

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040802

就是懶得動手－機械手製作

學校名稱：國立桃園高級中學

作者： 高二 呂彥良 高二 陳俊哲 高二 何偉聖 高二 林妙穎	指導老師： 劉世偉 吳佳憲
---	---------------------

關鍵詞：齒輪組 單軸螺紋齒輪 麵包板

壹、摘要

本專題嘗試以低廉成本以及節省能源的方式，利用簡單的滑輪組、齒輪組的設計與製作，期望能將機械手的製造，變的更加簡易。

從設計圖繪製、材料蒐集、零組件製作、安裝零組件到實驗設計、數據紀錄分析、優缺點比較，控制器轉盤製作、麵包板電路設計及連接皆由小組成員集思廣益，嘗試錯誤與學習，親自實做出科展成品。我們利用文獻上尚未見過的、自己設計的「**線材-馬達牽引**」方式，取代傳統的四連桿、油壓桿驅動方式，製作出創新的機械手。

本小組不但製作「功能測試版機械手」測試機械手的各項基本功能、比較材質或動力的優劣，更根據區域科展時教授給的建議及批評，對於部分細節進行改良，我們自行設計規格化的零件、底板，也與老師共同研發出迎合實務需求的「應用版機械手」的兩種新控制方式：**圓盤自動控制系統**及**麵包板 IC 電路互動系統**。以偏向自動化的控制方式，避免線路複雜、整理費工、人為操控不精準的種種問題及缺點，拉進與「以機械手取代人工」這個夢想的距離。

貳、研究動機

「真希望能有個機器人幫我做家事，擦個桌子也好阿。」從小就常常聽到這樣的話語在身邊迴盪，但是為什麼一直都無法實現呢？大概是「昂貴的價格」吧！為什麼機械手的科技產品會如此的昂貴呢？根據反覆的思索，得出了和運作原理所需要使用的材料有關係的結論。所以我們希望可以用不同於以往機械手臂的運作方式製作出成本低，又有實用價值的機械手臂。

生活中有許多可以利用機械手的例子，稍舉幾個如下：

- 一、目前補習對於學生已經成爲一種趨勢，幾乎上了國中之後的學生都接觸過補習班，補習班總有個板哥或板妹負責擦黑板，假如以機械手臂代替不是輕鬆的多嗎？
- 二、現代的都市叢林當中，高樓隨處可見，那些上達三四十樓，甚至是目前世界最高的台北 101 大樓，玻璃的擦拭是一大麻煩，人工的方式有極大的危險性，改以機械手臂進行清理的工作，將更有效率。
- 三、坐在沙發上看電視，口渴了想要喝杯調酒，還是泡杯香濃的紅茶來喝，卻懶的自己起來弄嗎，沒問題，只要有隻機械手臂，幾個指令他就能替你送上一杯最令你滿意的飲品。
- 四、想聽現場演奏的音樂自己卻不懂樂器，去音樂廳又受不了一堆要遵守的禮儀嗎？沒關係，一雙機械手臂就能彈奏一首巴洛克時期的卡農給你聽。

上述的一些情況或許已經可以用現今設備做到，但是一分錢一分貨、羊毛出在羊身上，高級機械設備價格昂貴，也不是那麼普及。而所謂「窮人也有窮人的玩法」，從低廉的成本製作運作原理簡單的機械設備，若能以較低的價格購買到

有一定水平及實用性的設備，相信應能符合大多數人的需求。

基於對這個問題的興趣，本小組決定以生活科技課程所學到的製造科技中相關的機械製造知識以及機械作用的相關知識，配合自行研究的方法來挑戰以上「不可能的任務」！

參、研究目的

本專題主要的目的在探討如何將原本成本較高的運作模式，經由較簡單的方式，製作出具一定實用價值的機械手，並實際實驗製作。雖然在市面上已有多數的機器人和機械設備，但大多數的價格不便宜，非一般學生族能玩的起，因此本專題希望藉由簡單的滑輪組、齒輪組的設計與製作，尋找出讓一般人能夠接受的品質和合理價位。

本專題的最大目標，則是希望能夠降低製作機械設備的成本，並節省能源，使一般大眾能夠以較少的花費得到一定效能的設備。屆時以價格低廉的機器手，或許就能達到目前仍嫌昂貴的專業機械設備所具有的經濟效益。

肆、研究設備

- 一、材料：散熱片、齒輪、L型鐵片、螺絲釘組、橡皮圈、木板、釣魚線、鐵絲、鐵軸、馬達、漆包線、搖頭開關、電池座(電源供應器)、CD轉盤、麵包板、及閘、或閘、紅外線接收器、光感應器等
- 二、工具：鐵鎚、螺絲起子、斜口剪、尖嘴鉗、三秒膠等

伍、應用原理與作品設計圖

一、機械手設計構思：

動力系統是機械手臂製作重要的一環，使用合適的動力來進行手指的收放伸縮，對於製作的成本與效能有很大的影響。目前常見的動力系統是以**油壓**和**四連桿**兩種作為其運作的動力。

這兩種原理的應用，較適用於工作的怪手上，要仿造人的手掌有些困難。因為生活中最常見的類油壓器具就是針筒(除非訂做小活塞)，但是要推動針筒需要不小的力氣。因此，我們想出一種更加簡單而且符合我們需求的辦法。

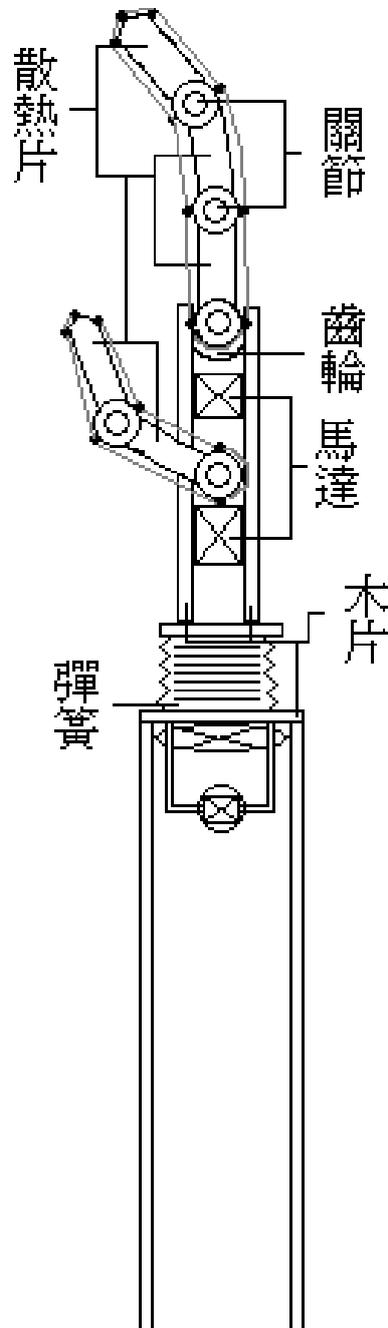
首先我們觀察自己的雙手，並且查閱人類身體的透視圖，找出構成手掌、手臂運動系統的四個要素：骨架、肌肉、筋和神經。接著我們研究人類手臂和手指活動的方法：大腦由神經傳遞訊息告訴肌肉即將要進行的運動，而肌肉藉由連接骨頭的肌腱，操作骨頭的伸展及擺動。

找出這四個要素和活動的方法之後，我們開始尋找適合的材料。大家討論的結果，利用馬達和齒輪組當作肌肉，腳踏車的煞車線當作肌腱，用電線和開關當

作連接肌肉和大腦(操控者)的神經。骨架則分為兩個部分，手臂和手掌是以木片組成，而手指的部分則是利用金屬片(之後選用散熱片，原因請見材料採買)製作。

二、作品設計圖原型：

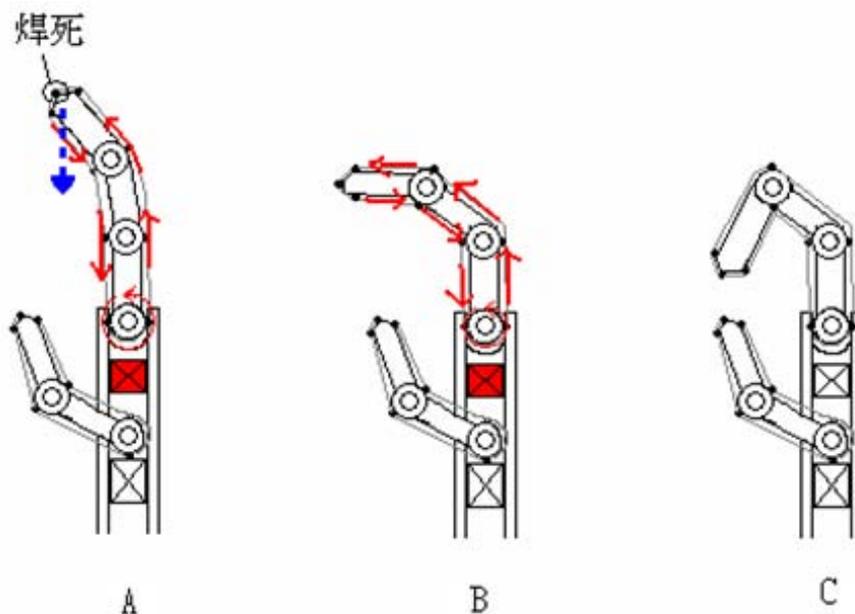
本專題機械手的初步設計圖如下：



圖一

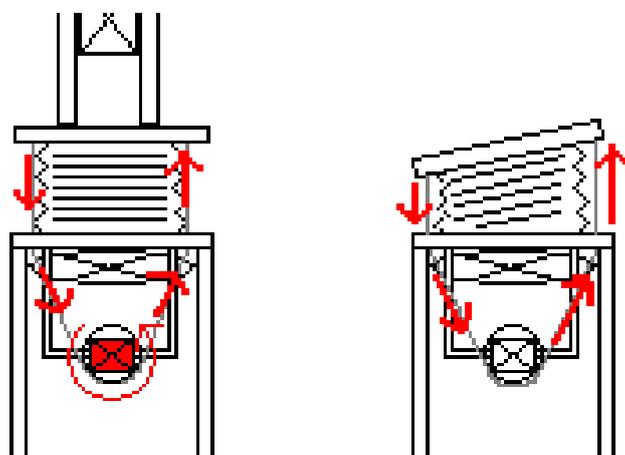
作用原理如下：

手指：藉由馬達的轉動帶動齒輪轉動，轉動的齒輪會拉引纏繞在手指四周的煞車線，如圖 2-A。圖 2-A 中手指左方的線會因為牽引向下移動(紅色箭頭表示移動方向)，由於煞車線和手指的尖端是焊死的，所以煞車線會拉動手指尖端(如圖 2-B)，使手指往內彎(如圖 2-C)。



圖二

手腕：手腕利用的原理和手指類似，均由煞車線、齒輪以及馬達的搭配來運作。藉由馬達的轉動，牽動繫在手掌末端木板上的煞車線，拉動手掌左右擺動，同理可使手腕上下擺動，達到手腕彎曲的效果(見圖三)。而在手臂末端有一顆馬達可使手腕做 360 度的轉動。



圖三：手腕的擺動

三、材料採買選用：

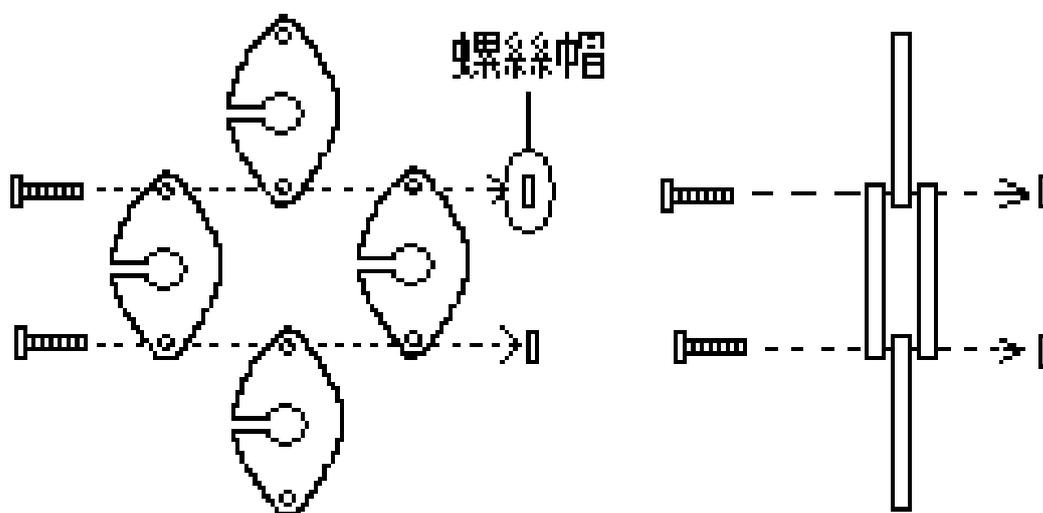
機械手作品設計圖完成後，我們開始購買科展作品需要的材料。因為找不到與當初設計符合的金屬片，所以我們挑了晶體用散熱片，將其取代；接著我們尋找動力部分的齒輪、馬達、漆包線以及電池組。除此之外，我們還購買了橡皮圈和 L 形鐵片製作齒輪組。在購買好各部分的材料之後，開始進行我們機械手臂的製作。

陸、製作過程與創意設計：

一、手指製作：

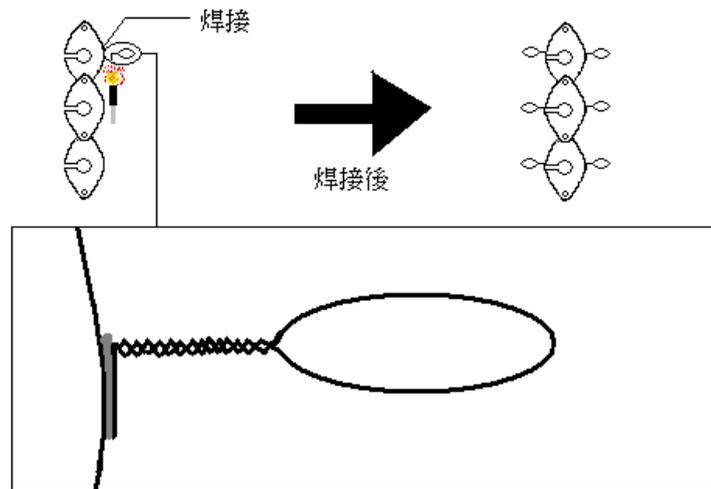
〈一〉指節製作：

- 1.以兩片夾一片的方式，做成三個指節，一隻手指用四片散熱片，其組裝方式如下圖四：



圖四

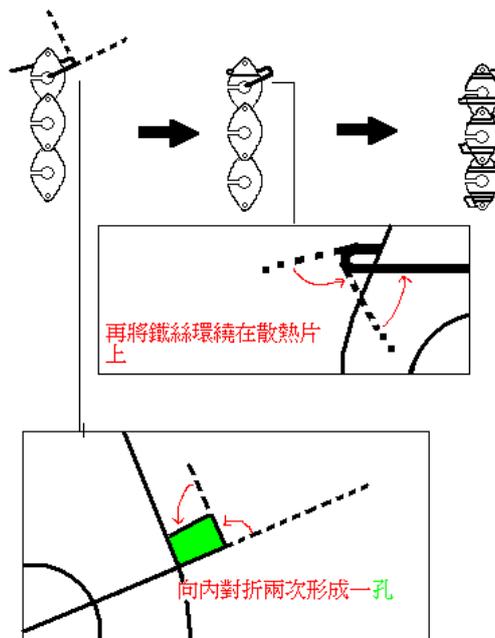
- 2.裝設讓煞車線穿過的孔，引導煞車線環繞整隻手指，並避免線的位置亂跑。我們利用鐵絲纏繞成一個個的小洞，設法將其焊接在每一節手指的兩側。(如下頁圖五)



圖五

※ 創意設計

安裝心得(1)：經過兩個多小時的焊接，我們發現焊上的原孔無法牢靠的和散熱片接合，只要受到較大力量的碰觸就會脫離。本組想了一個不需接著劑就可以組合兩者方式：只要將鐵絲纏繞在散熱片的四周，最後在散熱片的邊緣留下一個小洞即可。詳細步驟如圖六：



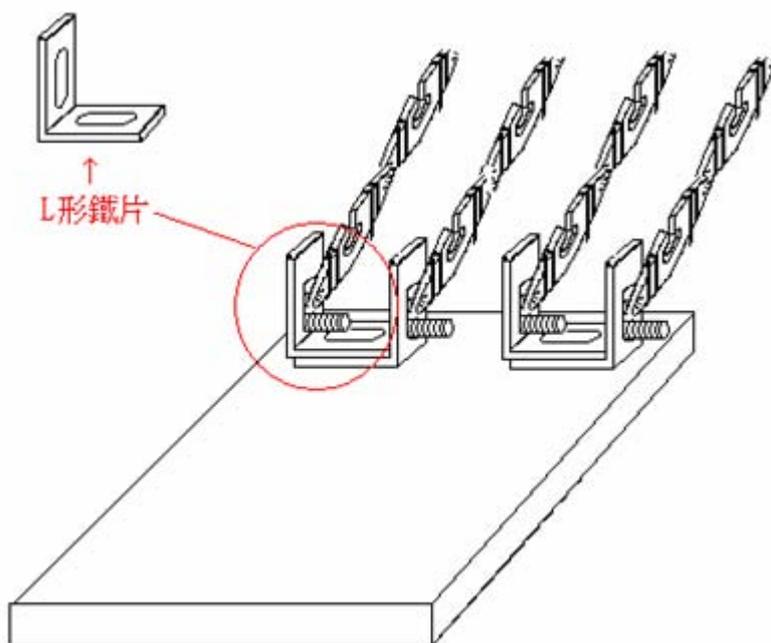
圖六

組裝心得(2)：我們在經過最後的實驗評估後發現，牽線緊貼手指的邊緣可降低漁線收放的誤差，因此我們改以金屬圓柱搭配鐵絲。

二、手指手掌連接：

〈一〉連接：

- 1.以 L 形鐵片連接手指和木板：先將兩片 L 形鐵片疊合，用螺絲釘固定在木板上，再把手指用螺絲、螺絲帽鎖在 L 形鐵片的另一端。如下圖七：



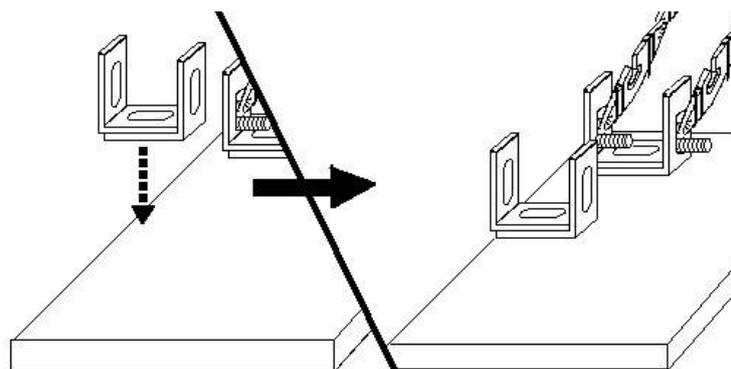
圖七

三、前齒輪組的製作安裝過程：

完成了手指的接合，接著進行 ”前齒輪組 “ 的製作和安裝。前齒輪組的材料：L 形鐵片、齒輪、鐵軸、鐵絲和橡皮圈。製作方法流程如下：

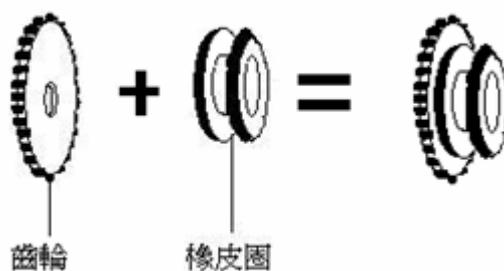
〈一〉前齒輪組製作：

1. 先將兩片 L 形鐵片疊合，固定在木板上。(參考圖八)



圖八

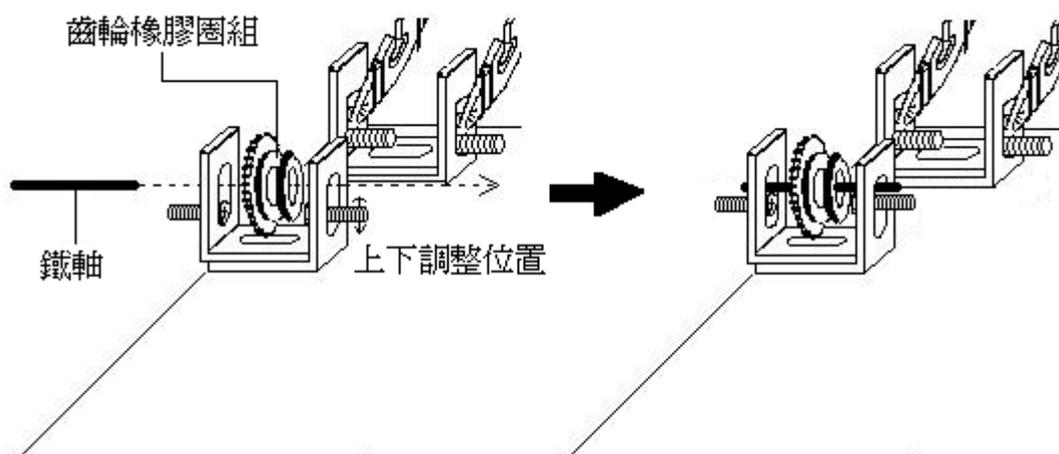
2. 將齒輪黏附在橡皮圈上，使齒輪與橡皮圈的轉動同步。(參考圖九)



圖九

〈二〉前齒輪組安裝：

1.以鐵軸穿過步驟 2 的齒輪橡膠圈組(以下簡稱齒橡圈)，並用螺絲墊在下方以避免齒輪和木板的摩擦。再利用鐵絲將齒輪的位置固定，使齒輪不會左右滑動。(如下圖十)

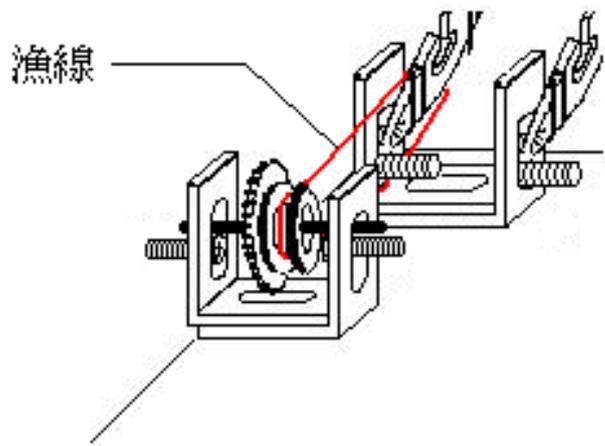


圖十

2.將煞車線的一端先固定在指尖，由左右任一側穿過鐵絲圍成的小洞，繞過齒橡圈，再由另一側繞回指尖固定。

※組裝心得：在實際測試後，發現煞車線太韌，沒有辦法讓手指彎曲，所以改用漁線(改用漁線時，漁線需在齒橡圈上多繞幾圈，齒橡圈才不會空轉)。

(如下圖十一、十二)



圖十一：立體圖



圖十二：側面圖



圖十三：前齒輪組



圖十四：前齒輪組 2

四、後齒輪組的製作安裝過程：

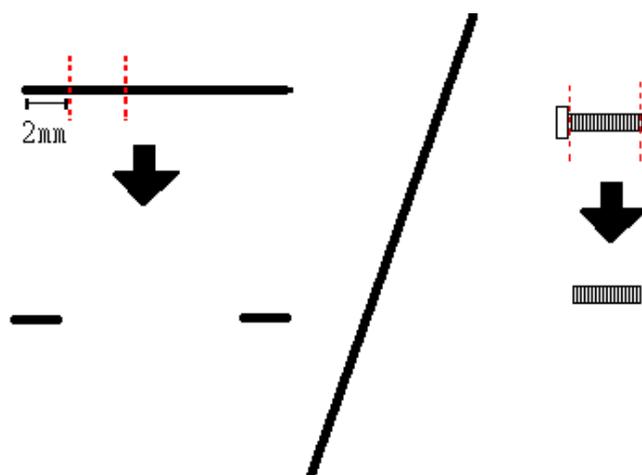
後齒輪組所需的材料較特殊，需要自行組合一些買回來的零件，因此先來介紹本組自行研發設計的零組件 — 單軸螺紋齒輪。

我們製作單軸螺紋齒輪的概念來自模型越野四驅車的齒輪，**利用螺紋轉動齒輪**，不只有**減緩轉速**的作用，更有**防止齒輪逆向轉動**的特性，因此本組利用螺紋轉動齒輪的概念，研發設計出我們需要的組件。

製作單軸螺紋齒輪的材料有鐵軸、螺絲釘和齒輪。

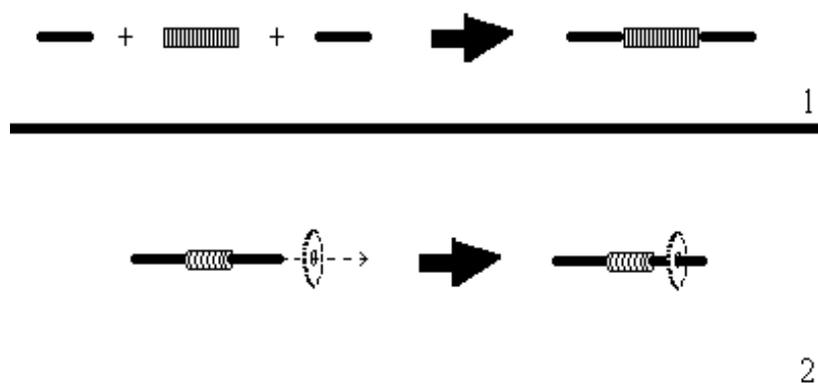
〈一〉製作方法：

1. 首先將鐵軸切成兩個長度適當的小軸，長度大約兩到三毫米。再將螺紋間隔約一毫米的螺絲釘去頭去尾(如圖十五)。



圖十五

2. 將步驟 1 裁切好的零件依照 鐵軸→螺絲釘→鐵軸 的順序以三秒膠黏合起來。並在其中一端裝上齒輪即可完成。(如圖十六)



圖十六 設計圖 ↑



圖十七 實際圖

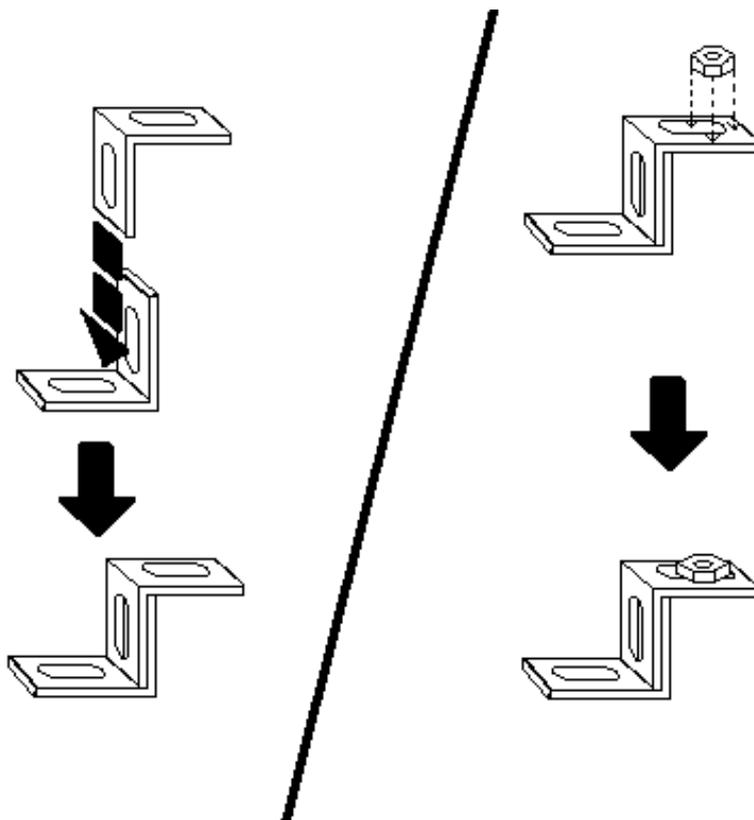


圖十八 實際圖

單軸螺紋齒輪完成之後，接著開始組裝後齒輪組了。後齒輪組的構造分為兩個部分，分別是單軸螺紋齒輪和支架。支架由兩片 L 形鐵片、兩顆螺絲帽和一片薄鐵片組成。

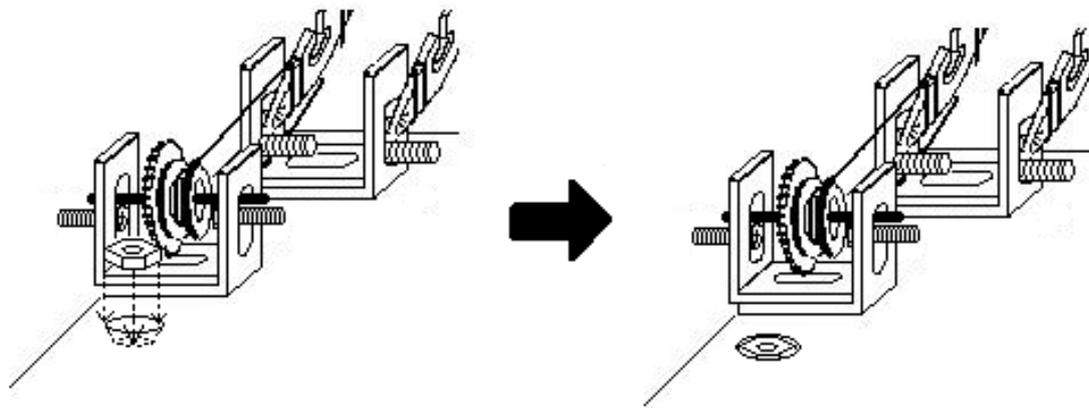
〈二〉後齒輪組安裝方法：

1. 將兩片 L 形鐵片疊合形成 5 字形。並在一端黏上螺絲帽。(參考圖十九)



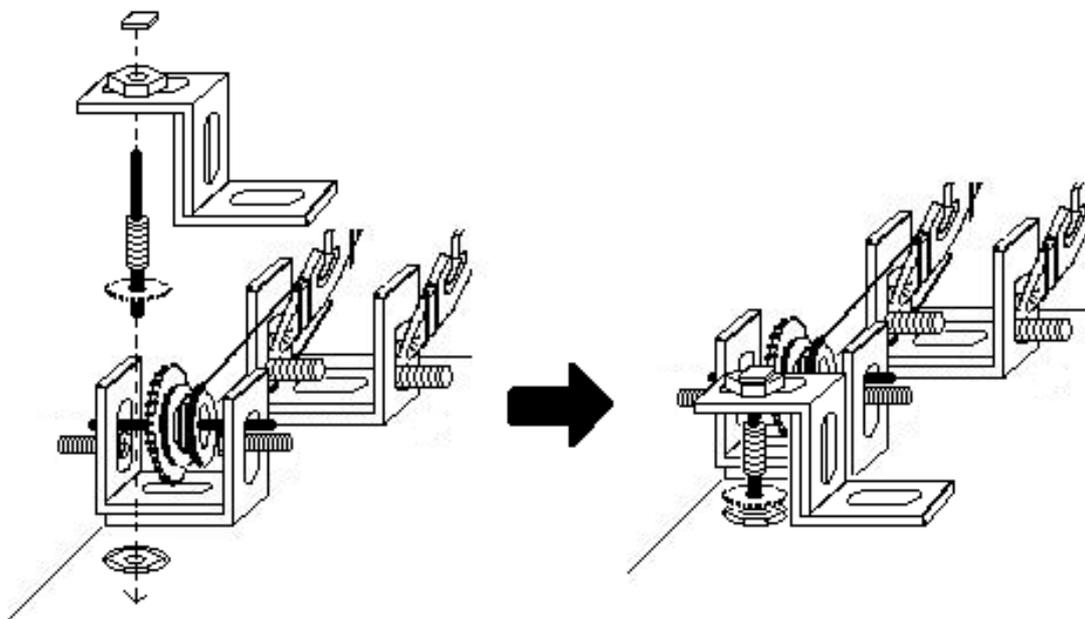
圖十九

2.在木板上挖一個小洞，並塞進一顆螺絲帽避免單軸齒輪移位。(參考圖二十)

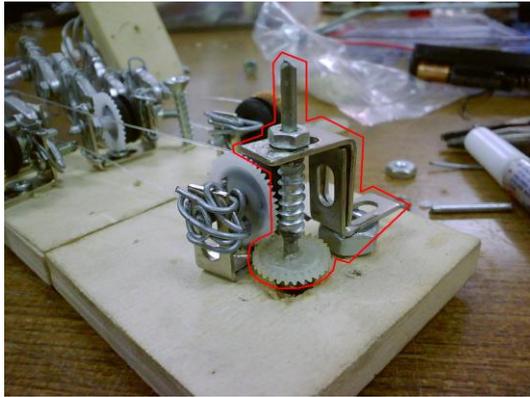


圖二十

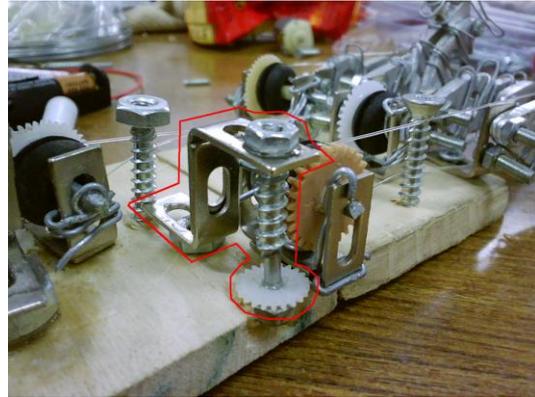
3.將單軸齒輪裝有齒輪的那一端坎進木板上螺絲帽的孔內，再將支架套在軸的另一端上，封上鐵片即完成後齒輪組。(參考圖二十一)



圖二十一



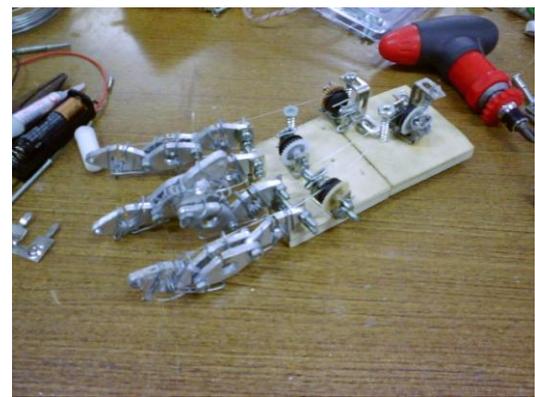
圖二十二：仍處測試階段的後齒輪組，突出的鐵軸還未被剪斷。



圖二十三：尚未貼上鐵片的後齒輪組



圖二十四：完整齒輪組



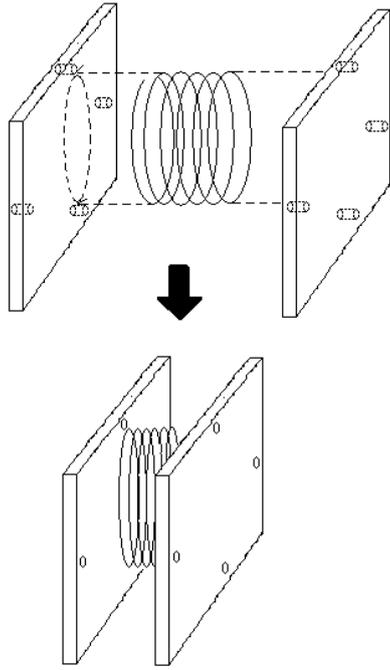
圖二十五：完成齒輪組的機械手

五、機械手臂和手腕製作

手掌完成之後，製作的是可以 360 度旋轉、雙軸(上下左右)的手腕。原理和手指的驅動相同(參考 P.4 作用原理：手腕)。

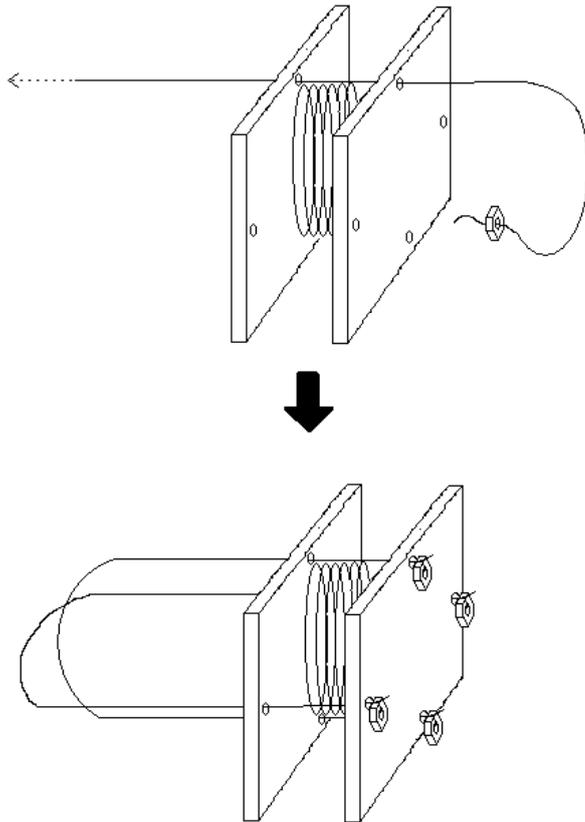
〈一〉木板結構製作方法：

1.先切兩塊大小相同的木板作為手腕，並且在木板的四邊終點各挖一個洞。再利用直徑約 1.5mm 的粗鐵絲彎成彈簧，連接在兩木板之間(如圖二十六)



圖二十六

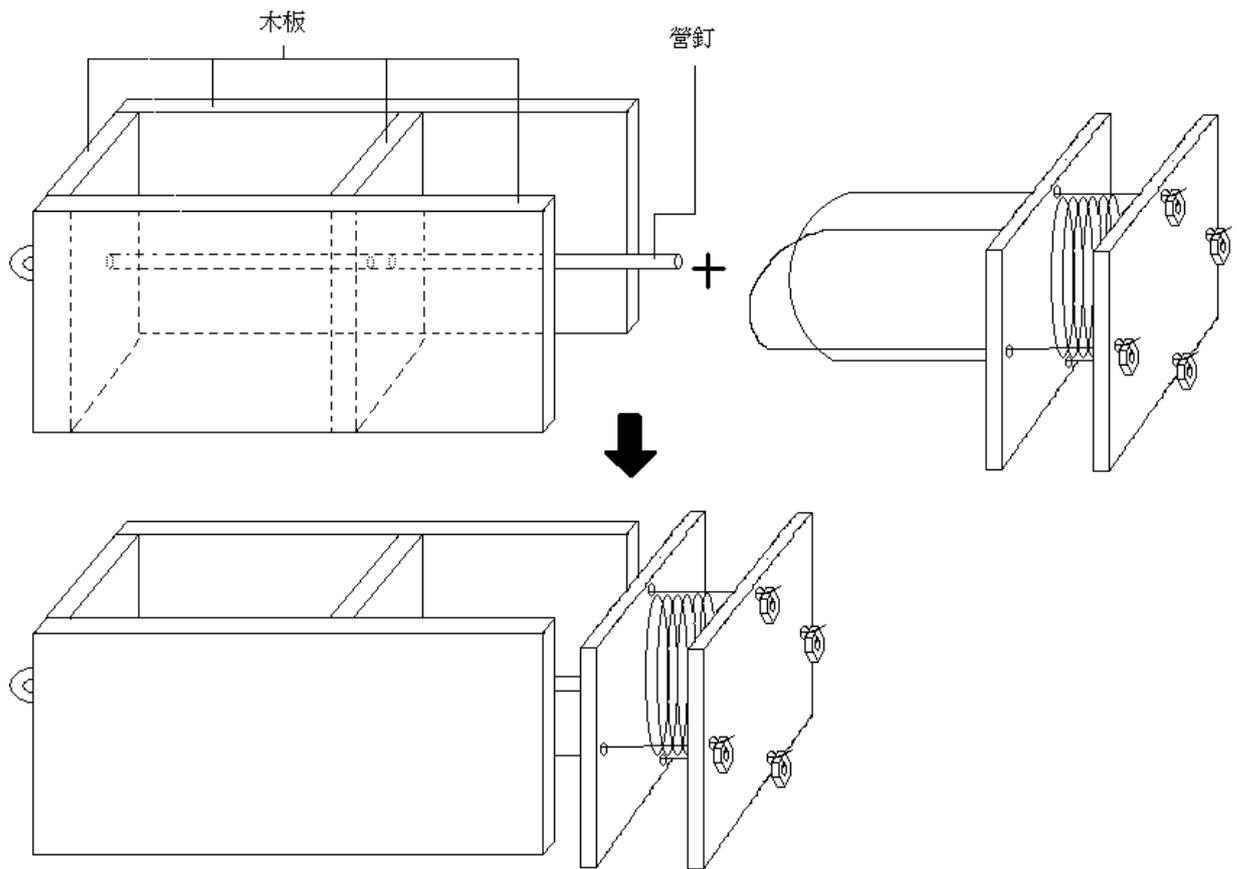
2.將漁線綁上螺絲帽固定，並穿過四個洞，如圖二十七：



圖二十七

〈二〉手掌、手腕、手臂安裝方法：

1.將手臂以及手腕接上，如圖二十八



圖二十八

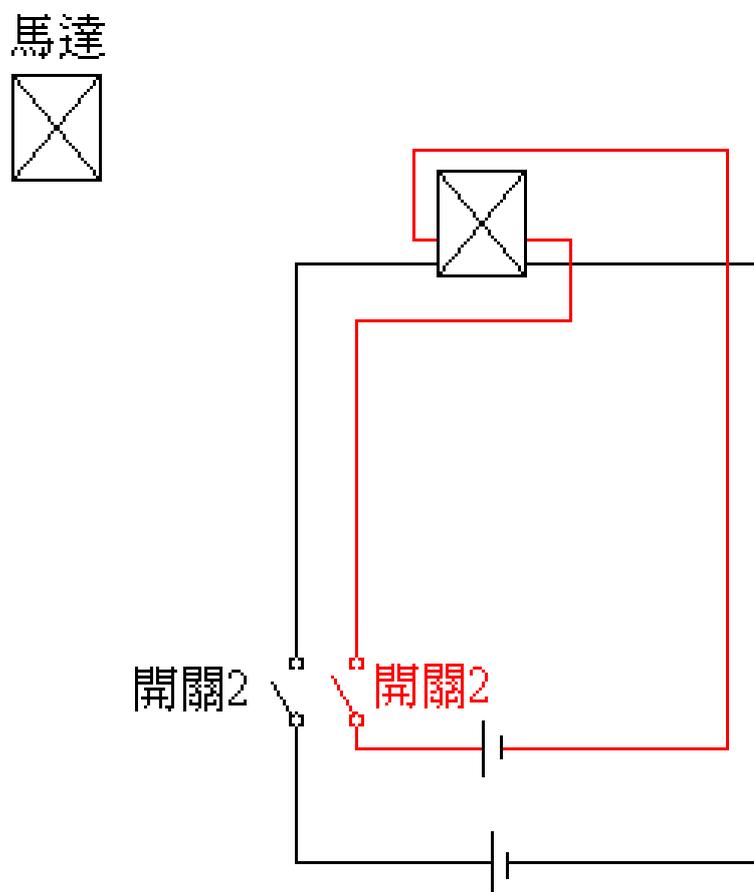
4.最後在組裝上手掌即可完成機械手的結構。

六、馬達的安裝：

把馬達按照設計圖安裝在手掌和手腕上，驅動手指的轉動。

七、作品電路圖設計：

爲了使我們的馬達能夠正反轉，我們設計了一個可以用開關改變電流方向使馬達逆轉的電路圖，如圖二十九：



圖二十九

說明：

- 〈一〉當開關 1 關閉時，黑色電路形成通路，而因爲開關 2 未關閉，電流會順著黑色電路通過馬達，使馬達正轉。
- 〈二〉當開關 2 關閉時，紅色電路形成通路，因爲開關 1 未關閉，電流會順著紅色電路通過馬達，使馬達反轉。

八、機械手改良

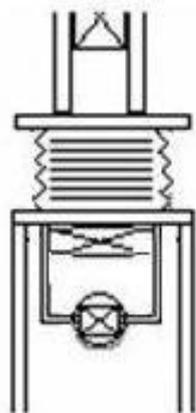
經歷了第一階段的機械手製作及參展之後，本組再次腦力激盪、集思廣益，並融合了評審及師長們的建議，在「**應用版機械手**」和**機械手自動控制**部份進行製作和改良。

改良的部分如下：**手掌手腕結構強度增強**、**零組件規格化**、**更換馬達**、**增加自動化控制方式**等。

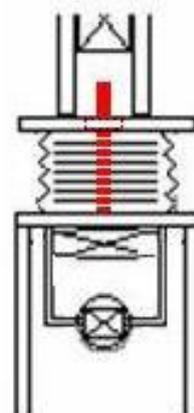
〈一〉手掌、手腕結構強度增強：

本組所製作之功能測試版機械手因結構脆弱，導致許多原本設計為可動的關節無法運作。因此，本小組在改良的過程中，除了**改變手掌、手腕的材料**外，更在**手腕上增設了新的結構**。

首先，本小組將手掌、手腕的材料改為墊木，取代原本容易碎裂的木片，**增加木材結構的強度**。其次，本小組在手腕**增加一根貫穿彈簧中央的金屬軸**(圖三十一紅色部分)，使手腕在彎曲時，會因為金屬軸與木片上的圓孔接觸，限制彎曲範圍(參考圖三十一)，**改善手腕彎曲過度的現象**。



圖三十 原設計

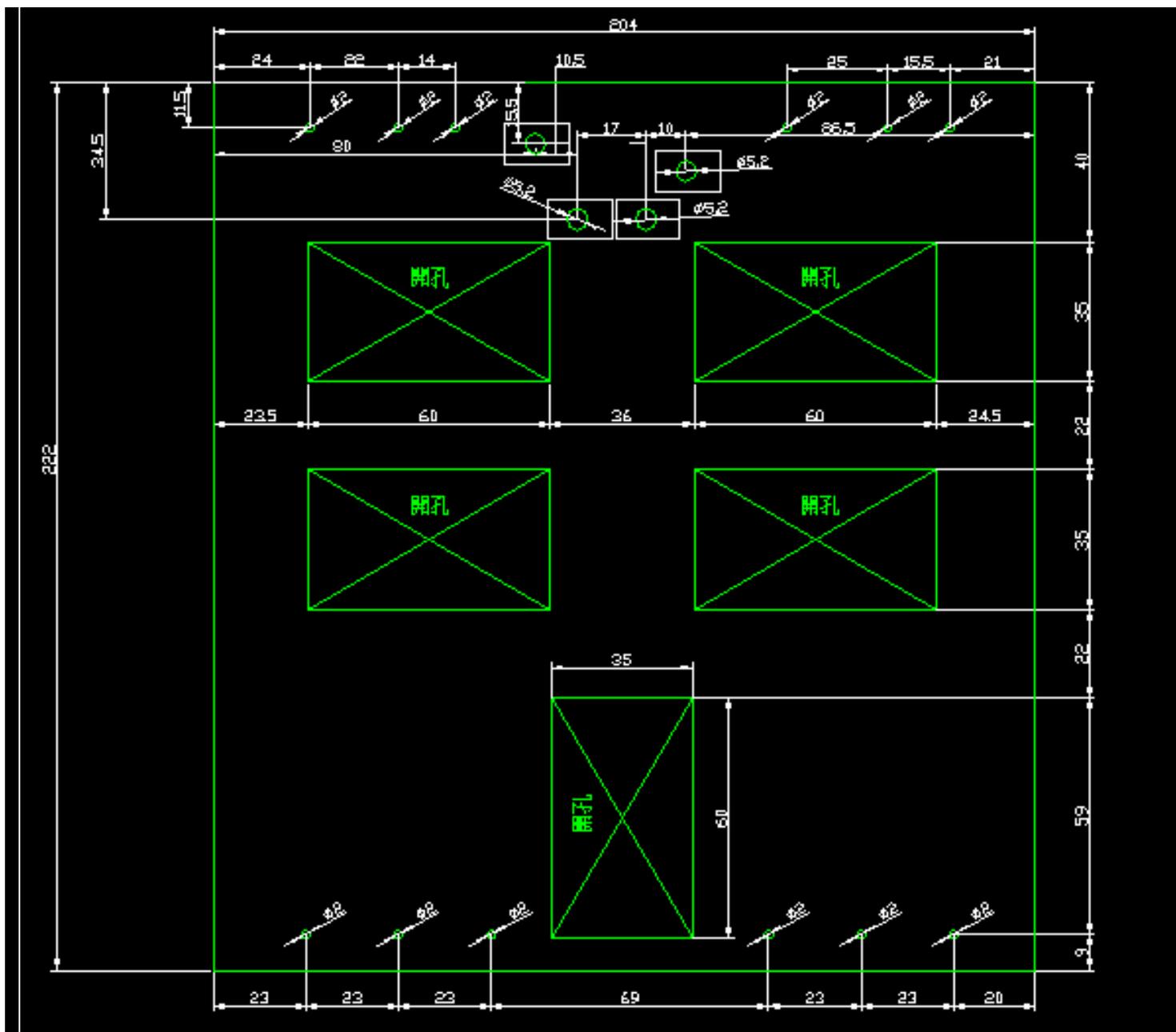


圖三十一 改良後設計

〈二〉零組件規格化：

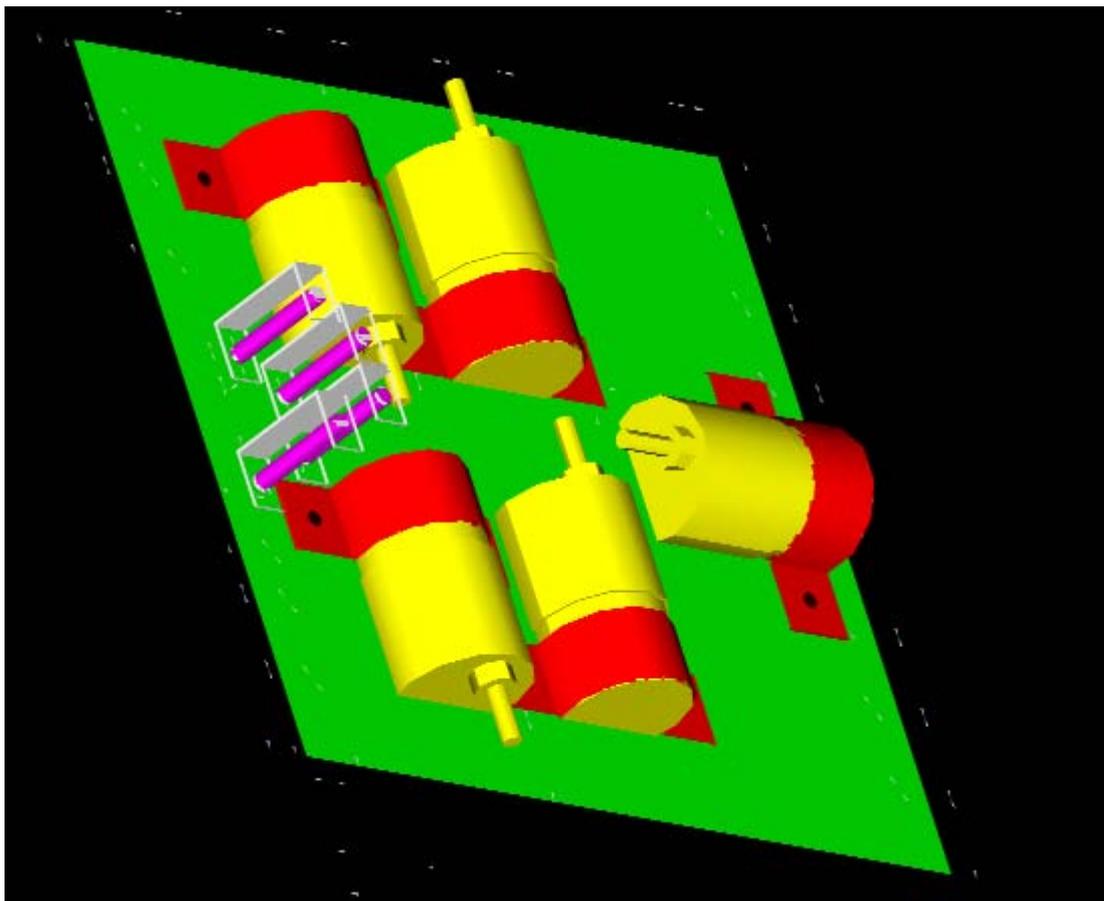
本小組於原作品之製作時，未將零組件進行規格化的製作，手掌上的零組件位置安排也因為空間的不足顯的相當凌亂，此現象大大降低了原作品的工作效率，經常有未規格化的零件損壞或是無法矯合，因此本小組在應用版機械手的製作過程中，**選用同一系列的小零件**製作成零組件，克服零件易損壞、無法矯合的問題。

在零組件位置安排的部份，為了改進雜亂無章的原作品設計，本小組特別利用 **AUTOCAD** 繪圖程式，自己**繪製底板的設計圖**(參考圖三十二)，再交由木工廠加工製作，以達到**高精確度的零件製作水準**，降低零組件工作時出差錯的機率，提升工作效率。



圖三十二 A 手掌底板設計圖

圖片說明： 利用 AUTOCAD 繪製設計圖的功能，畫出比例正確且精準的設計圖。也利用 AUTOCAD 本身採線的功能，繪出 3D 的概念圖(參考圖三十二 B)。



圖三十二 B 手掌底板概念圖(彩現)

〈三〉更換馬達：

馬達力道及精準度的不足，是本小組參加區域科展的過程中，教授和評審們認定的共同缺點。此缺點除了增加控制方面的困難外，也是造成原作品許多功能無法正常運作的原因。

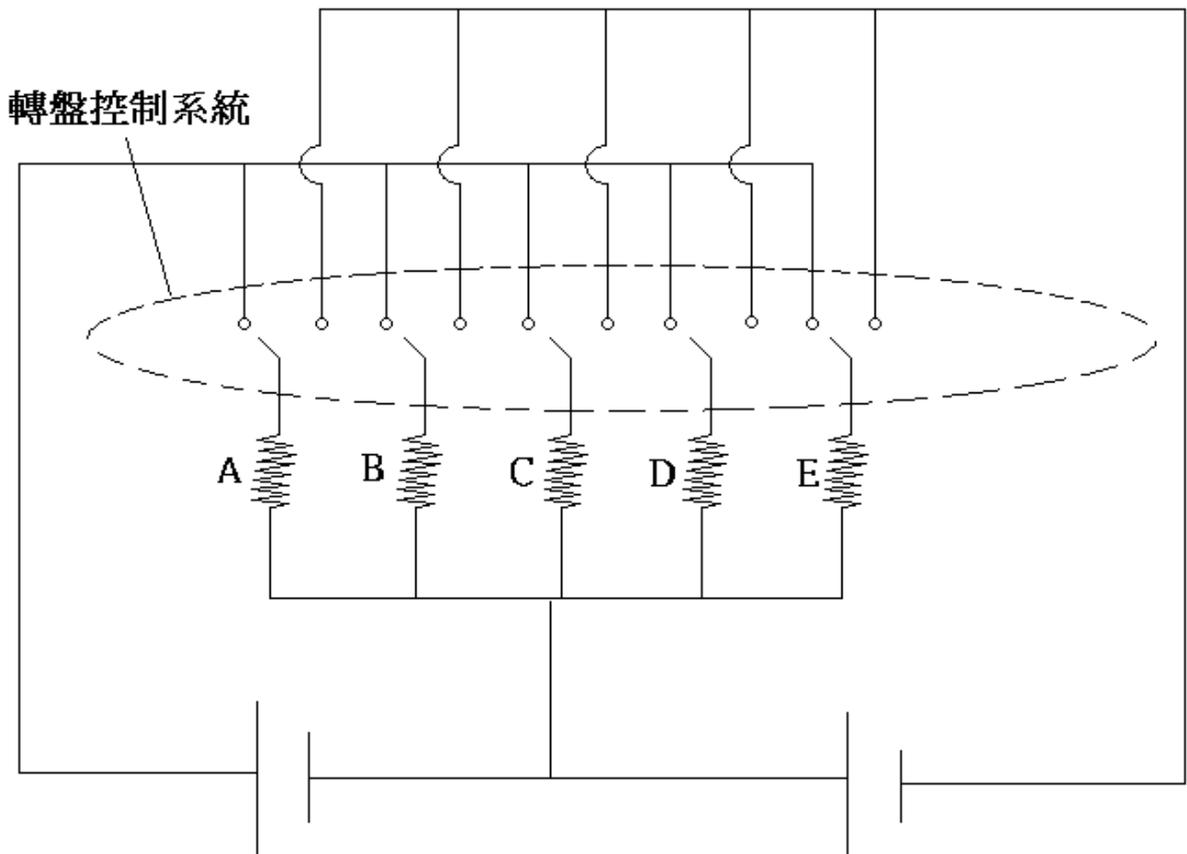
市面上馬達的選擇相當多，簡單有直流玩具馬達、正、反轉馬達、減速馬達，複雜則有步進馬達、和伺服馬達，由於考慮到後兩者需連接控制器，本小組認為其相關知識並非一般高中生所能理解及涉獵之範圍，因此排除使用步進和伺服馬達的可能性。本小組在經過謹慎及嚴密的討論之後，決定以**最接近原作品設計的減速馬達**作為改良品的新動力。

〈四〉增加自動化控制方式：

在功能測試版機械手的設計中，本小組利用簡單的電路，配合開關進行對機械手的有線遙控，但由於導線數目繁多，整理費工。加上人為操控不易、不精準，本組再進階研究偏向自動化的控制方式。新增的控制方法分為圓盤式自動控制系統及麵包板 IC 電路互動系統兩種。

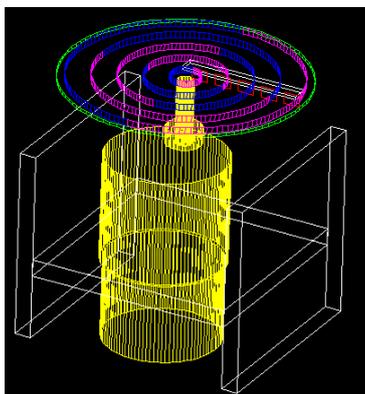
1. 圓盤式自動控制系統：

運作原理：以電刷接觸絕緣圓盤上的導線，利用通電時間的不同，控制手指、手腕的馬達轉動，進而帶動機械手進行一連串週期性的動作，利用圓盤不斷轉動，可進行不需人為操作的反覆動作。電路圖參考圖三十三。

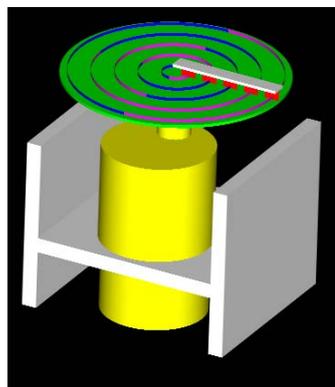


圖三十三

結構說明：圓盤式自動控制系統可分為轉盤(綠色)、馬達(黃色)、電刷(紅色)、外殼(白色)等四個部份(參考圖三十四、三十五)

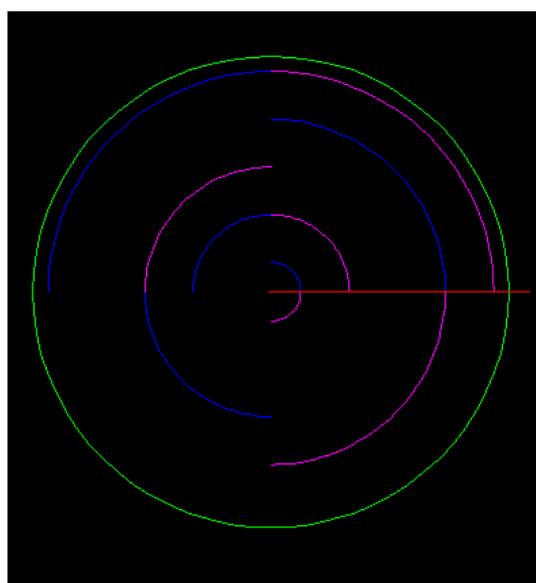
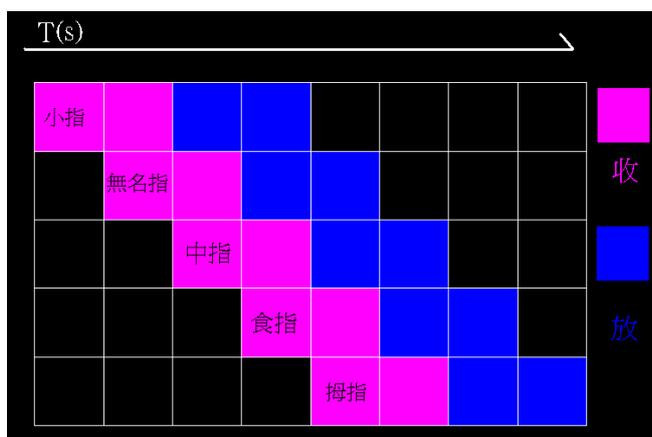


圖三十四 轉盤概念圖



圖三十五 轉盤概念圖(彩現)

範例：以手指的輪流收放為例，將軌道以兩秒為間隔分別排開(參考圖三十六)。圓盤軌道如圖三十七所示，如此圓盤在固定的角速度下轉動，軌道通過電刷，使手指上的馬達依序轉動，帶動手指輪流收放。(紫色線表收，藍色線表示放，紅色為電刷) 圖三十七中為一秒 1/8 轉的轉盤順時針轉動。



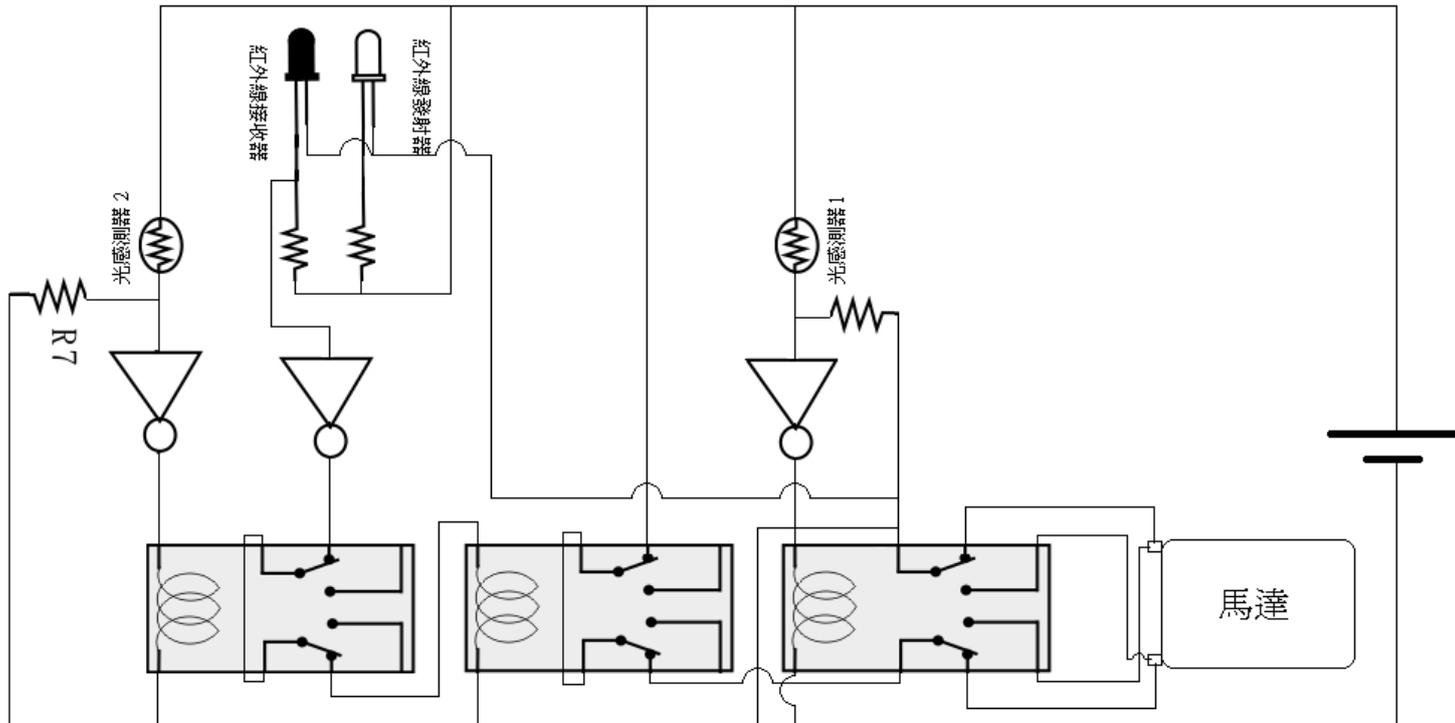
圖三十七 圓盤軌道圖

2. 電路式互動系統

運作原理： 利用麵包板結合 IC 晶片以及各種感應器(SENSOR)，使機械手能偵測人類動作，與人類進行互動。

範例： 自動握手的機械手(參考圖三十八之電路圖)

本自動握手器主要由光感測器搭配紅外線感測器、數個反相器、繼電器連接組成。若無物體遮蔽光感測器，由於機械手一開始手指收緊，紅外線感測器感應到有物體在其前方，透過反相器及繼電器，會切斷馬達的通路，使馬達靜止，固定手指的位置。若光感測器 1 受到物體遮蔽，電壓降低的結果，讓反相器以為輸入為 0 的訊號而輸出 1 的訊號，改變馬達兩端導線的電流方向，但由於馬達的迴路仍為斷路，所以機械手不會有所動作。當光感測器 2 受到物體遮蔽，同理，反相器輸出的訊號透過繼電器切斷紅外線感應器的通路，使馬達迴路變成通路，促使馬達轉動而帶動手指反握，握住遮蔽光感測器 2 的物體，只要移開遮蔽光感測器 2 的物體，反相器會重新輸出 0 的訊號，恢復紅外線感測器的通路，待紅外線感測器感應到有物體在其前方(手指收緊)，紅外線感測器就會透過反相器和繼電器切斷馬達的迴路，讓手指不再繼續緊握。



圖三十八 自動握手器電路圖

柒、成品測試與效能評估：

一、實驗測試及實驗紀錄

在完成我們的機械手之後，我們開始實驗機械手的性能，我們選擇以線材材質、牽線方式、以及馬達的不同三項控制變因比較機械手的定位精準度和最大出力。結果如下圖表：

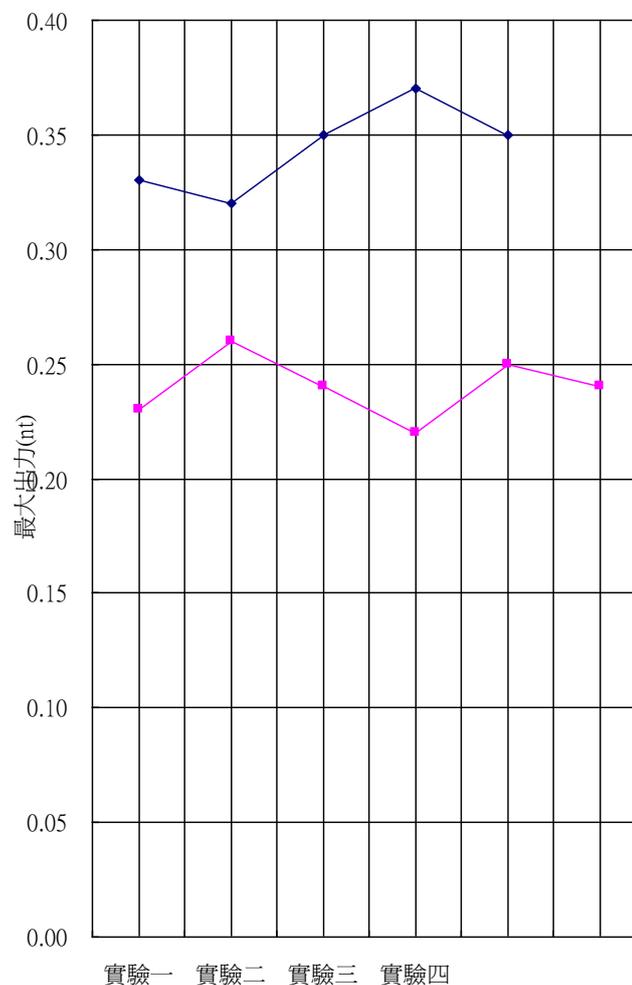
項目	線材材質	
	漁線	棉線
實驗一	0.33	0.23
實驗二	0.32	0.26
實驗三	0.35	0.24
實驗四	0.37	0.22
實驗五	0.35	0.25
平均	0.34	0.24

表一

線材材質對最大出力的影響

說明：使用相同結構的手指，比較不同線材所能提供的最大出力。

結論：棉線的彈性較差，一但被繃緊、拉長後便較難恢復原來的長度，這現象導致線材無法再一次繃緊以拉動手指，基於這個原因，會讓使用棉線當材料的機械手其精準度降低。所以本組還是不斷尋找接近人類手掌肌腱活動構造的人造線材，希望能讓作品更接近人類手掌真實的活動模式。



圖三十九(右)

—●— 漁線 —■— 棉線

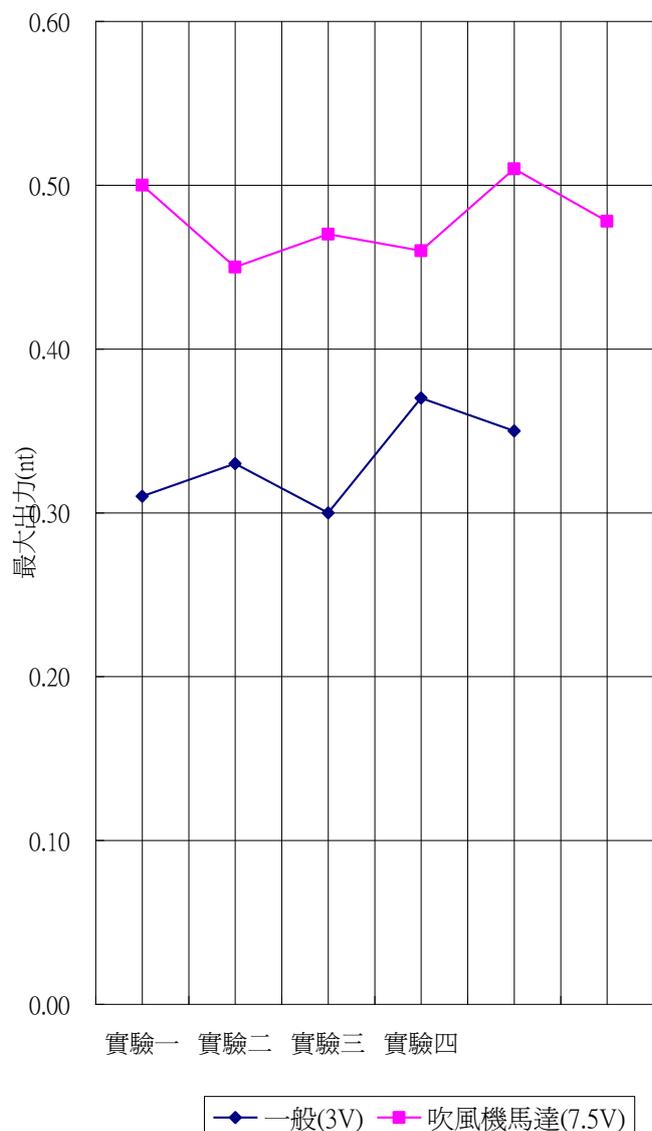
項目	馬達	
	一般(3V)	吹風機馬達(7.5V)
實驗一	0.31	0.50
實驗二	0.33	0.45
實驗三	0.30	0.47
實驗四	0.37	0.46
實驗五	0.35	0.51
平均	<u>0.33</u>	<u>0.48</u>

表二

說明：相同的線材及結構(散熱片牽漁線)，利用不同的馬達轉動手指，測量其最大出力。

結論：由圖三十五可看出，本實驗模型的最大出力並不和馬達轉速成正比，舉例來說，提升兩倍多的福特數的吹風機馬達，只增加了接近一半的最大出力，因此本實驗模型的最大出力是有最高限制的，原因是馬達的轉速過快，會造成齒輪空轉，無法發揮馬達所能提供的最大出力的現象。

不同馬達對最大出力影響



圖四十(右)

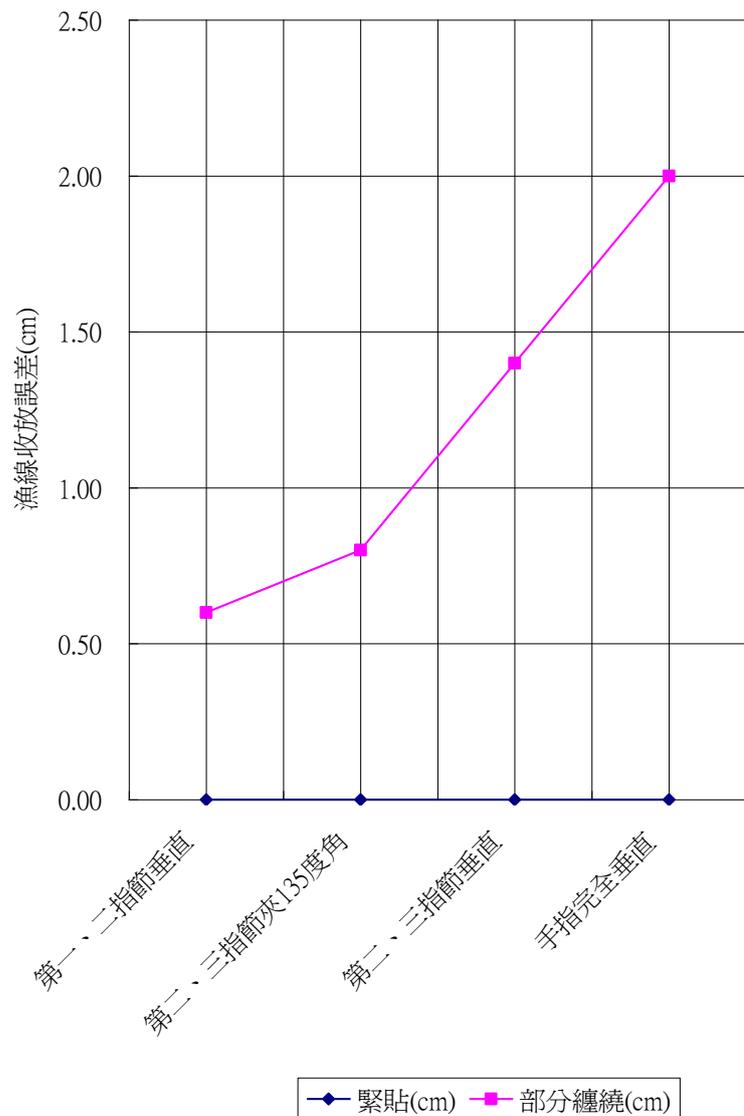
手指彎曲程度	漁線收放誤差	
	緊貼(cm)	部分纏繞(cm)
第一、二指節垂直	0.00	0.60
第二、三指節垂直	0.00	0.80
第三、四指節垂直	0.00	1.40
指節間完全垂直	0.00	2.00

表三

說明：相同的馬達和線材，利用兩種牽線方式的不同，測量定位精準度的高低

結論：牽線方式對漁線的定位精準度影響極大，若非緊貼的牽線方式，會造成隨著手指彎曲程度增加而變大的誤差，同時也降低機械手的定位精準度。

牽線方式對漁線收放誤差的影響



圖四十一(右)

二、機械手臂優缺點的評估：

經過本組的實作同時研讀現有參考文獻，我們做了一個簡表，比較三種機械手臂並分析其優缺點，三種機械手臂分別是《漁線+馬達》、《四連桿+油壓》以及《四連桿+馬達》。

〈一〉機械手臂的評估簡表如下：

項目 / 動力系統	漁線+馬達	四連桿+油壓式	四連桿+馬達
成本	低	較高	居中
定位時間	相當	相當或較長	相當
定位精準度	定位精準度高	定位精準度高	定位精準度高
手指彎曲的程度	可反向彎曲 彎曲結構最簡單	可反向彎曲 但彎曲結構複雜	可反向彎曲 但彎曲結構複雜
負載重量(最大出力)	最小	最大	居中
結構繁簡	結構簡單 由漁線、馬達、 齒輪組構成	結構最複雜 由油壓桿和金屬軸 構成，四連桿結構較 複雜	結構最簡單 由馬達和金屬軸組 成，四連桿結構較 複雜
零件組件的獨立性	獨立性最佳，如 有零件損毀可單 獨拆解更換	獨立性較差，油壓桿 如有破裂需將整個 活塞更換	獨立性較佳，如有 零件損毀部分可單 獨拆解更換
零件的普及性	零件普及率最高 齒輪、漁線和伺 服馬達容易取得	零件普及率低 油壓桿較不易取得	零件普及率高 金屬軸和伺服馬達 容易取得
工作環境溫度限制	限制較大 溫度過低漁線有 硬化的顧慮 低溫潤滑的問題	限制較大 溫度過低時油壓液 體有凝固的顧慮 低溫潤滑的問題	限制最小 僅有低溫潤滑的問 題
工作用途	定位精準度高、 定位時間短的醫 療手術或搜救任 務	需較大力量的舉 重、工業製造或 挖掘工作	定位精準度高、 定位時間短的醫療 手術或搜救任務

〈二〉詳細說明：

- 1.成本：成本的高低是本專題最初的研究動機，我們設計出機械手的優點是材料的價格低廉，成本低。油壓式的活塞價格較昂貴，因此成本最高。
- 2.定位時間：由於三者的驅動都以馬達為動力(推油壓桿也可利用伺服馬達)，因此都相當，唯有油壓式機械手臂在出力較小時，需要較多的定位時間(所謂省力費時，省時費力)。
- 3.定位的精準度：馬達不管是搭配漁線或者是四連桿，其精準度都相當高，由於(伺服)馬達轉動的角度非常精確，只要搭配電腦運算通電的時間，就可以有非常高的定位精確度。而油壓式的動力方式雖然也可達到同樣的精確度，卻需要較大的出力或較長的時間。主要原因是帕斯卡原理所造成的現象。活塞的兩端截面積不同，可是總體積不變，根據推動的方向不同，會出現不同的位移(參閱第四頁的帕斯卡原理示意圖所示)。若由截面積較大的一端推動，單位力量產生的位移大，較省力，可是因為位移大，精確度便比較低。反過來講，由截面積較小的一端推動，需要花費較大的力氣，但單位力量產生的位移會比較小，定位會比較準確。因此若要達到相同的精確度及同樣的定位時間，需要較大的出力。若出力和另外兩組相同，則所花的定位時間較長。
- 4.手指的彎曲程度：這裡指的是手指活動的範圍，只有漁線馬達這組手臂可以直接做到手指外翻(就是左手直接變成右手)，其餘的兩組都必須加裝額外的組件才能改變手指彎曲的方向，這當然使得手掌的結構更添複雜。
- 5.負載重量：舉重(握力)的冠軍當然就非油壓式的機械手莫屬了。帕斯卡原理的利用，使油壓式的機械手擁有最佳的舉重能力。能夠用最省力的方式，舉起物體。漁線馬達式的機械手在負重的方面表現最不理想。漁線雖有韌性，不易斷裂，但也因為這個原因，導致漁線在承受重物時會伸長，導致手指的握力或舉重能力不足。而四連桿馬達的機械手則表現居中，出力不如油壓式，但沒有漁線式伸長的問題。
- 6.結構繁簡：結構方面漁線式和四連桿搭配馬達兩組不相上下。漁線式利用簡單的齒輪組驅動手指，四連桿的結構也不複雜。油壓式因要推動活塞使其結構略為複雜。
- 7.零件的獨立性：以漁線式為最佳，主要原因是便捷的零件拆卸和組合的齒輪組，若有損壞只需換取損壞的部分的小零件。四連桿配馬達的表現居中，四連桿有其構成的條件，如果更

換後的長度比例不同，同樣的出力會產生不同的彎曲程度，如此造成四連桿的更換較為不便。在這個部分表現最差的是油壓式機械手，除了四連桿更換的不便之外，還有活塞無法換取部分零件的麻煩，活塞一旦破裂就必須要整套更換，非常的不方便。

- 8.零件的普及性：此項目由漁線式的手臂拔得頭籌。漁線式的手臂零件只有齒輪、L形鐵片、漁線以及(伺服)馬達，前三者只要在電子材料行都買的到，而(伺服)馬達在遙控模型上利用廣泛，只要在遙控模型店即可取得，價格也很便宜(約100~200元之間)。零件普及性第二名的是四連桿馬達組，四連桿四根軸的長度有比例限制，除非訂做或自行裁切，否則要購買到比例剛好的金屬軸較為困難，若自行裁切則有裁切品質上的顧慮。表現最不佳的是油壓式的手臂，四連桿的情況之外，還有活塞取得的不易，都讓油壓式的機械手只得了第三名。
- 9.工作環境溫度限制：限制最小的是四連桿搭配馬達的機械手，在低溫時，他唯一的問題是三組機械手臂都有的問題：構成四連桿的金屬軸之間和指關節之間潤滑的問題。而漁線在低溫下有硬化脆化的現象，若此時受到強力作用，容易斷裂。油壓式則視活塞內的液體熔點高低，有不同的溫度限制，一但超過臨界值，就會因為液體凝固而無法工作。
- 10.工作用途：漁線馬達式的機械手有高靈敏度(定位精準、定位時間短)、以最簡單的結構進行手指反向彎曲、結構簡單、維修容易(零件獨立性、普及性高)的優點，適合執行需要高精確性、高穩定性、活動空間狹小、不允許手腕轉動的任務，例如人體手術中差之毫米失之千里的皮肉切割及傷口縫合。或者是搜救任務，在崩塌建築物的狹小的空間中尋找生還者，不需轉動手腕便可改變抓取方向的設計即可派上用場，讓搜救不受限於狹窄的空間。此外，若加上無線網路遙控，其活動反應較靈敏。

油壓式的最大特點在於它的力大無窮，運用帕斯卡原理節省出力的他，在工程的挖掘和搬移重物，以及搜救任務中最表面的碎石瓦礫的挖取具有無可取代的地位。

四連桿搭配馬達的機械手臂則介於前兩者之間，具備前兩者的能力，卻也不精。運用於人體手術上，它精準度的表現佳，但會受限於較狹小的空間。舉重的能力較漁

線式機械手臂來的好，卻比不上油壓式的手臂來的強壯。擁有前兩者機械手臂部份特點的四連桿馬達機械手，最適合用於工業的製造。因為擁有高度的定位精準性和短時間定位的特性，電腦晶片和汽車零件的製造、組裝(車床)絕對是它一展長才的領域。

捌、未來展望

「自動化不必做事」的境界，一直是人們追求的理想和目標。對於身為學生的我們而言，並沒有因為科技的進步，而有能力購置高價格的機械手臂。因此，我們嘗試以現有知識，設計出本專題的機械結構，希望能將現有的機械手臂成本降低，並再某些方面作進一步地提升。本專題實驗模型的功能或許不足以媲美市面上的機械設備，但如有更高的零件製作水準，相信效能絕不會遜於目前市面使用的機械手臂。在應用方面，只要再加上電腦程式，配合無線網路、通訊科技(如手機啟動指令)和衛星通訊，使其具有編程處理的功能，就能夠運用在手術、搜救，甚至是在人類雙手無法工作的環境下(例如極低的溫度下或輻射環境中)工作。以本專題中我們對於機械結構、動力提供的存取所累積的知識，若能再配合電腦程式遙控、人工智慧以及無線電傳輸相關知識的精進，在未來我們可以更進一步朝向虛擬實境操作(或娛樂電玩遊戲的感應搖桿)以及外太空探索等的應用領域來發展。

玖、參考資料及其他:

- 1.金門縣中小學科學展
http://cnc7.km.edu.tw/km46/Homepage.php?teacher_id=229
- 2.Yahoo 奇摩知識+
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1507030108857>
- 3.伺服馬達介紹
<http://www.cyut.edu.tw/~hcchen/downdata/%A6%F8%AAA%B0%A8%B9F.pdf>
- 4.動力機械授課教材
<http://www.hgsh.hc.edu.tw/life/machine.htm>
- 5.毛毛老師動力機械課程
http://www.maumau.com.tw/03-introduction/class-B_02.htm
- 6.科學魔法車教學網站
<http://www.letry.net>

【評 語】 040802 就是懶得動手－機械手製作

機械手之製作已顯示一些基本動作之示範，相關之探討與實驗製作亦頗用心，值得肯定，惟將來若能加強相關材料之研究與選擇，以及整體系統之整理，可更發展。