

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

052320

K 排程的崛起－機械手臂效能最佳化之研究

學校名稱：新北市立北大高級中學

作者： 高二 連紹傑 高二 杜壽慈 高二 王君歲	指導老師： 沈昌懋 黃冠閔
---	-----------------------------

關鍵詞：機械手臂、三軸、Arduino

摘要

本作品針對機械手臂運作時，因相同的負載與馬達移動時，具有不同移動路徑而產生最大負載量，窮舉不同搬動方式所呈現的整體效能差異。本研究設計一台 3 軸機器手臂，以第一顆馬達為球心，將最遠之第三顆馬達的載重，從赤道移至北極為例，紀錄研究各種載重、各種路徑的時間和效能，期冀發現同時具有節能和省時之手臂移動方式。透過實驗，從耗電、載重和時間三方面探討其效能，在兩種實驗中，實驗一（不同轉動方法所需電量）節電比率最高達 30%。實驗二（相同轉動方法，多步驟同步所需電量與時間）節電比率最高答 42%，省時比率最高達 60%，為我們節省大量時間及電能。文末，再透過藍芽技術，以手機輸入目標物位置，使機械手臂以最高效能舉至終點。

壹、研究動機

機器手臂是整合了資訊、電機、微控和機構學的產物，其廣泛出現在汽車工業、醫學手術，甚至電影中，而近期平民化機械手臂與各種開源軟硬體的方便取得，讓人們得以快速進入此一尖端的科技領域。

我們曾在全國高級中等學校小論文「機械手臂與手機藍牙之整合」中，成功以手機 APP 控制機器手臂。在翻閱機器手臂相關文章時發現，多在介紹手臂種類與應用領域，在上過基礎物理(二)3-2 力矩與轉動平衡、基礎物理(二)6-4 角動量守恆後，我們思考到，同樣把物品從一端放置另一端，是否可以使用到高中數學第二冊 2-1 邏輯、集合與計數原理求出不同的動作組合，而不同的動作組合是否會影響載重量、改變動作的順序是否對總耗電量有影響，此外，不同的順序是否能縮短時間？而目前並無網頁或書面相關文章探討上述議題，各類文獻也多集中在軟硬體控制的實作面，而對手臂的效能最佳化研究竟屈指可數，漏了此核心，結果便是成本多了一堆昂貴又耗電的生產設備。因此，我們認為，若能延伸之前小論文，再找出所述最佳方式，為手臂加入效能的智慧概念，對於工業或醫學上，都會有很大的助益。

貳、 研究目的

眾所皆知，空間中二點最近的距離是直線。理所當然機械手臂要移動物品時當屬直線最省時省力，工廠的工程師們在設定機械手臂工作時也多以此直覺做為軌跡的設定。然而我們在之前的機械手臂小論文中發現故事並不單純，因為機構和馬達各有其承受極限，直線距離最省時，但可能因機構或馬達馬力之故使得整支手臂動也動不了，後果便是花大筆金錢購買過剩規格，徒失競爭力且又耗電。

因此，我們要製作一台 3 軸機械手臂，窮舉搬動方法，逐次實驗並一一紀錄各種負載下，將物品從赤道搬至北極所需時間和耗電量，驗證是否直線搬動最具效率，或者另有它法勝出，而勝出的原因為何，接著分析特徵，最後得出最佳模式，供現代化工廠追求效率的參考。

參、 研究設備及器材

一、 硬體介紹

表 3-1 機械手臂硬體介紹

名稱	備註	功能
Arduino 板	2 個	微處理器
霍爾感測器	1 個	計算總電量
5V 行動電源	2 個	提供電源
SG90s 伺服馬達	3 個	運轉
搖桿板	1 個	手動控制
三夾板	15×11.7×0.7 立方公分	底部支撐

二、 3D 列印

(一) 出料

此次實驗使用 FDM（熔融沉積成型）的 3D 印表機。

首先將使用的材料加熱到一定的溫度後，形成半熔融狀態，將材料擠出在平面的架子上後迅速回復成固態，反覆進行堆疊作業，即可印出立體物件。

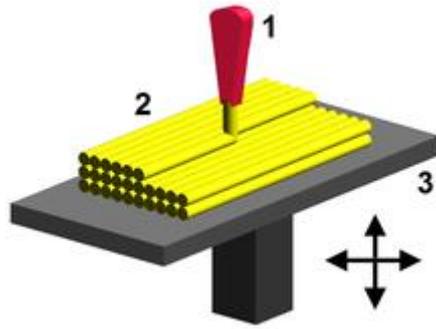


圖 3-1 (1)一注射熔體塑料噴嘴，(2)一沉積材料（模體）(3)一平台

(二) 原料

本實驗使用之印表機，出料在經過表 3-1 的比較後，決定使用 PLA 作為原料

表 3-2 各列印方式比較

	優點	缺點
ABS	強度強	加熱過程中易釋出有毒氣體，易產生翹曲導致列印失敗。
PLA	列印過程比較沒有有毒氣體。	強度弱

三、 建模(Tinkercad)

Tinkercad 是 Autodesk 所提供的 3D 建模工具，使用上類似積木，利用拖拉方塊堆疊出 3D 模型，使用者可以進行線上修改。當有了繪製完的 3D 圖後，便可進行列印。

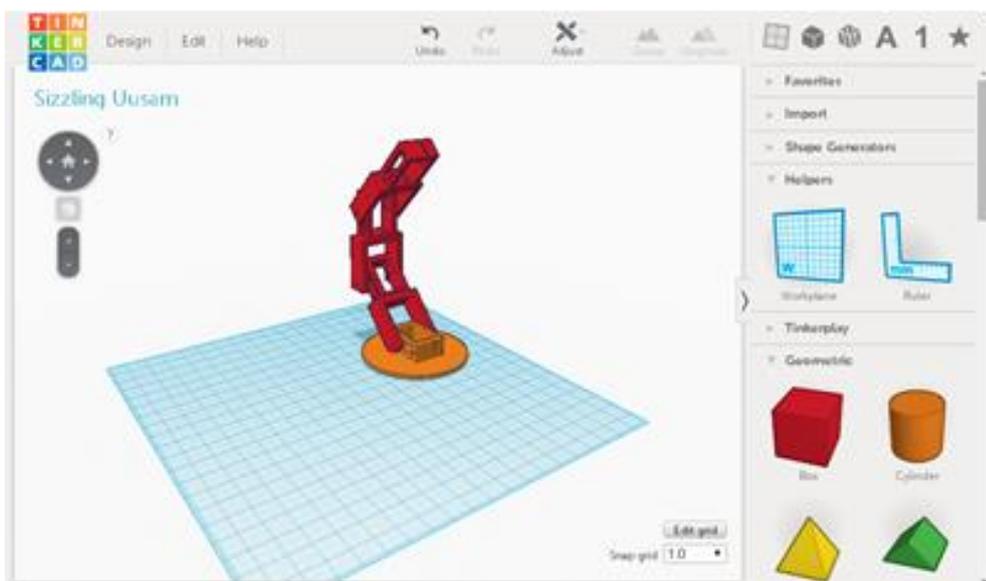


圖 3-2 透過右側幾何圖形拖拉出機械手臂

四、 霍爾感應器

目前感測馬達電流的方式有三種，包含霍爾感應器、三用電表和電源供應器。各儀器優缺點比較如表 3-2 所示。

表 3-3 測量電流儀器之比較

	霍爾感應器 (Hall Effect Sensor)	三用電錶 (Multimeter)	電流供應器 (Power supply)
優點	可由程式讀取。 可測量總電流。	可用於測量交流、直流電、電壓、電阻等。	電壓穩定、低輸出干擾、電路設計簡單。
缺點	需接線路	只可測量順時電流，不能由程式讀取。	只可測量順時電流，不能由程式讀取。

經考量，本研究希望由程式讀取資料，故採用霍爾感應器(如圖 3-4 所示)，測試馬達的總電流。

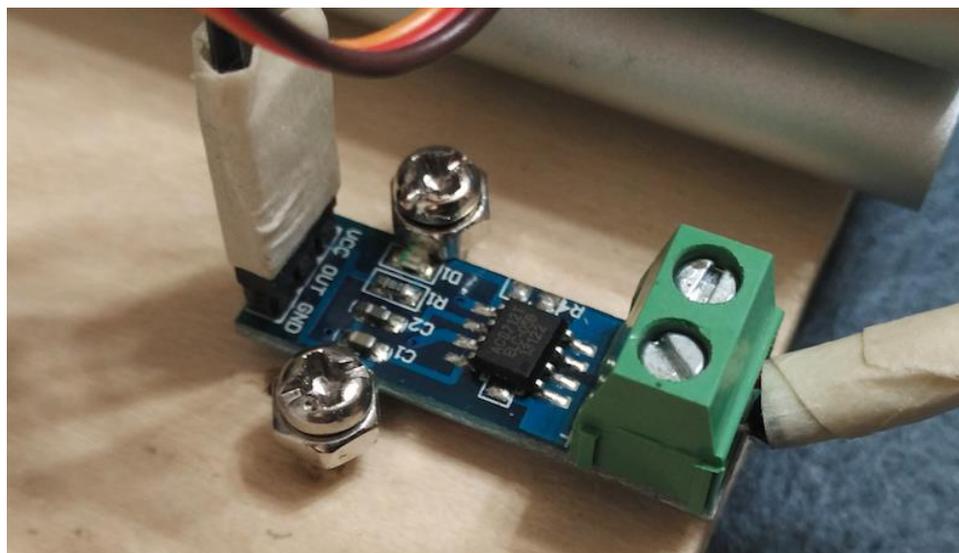


圖 3-3 利用霍爾效應測量電流的霍爾感測器

肆、 研究過程或方法

一、 製作流程

製作包含 3 顆馬達的 3 軸機械手臂，每顆馬達間距 5 公分，3 顆馬達總力臂長 $5 \times 3 = 15$ 公分。現以首顆馬達軸心為球心，將物品從距球心 15 公分赤道處搬至北極，記錄各種搬動方式的時間和耗電量以計算不同方法的效率，整理後如圖 4-1。

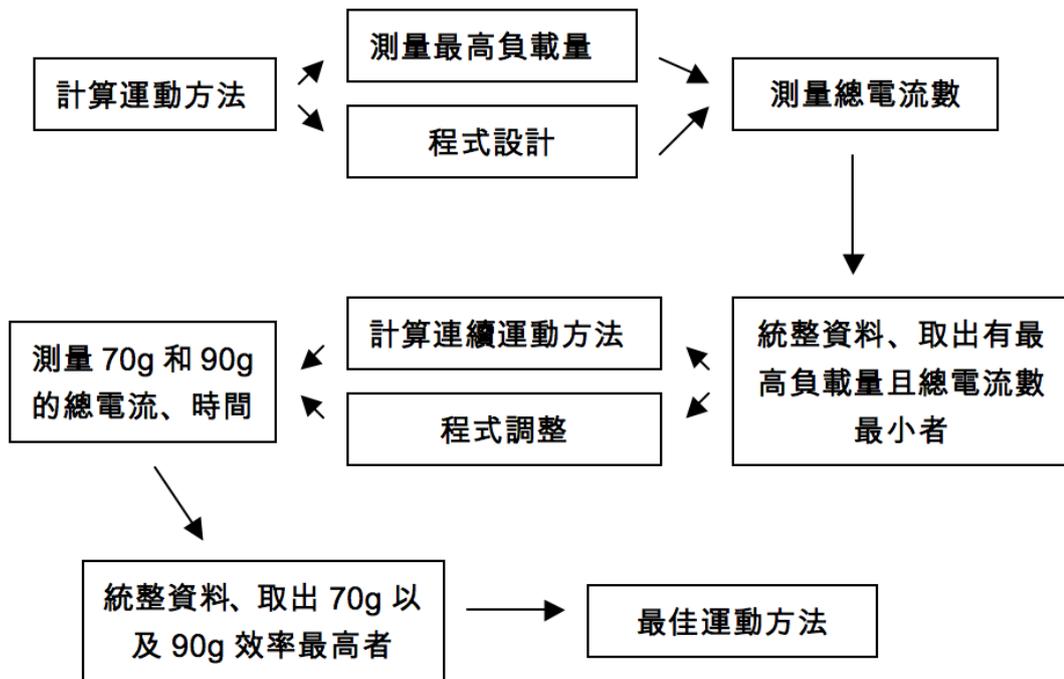


圖 4-1 製作流程

二、 材料製作

(一) 組裝機械手臂

使用三夾板作為底座，左半邊使用泡棉膠帶固定行動電源以及 Arduino 控制版，右半邊放置機械手臂，如圖 4-2 組裝成機械手臂

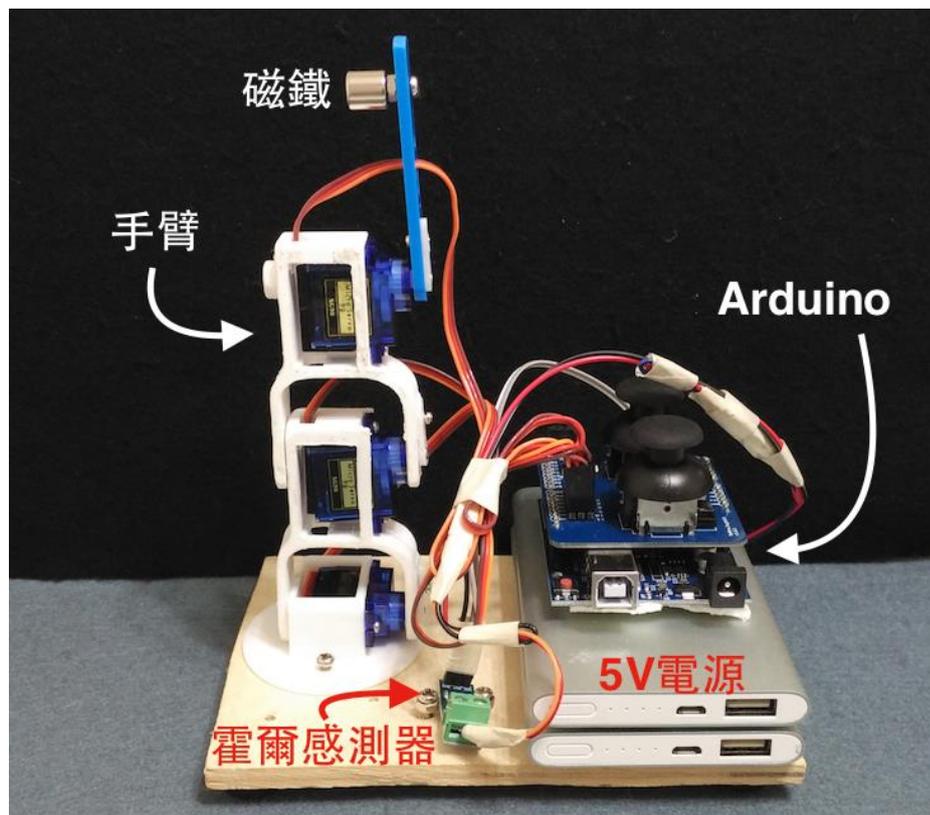


圖 4-2 機械手臂整體

本次實驗將圖 4-3 手臂前端的爪子改為磁鐵，將負重處與軸心相連的直線與力臂平行，可減少變因方便計算。

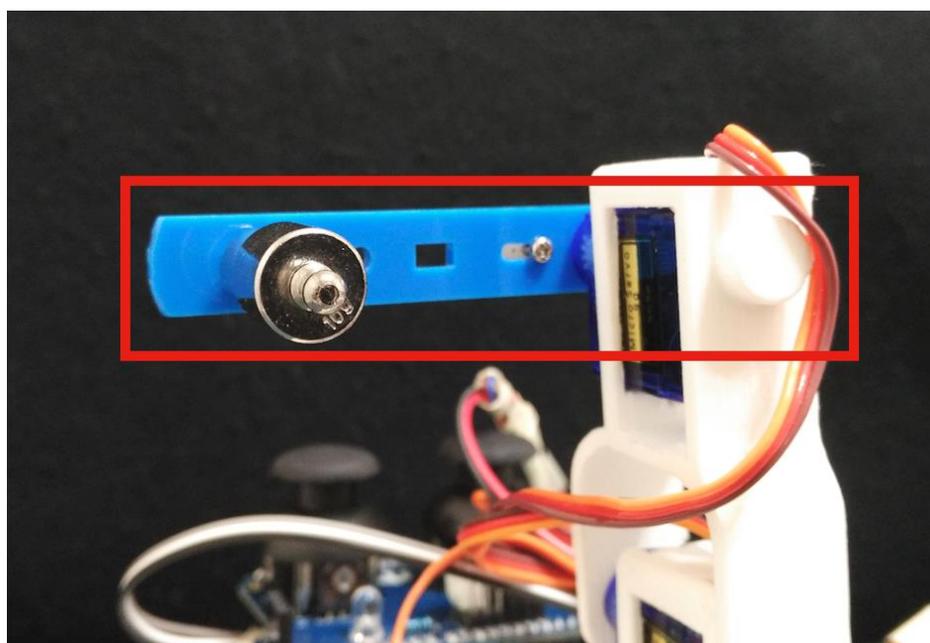


圖 4-3 將前端爪子改為磁鐵

(二) 定義馬達名稱

最底部為 1 號馬達，中間為 2 號馬達，頂端為 3 號馬達，如圖 4-4 所示。

本實驗使用伺服馬達控制機械手臂，伺服馬達有限轉動角度為 180 度，從圖 4-5 之角度分析，不同角度馬達轉軸之位置，整理後如表 4-1

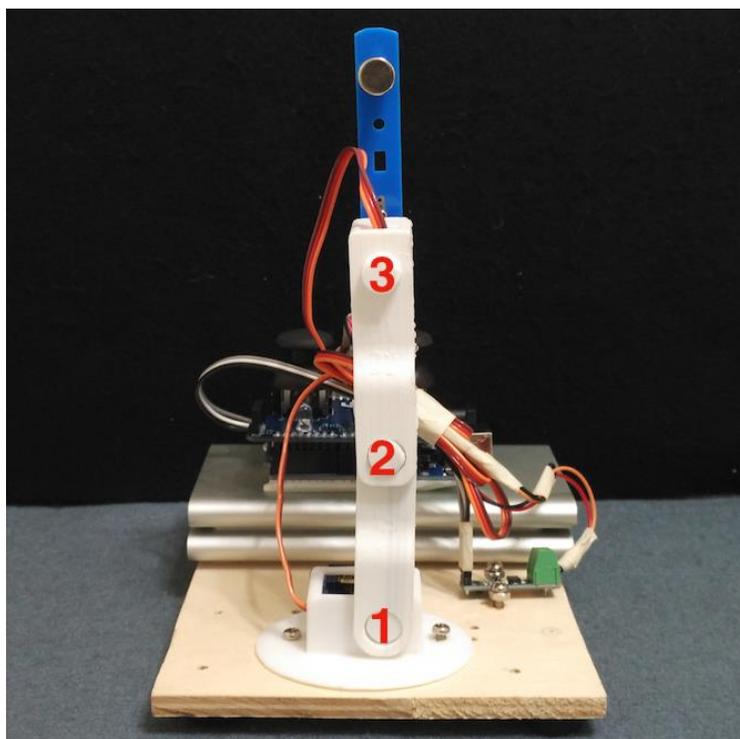


圖 4-4 透過此種角度，分析馬達角度變化

表 4-1 不同角度下馬達轉動位置

	一號馬達	二號馬達	三號馬達
0 度			
90 度			
180 度			

三、 羅列運動方法與測量(實驗一)

(一) 本報告分別做兩個實驗，以下為實驗一。

1. 以樹狀圖列出物品從赤道搬至北極的方法，如圖 4-5。為力求搬動方法的羅列簡化，馬達每次將轉動以 90 度計算，然實驗仍以每 15 毫秒轉 1 度進行以求順暢。
2. 本次實驗使用的伺服馬達轉動範圍為 0 到 180 度，超出範圍的角度將不列入實驗。
3. 樹狀圖中的數字為馬達編號，分別為 1~3，數字後之正、負分別為逆、順時針轉動。例如：“1+”為第一顆馬達逆時針轉 90 度。
4. 每一次轉動，無論順逆時針，目標皆為 90 度，要將赤道物品搬至北極。

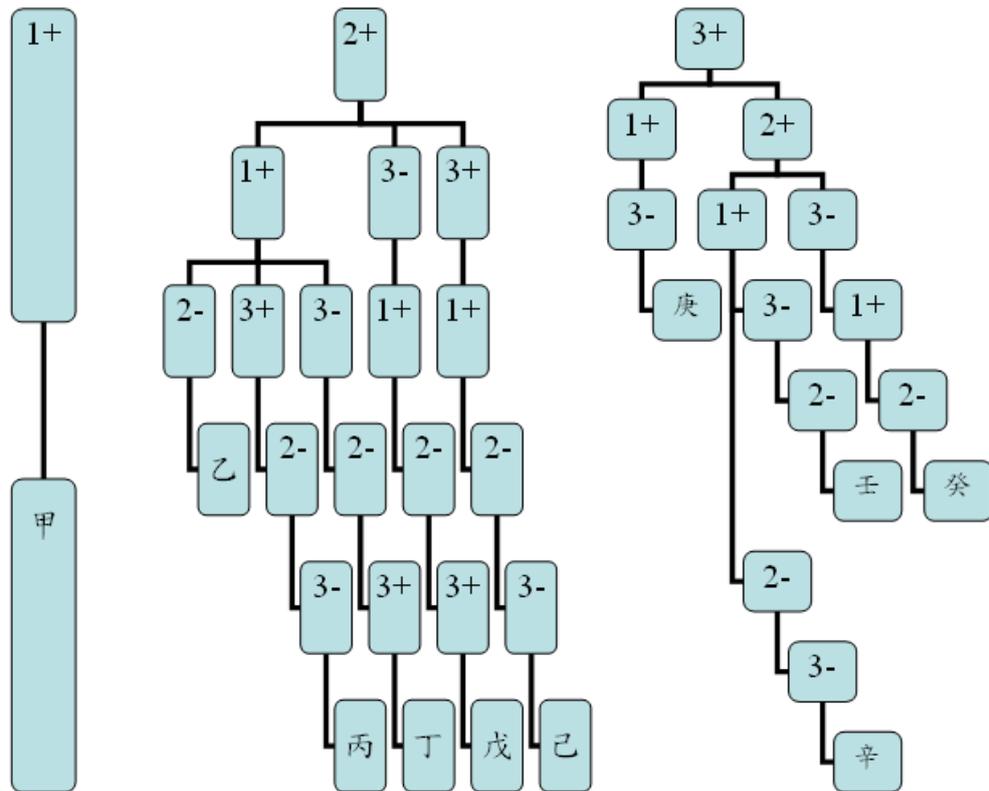


圖 4-5 以排列組合求出不同運動方式

5. 將所有方法編碼，有甲~癸計十種運動方式，先以手動方式操控搖桿，逐次增加砝碼重量以測出各種方法的最大負載量，表 4-2 中，「○」表完成任務，「x」表無法完成任務。

表 4-2 各操作方式的結果

	10g	30g	50g	70g	90g
甲	○	○	x	x	x
乙	○	○	○	x	x
丙	○	○	○	○	○
丁	○	○	○	○	○
戊	○	○	○	x	x
己	○	○	○	○	○
庚	○	○	○	x	x
辛	○	○	○	○	○
壬	○	○	○	x	x
癸	○	○	○	x	x

(二) 程式設計

分為手動搖桿操作及電腦自動化運作，擷取出幾項重要之程式語言，節錄如下。

1. 手動搖桿操作:

- (1) `include <Servo.h>`: 將伺服馬達程式庫加入，方便後續引用。
- (2) `int vec_angle[3]`: 設定 3 個元素陣列，以紀錄 3 顆馬達所對應的角度。
- (3) `servo.attach(x)`: 將 servo 物件附掛到 x 腳位，之後對該物件的任何操作，將直接反應至該腳位，並表現在馬達上。
- (4) `analogRead()`: 讀取類比腳位，範圍 0~1023。判斷此值可得知所耗電流或搖桿方向。以搖桿方向為例，向左轉則馬達角度增加，反之則減少。以所耗電流為例，每增加 1，則耗電流增加 25mA。
- (5) `delay(15)`: 延遲毫秒數，在此用於馬達旋轉指令下達後的等待時間。
- (6) `servo.write(x)`: 將馬達轉至 x 度。

(7) millis()：程式開始運行所累計時間，單位：毫秒。

2. 電腦自動化運作：（與以上功能相同則省略）

(1) include "Action.h"：待測角度列表。修改此檔即可進行新角度量測，格式為 2 維陣列。

(2) sizeof(array)/sizeof(int)：用陣列容量除以整數，用以得知陣列元素個數。

(3) abs(number1-number2)：傳回絕對值。在此用以得知兩數差異大小。

(4) max(number1, number2)：傳回兩數的最大值。

(5) for loop：用以累加每旋轉 1 度的耗電量。

$$totalQ += (a - 510) \times 25.0 \times 0.015 \times 0.001$$

總電量 = 累加 (A₀ 讀數 - 510) × 25mA × 0.015 × 0.001 秒庫倫

(6) Serial.println(a)：將 a 透過電腦終端機印出來。

(三) 測量電量

每一種運動方式實驗 3 次，分別紀錄三次運動的總電量以及平均電量。每轉一度間隔 15 毫秒以確保轉動平順。負載部份，從 10g 開始實驗，隨後以 20g 為單位累加，測量至無法舉起為止。

經整理後，取出負載量最大之排程，做三次實驗求出平均電量，如圖 4-6 所示。

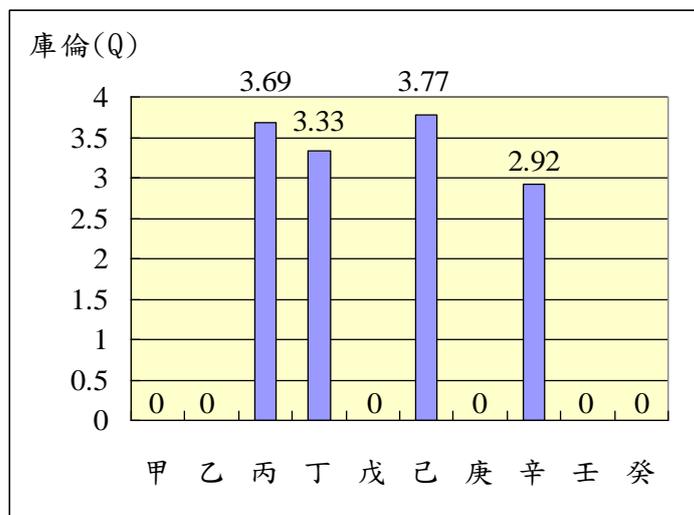


圖 4-6 各個方法乘載 90 克砝碼之耗電量

因為本實驗目標是效率探討，也就是找出在相同條件下，能承受最大負載並且耗電量最少者。在 90g 級的丙、丁、己、辛四種成功方法中，辛方法耗電量最少。因此接下來將針對辛方法深入實驗，以及找出辛的最省時運作方法，獲得最佳效率解，為方便研究，將辛方法以圖像表示出來，如圖 4-6

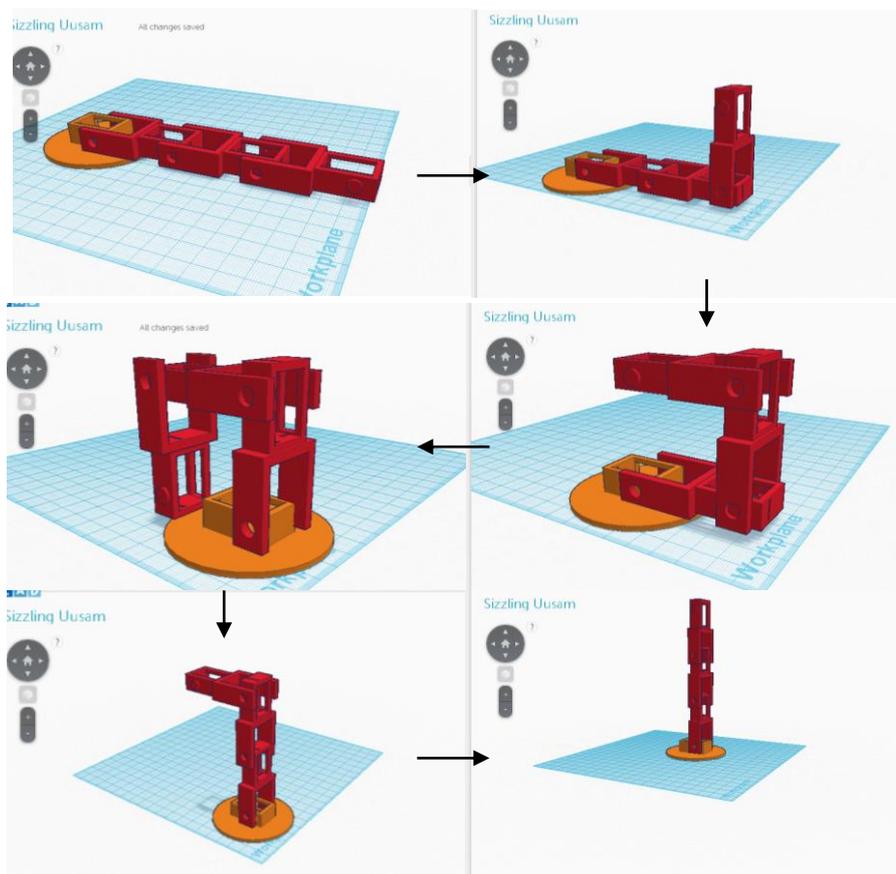


圖 4-7 辛運動方式(3+ 2+ 1+ 2- 3-)

(四) 計算連續運動方法(實驗二)

求出實驗一的最佳方法後，接下來進行到實驗二。

辛運動方法中一共有五個動作，經過排列組合後，總共有 13 種連續運動方式，接下來針對此甲~癸等 13 種方式修改程式進行實驗，詳細羅列如圖 4-7。

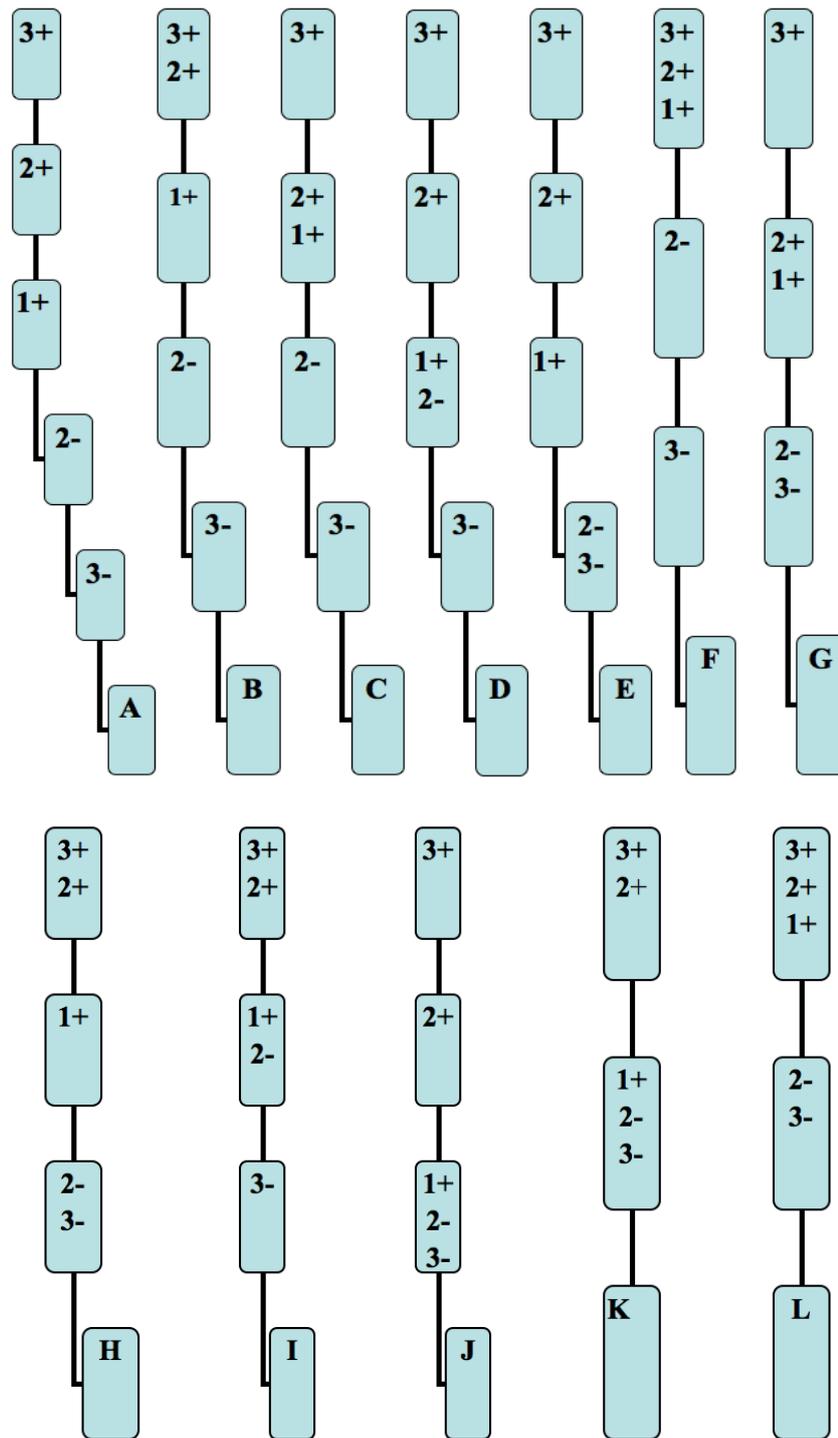


圖 4-8 以連續運動做排列組合

(五) 程式調整

此操作將全程由程式自動運作。與前一次實驗一樣，每轉一度耗時 15 毫秒，一種運動方式實驗 3 次，分別紀錄三次運動的總電量、平均電量、總時間、平均時間以及效能。由於目前並無效能判別的標準方法，但總耗電量越小、時間越短

則消耗越少、效能越佳，於是我們便自創一個消耗指標條件式：

$$\text{Consumption} = \text{average time} \times \text{average Q}$$

消耗指標 = 平均時間（秒）×平均耗電量（庫侖）

在此，消耗指標（Consumption）越小，則實際效能越高。

接下來分別測量 70 克、90 克、110 克負載量，在 70 克實驗，各排程皆可舉起，90 克實驗中，僅 E 排程負載力不足，而 110 克的實驗，各排成均無法負載，故選用 90 克做為最大負載進行實驗。

將三次實驗之平均耗電量、平均時間、消耗指標整理後，如圖 4-9 所示，我們發現 K 運動方法在最大負載 90 公克的消耗指標為 4.2256(=2.78s×1.52Q)，為各種方法之中最小者，因此效能最佳。

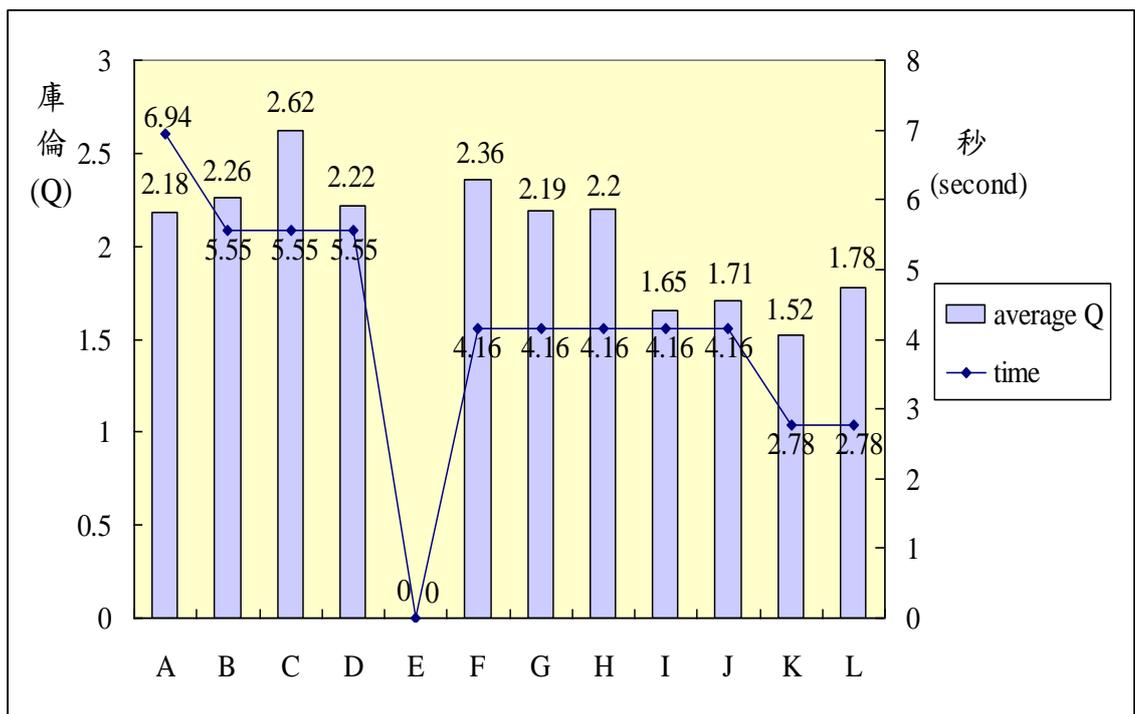


圖 4-9 90g 負重之比較

在實驗二中，排除過載的無效 E 方法後，K 方法(如圖 4-9 所示)最省電、省時，因此相乘後之結果，可推論其為最具效能方法。

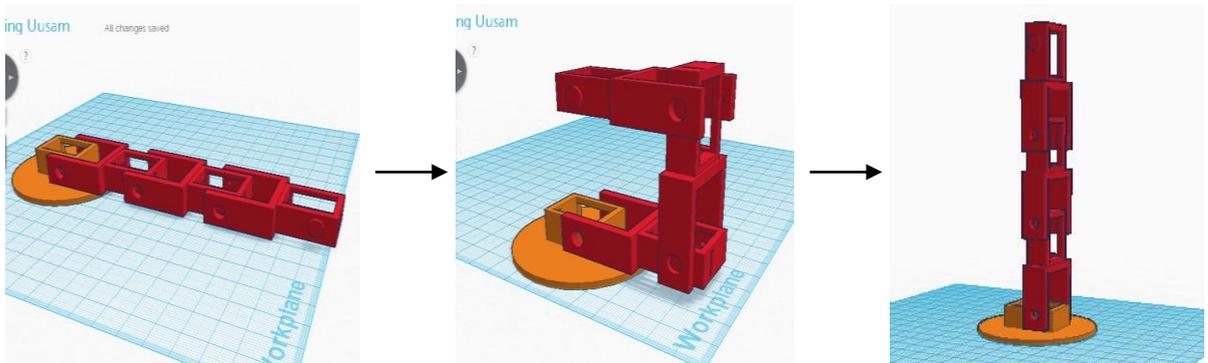


圖 4-10 K 運動方式 $[(3+ 2+)(1+ 2- 3-)]$

四、 模擬與匯入

我們在電腦中做模擬，確定程式無誤後，再利用相似的程式語言，輸入機械手臂。電腦模擬可協助我們掌握現實機械手臂因精準度問題所產生的誤差。

(一) 模擬

本實驗使用 Processing 軟體進行電腦模擬，Processing 為一開放原始碼，以繪圖為目的之程式語言開發環境。

1. 求第三連桿末端吸附磁鐵的可及範圍

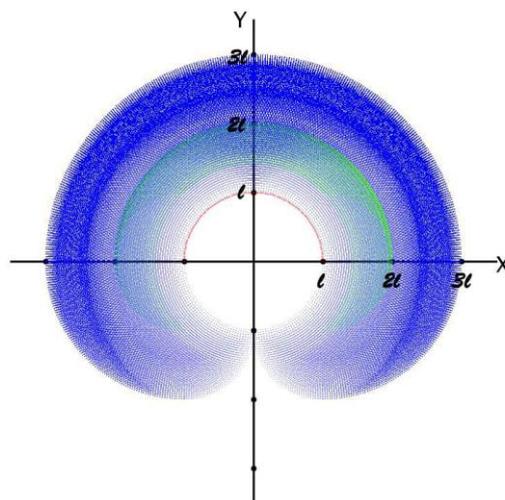


圖 4-11 機械手臂於每軸轉動 180 度限制下，不同連桿末端可觸及軌跡

圖中機械手臂限制轉動 180 度時，各連桿可觸及之位置。紅、綠、藍分別為一號馬達、二號馬達和三號馬達連桿末端可觸及範圍。模擬圖中，由藍色軌跡可得知，機械手臂末端磁鐵處，水平面的可觸及範圍為(L,0)至(3L,0)。因此，於接下來給定座標以 K 排程運轉便是以此範圍做夾取運動。

2. 求各馬達於起始、終點之轉動角度

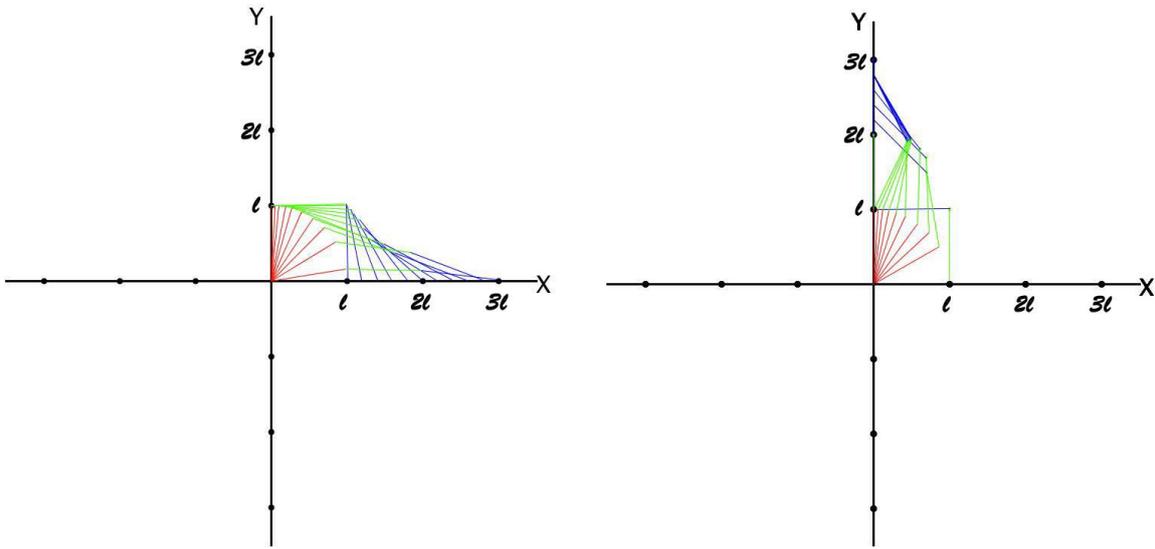


圖 4-12 機械手臂起始與靠攏位置之轉動方式

利用逆運動學原理求出馬達位置，每隔 1 公分(L/5)為間隔，模擬出起始點的夾取方式與靠攏縱軸的轉動方式，兩者模擬出來後，接下來，便可由靠攏位置，散開至終點。

最後做出起始點與終點所有馬達一次連動的模擬圖，如下圖所示。

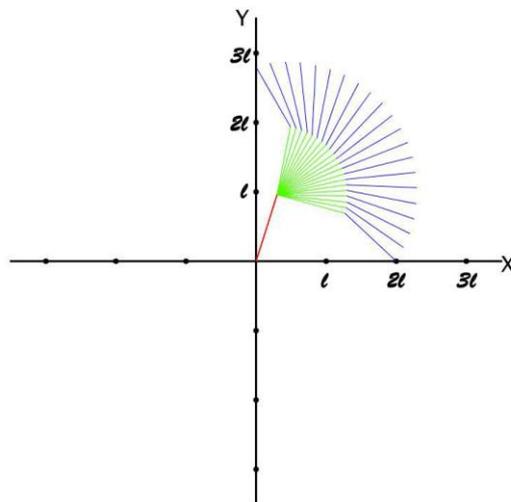


圖 4-13 任意目標位置，機械手臂於起始至靠攏之運動軌跡

3. 散開

當手臂靠攏後，將各馬達同時連動轉至 90 度，散開達成省時目的

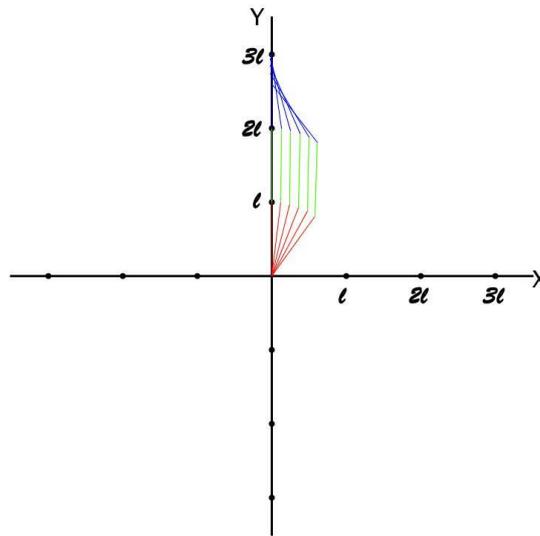


圖 4-14 手臂由靠攏位置散開至終點

(二) 匯入

Processing 是以 Java 程式語言做撰寫，在 Processing 模擬完後，便以相同邏輯，修改成與 Arduino 開發環境相同所用的 C 語言。

五、 給定座標以 K 排程舉起物品

我們觀察 K 排程的運轉過程，歸納其特點

先靠攏再散開，省時又省力！

靠攏：以最外側兩支連桿將負重旋轉到縱軸

散開：同時轉動所有馬達一步到位

透過這兩步驟的運轉方式，接下來便要將負重置於可夾取範圍之內，於電腦輸入座標，以 K 排程方式夾取物品。因三軸機械手臂欲觸及可及範圍實有無限多種方法，因此需尋找高效的方式進行，以下就靠攏與散開過程分別討論。

(一) 夾取物品

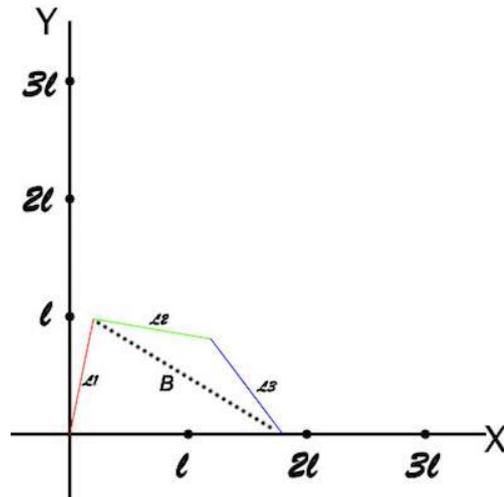


圖 4-15 手臂於任意水平起始點之轉動方式

考慮點：1 號馬達負荷最大，因此 1 號連桿需盡量貼近縱軸，因此便從 1 號連桿以縱軸為起始位置，每順時鐘轉一度做以下篩選：

1. 2 號馬達與重物直線距離是否不大於於 $2L$
2. 每顆馬達張開角度需介於 $0\sim 179$ 度

第一個符合條件者為最佳角度，一旦求得起始點，另外兩支連桿的角度便可由餘弦定理求出。

(二) 運轉軌跡

靠攏部份，1 號馬達不轉動，只轉動 2、3 號馬達。

假設 2 號馬達要轉 A 度，3 號馬達要轉 B 度，($A > B$)，運動過程為兩顆馬達同時開始轉動同時結束，因此以轉動角度較大者 A 為基準，2 號馬達每次轉動一度，3 號馬達每次轉動 B/A 度，如此既平順又能避免各馬達角度落差過大，產生跳轉情形。

(三) 靠攏位置

如前所述，1 號馬達固定不動，將負重旋轉至縱軸，此時力矩極小，基座馬達負擔大幅降低。

為了接下來散開的省時，重物靠攏至縱軸的末端，以最接近頂點之位置最佳。因此便以頂點為起始點，每往下 0.5 毫米逐次篩選

1. 2號馬達與起始點直線距離需不大於於 $2L$
2. 每顆馬達張開角度需介於 $0\sim 179$ 度

第一個符合條件者為最佳位置，一旦求得起始點，另外兩支連桿的轉動角度即可由餘弦定理求出。

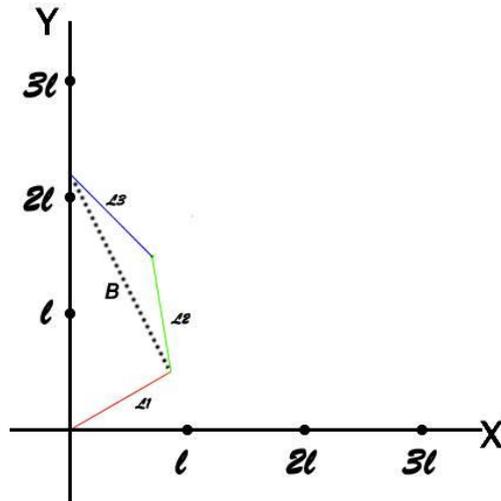


圖 4-16 手臂靠攏至縱軸後之轉動方式

(四) 散開

靠攏後此時力矩極小，依照 K 排程原理進行散開，將所有馬達連動一次到位，各顆馬達同時出發同時到位，每次的轉動角度考慮點同前靠攏過程。

六、 藍牙控制

延續小論文機械手臂與手機藍牙之整合，為了讓使用者能在安全的環境下操作機械手臂，我們使用藍牙板，達成遠端控制。

(一) 製作介面

使用 MIT App Inventor2 製作，MIT App Inventor2 是一個圖形化介面的開發環境。透過積木式程式撰寫來完成 Android 裝置的應用程式。

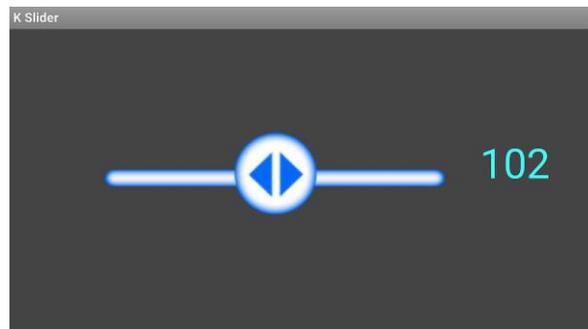


圖4-17 利用MIT App Inventor2製作控制介面

如上圖所示，圖中顯示數字單位為毫米，其數值代表水平面上，目標與一號馬達中心的距離，由圖 4-11 可知，吸附磁鐵可及範圍為座標(L,0)到(3L,0)之間，因此介面中滑桿範圍便設為 50~150 毫米

(二) 資料傳輸

當點擊進入 App 時，首先會偵測附近藍牙，並且顯示，點擊機械手臂藍牙” HC-06” 後，進行連線，將目標座標以三個字元做輸出，例如:067 便代表距離一號馬達中心 67 毫米、137 代表距離一號馬達中心 137 毫米。傳輸至機械手臂藍牙板後，再由 Arduino 解碼。

(三) 接收資料:

Arduino 將所收到的三個字元解碼成數字，再根據前述 Processing 所模擬的演算法實際驅動各顆馬達。

伍、 研究結果

一、 效率化下的節能和省時比率

因為機械手臂造價不斐，而售價又跟最大負載成正相關，所以本實驗主要目的是在相同馬達和機構條件下，找出最大負載，進而找到最短運動時間以求得最佳效率，最後再計算所節省的電量和時間。

$$\text{電量節省比率} = \frac{(\text{最大庫侖數} - \text{最佳庫侖數})}{\text{最大庫侖數}} \times 100\%$$

$$\text{時間節省比率} = \frac{(\text{最長時間} - \text{最佳時間})}{\text{最長時間}} \times 100\%$$

(一) 實驗一：（不同轉動方法所需電量）

$$\text{根據我們實驗發現，電量節省比率} = \frac{(3.69 - 2.92)}{3.69} \times 100\% = 30\%$$

(二) 實驗二：（相同轉動方法，多步驟同步所需電量與時間）

根據我們實驗發現，

$$\text{電量節省比率} = \frac{(2.62 - 1.52)}{2.62} \times 100\% = 42\%$$

$$\text{時間節省比率} = \frac{(6.94 - 2.78)}{6.94} \times 100\% = 60\%$$

從上述說明中可看出，經過適當的動作排序，能讓電量和時間的節省比率大幅提高。

二、 高效能路徑特徵

(一) 力矩小：觀察實驗一，甲方法欲以首顆馬達一步到位，以致力矩過大而表現不佳，反觀能舉起 3 倍負重的丙、丁、己、辛方法，能有效縮小首顆馬達力矩而勝出。

(二) 時間短：觀察實驗二，K 方法效能最佳也最省電，其中主要原因之一是路徑短，也就是在力矩承受範圍內，同步進行多步驟，因而縮短路徑增加效能。

三、 輸入座標以 K 排程運動

(一) 觀察 K 排程的結果，利用先靠攏再散開的通則，給定機械手臂在夾取範圍之內任一起始點，接著以 K 排程運動的方式將重物舉至終點，使效能最大化。

(二) 結合先前小論文"機械手臂與手機藍牙的整合"的研究，將遠端藍牙遙控套用至此機械手臂，使用者可利用手機 App 進行遠端遙控，使機械手臂能在安全環境下使用。

陸、 討 論

茲針對最佳解共同特徵和 K 排程意義，分別討論如下。

一、 時間要最短

從時間角度來看，移動距離越短則所花時間越短，所以直線距離當然成為首選，我們查了相關資料，發現這是逆運動學的探討範圍，也就是給空間座標，要求得各顆馬達的角度，角度一旦算出，馬達就只要按照程式運行即可，此法多用於機器人領域，我們將此概念融入本三軸機械手臂實驗。

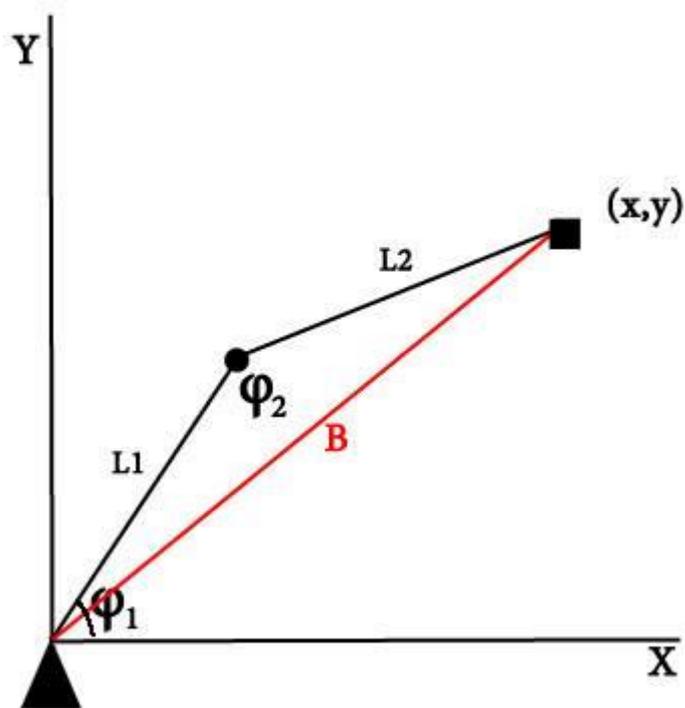


圖 6-1 機械手臂之平面表示圖

給座標 (x, y, z) ，求角度 $\phi_1 \phi_2 \phi_3 \dots$ （小圓點為馬達軸心，以下計算以 2 度空間 2 軸為例，但可套用至多軸三度空間）

如圖 6-1 假設：

B = 力臂總長（首顆馬達軸心至第三顆馬達軸心假想線）

$q_1 = B$ 和 X 軸夾角

$q_2 = B$ 和 L_1 夾角

$$B^2 = X^2 + Y^2 \quad (\text{畢氏定理})$$

$$q_1 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (\text{正切定義})$$

$$q_2 = \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 - L_2^2 + B^2}{2 \times L_1 \times B}\right) \quad (\text{餘弦定理})$$

$$\phi_1 = q_1 + q_2$$

$$\phi_2 = \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - B^2}{2 \times L_1 \times L_2}\right) \quad (\text{餘弦定理})$$

以上所得 ϕ_1 ， ϕ_2 公式，皆可再撰寫程式進行實作。

二、力矩要最小

考慮理想的 3 軸機械手臂（馬達和連桿重量不計，僅計負重），手臂任一時點的力矩：（M：負重，L 為每顆馬達桿長，角度如圖 6-2 所示）

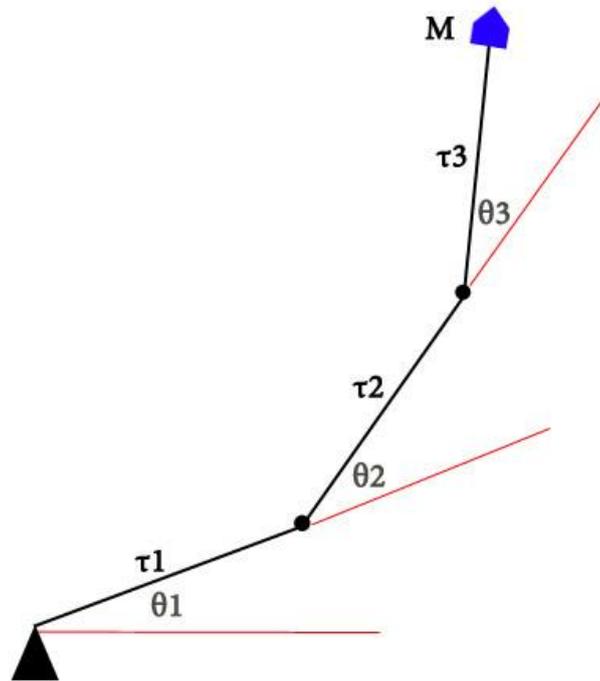


圖 6-2 機械手臂之力矩測量

$$\tau_3 = M \times L \times g \times \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$\tau_2 = M \times L \times g \times \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + M \times L \times g \times \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\tau_1 = M \times L \times g \times \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + M \times L \times g \times \cos(\theta_1 + \theta_2) + M \times L \times g \times \cos\theta_1$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = MLg[3\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + 2\cos(\theta_1 + \theta_2) + \cos\theta_1]$$

可知力矩依 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 角度而異。依逆運動學理論，給座標可反推各角度並得到力矩值，手臂移動過程中每一點力矩總和若能最小，即為最佳路徑。

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \tau_i$$

三、 K 排程崛起

我們在參考文獻時，發現有些演算法可以在三度空間地毯式找尋最佳路徑，卻也因此極為耗時動輒要數小時才能算出，就實驗角度或許還好，但在工業現場便有時效問題，所以若能在此學理基礎上再提供直觀作法，當更有益作業現場需求。為此，我們觀察實驗結果發現一個有趣現象：(請參照：圖 4-9 K)

先靠攏再散開，省時又省力！

- (一) **靠攏**：以最遠兩支連桿將負重旋轉到縱軸
- (二) **散開**：同時轉動所有馬達一步到位

當最遠二力臂靠攏後，基座馬達負擔大幅減輕，此時 τ_1 極小，後續才能同時驅動 3 顆馬達一步到位，達到省時省力之效。此現象不僅適用 3 軸機械手臂，亦適用於多軸，因為總體力矩變小，系統便能以更具效率方式運作之。

為方便記憶此現象，便以”K”字母為題，K 字母第一劃代表縱軸，亦即 τ_1 極小處，第二劃代表負重先靠攏至縱軸，第三劃則是散開至目標點，因此本作品便以”K 排程崛起”為主題，希望凸顯此現象，造福第一線工程師。

柒、 結 論

- 一、 現今機械手臂運作方式主要以直線方式進行，亦即先計算出來源和目標間的直線路徑，然後各馬達一起連動。此方式雖然省時，但由實驗一的 A 方法（直接轉動，卻僅能舉起 30g，而其它方法多能承受雙倍負重）可得知，若不計力矩大小而要能承受任何負重，便需要配備更高規格馬達和機構，而這又價格不斐，所以便需透過效率研究，找出最適規格，充分利用運動路徑最佳化達到節能省時效果，而本實驗也證實，光省時不計力矩或只算力矩不計路徑都不是最好作法，而應在時間和力矩中取得甜蜜點，如此既省電又省時，不用花大錢盲求過剩規格。不僅用於機械手臂上，工廠設置電纜線時，通常使用最高規格，當機械手臂的電量量能夠壓低並且穩定時，也能為工廠提供一個購買纜線時的參考，減少資源的浪費。

- 二、 由於現今工廠利潤大多已壓至小數點以下，因此若能顯著提昇設備的使用效率，定是工業界一大福音。本實驗所用裝置雖然簡易，而且為求簡潔，更以 90 度為單位進行運動方法的窮舉，或許無法跟現實業界完全相同，但相似度是高的，再者尋求效能最佳化的思路卻不因而有所折扣。小組成員經過反覆多次嘗試失敗，最後終能結合開源軟硬體，透過實驗量測得出十數種方法之最佳效率者並歸納出節能省時比和發現效率共同特徵和 K 排程。以上，除了感謝老師長期熱心指導外，組員面對各種失敗還能再爬起來，這些體會和團隊合作都是除了實驗之外的美好收穫，也期待未來能針對不足之處再接再勵。
- 三、 本報告所實驗、計算出的結果，以函數的方式呈現，可以避免單一數據受限在單一種類機械手臂的不實用性。因此，此公式不僅可用於實驗的三軸機械手臂，更可廣泛套用至現今工廠所使用的五、六軸專業機械手臂，減少時間、電能的浪費，為使用者達到最高的效益。
- 四、 延續小論文研究，將手機藍牙融入機械手臂，只需輸入座標，便可使機械手臂以 K 排程方式做運動，手機藍牙與機械手臂達成以下成果，
- (一)透過藍牙連線，使操縱者能與機械手臂保持安全距離
 - (二)發揮藍牙「低成本、低功耗、小尺寸以及高亢干擾性」的功能，將其融入設計
 - (三)透過 MIT App Inventor2 撰寫程式，以手機控制機械手臂
- 五、 將研究出的結果 K 排程，針對其特點—先靠攏在散開，融入其他運動方式中，使機械手臂不再單單從赤道舉至北極，任何於水平面上可夾取範圍，皆可使用 K 排程進行夾取，達成輸入座標，以 K 排程舉起的最佳效率。
- 六、 在討論中，時間最小與力矩最小的數據，因為實驗內容過於複雜，短時間無法求出，因此期望能在未來的研究，將此目標實現。

捌、 參考資料及其他

- 一、atom 2.0 (n.d.) Retrieved December 12, 2015, from
<http://www.atom3dp.com/zh/atom2-ch/#top>
- 二、tinkercad (n.d.) Retrieved December 12, 2015, from
<https://www.tinkercad.com/>
- 三、Robot Inverse Kinematics (n.d.) Retrieved December 12, 2015, from
<http://www.learnaboutrobots.com/inverseKinematics.htm>
- 四、趙英傑 (2014)。超圖解 Arduino 互動設計入門(第二版)。台北：旗標
- 五、博祖怡、蔡志申、陳忠城、賴文哲、羅焜哲 (2014)。103 基礎物理(二)。新北市：
康熹文化
- 六、許志農 (2011)。普通高級中學數學 2。新北市:龍騰
- 七、陳俊延 (2005)。舉重機器手臂之路徑規劃與動態模擬。臺灣博碩士論文知識加值系統，93，86。
- 八、許志農 (2011)。普通高級中學數學 3。新北市:龍騰

【評語】 052320

1. 周全實驗，且能建立較完整數據。
2. 頗創新之實驗設計。