷該指示所要求的動作並執行。

4-3 藍芽

藍芽程式的部分主要參考了網站範例程式，藉由讀到數值之後再進行傳輸的動作。除了普通的傳輸藍芽程式外還需要一份能夠進 AT 模式的程式，因為我們採用的是 HC-05 的關係，需要對其做點修改，像是主、從端的設置，或是鮑率的調整等。程式部分也是參考網路上的參考資料。

第五章 結論與建議

5-1 結論

最後做出來的成品可以隨著我們的手勢進行操控，除了車體的動作外，手臂也可以到我們想要的地方。手套原本是用網路上賣的「開源體感手套」，我們利用暑假的閒暇時間去嘗試理解它，但因為沒有 data sheet 我們無法完全理解它的功能，最後決定自製「曲率感測手套」。車體主要是買了底板與轉向機構，原本我們想用 3D 列印完成整體，但多次嘗試後發現轉軸部分較難搞，而且組員之中只有一人會畫模型圖，經過思考後決定採用購買的方式。手臂部分我們採用 3D 列印。參考了網路上各種模型，最後決定印製多關節型的機械手臂，能夠更精細回應我們的操作，但馬達實在太多顆以及時間的關係，我們決定「手」的地方用「夾」取，而不是「抓」取。幾次列印都有點失敗，成品十分脆弱，在拆掉支架的時候壞了一次，測試程式時又壞了一次，最後還是靠三秒膠勉強撐住的。車體程式的部分，我們參考了市面上賣的藍芽遙控車程式，把我們需要的地方擷取下來再經過改寫後完成，沒有太大的困難。但在寫手臂程式的時候，我們花了非常多的時間，主要還是因為要操控多顆馬達的緣故，而我們又以比較簡陋的手法寫程式，造成條件式過多，延遲時間長，以及之後的與車體程式整合後的極大問題。因為程式部分我們寫的太繁瑣，導致我們的車體跟手臂的程式起衝突，處理的資料太多，導致它會把我們給的判斷條件擠掉，所以最後動起來都是只有一下下而已。

5-2 建議

先看硬體部分，未來我們將對手臂部分進行修改，因為印製出來的成品十分脆弱的關係，必須盡可能改善其強度，增加它的穩定性。夾取部分則是因為齒輪與實際印出的成品較不貼合，導致夾取動作不完全，未來應重新調整模型圖數值，做到更貼合的程度，除了正常的夾取外，也可以加裝紅外線感測器來偵測及判斷是否有抓到物品，亦或者是裝上壓力感測器使壓力達一定值後判斷為「抓到物品」讓馬達不會因繼續抓取而使馬達損壞，如果經費有限也可嘗試在夾取的部分裝上微動開關，按下後做夾到東西的判斷即可。車子的話則是因為線路外漏，有時候輪胎可能會捲到線，未來可能會將其整線，除了更美觀外，車子也不會被線纏住。接下來是程式部分。首先，車子的程式還算完整，基本上就是判斷式的地方太繁瑣，雖然他會動，但是延遲時間較長。手臂部分則是因為傳送過程出差錯，原本應該要接受到的字元接收不到，反而出現我們沒有定的數值，雖然之後我們用土法煉鋼的方法撐過去，但在整合程式後就出

現手臂與車子程式的衝突現象，原因可能與們得寫法有關。未來我們會嘗試換寫法，也會去了解我們原本的寫法哪裡出差錯。

5-3 心得

5-3-1 徐崇瀚的心得

這次的專題是我們第一次真正的從無到有，自己設計畫圖列印，和組員一起討論使用那些零件，全部和組員一起完成，沒有範例檔案可以參考，需要把這三年來所學到的知識融入，才能順利完成。在這次的專題活動中，我發現最重要的是和組員合作，一個人是無法完成專題的，全組一起努力，就可以突破困難，像是我們在一開始時主任有讓我們使用一個開源體感手套，但是因為我們沒有它的資料表，而且也不能隨意更動程式，最後我們自己做了一個手套，上面裝著曲率感測器，達到我們所需要量測的功能。

5-3-2 田晏慈的心得

我們其實很早就開始做了，可是一開始諸事不順，遇到了很多困難，像是3D 列印畫不出來、手臂無法讓重心維持在車上等等之類的狀況。一開始我們用開源體感手套，但因為我們找不到他的程式碼，沒辦法知道他對應的腳位是什麼，而且因為它的大拇哥少了一個彈簧，所以最後我們決定自己做手套。車子左右轉的部分我們是比較快就完成了，但手臂就比較困難，因為我們還需要克服馬達較大顆。如果要做五指手指頭，這樣會需要很大的空間，因此我們最後選擇換成一隻手上面一個夾子，解決了這個問題。在這個專題的過程中，我了解了HC-05 是如何運作的，以及他與HC-06、HC-08 有何不同，也知道就算是程式上一個小小的數值變動，都有可能造成車子行走發生很大的改變。但因為中間遇到的困難較多，因此我們的功能不是很完善，希望我們未來能夠將剩下的功能做完。但最後在大家的努力之下，我們至少也做出來成品了。最後我也學到，在團體中要互相幫忙，團隊努力、分工合作一定是最重要的。

5-3-3 陳忻揚的心得

這次專題是我們從零開始製作的，過程中花了很多時間去了解每個零件的功能、用途以及如何控制它，還需要在有限的空間把所有零件放進去，還有要考慮整體的功率，不能對電池造成過大的負擔。在實際設計的時候，沒有實際的物品當我的比例尺，讓我再考慮大小的時候，花了很多時間，也花了很多時間預留螺絲鎖口，讓整體的架構平衡部會造成翻車或是重心不穩。當我把設計的東西用出來的時候，發現有很多東西跟我預期的有些許差距，像是誤差比我預期來的多，還有自己在測量物品的時候，量的太過精準，導致應出來的東西沒辦法正常裝上去。完成這次專題後，讓我覺得從零開始設計一個東西真的很困難，需要花很多時間設計、測試。

5-3-4 黃韋文的心得

我在本專題裡主要負責寫程式，雖然高二有上過 Arduino 課程，但我還無法將之融會貫通，因此有部分程式都是我在網路上參考了別人的寫法，或是請教對程式較熟悉的同學。有了這次的經驗也可以讓我知道我對程式的不熟悉以及理解度不夠，未來還會接觸到「程式」這個東西，所以我會盡可能地去學習如何寫程式這個部分。關於硬體部份我實在幫不到忙，不管是畫模型圖還是大部分的電路裝配，都是交給其他組員進行，我只負責到藍芽的接線而已，而藍芽的接線方式是可以從網路上查到的，因此我在電路裝配上基本沒有太大作用，如果重新分配工作，我希望可以負責一些電路裝配的工作，減少隊員的負擔。

參考資料

- [1] 楊仁元、張顯盛、林家德(2008)：專題製作理論與呈現技巧 Office2010 板。新北：台科大圖書股份有限公司
- [2] 孫駿榮、吳明展、盧聰勇(2012)：最簡單的互動設計 Arduino 一試就上手 (第二版)。台北：基峯資訊股份有限公司。
- [3] GY-61 ADXL335 三軸重力加速度 角度感測器。Taiwaniot。取自：
<https://www.taiwaniot.com.tw/product/gy-61-adxl335-%E4%B8%89%E8%BB%B8%E5%8A%A0%E9%80%9F%E5%BA%A6-%E8%A7%92%E5%BA%A6%E6%84%9F%E6%B8%AC%E5%99%A8/>
- [4] 2.2 吋 彎曲曲率檢知器。Playrobot。取自：
<https://www.playrobot.com/flex/290-flex-sensor-202.html>
- [5] 彎曲傳感手套(一) - 硬體製作。HTC 論壇。取自：
<https://community.htc.com/tw/chat.php?mod=viewthread&tid=100334>
- [6] ADIO-L298N。廣華電子商城。取自：
<https://shop.cpu.com.tw/product/46920/info/>
- [7] MG996R 大扭力金屬標準伺服機。Playrobot。取自：
<https://www.playrobot.com/20kgf-cm/1150-standard-servo-mg996r.html>
- [8] MG90S 9 克金屬齒輪伺服機。Playrobot。取自：
https://www.playrobot.com/20kgf-cm/1151-mg90s-metal-g geared-micro-servo.html?search_query=MG90S&results=3&HTTP_REFERER=https%3A%2F%2Fwww.playrobot.com%2Fsearch%3Fcontroller%3Dsearch%26orderby%3Dposition%26borderway%3Ddesc%26search_query%3DMG90S%26submit_search%3D
- [9] JX PDI-6221MG 20 公斤數字伺服齒輪 RC 配件，用於 1/10 1/8 RC 飛機。蝦皮購物。取自：
<https://shopee.tw/JX-PDI-6221MG-20%E5%85%AC%E6%96%A4%E6%95%B8%E5%AD%97%E4%BC%BA%E6%9C%8D%E9%BD%92%E8%BC%AARC%E9%85%8D%E4%BB%B6%EF%BC%8C%E7%94%A8%E6%96%BC1-10-1-8-RC%E9%A3%9B%E6%A9%9F-i.299090785.5548814273>
- [10] 直流馬達。Google 協作平台。取自：
<https://sites.google.com/site/87yuan881/zhi-liu-ma-da>
- [11] 直流馬達 - 基本結構。Google 協作平台。取自：
<https://sites.google.com/site/87yuan881/zhi-liu-ma-da/ji-ben-yuan-li>
- [12] L298N 原裝 ST 晶片新版電機驅動板 DC 馬達驅動模組。Taiwansensor。

取自：

<https://www.taiwansensor.com.tw/product/1298n-%E5%8E%9F%E8%A3%9Dst%E6%99%B6%E7%89%87%E6%96%B0%E7%89%88%E9%9B%BB%E6%A9%9F%E9%A9%85%E5%8B%95%E6%9D%BF-dc%E9%A6%AC%E9%81%94%E9%A9%85%E5%8B%95%E6%A8%A1%E7%B5%84/>

[13] MG996R 大扭力舵機 MG996R 標準伺服器。蝦皮購物。取自：

<https://shopee.tw/MG996R-%E5%A4%A7%E6%89%AD%E5%8A%9B%E8%88%B5%E6%A9%9F-MG996R-%E6%A8%99%E6%BA%96%E4%BC%BA%E6%9C%8D%E5%99%A8-i.231254662.3641035140>

[14] 直流馬達。維基百科。取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%9B%B4%E6%B5%81%E7%94%B5%E5%8A%A8%E6%9C%BA>