

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(一)科

**第二名**

032811

**指有你能開**

學校名稱：方濟會學校財團法人臺南市黎明高級中學  
(附設國中)

作者：  國二 吳旭歲  國二 李柏溫  國二 莊滕幃	指導老師：  李惠文
---	------------------

關鍵詞：指骨、生物辨識、生物特徵

## 摘要

本研究製作了一個以 Arduino 讀取霍爾效應磁場強度感測器 49E 輸出電壓獲取手指寬度與深度的設備，藉由測量 100 隻手指並且交互比對後，證實以 Arduino 使用磁場量測的手指骨型也可做為一種生物特徵鎖具的鑰匙功能，且單一手指可以達到低於 0.5% 的誤判率，以多手指之判讀條件的方式更可進一步降低誤判率，且利用手骨辨識方法價格低廉。

## 壹、研究動機

一般要打開門鎖時需要拿出鑰匙，也經常發生忘記帶鑰匙的情形。為了解決這樣的情形，我們希望運用密碼或個人特徵的方式來製作。原先要使用敲擊節奏密碼的方式來解鎖，經過搜尋原有科展資料，發現高職組已經有兩篇作品做過(如參考資料[1] [2])，並且國外已經有節奏鎖產品上市(說明如參考資料[3])，因此朝向生物辨識技術的方向思考，如指紋辨識、語音識別、臉部辨識等(說明如參考資料[4][5][6][7])。

小組討論時組員提到人類的骨骼系統 (skeleton) 約在二十歲時發育完成，而且每個個體都不一樣(如參考資料 [8])。因此決定嘗試利用骨頭作為生物特徵的辨識鎖具。進一步討論後決定以手指骨頭形狀作為鑰匙來開門，因為周遭肌肉等組織的量較少，相較於身體其他部位的大型骨頭容易測量。

市面上雖然已經有光學影像式的指形掌形分析機，但是因為影像計算的運算量大，電腦系統昂貴。本研究嘗試使用 Arduino 以電阻與磁場偵測等方式做簡易量測[9]，量測手指的深度和寬度時，手指會推動測量的器具，使搖桿另一端上的磁鐵遠離或靠近磁場感測器，從中得到輸出電壓的改變，降低指形偵測方式的成本，因此改成直接夾量的方式測量手指骨頭的形狀來嘗試作為開鎖的方式，另外，本研究項目符合生活與自然科技九年級下學期第二章生活中的電與磁。

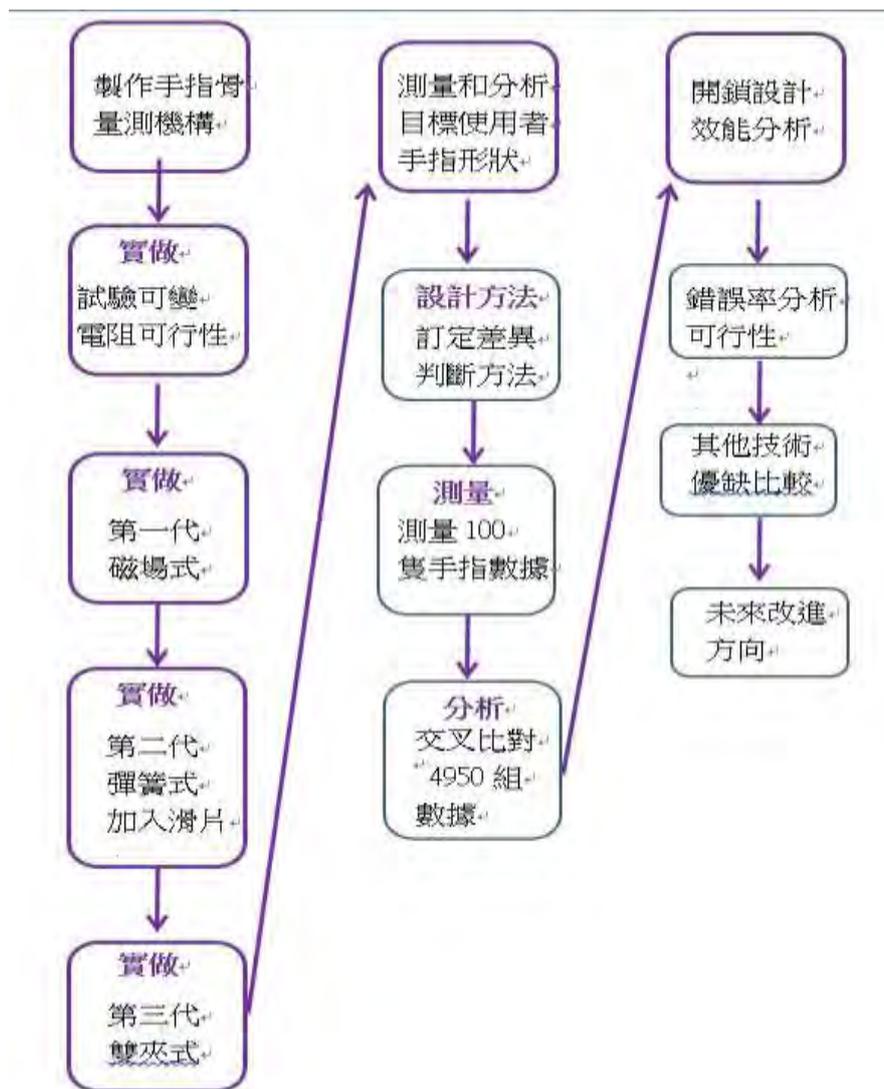
## 貳、研究目的

- 一、建立手指形狀的取樣測量機構
- 二、建立手指形狀差異性的計算方式
- 三、測量使用者的手指形狀，研究手指的差異性以及計算方式用於開鎖用途的可行性

## 參、研究設備及器材

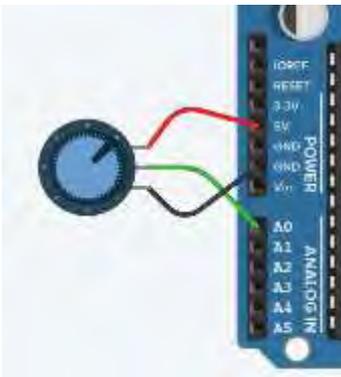
				
Arduino nano	49E 霍爾元件	強力磁鐵	彈簧	電線
				
傳輸線	粗鐵絲	鐵絲剪	木板	珍珠板

## 肆、研究過程

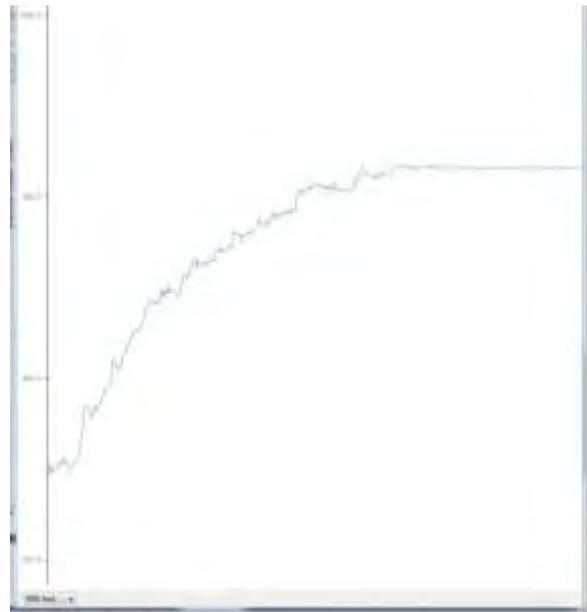


## 一、測量電位器（可變電阻）角度改變時的電壓輸出情形

**實驗設計：**我們一開始希望以可變電阻之轉動來獲取手指寬度和深度之訊號，故將可變電位器（可變電阻）接於 Arduino 的電壓讀取腳位，以 `Serial.print()`指令輸出測量得到的電壓數值，並且轉動可變電阻，觀察其角度和電壓輸出之間的關係。



圖(一) 接線圖

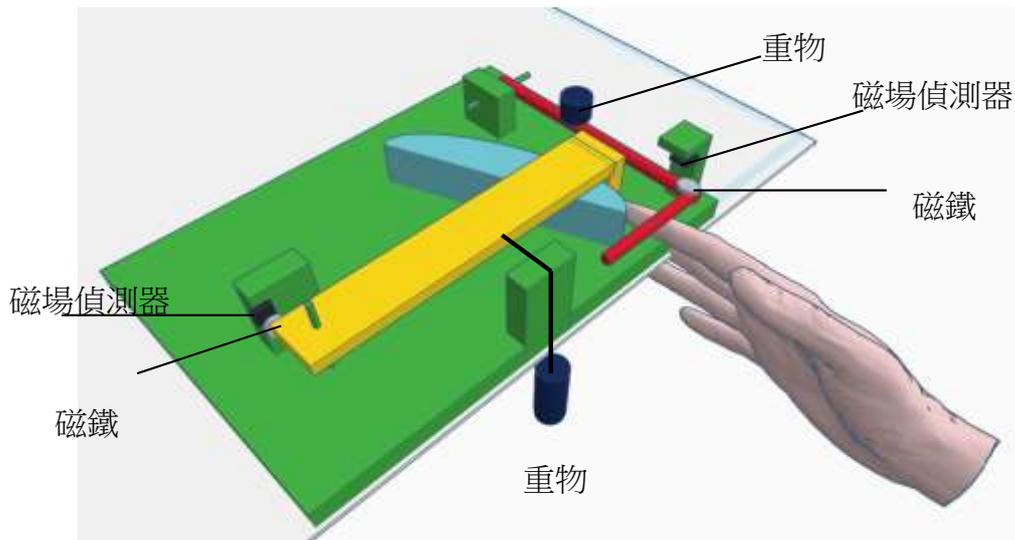


圖(二) 實驗結果

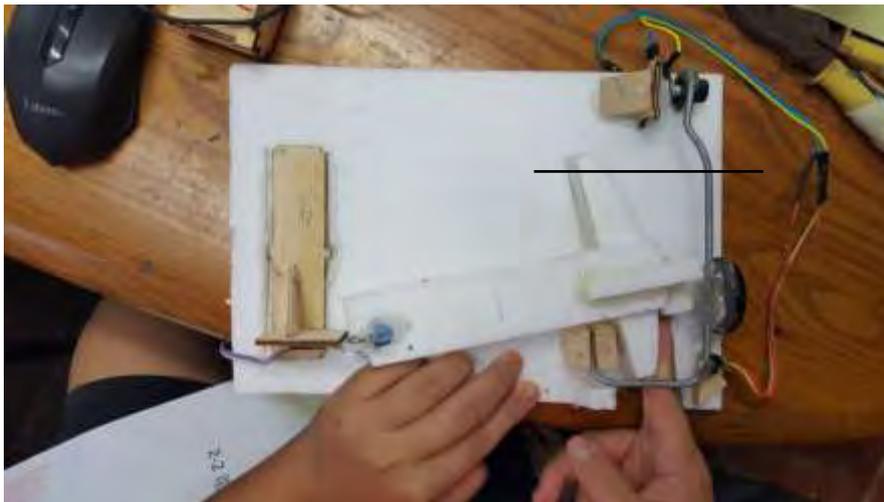
縱軸每隔 5mV，橫軸為時間，單位不固定，依照讀取與字元傳輸時間速度而有所改變而定

**結果討論：**對於旋鈕靜止時讀數的誤差約為 1 單位左右，由圖(二)可見旋轉旋鈕時因為接觸不良導致平順單向旋轉時電壓會不穩定上下跳動，幅度高達數十單位。此情形無法作為精確的感測用途，因此得知可變電阻旋鈕電位器無法用於精密平順的角度感測。

## 二、第一版---裝置改用 49E 霍爾磁場感應元件作為距離改變的感應器



圖(三) 第一版--設計架構



圖(四) 第一版--實體照片

**實驗設計：**第一版裝置使用一個如圖(三)中標記為黃色的搖桿來量測手指伸入的深度，手指會推動搖桿的末端，使搖桿另一端上的磁鐵遠離磁場感測器，得到輸出電壓的改變。

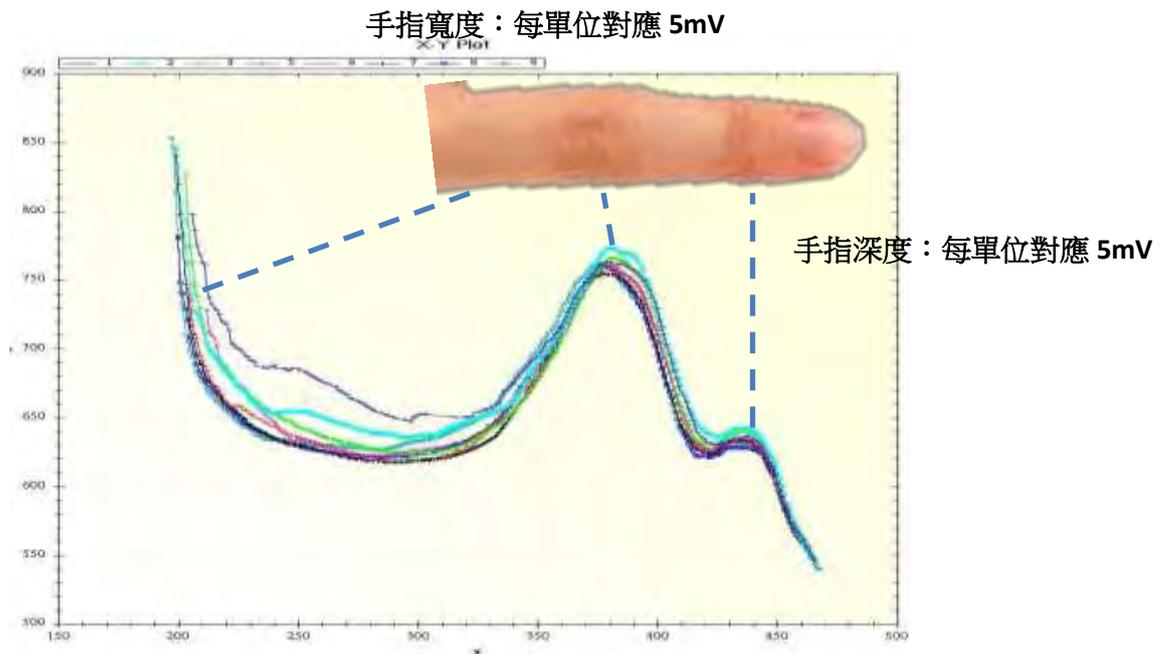
arduino 讀值約由未伸入的 800 降至全伸入時的 500，每單位約對應 5mV，黃色的桿子上有一條線以及重物，使手伸出時桿子會被拉回。而使用如圖(三)中有重物下壓的紅色桿來測量手指的寬度，紅色桿子升高時讀值上升，降低時讀值下降，讀值範圍也約於 500 至 800 之間，實際讀值因磁鐵磁力大小與擺放位置有關。



圖(五) 定義手掌角度和名詞

以下我們定義手掌的各旋轉方向的名稱和相對方向，以開掌時中指的指向為飛機的機頭，定義 Yaw（偏航）、Roll（翻滾）及 Pitch（俯仰）等三個旋轉方式。

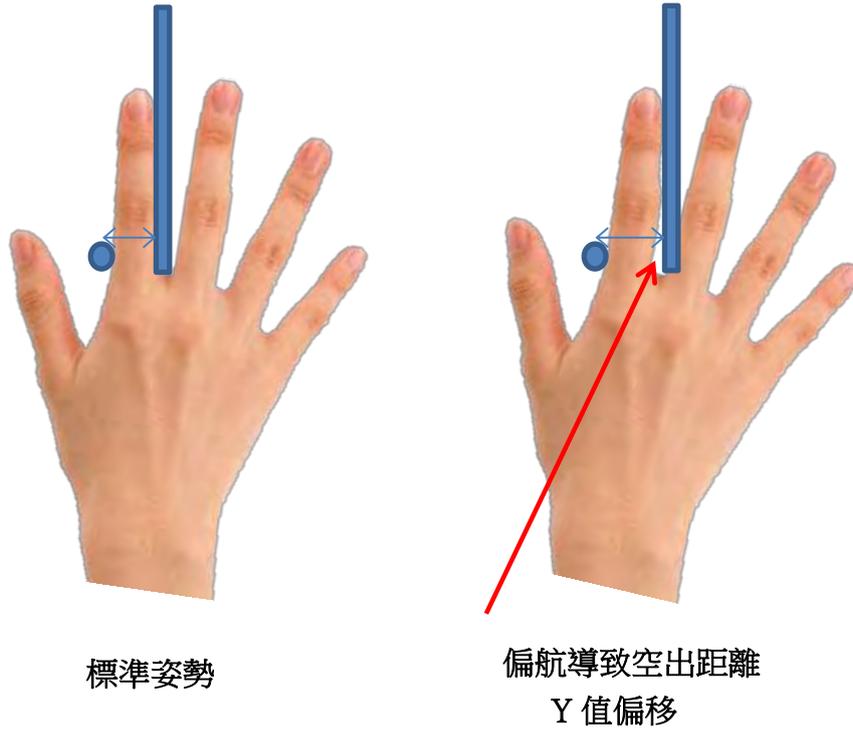
我們使用一款可以讀取 arduino 以 UART 輸出之數據組的軟體，其名稱為 Megunolink，來繪製即時的 X-Y 數據圖。這個軟體包括 arduino 的函式庫以及電腦的監看軟體，下圖為軟體的視窗，此處 X 軸代表手指伸入之距離，每單位對應 5mV，Y 軸代表手指寬度之數據，每單位對應 5mV。



圖(六) 同一隻食指連續測量 8 次的情形 與曲線對應關節位置

#### 結果討論：

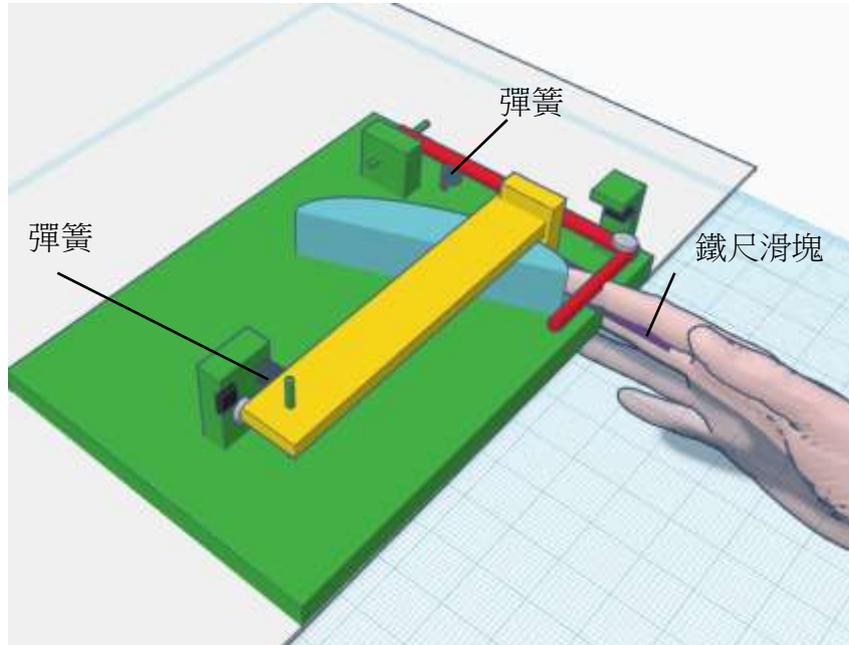
1. 插入時阻力太大，容易抖動不容易操作。
2. 手插入時手掌的偏航角度影響 Y 讀值非常大，造成相同手指有不同曲線。



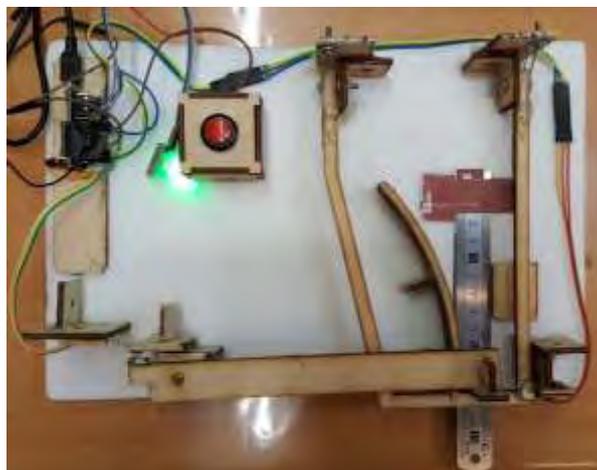
圖(七) 偏航原因討論：偏航角度影響 Y 值的原因

解決方法為加入一個滑塊，讓手指可以緊貼滑塊，可大幅降低偏航角度。滑塊運用鐵尺製作，並且使用滑石粉降低摩擦力。

### 三、第二版---手指形狀測量器



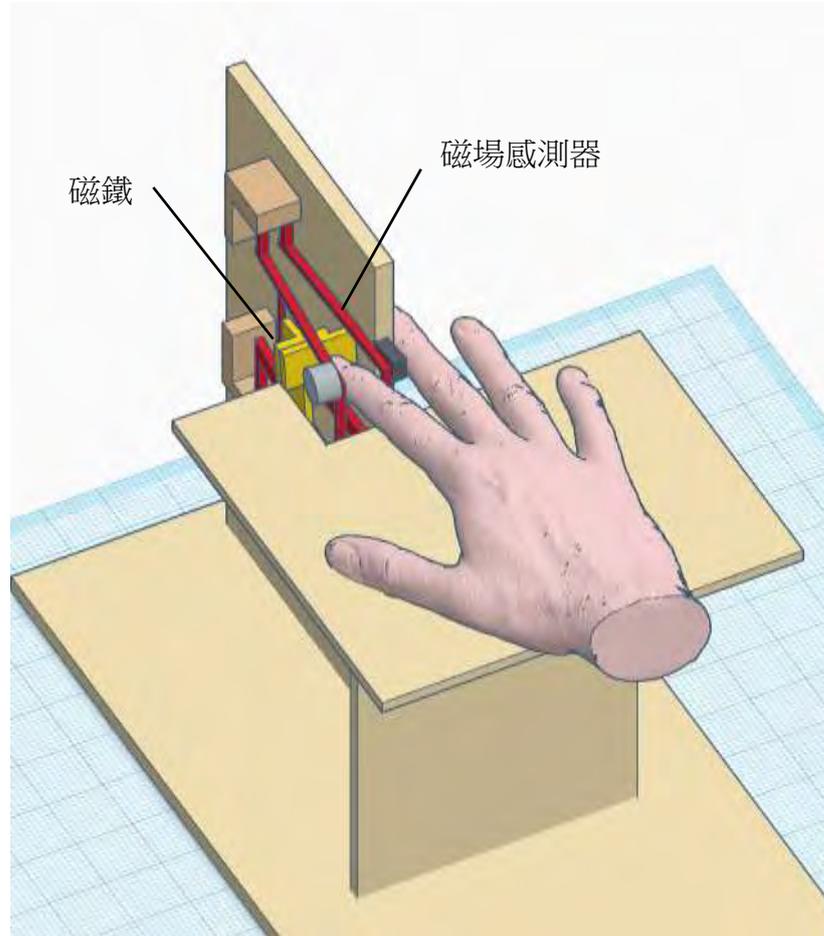
圖(八) 第二版--示意圖



圖(九) 第二版--實際圖

第二版為了改善第一版的問題，加入了鐵尺滑塊，讓使用者能夠貼著鐵尺降低偏航角度影響，並且將原先的重量壓緊方式改為彈簧壓緊，使裝置不受裝置的方向影響夾持力大小。

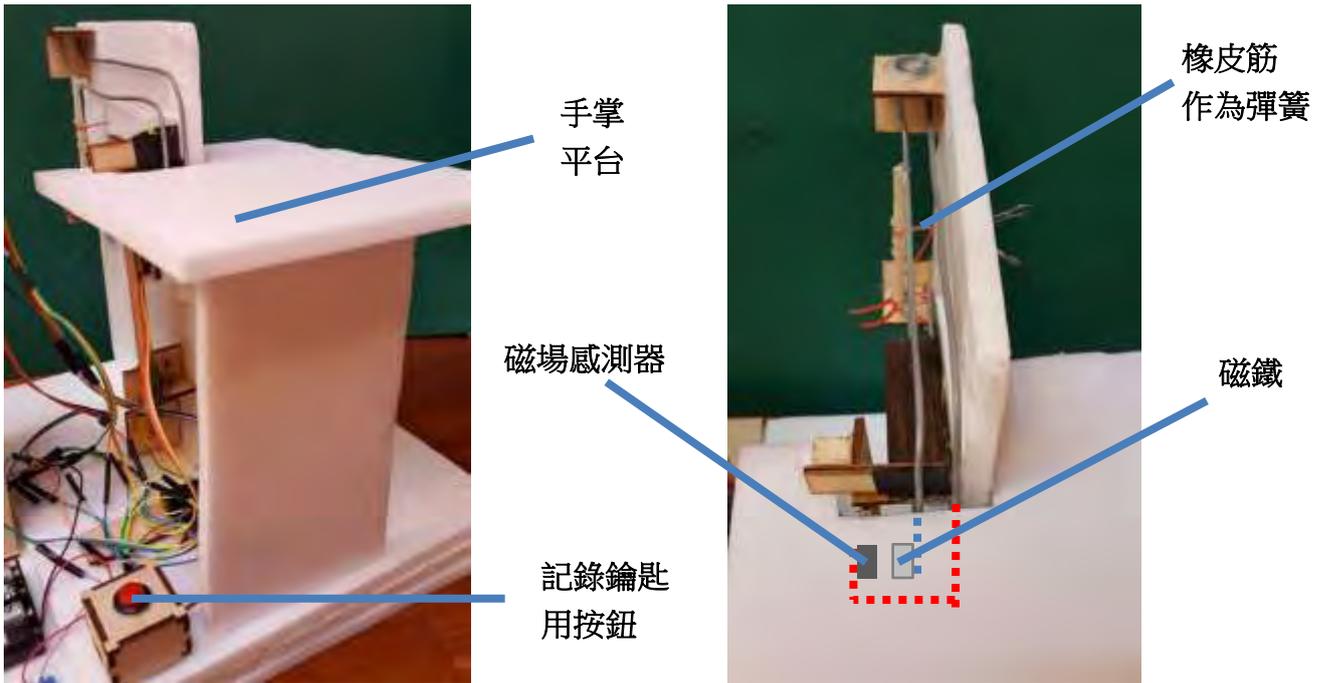
#### 四、第三版的測量器—雙夾式



圖(十) 第三版--示意圖

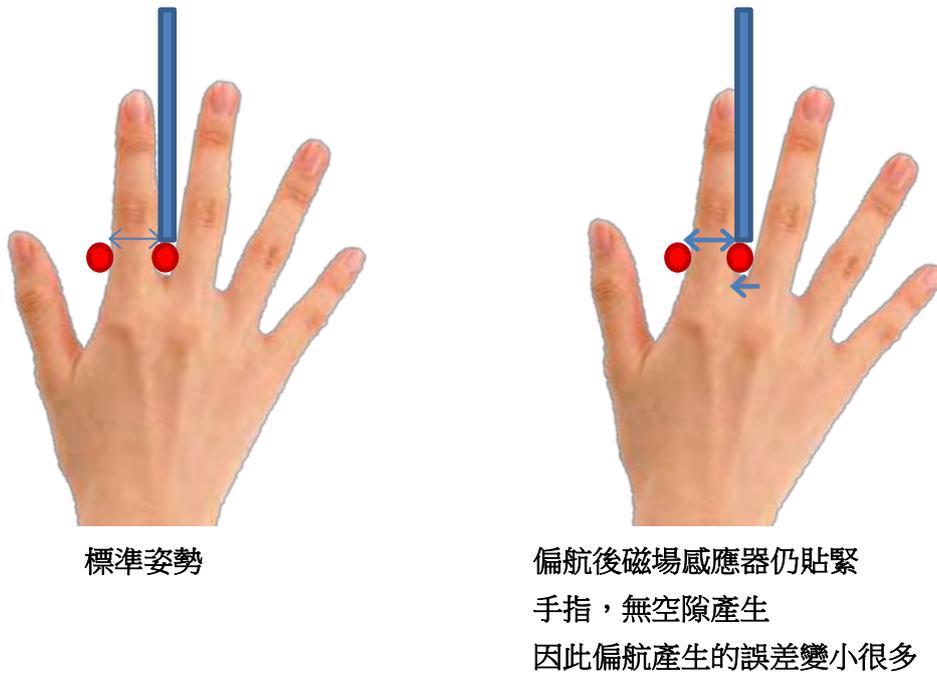
第三版改用兩個桿子同時夾住手指的左右側，感測器和磁鐵分別在兩個桿子上。當手指偏航時，感測器和磁鐵之間的距離偏差會小的多。

另外，加上了一個板子避免翻滾和俯仰的誤差，同時測量單指的左右側差異也增加了訊號的幅度，使單人同手指之量測誤差能夠提升至誤差平均值 8 左右。



圖(十一)左上、圖(十二)右上、圖(十三)下圖，實際感測器和磁鐵位置圖片

在圖(十三)中，磁鐵和磁場感應器為了美觀裝設在下方被平台擋住的地方，磁鐵和感應器分別依照雙夾桿上活動。



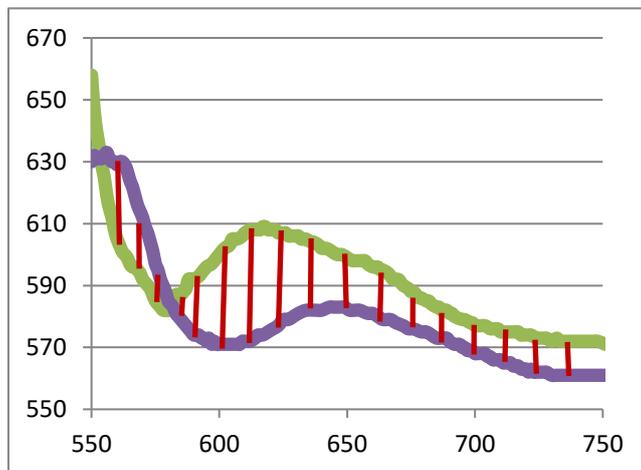
圖(十四) 雙夾式對偏航誤差的改善

## 五、手指形狀差異的判斷方式設計

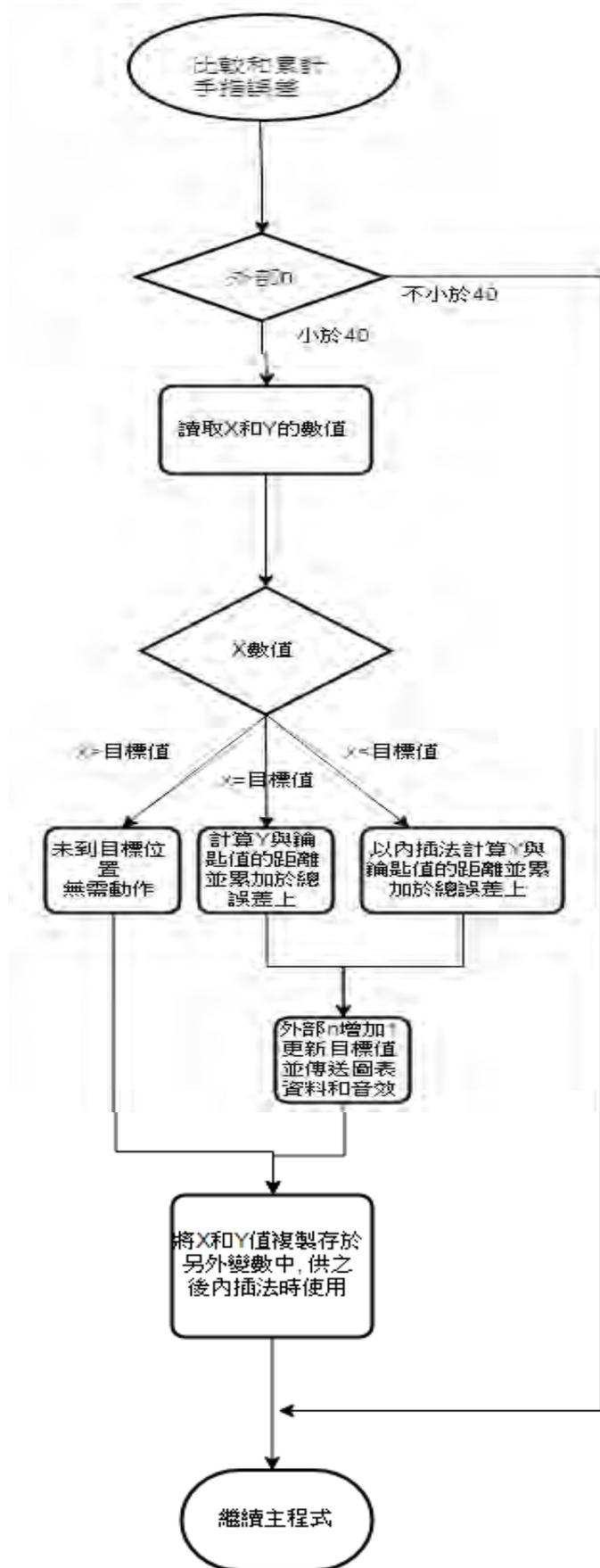
我們以很簡單的方法訂定判斷方法，計算相同 X 處的測量手指的 Y 值和做為鑰匙手指的 Y 值的距離，也就是每個 Y 值的差異值的絕對值，除以取樣個數共 40 組後得到之差異總和為錯誤程度的代表值。

$$\text{總誤差} = \sum_{n=1}^{40} |Y_{\text{測量值},n} - Y_{\text{鑰匙值},n}|$$

以圖形而言，就好比圖（十五）距離紅色線條的總和，取樣夠密的話也可理解為面積。



圖(十五) 總誤差計算示意圖

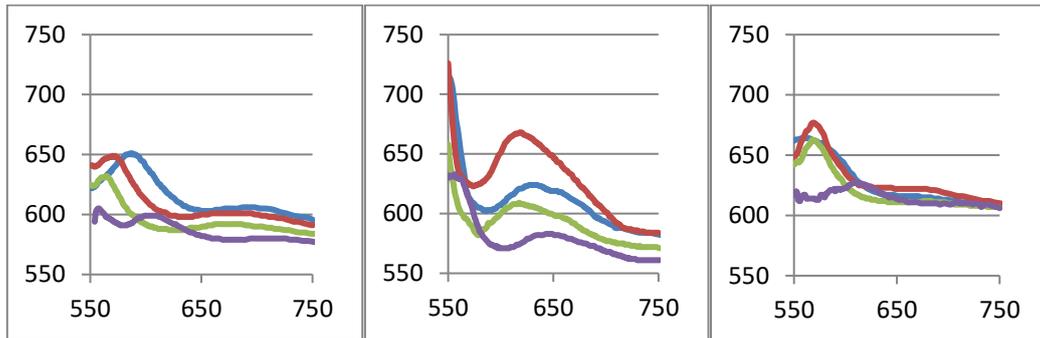


圖(十六) 程式流程圖，取樣 40 組

## 六、25 位受測者共 100 根手指的測量和交叉分析

### (一)實驗內容:

我們測量 25 位國一至國三同學，14 位男生、11 位女生的右手食指、中指、無名指、小指，共 100 根手指之測量數據，並且交互比對其差異值。



圖(十七)左圖

圖(十八)中間

圖(十九)右圖

以上三張圖為 25 人中其中 3 人之右手四指指型量測結果

藍色：食指、紅色：中指、綠色：無名指、紫色：小指

橫軸：手指伸入深度對應之測量數值，每單位對應 5mV

縱軸：手指寬度對應之測量數值，每單位對應 5mV

### (二)數據處理方法

1. 從 megunolink 紀錄 X-Y 資料並匯出為 csv 格式資料存檔。
2. 使用 excel 打開 csv 格式檔案並將所有檔案 X 從 750 至 550 範圍對應的 Y 值整理於單一 excel 檔中作為原始資料。
3. 計算任兩隻手指之單點誤差。

$$|Y_j - Y_i|$$

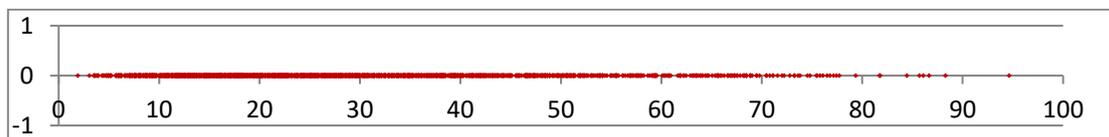
也就是以第 i 之手指為鑰匙，第 j 隻手指為數據值下的單點誤差值。軟體操作的方式是將原始資料所有 Y 數值由上而下排列，橫向為不同手指的數據，接著輸入第 i 行減去第 j 行的指令，以 \$ 號固定第 i 行對應的英文行號，右拉以 excel 中自動拉動改換第 j 行的值相減取絕對值後，每次都手動於公式中更改第 i 行的對應的英文行號，最後以 excel 取平均值公式取所有 Y 的平均值於下方列，即可得到所有第 i 隻手指對第 j 隻手指的平均誤差值數據

$$E_{ij\text{平均}}。$$

4. 計算任兩手指之平均誤差，100 之手指共可以得到 4950 個不同結果。

$$\frac{100 \times 99}{2} = 4950$$

以上過程皆可以 excel 的自動拉取運算功能達成。

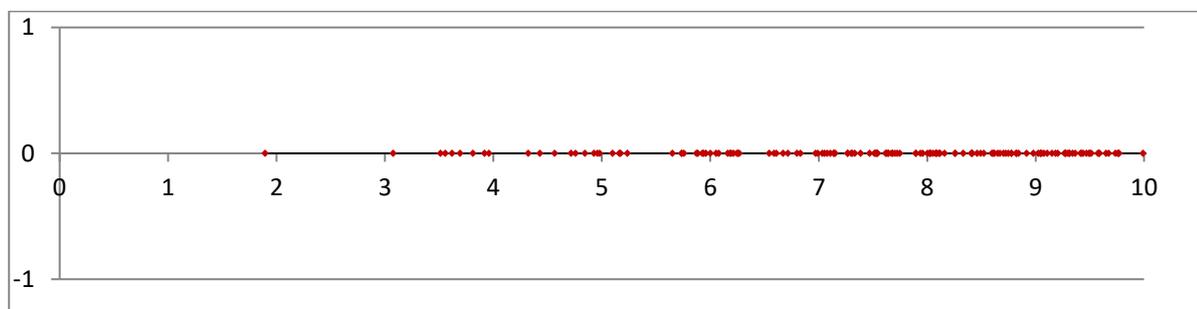


圖(二十) 4950 組  $E_{ij}$  平均的分布情形

橫軸代表 4950 組差異平均值的分布情形，縱軸沒有意義

### (三)結果分析

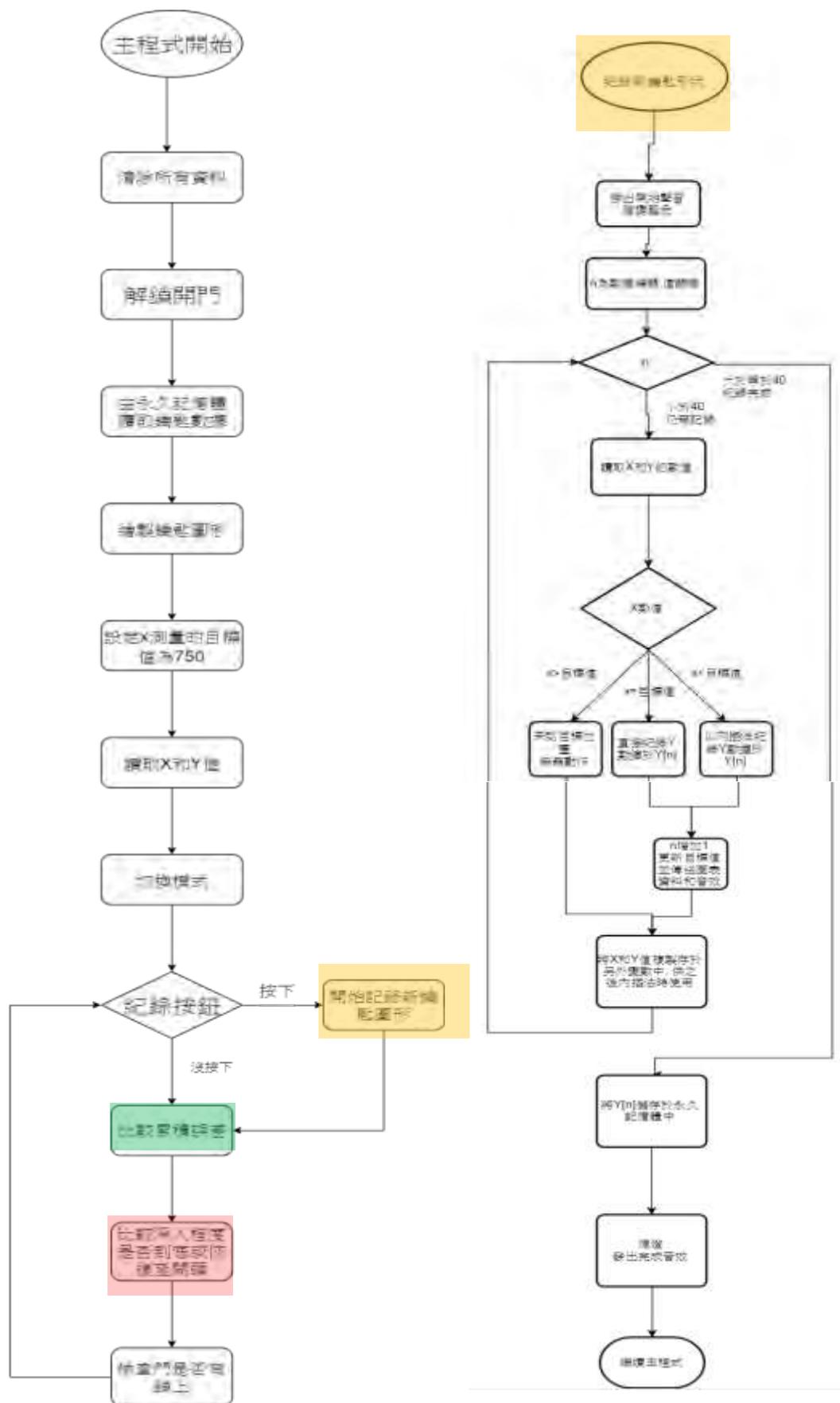
由圖(二十一)中可以見到多數數據分布於 10 到 50 之間，而更大的少數代表著差異更大，無須理會。所需理會的是差異值較低的一區，該區代表著較容易誤判的區域，此區的個數比例與鎖具的容許錯誤值設定，將直接關係到鎖具被誤開的機率，所以我們把平均誤差在 0 至 10 的部分放大檢視以及計數平均誤差在十以內的配對個數。

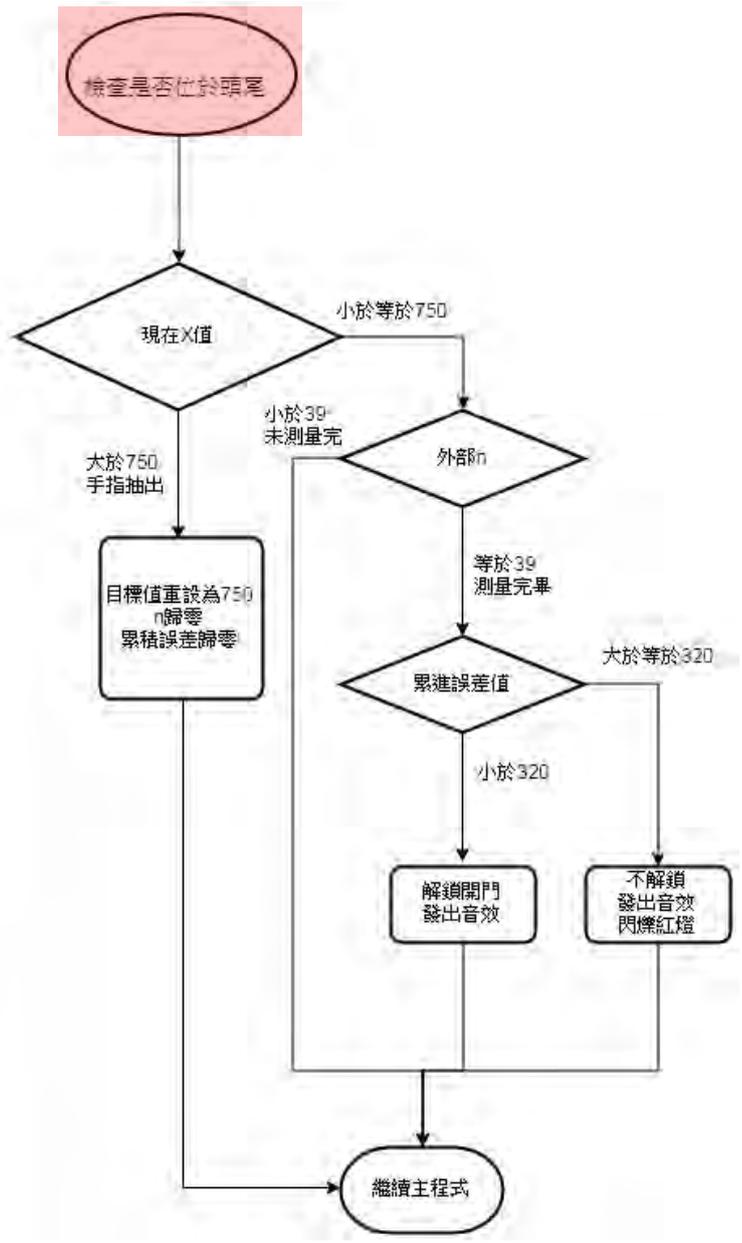
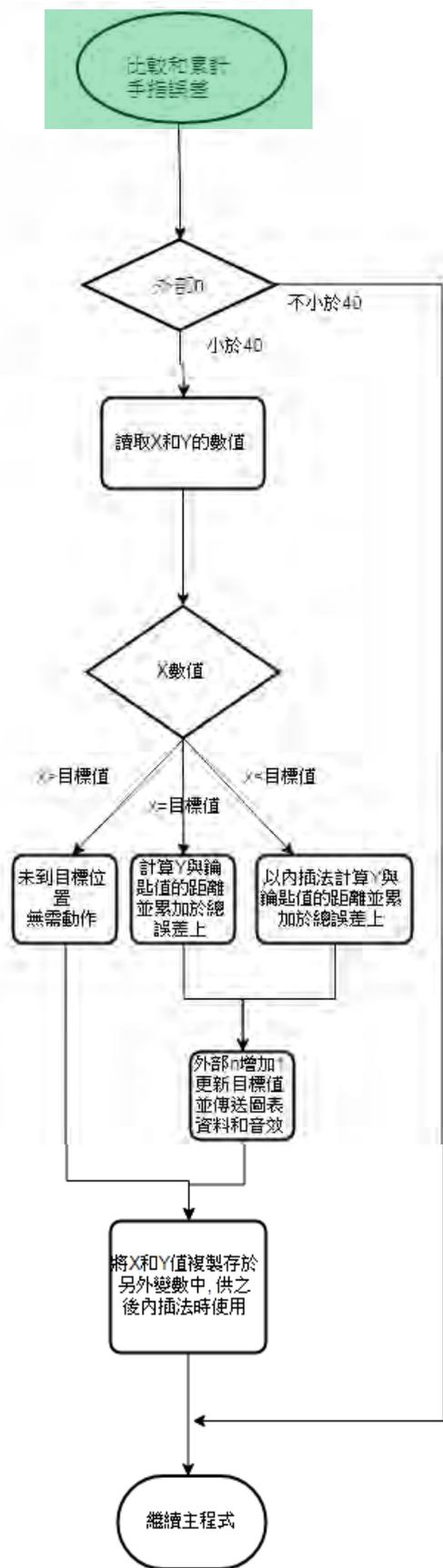


圖(二十一)  $E_{ij}$  在 10 以內的數量分布

在圖(二十一)中平均值低於 8 的數據共有 40 組，也就是說若開鎖允許之誤差值設定為 8，則此鎖具遇到他人單一手指能夠誤開的情形機率為 77/4950，約為 1.5%。若要提升安全性，則可設計成前後以 2 隻手指之指型判別，應可將安全性提高至 0.0225% 左右，或者以 n 隻手指分時前後或同時作為測量也可提升安全性。

## 七、門鎖的製作與連結及程式



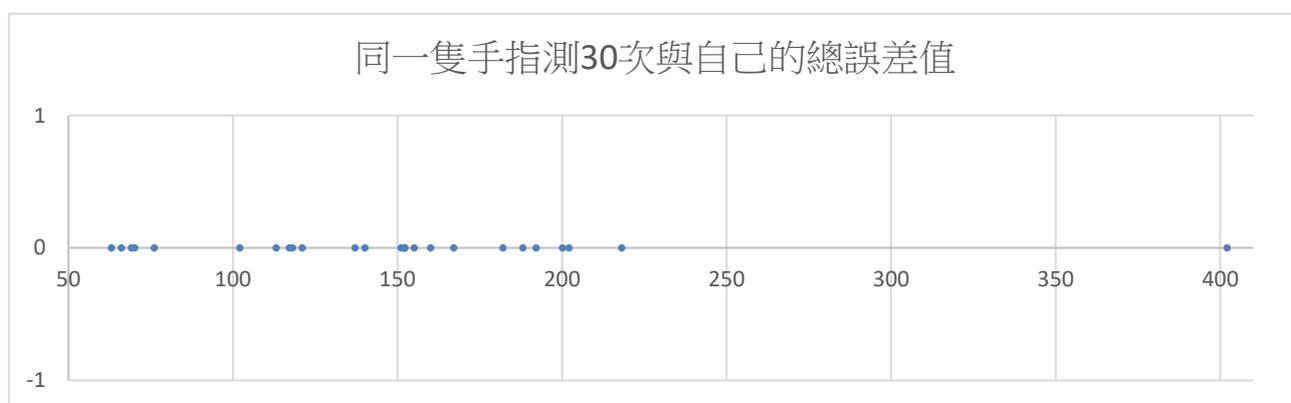


## 八、測量同一手指不同次測量的平均誤差值 找到最低允許誤差值

在前幾代，我們發現其實有些人的手指過於類似，以平均誤差 8，也就是說允許之總誤差 320 仍會有一定的誤開機率，所以我們量測了同一手指的誤差分布情形，將允許誤差值做了一些調整。

### (一) 實驗方法

我們設定食指設為鑰匙，接著以同一隻手指頭嘗試開鎖 30 次並記錄總誤差值，以觀察誤差分布的情形。



圖(二十二)尋找合適的誤差值

### (二) 數據分析

由圖(二十二)中可見到絕大多數的數據落於總誤差值 200 以內，依此實驗結果，我們將允許誤差值修正為 200，以達到在維持高正確開鎖機率的情形下，降低誤開率的目的。



圖(二十三)原 4950 組手指配對情形中數值小於 5 的情形數

從圖(二十三)中可得知 4950 組只有 20 組在誤差值裡(可解鎖)  $20/4950=0.005$  單支手指只有 0.5%的機率會被誤開

### (三) 實驗驗證變更後的誤判率

我們測試“允許總誤差為 200”是否為我們想要取得的測試，於是我們找了三位同學來測試，我們將同學 3 設定為鑰匙，同學 1 和同學 2 嘗試開鎖，在各測量 50 次的情形下，得到誤開率為 0，而總誤差值為 200 的情形下，同學 3 自身無法開啟的機率為 24%。

	O	X	誤判率
同學 1	0	50	0%
同學 2	0	50	0%
同學 3	38	12	24%

圖(二十四) 測試誤開率

### (四)數據討論

由同學 1 和同學 2 去開以同學 3 指行為鑰匙設定下的誤判率 0%來看，非常接近 4950 組配對情形下預期的 0.5%的誤開率值，而同學 3 自身開鎖的誤判率 24%則較高於預期，但正確率 76%下仍可讓使用者於可接受的錯誤次數下完成開鎖

## 九、第四版的測量器—可切換手指模式



圖(二十五) 第四版--多手指開鎖的裝置 新增了切換手指

允許誤差值下降為 200 之後，合適的允許誤差值的安全性較高了，但我們覺得還能將此機器做些改良進一步提高安全性。所以我們新增了設定手指頭鑰匙”數量”的功能，可以設置 1~3 隻手指頭。

(一)我們的第四版--多手指的程式由第三版--單手指程式經過下列 7 項修改而得：

- 1.加入待測手指數量變數 `Key_count`，由按下切換鈕後循環切換可判斷 1~3 隻手指的運作模式。
- 2.鑰匙陣列由 40 個值增加至 120 個，每 40 個代表 1 隻手指。
- 3.存取手指鑰匙值的時候，將第  $n$  個值變為第  $n+40i$  個值， $i$  從 0 開始，測完 1 隻手指頭後  $i+1$ ，換讀取下一組數值。
- 4.新增一個陣列—`fes[4]`，`fes[0]` 不使用，`fes[m]=1+……+m` 的累積誤差，於手指伸到最深處時紀錄 `fes[m]`，可得單獨第  $m$  隻誤差值就是 `fes[m]-fes[m-1]`，用於判斷是否該開鎖，判斷方式為每隻手指的誤差值都小於允許誤差值時才開鎖，最後一隻手指拔出後歸零。
- 5.可以從聲音判斷目前設定幾隻手指頭，例如：設定 2 隻手指頭會連續發出兩聲。
- 6.畫 XY 圖時，把輸出的 X 值改為  $X-200i$ ，用以把它畫在同一圖表不同位置。
- 7.改變開鎖判斷時機為最後一隻手指完全深入時。

## (二)修改後的新功能說明

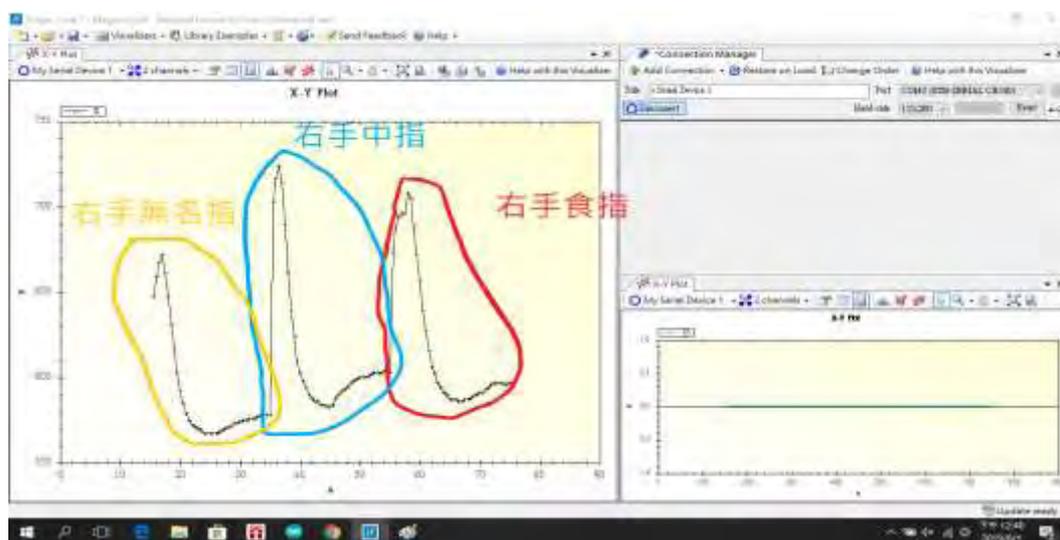
### 1. 設定多隻手指頭為鑰匙：

開機後預設進入到 1 隻手指模式，按下切換鍵可切換至 2 隻手指模式，再次按下可切換至 3 隻手指模式，再次按下後切換回到 1 隻手指模式。

2. 於多隻手指時，按下鑰匙紀錄按鈕，接著依序插入該模式下所需之手指，即可完成多手指紀錄。

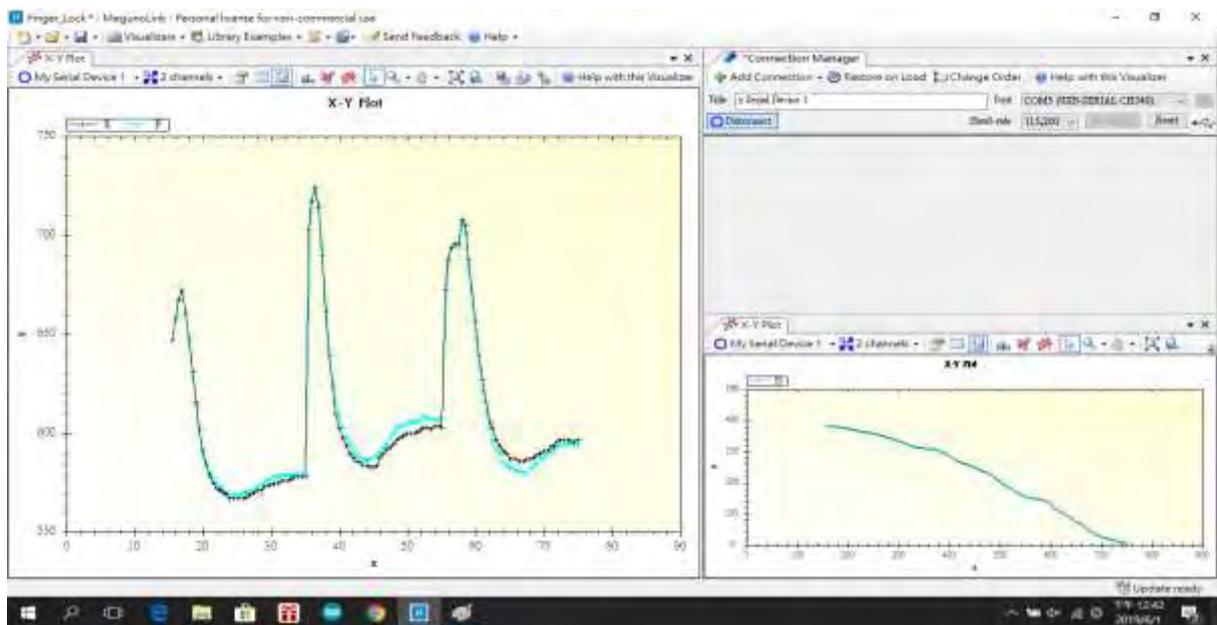
3. 於使用時，依序插入該模式下所需之手指，所有手指指形誤差皆於允許誤差值內的話即可開鎖，反之不開鎖。

## (三)修改後的電腦監控圖形說明



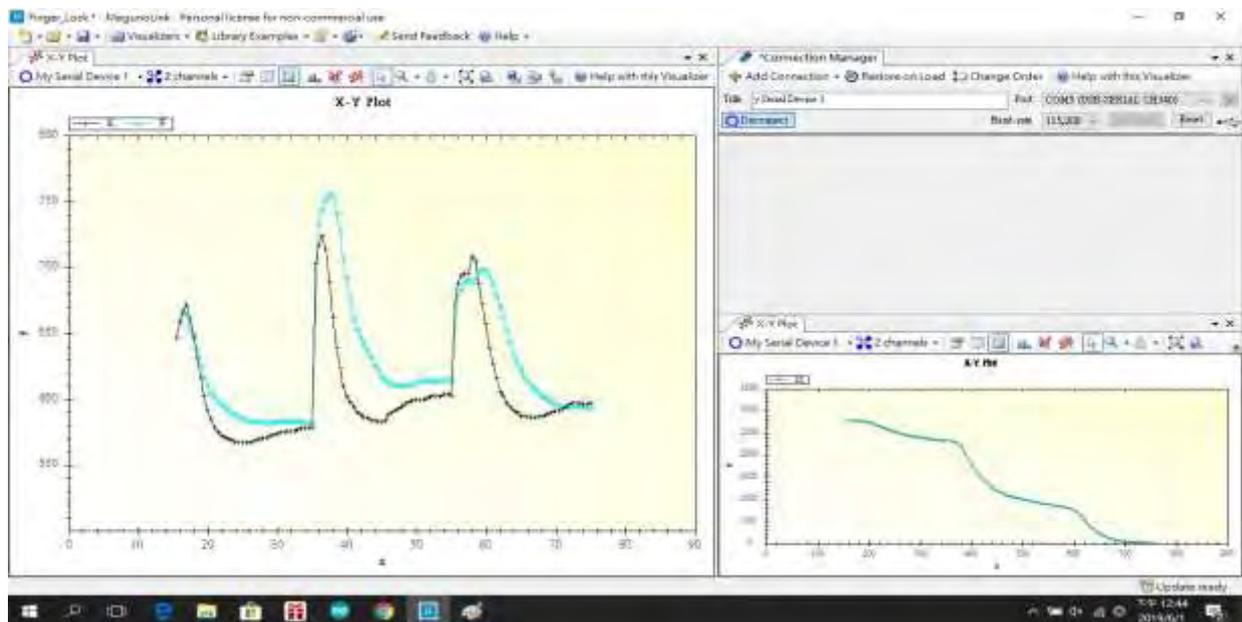
圖(二十六) 三隻手指的鑰匙數據

以電腦監控機器所記錄到的指形數據時，如圖(二十六)，是模式設定為三隻手指時的鑰匙數據，圖中手指的輸入順序為食指、中指、無名指，我們依照順序放入機器中並記錄，但使用上並無須依照此組合或順序。如畫面左圖，最右端的是我們先紀錄的第一隻手指指形，而最左端的是我們紀錄的第三隻手指指形。



圖(二十七) 鑰匙設定者本人打開門鎖的指形與累進誤差值  
 左圖中黑線為鑰匙，藍線為設定者本人相對應手指輸入指形  
 右圖中為累進誤差值，橫軸每 200 單位對應一隻手指

由圖(二十七)可見到即便是三隻手指的情形下，鑰匙設定者本人開鎖時的指形區現仍是非常接近鑰匙設定值的，每隻手指的誤差也都在 200 以下。



圖(二十八) 非鑰匙人嘗試打開鑰匙時的誤差值指形與累進誤差值  
 左圖藍線為非鑰匙設定者 黑線為鑰匙者

由圖（二十八）可知幾乎每一隻手指都超過允許誤差值，而程式設定只要一隻手指超過允許誤差值即不允許開鎖，可見此結果達到我們想要的目的。

程式判斷的方式為每隻手指的誤差都不得超過設定的允許誤差值，如此一來，條件機率下，N隻手指的誤開機率即為單手指機率的N次方，非常大幅的提升了安全性。但也因為程式設定每一隻手指的誤差都得小於允許誤差值，因此會發生其中一隻手指誤差較大時就不允許開鎖的情形，導致鑰匙設定者本人無法開鎖的機率明顯升高

過程中，我們發現多手指情形時若允許誤差仍設為 200 的話，讓正確的使用者也無法開鎖的機率會提高至不方便使用的程度，因此將多手指的允許誤差改回原本的 320，在此門檻下，2隻手指由先前 4950 組搭配情形下得到的理論誤開率約為 $(0.015)^2$ 的平方=萬分之 2.25，3隻手指的誤開率約為 $(0.015)^3$ 的立方=百萬分之 3.3。

## 十、實際手指尺寸與磁場感應器電壓輸出值的關係量測

### (一) 實驗目的

因為設備測量到的數據為磁場輸出的電壓值，而磁場和距離的關係並非簡單的成正比或反比，由數據無法得知確實的手指伸入深度或是手指寬度，因此我們量測了手指深度與手指寬度所對應的電壓數據，以進一步了解器材的運作情形和討論可改善的方向。

### (二) 實驗方法

我們以捲尺的長度作為深度的實際尺寸，將自己的手指平貼右側的珍珠板伸入至不同深度後，記錄對應的磁場感應器輸出電壓值，而寬度則是利用鐵尺，以人工方式將雙夾式的粗鐵絲張開至不同寬度，記錄對應的磁場感應器輸出電壓值。



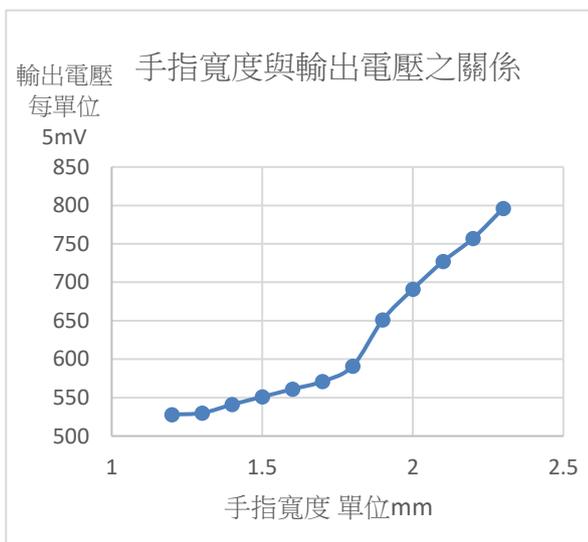
圖(二十九)



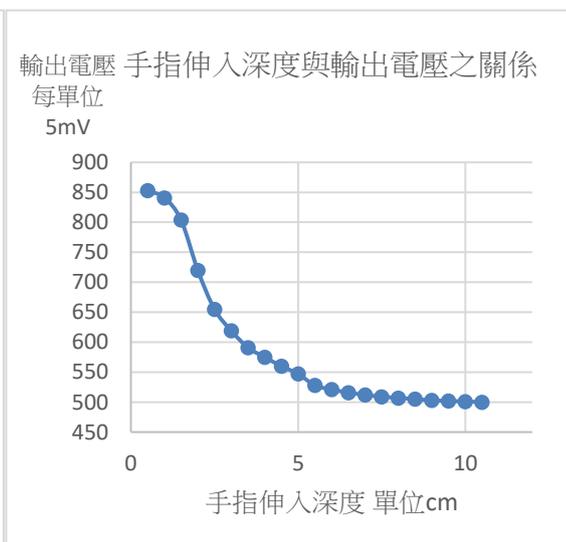
圖(三十)

量測器材實際尺寸與磁場感測器輸出電壓關係的設置方式

### (三) 數據分析



圖(三十一)



圖(三十二)

器材實際尺寸與磁場感測器輸出電壓關係

圖(三十一)、圖(三十二)就是寬度和深度變化的電壓值圖表，可確認實際尺寸與電壓值的變化並非簡單的成正比或反比，也進一步得到下列幾個結論：

- 1.程式中手指伸入深度的數值記錄範圍訂定為 750 至 550，對應到的實際深入深度為 2cm 到 5cm 處，共 3 公分的範圍
- 2.由程式中手指寬度的紀錄數值約落於 750~550 範圍之間，對應到之手指寬度約為 1.5~2.2cm 之間
- 3.由圖(三十二)可知道，手指伸入深度 0~2 公分時，靈敏度非常高，數據變化非常的大，而 5~10 公分時靈敏度非常低，數值變化非常的小，而程式使用的 2 公分~5 公分區域約為直線，也就是取樣的距離是大約相同，大約是均勻取樣的。

#### (四) 改善方法討論：

1. 由圖(三十一)可以得知，以 49E 的磁場感應器設計，磁場趨近於零時感應器數值約為 500，也就是 2.5 伏特，設計此偏移量是為了讓相反方向的磁場可以以更低的數值來表示，因此此方向的磁場測量情形下，數值範圍將於 500~1023 之間變化，使用更強力的磁鐵，讓接近端 850 的數值可以更高，應當可以提高寬度的感測靈敏度。
2. 由圖(三十二)所得到的數據結果，手指伸入深度 0~2 公分時，靈敏度非常高，數據變化非常的大，而 5~10 公分時靈敏度非常低，數值變化非常的小，這兩個區域並沒有被使用到，要改善其實際位置導致的靈敏度過大或過小的問題，我們認為可以由機構的設計下去處理，良好的連動機構有機會使 0cm~10cm 伸入區間的靈敏度更一致，而將原本指形取樣的 3cm 範圍提升 3 倍左右，可以記錄到更多的手指形狀特徵值，應該可使不同人的指形差異更明顯，而因此使誤判率進一步的更低。

## 十一、模組材料成本分析

品項	成本
磁場感應器兩個	20 元
鈷鐵硼強力磁鐵兩個	20 元
按鈕	10 元
塑膠零件	50 元

不含微控制器的成本約 100 元

## 十二、各種鎖具優缺點列表

鎖具種類	優點	缺點
傳統鎖	便宜，開鎖簡易。	需帶鑰匙，一般喇叭鎖使用簡易工具即可解鎖，安全性較低。
按鈕密碼鎖	設備便宜。	較易被窺探，換密碼後需重新背記。
指紋辨識	無須背記或帶鑰匙，快速且重複性低。	較為昂貴，指紋較容易被複製取得。
手骨辨識	設備便宜，無須背記或帶鑰匙，手指指骨指形較難被複製取得。	需要多根手指分時或同時測量，才可達成較高安全性，鎖具體積較大。

類型	低價格	不需攜帶	不需背記	不易複製	體積
鑰匙鎖	○	X	○	X	○
按鈕密碼鎖	○	○	X	○	○
指紋鎖	中	○	○	X	○
指骨鎖	○	○	○	○	X

## 十三、未來改進方向

- (一)改善機構和磁鐵強度與方向，讓偵測曲線更加均勻且可偵測範圍更廣和更精確，藉此降低誤判機率。
- (二)目前研究的程式僅允許機器儲存一個使用者手指資料，但於實際應用上，同一個建築物通常會允許多個使用者擁有其通行權，因此程式需要進一步改善為可以儲存多位使用者的手指資訊於資料庫中，並且可以於開鎖時判斷是否符合資料庫中的使用者身分，以進一步達成多位使用者身分辨識與通行管理的功能。

## 伍、研究結果

本研究中我們以霍爾元件因手指形狀導致變動的磁場下輸出的電壓訊號，以 arduino 建立簡單的生物電子門鎖。並且訂定簡易的誤差判斷方式，由實際測量 100 隻手指後交互分析誤差值後得知，由一定允許誤差值下的誤開率，以及單一手指多次測量下與自身數據的誤差值，來得到最理想的允許誤差值，另外也測量了實際手指伸入距離與手指寬度對應的電壓輸出值，以此提出新的改善方向。

## 陸、討論

本研究中雖然手指關節的誤差已經盡量降到最低，手指深度其實也會被手指是否有打直而有影響，這是另一個主要誤差來源，但此誤差尚未被此研究解決。

由磁場感應器電壓數據和實際手指深度和寬度的對應關係分析，我們相信更佳的機構設計方式，或是磁鐵強度或擺設方式，可以讓可測的手指深度範圍增加至 3 倍左右，應當能提供更多的手指數據細節，且手指寬度的精密度應該也可以藉由磁鐵強度、磁鐵擺設角度和機構設計來提升，唯提升手指寬度之精密度前，需先解決手指是否打直造成測量出的手指深度產生誤差值的問題。

## 柒、結論

我們藉由測量 100 隻手指、並且進行交互比對後，證實以 Arduino 使用磁場量測得到的手指骨形數據也可做為一種鎖具的鑰匙功能，且運用手指骨形做為辨識依據，具有唯一且不易複製性，並且藉由多隻手指數據的判讀設計，可使誤判率大幅降低，安全性大幅增加。

## 捌、參考資料及其他

- 一、[1] 育達高中資訊科學生匡宇柏等人設計的暗號敲門鎖  
<https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/674155>
- 二、[2] 高雄市立高雄高級工業職業學校 暗號門  
<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/03/2016032918054190.pdf>
- 三、[3] Sesame 智能節奏開門鎖  
[https://3smarket-info.blogspot.com/2015/03/blog-post\\_52.html](https://3smarket-info.blogspot.com/2015/03/blog-post_52.html)
- 四、[4] Gemalto Biometrics: authentication and identification (2019)  
<https://www.gemalto.com/govt/inspired/biometrics>
- 五、[5] “生物辨識技術”  
<https://www.moneydj.com/KMDJ/Wiki/WikiViewer.aspx?KeyID=25a8c79c-cccc-41dd-bf25-66285d4170c1>
- 六、[6] Tandee , “指紋辨識安全性？電容式、光學式技術差異” (2014 年 8 月 28 日)  
<https://www.cool3c.com/article/84035>
- 七、[7] 潔訊有限公司 ,掌形機、指形機、指紋機產品列表 (1997 年 5 月 1 日)  
<https://200.shop2000.com.tw/>
- 八、[8] 中文維基百科 “骨骼系統”  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AA%A8%E9%AA%BC%E7%B3%BB%E7%B5%B1>
- 九、[9] (2019 年 1 月 12 日) 怎麼在 Arduino 上使用霍爾感測器?¶49E 教學(Gensou)  
取自: <https://www.youtube.com/watch?v=N9mTKzhpgkc>

## 【評語】 032811

1. 以磁場及電壓量測手指寬度與形狀，極具創意，難能可貴。
2. 作品製作過程中，想辦法逐步克服可能的誤差，並請從一根手指到多根手指的辨識，富有精益求精之精神。
3. 探討手指形狀的獨特性是不錯的科學分析題材，點出另一種生物辨識的可能性。
4. 若能再增強量測機構之穩定性，本作品將更具實際應用性。

# 摘要

我們藉由測量100隻手指並且交互比對4950個組合後，搭配前後三隻手指的比對設計，證實手指骨型也可做為一種鎖具的鑰匙功能，且除了元件價格低廉以外，手骨形狀也不易複製，能夠保持高度安全性。

## 壹、研究動機

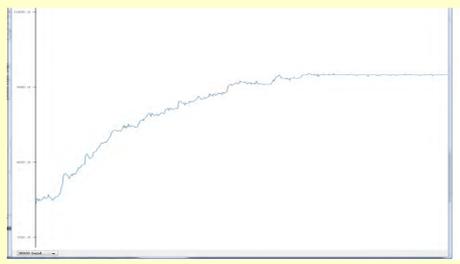
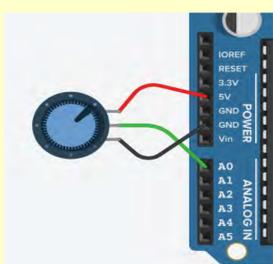
一般時候開門鎖需要拿出鑰匙，也經常發生忘記帶鑰匙的情形，為了解決這樣的情形，因此我們希望用密碼或個人特徵的方式來製作。原先要使用敲擊節奏密碼的方式來解鎖，經過搜尋原有科展之後，發現於高職組已經有人做過，因此討論後決定以手指形狀來作為鑰匙開門，市面上雖已經有光學影像式的指形掌形分析機，但是計算影像的運算量大、電腦系統昂貴，本研究希望使用Arduino做簡易量測，降低指形偵測方式的成本，因此改由直接用夾量的方式測量手指骨頭的形狀來嘗試作為開鎖的方式。

## 貳、研究目的

- 一.建立手指形狀的取樣測量機構
- 二.建立手指形狀差異性的計算方式
- 三.測量使用者的手指形狀、研究手指的差異性以及計算方式用於開鎖用途的可行性
- 四.分析裝置和判斷方式的誤識率(False Acceptance Rate, FAR)和誤拒率(False Rejection Rate, FRR)

## 參、研究方法

### 一. 嘗試以可變電阻旋轉角度測量手指寬度變化

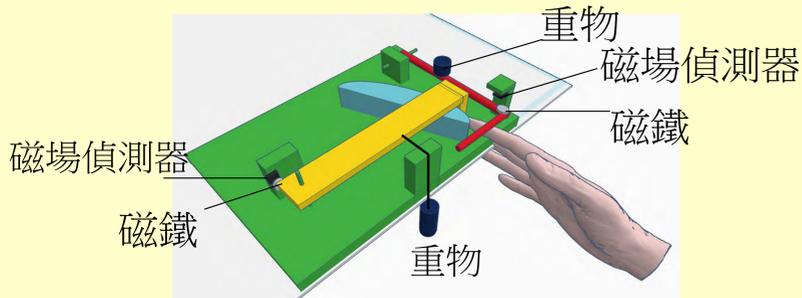


橫軸:  
時間(約略)

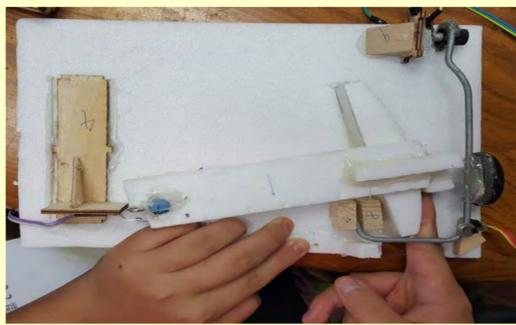
縱軸:  
電壓(每單位5mV)

如左圖我們測量可變電阻的分壓電壓於旋轉時的變化，結果輸出於右圖。結果討論: 變換時雜訊極高，無法拿來量測微小角度變化。

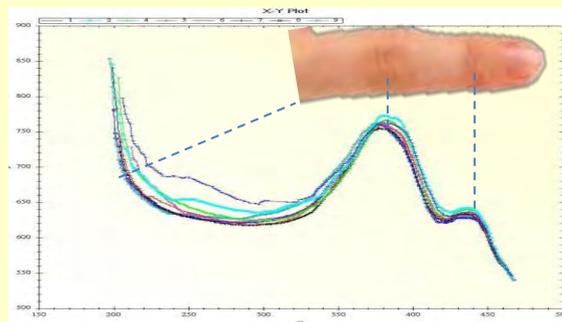
### 二. 嘗試以磁鐵和磁場感測器測量手指寬度變化



左圖: 第一代裝置概念圖  
以兩個旋轉槓桿  
分別隨手指伸入深度與寬度  
而改變磁鐵與感測器之距離  
轉為電壓訊號讀取。



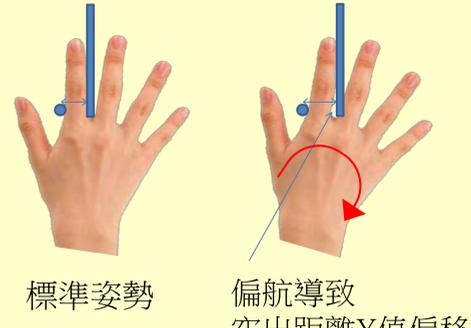
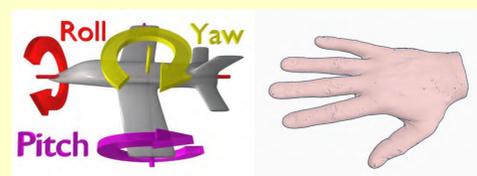
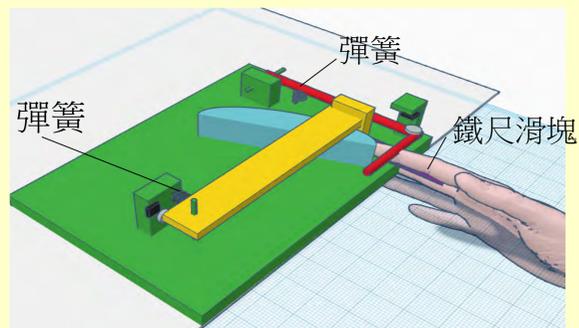
第一代裝置實體照片  
以1cm珍珠板與鉛塊製作。



第一代裝置同一隻食指連續8次的測量曲線  
橫軸對應伸入距離，縱軸對應手指寬度。

誤差原因討論: 見右下方手掌圖說，誤差應來自於手的翻滾,俯仰和偏航，其中以偏航造成的影響最大。

### 三. 第二代設計：以鐵尺滑塊降低偏航誤差

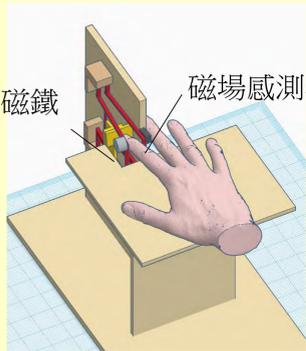


左圖: 結構改良說明:將重物改為彈簧並且加上鐵尺滑塊降低偏航影響

中間圖: 手掌旋轉角度名詞定義  
翻滾(Roll)、俯仰(Pitch)和偏航(Yaw)

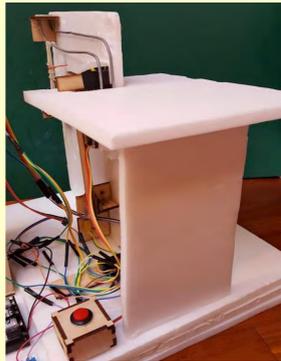
右圖組: 第一代誤差來源說明  
第二代以鐵尺滑塊作為手指依靠處，可減低偏航方向導致之誤差。

## 四. 第三代設計：雙夾式更進一步消除偏航誤差

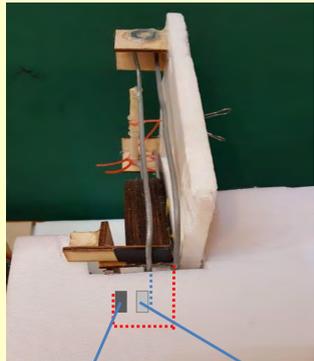


第三代設計示意圖

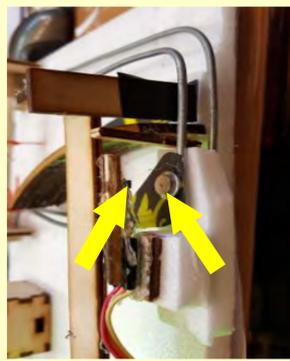
第三版改用兩個桿子同時夾住手指的左右側，感測器和磁鐵分別在兩個桿子上。



雙夾桿與手掌平台位置。

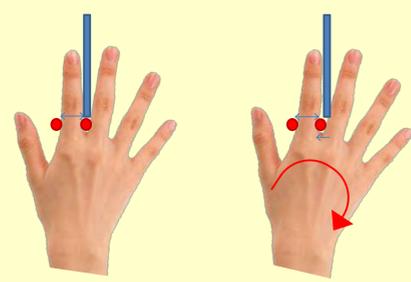


磁場感測器 磁鐵  
感測器與磁鐵如圖示位於手掌平台下方。



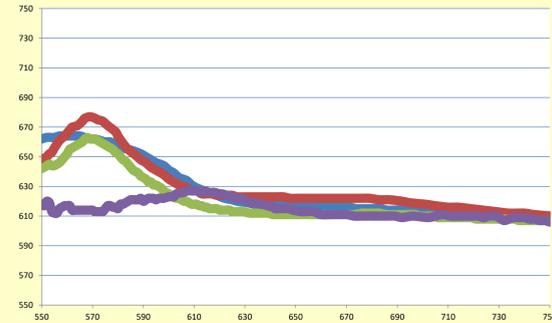
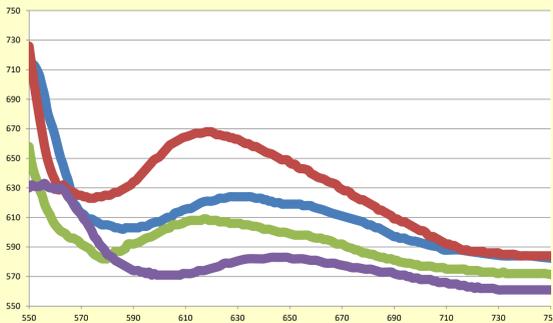
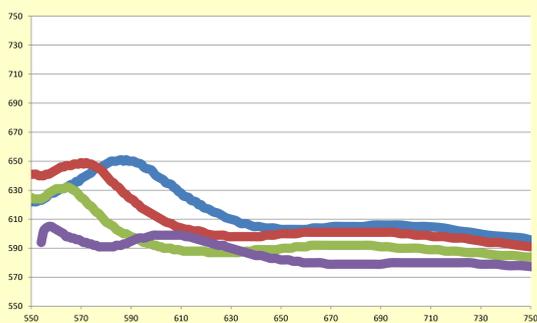
移除手掌平台後可見磁鐵與感測器。

### 誤差降低原理說明



標準姿勢 偏航後磁鐵與感應器相對距離保持不變，偏航產生的誤差變小。

## 五. 25受測者共100根手指的量測和交叉分析與誤識率FAR計算



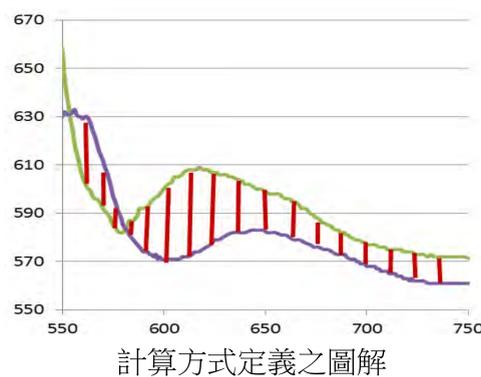
圖：其中3人之右手四指指型量測結果

藍:食指 紅:中指 綠:無名指 紫:小指 橫軸:手指伸入深度對應之測量數值 縱軸:手指寬度對應之測量數值

### 計算方式定義

$$\text{編號}i,j\text{手指總誤差} = \sum_{n=1}^{40} |Y_{i,n} - Y_{j,n}|$$

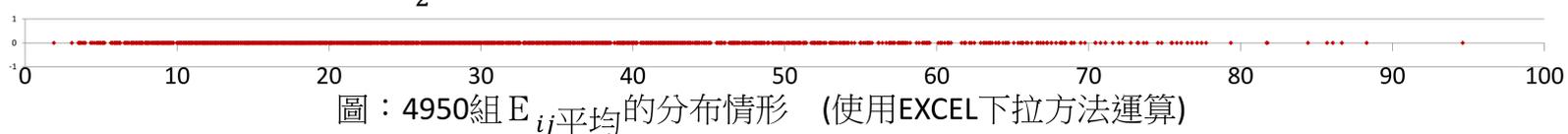
$$E_{ij\text{平均}} = \frac{\text{編號}i,j\text{手指總誤差}}{40}$$



計算方式定義之圖解

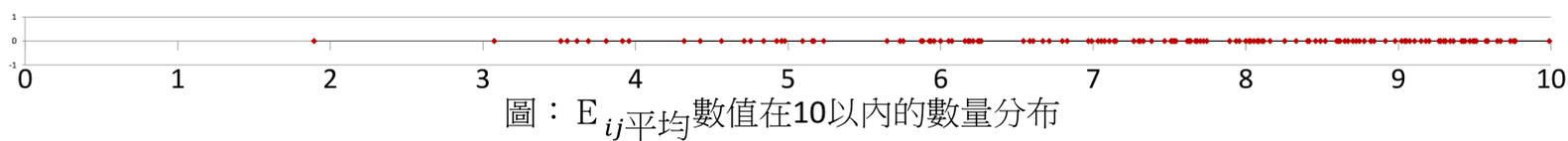
### 100之手指共4950組 $E_{ij\text{平均}}$ 計算與數值分布情形

100隻手指共可以得到  $\frac{100 \times 99}{2} = 4950$  個不同結果，數值分布如圖：



圖：4950組  $E_{ij\text{平均}}$  的分布情形 (使用EXCEL下拉方法運算)

所需理會的是差異值較低的一區，此區指形接近容易誤判，因此放大0~10區域以便觀察：



圖： $E_{ij\text{平均}}$  數值在10以內的數量分布

平均值低於8的數據共有77組，也就是說若開鎖允許之平均誤差值設定為為8，則此鎖具遇到他人單一手指能夠誤開的情形機率(FAR)為77/4950，約為1.5%

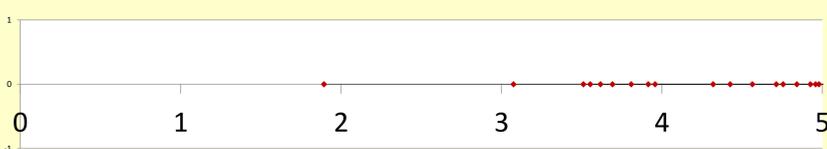
而FAR可藉由多隻手指之先後測量大幅降低，於第七點時會詳加說明。

## 六. 同一手指的多次測量誤差值範圍與誤拒率FRR測量

### 同一隻手指測30次與自己的平均誤差值



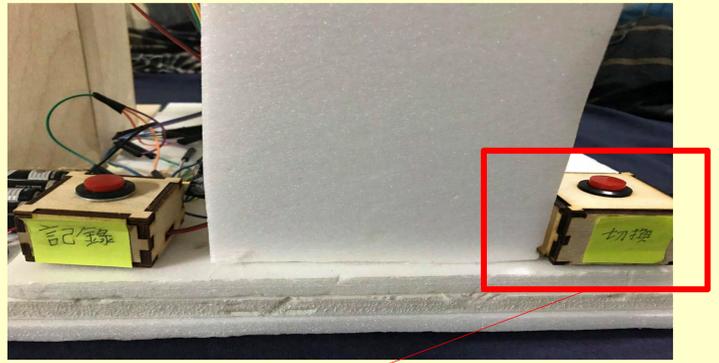
### 平均值誤差值低於5的數據數量與FAR計算



我們測量同一個人同一隻手指30次的自身平均誤差值，由左圖之數據歸納發現平均誤差允許值定為5時最理想，此時的誤識率降低至0.4%，測量50次開鎖中，共有12次失敗，38次成功，開鎖誤拒率為24%。

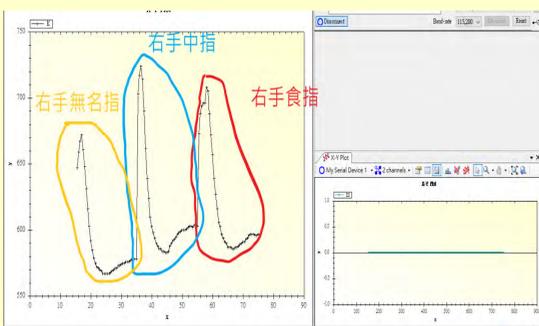
## 七.第四代設計：多指模式的設置及開鎖

為了降低FAR以提升安全性，第四代裝置設計成前後多隻手指的平均誤差皆需小於設定之允許誤差值後才能夠開鎖，我們加入了一個切換模式的按鈕並改寫程式使其可以以多隻手指來判斷是否開鎖，此種方法已經有效降低FAR，因此為了降低FRR增加實用性，我們把平均允許誤差值設回為8，此時以2隻手指之指型判別，FAR約降低至0.02%左右，3隻手指判別時FAR則可進一步降低至約0.0003%左右。

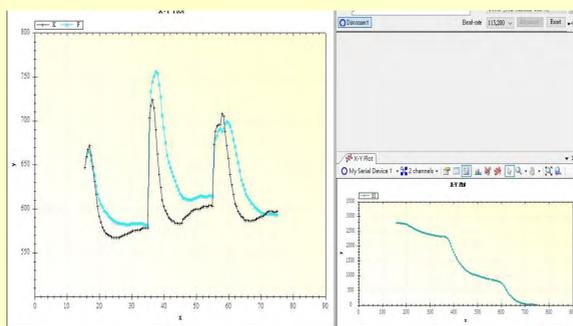


第四代設計: 新增切換模式按鈕---可以設置1~3隻手指作為鑰匙形狀。

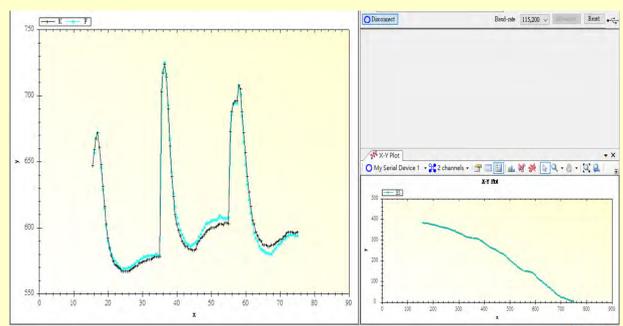
## 八.第四代設計：多指解鎖的實驗



左圖：輸入後設定為鑰匙的指型



中間圖：輸入的指型與設定為鑰匙的指型不符合，不允許開鎖。



右圖：輸出的指型與設定為鑰匙的指型相符合，允許開鎖

## 九.模組材料成本與優缺點綜合分析

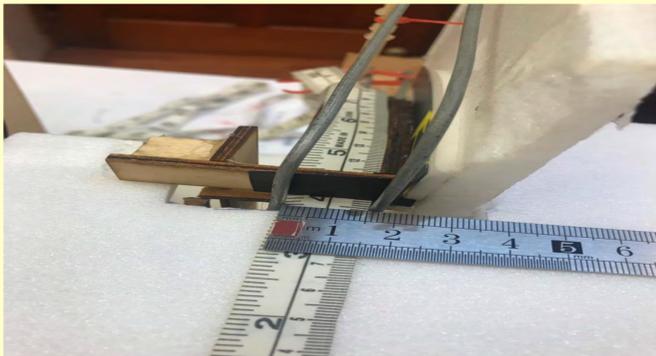
### 模組材料成本

品項	約略成本(新台幣)
磁場感應器兩個	20
鈦鐵硼強力磁鐵兩個	20
按鈕兩個	10
塑膠零件	50
總和	100

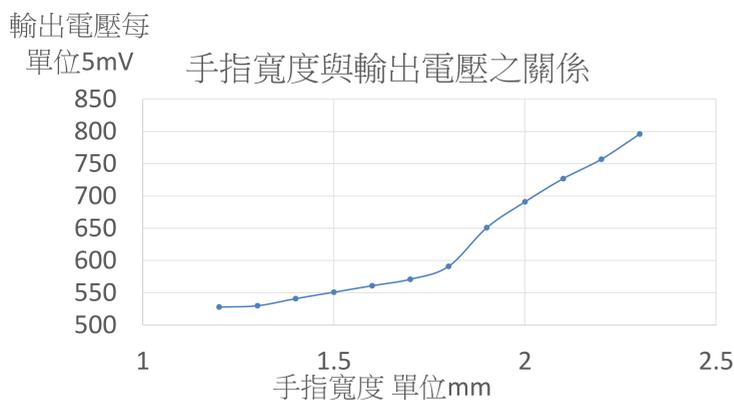
### 優缺點比較

類型	低價格	不需攜帶	不需背記	不易複製	體積
鑰匙鎖	O	X	O	X	O
電子按鈕密碼鎖	O	O	X	O	O
指紋鎖	O	O	O	X	O
指骨鎖	O	O	O	O	X

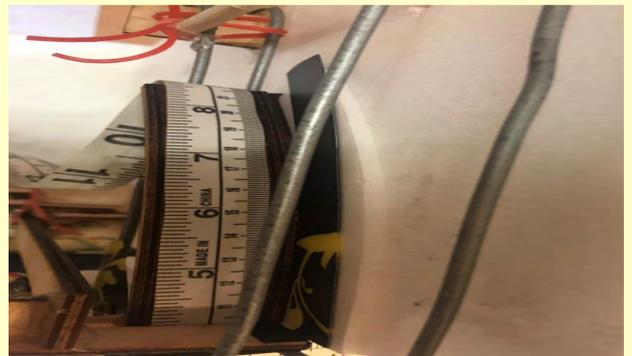
## 十.實際尺寸與輸出電壓之間的關係與改進方向討論



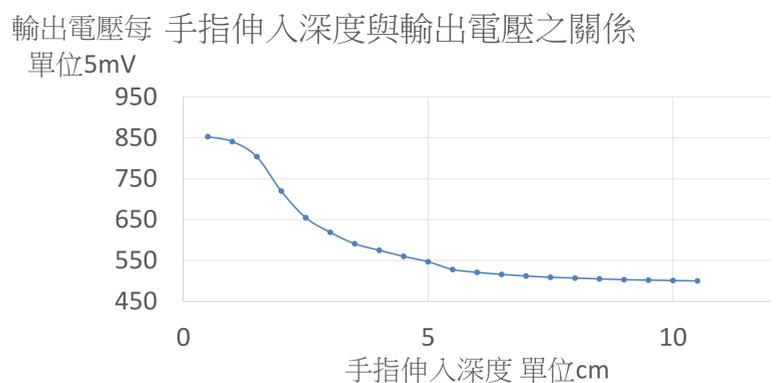
圖：手指寬度與輸出電壓關係的實測方法  
更動雙夾實際距離並紀錄磁場感測器對應的輸出電壓



數據討論:由程式中手指寬度的紀錄數值約落於750~550範圍之間，對應到之手指寬度約為1.5~2.2cm之間，因為數據仍未達最高輸出電壓5V，未來可改變機構或磁鐵方向來提高輸出範圍以提升靈敏度。



圖：手指伸入深度與輸出電壓關係的實測方法  
更動手指伸入的實際深度並紀錄磁場感測器對應的輸出電壓



數據討論:程式中手指伸入深度的數值記錄範圍訂定為750至550，對應到的實際深入深度為2cm到5cm處，共只有採樣3公分的手指深度範圍，未來可以藉由更改機構設計使可測範圍增大以及使各深度處的靈敏度更一致。

## 結論

我們藉由測量100隻手指並且交互比對後，證實以Arduino使用磁場量測的手指骨型也可做為一種鎖具的鑰匙功能，單一手指平均允許誤差設定為5的情形下，FAR為0.4%以及FRR為24%，3隻手指平均允許誤差設定為8的情形下，FAR可降低至0.0003%，能夠達到實用上足夠高的安全性，且此手骨辨識鎖具同時擁有成本低廉與生物特徵不易被複製之優點。