

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(一)科

佳作

082801

讓我們擁抱在雲端－具有線性振動觸感之體感服

學校名稱：臺北市中正區南門國民小學

作者： 小六 曹維恩	指導老師： 林裕森
---------------	--------------

關鍵詞：擁抱、雲端、線性系統

## 摘要

“擁抱”在人際關係中扮演重要的角色，而觸覺經驗常常伴隨著豐沛的情感。本研究之應用核心價值是透過雲端科技，真實地傳遞「情感性的觸覺」。作品在衣服中安裝 Arduino Pro Micro 與 Bluetooth Communication Module，以線性方式控制微型振動馬達陣列的振動，利用手機藍芽連接體感服，透過 4G 或 Wi-Fi 與 Google Firebase 雲端服務連結，即時傳遞與交換控制資料。從實驗統計數據中分析馬達振動與觸覺感受的線性關係，建立具有重複性價值之微型振動馬達的線性系統參數。讓人們除了可以透過文字、語音及影像溝通，也可以透過體感服做遠距離的接觸與互動達到“擁抱”的人際關係。

## 壹、研究動機

SCIENTIFIC AMERICAN 科學人雜誌在 2015 年 165 期有一篇文章“觸覺的情感力量”，文章開頭提到：「觸覺經驗往往伴隨著豐沛的情感，從我們出生開始，就在我們的人際關係中扮演重要角色。」文中詳述科學家如何研究與發現觸覺神經傳導與人類情感的重要關係。

英國一家公司 CUTE CIRCUIT 在 2006 年設計了一件 The-Hug-Shirt 利用手機傳輸觸摸信號與“熱感”來表現擁抱，該公司的另一件 Sound Shirt 則可以提供聽障人士在欣賞音樂演出的同時透過衣服振動獲得不同感受。2012 年美國麻省理工學院科學家 Andy Payne、Phil Seaton，和設計師 Melissa Kit Chow 共同研發出一款只要臉書按讚，就會“充氣”的「擁抱背心」(Like-A-Hug)，讓朋友之間能夠即時傳達關心。不過網站上只有公佈了背心設計概念影片。另外，近年來在遊戲世界中，有好幾件用在娛樂的穿戴裝置，像是 Teslasuit、ARAIG、PrioVR、e-skin、TACTSUIT、Hardlight VR…等。對於體感的表現雖然都不一樣，但這些裝置都有一個明顯而共同的特色，就是他們都是為了遊戲而設計的產品而不是用來溝通與傳達情感。本研究創新發想的“擁抱”體感服有別於以上的文獻與產品。

日常生活中，透過通訊軟體雖然可以說話、傳遞文字訊息或是即時影像。但總是感覺少了些什麼？如果能夠有一個可以遠距離碰觸對方或是“擁抱”的裝置，就算是距離很遙遠依然可以傳達“觸覺情感”的衣服，那就太棒了！在國小自然課中累積了電學的知識，學校也從五年級開始在電腦課教導如何用 Scratch 寫程式，加上從網路上看到創客 Maker 利用 Arduino UNO 做了很多好玩的東西，於是我想到可以用學過的程式語言加上 Arduino 來做一件體感服。

## 貳、研究目的

### 一、研究原理

人體皮膚非常敏感，輕微的振動與觸碰都會有不同的感受。大部份的神經生理學家認為，唯有觸覺刺激的物理性質“種類、強度、大小”傳送至神經系統，經過處理並整合後，情緒才在最後階段加入觸覺認知中。研究指出，適當的觸摸以及肢體接觸，不但對於身心發展有所助益，更能增進人與人之間的情感。

每次玩遊戲時，手機或是遊戲手把在緊要關頭就會振動起來，讓玩遊戲的人感覺緊張又刺激。所以利用多個微型振動馬達製作的陣列模組，用來傳遞身體的觸覺感受，並將心情及感動的情緒讓遠端的使用者知道，透過穿戴裝置可以將「情感性觸覺」傳達出去。

關於體感服的未來可以實現多方面應用，包括遊戲、虛擬約會、保健、教育、長照、運動鍛煉、科學研究、工程、心理學和真實場景模擬等等方面。

### 二、研究目標

研究如何製作一件體感服，並且透過雲端資料的交換，與遠端的使用者即時互動，共分為九大項目如下：

- (一) 研究振動馬達的原理與種類
- (二) 研究如何控制扁平振動馬達
- (三) 探討振動馬達通電時間與振動感受的線性關係
- (四) 探討線性振動控制與人體感受，實驗與問卷調查
- (五) 探討人體部位對於振動的辨識度，實驗與問卷調查
- (六) 探討手機與 Arduino UNO 透過藍芽連接的方法與實驗
- (七) 研究手機在雲端資料交換的方法與實驗

- (八) 體感服的模擬器設計與測試
- (九) 實際體感服的製作與 APP 測試

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗材料

- (一) 扁平振動馬達 x80
- (二) Arduino UNO x1
- (三) SparkFun Pro Micro x4
- (四) 馬達驅動模組(ULN2803) x8
- (五) 藍芽模組(HC-06) x2
- (六) 電源轉換模組 x2
- (七) LED 模組
- (八) 行動電源 x2
- (九) 衣服 x2
- (十) 電阻、電線、焊錫絲、EVA 海綿墊、魔鬼沾、熱熔膠、瞬間接著劑

### 二、實驗軟體與雲端資料庫

- (一) ARDUINO IDE 1.8.5 ( <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> )
- (二) mBlock ( <http://www.mblock.cc/mblock-software/> )
- (三) MIT App Inventor 2 ( <http://appinventor.mit.edu> )
- (四) Google Firebase ( <https://console.firebase.google.com/> )
- (五) Microsoft Excel

### 三、實驗設備與工具

- (一) Android 手機 x2
- (二) 筆記型電腦 x1
- (三) USB 行動電源 x2
- (四) 烙鐵 x1
- (五) 打孔器、美工刀、剪刀、鉗子、起子

## 肆、研究過程與方法

### 研究過程與方法之流程圖與說明



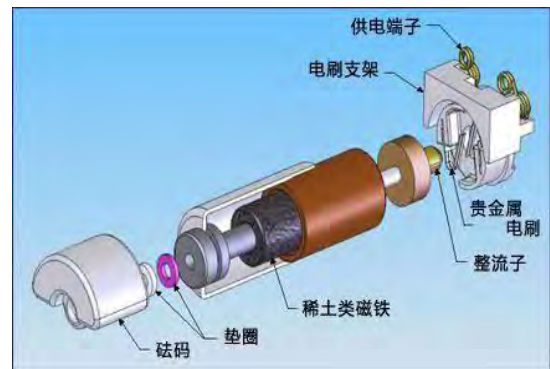
## 研究一、研究振動馬達的原理與種類

(一) 原理： 微型振動馬達已經被大量的使用在醫療、汽車、消費以及工業產品上。目前市面上的微型振動馬達常見的主有兩種類型，一種是長條形的，一種則是扁平式的，兩者雖然在形狀有些許差異，但基本原理基本都是一致，也就是通過電機轉動帶動凹輪轉動，從而產生離心力，而離心力快速的變動導致整個馬達都在快速的抖動，最終帶動手機或遊戲手把整體振動。另外還有一種叫做線性共振驅動器 LRA (linear resonant actuator)，但是控制起來很困難，並不是像一般馬達一樣通電就會動，所以暫時不列入研究。

### (二) 種類：

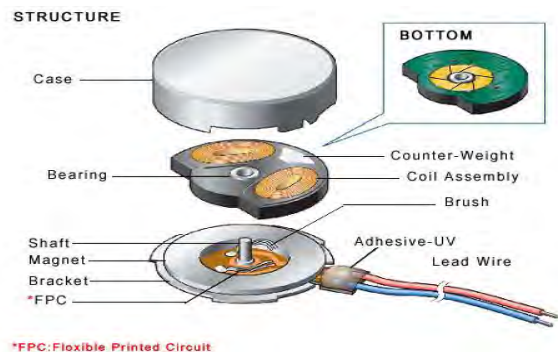
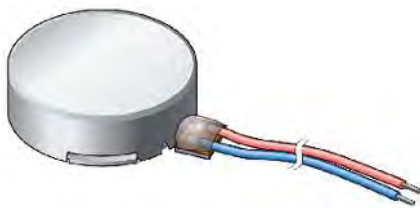
1. 長條形微型振動馬達原理：早期主要用於手機，現在用途非常廣泛，當馬達通電之後，馬達開始轉動，帶動砝碼轉動，由於砝碼重心並不居中，受到離心力的作用，整個馬達開始快速抖動，從而帶動手機振動。

<圖>長條形振動馬達實體與構造分解圖



2. 扁平式微型振動馬達原理：主要用於手機，是屬於直流有刷電機，馬達軸上面有一個偏心輪，當馬達轉動的時候，偏心輪的圓心重心不在電機的轉心上，使得馬達處於不斷的失去平衡狀態，由於慣性作用引起振動。

<圖>扁平振動馬達實體與構造分解圖



### (三) 研究發現：

考慮到必須要安裝到衣服上面，體積、包裝與固定方式是目前選擇的重點，所以審慎評估之後，選擇扁平式振動馬達作為體感服的振動元件。



## 研究二、研究如何控制扁平式微型振動馬達

### (一) 實驗方法與說明：

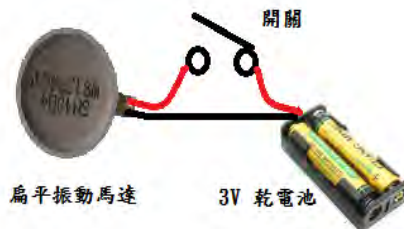
1. 安裝 ARDUINO IDE 1.8.5 與 mBlock 以及 USB 驅動程式到電腦。
2. 透過筆記型電腦的 USB 連接 Arduino UNO 並確認連線是否正常。
3. 查詢馬達的資料，發現馬達需要的電流比較大，而 Arduino UNO 數位輸出最大僅 40mA，所以不能直接驅動馬達，必須經過驅動模組才能避免 Arduino UNO 因電流過大而燒毀。所以選擇常見的 ULN2803 驅動模組，來驅動微型振動馬達。

項目/Item	規格/Specification	條件/Condition
4-1 額定轉速 Rated speed	12000±2500rpm	額定電壓下 At rated voltage
4-2 額定電流 Rated current	80mA Max	
4-3 起動電流 Starting current	120mA Max	

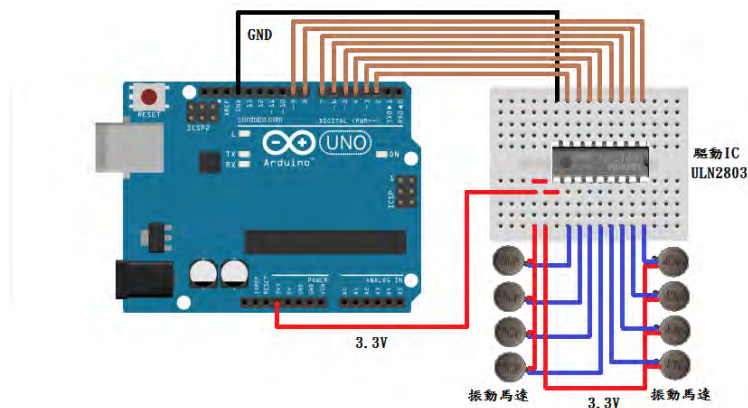
<表格> 扁平振動馬達 1034 規格 (廠商提供資料中節錄)

### (二) 微型振動馬達控制電路設計與製作：

1. 控制原理如下圖，當馬達連接，按下開關即可讓馬達通電振動。



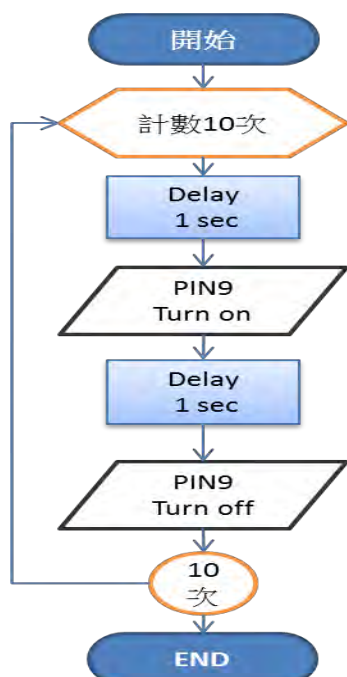
2. 依照原理將振動馬達如下圖連接，透過馬達驅動模組(IC)讓馬達振動。



<圖> Arduino UNO 連接線路

### (三) 微型振動馬達的控制軟體設計：

1. 開啟馬達振動時間設定為 1 秒，關閉的時間也是設定為 1 秒。
2. 開啟與關閉的次數設定為 10 次。
3. 繪製程式流程圖。
4. 在電腦上使用 mBlock 軟體來設計控制馬達開關動作並設定動作的時間。



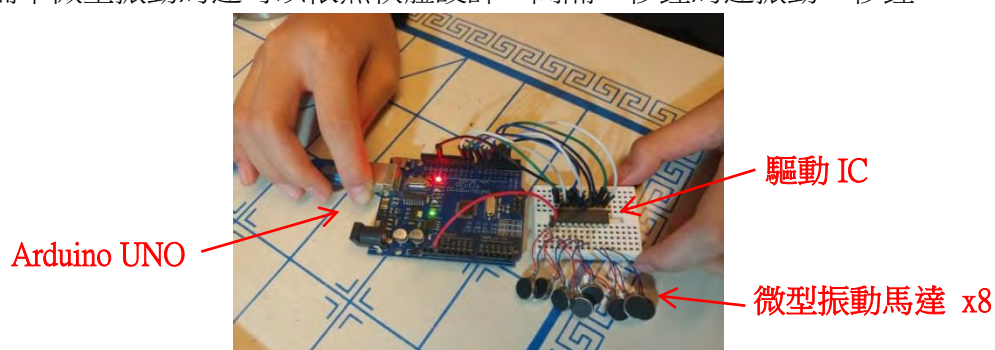
<圖> 程式流程圖



<圖> Arduino UNO 振動馬達控制程式

### (四) 微型振動馬達的控制實驗：

1. 將寫好的軟體透過電腦 USB 上傳到 Arduino UNO 的板子。
2. 扁平微型振動馬達可以依照軟體設計，間隔一秒鐘馬達振動一秒鐘。



<照片> 依照原理圖將振動馬達連接，透過馬達驅動 IC 讓馬達振動

### (五) 實驗發現：

1. 微型馬達可以依照軟體設定的時間準確開啟與關閉，**改變時間**會影響**振動感受**。
2. 改變軟體中“數位腳位”的數字就可以控制不同的馬達振動。



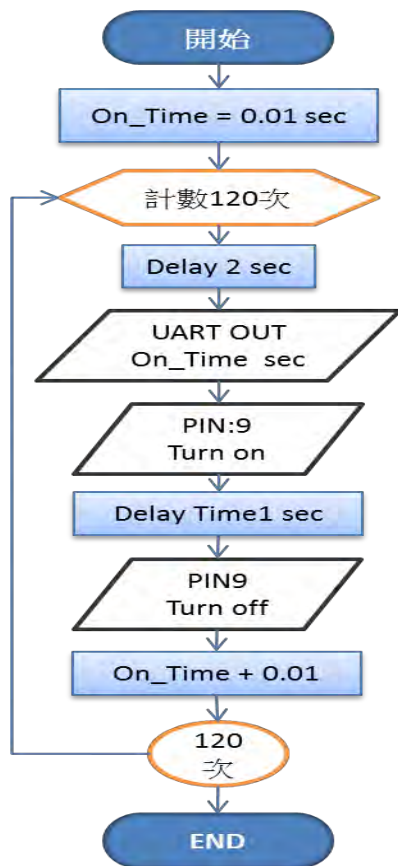
### 研究三、探討振動馬達通電時間與振動感受的線性關係

#### (一) 實驗方法與說明：

1. 使用上一個「控制扁平式振動馬達實驗」的控制線路。
2. 用 mBlock 寫一個可以控制振動馬達通電時間的程式。
3. 尋找 20 位受測者對於馬達通電時間與振動反應感受實驗。
4. 統計分析實驗記錄，取得通電時間與振動反應感受的線性關係。

#### (二) 微型振動馬達的控制軟體設計：

1. 通電時間從 0.01 秒開始增加，每次增加 0.01 秒，累加到 1.20 秒結束。
2. 間隔 2 秒開啟一次振動。



<圖> 程式流程圖



<圖> Arduino UNO 振動馬達控制程式

#### (三) 通電時間與振動反應感受實驗：

1. 尋找 20 位受測者對於馬達通電時間與振動反應感受實驗
2. 每一次測試通電時間從 0.01 秒到 1.2 秒為止，每增加 0.01 秒，間隔 2 秒開啟。
3. 振動強度分為五個階段，請受測人辨識“微、輕、中、高、強”的振動強度。

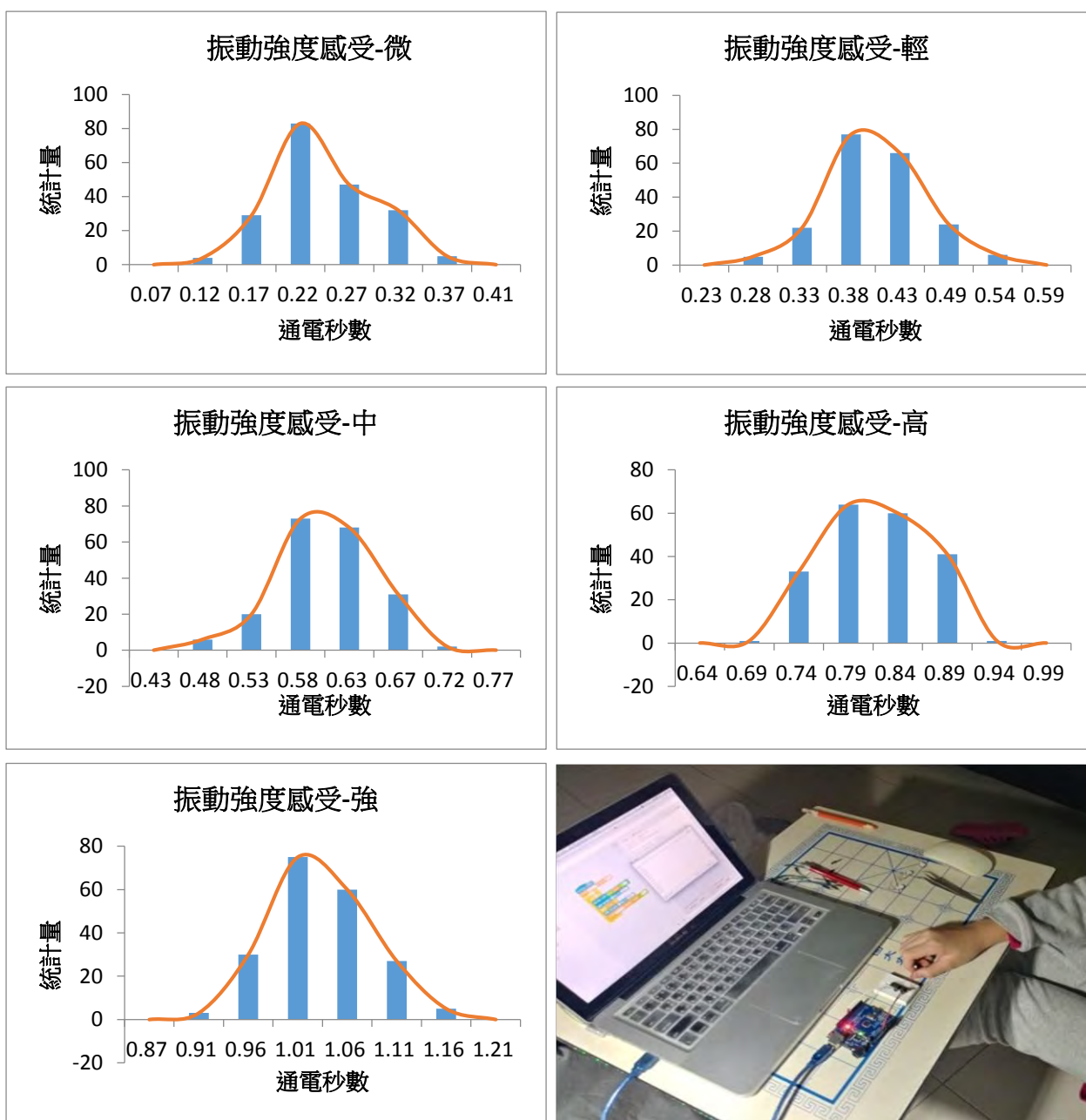
4. 根據統計人類的平均反應時間為 0.2 秒到 0.25 秒，為避免反應時間的取樣誤差，每位受測者接受 10 次循環測試，由操作人記錄受測者的感受與當時秒數。

5. 實驗記錄完成共有效資料共有 200 筆，統計如下： (單位：秒)

振動強度	微	輕	中	高	強
最小值	0.08	0.23	0.45	0.68	0.89
最大值	0.36	0.52	0.70	0.90	1.16
平均值	0.22	0.38	0.58	0.79	1.01

#### (四) 實驗記錄分析：

1. 分析實驗記錄之 200 筆有效資料，分別依振動強度感受統計馬達的通電秒數如下：

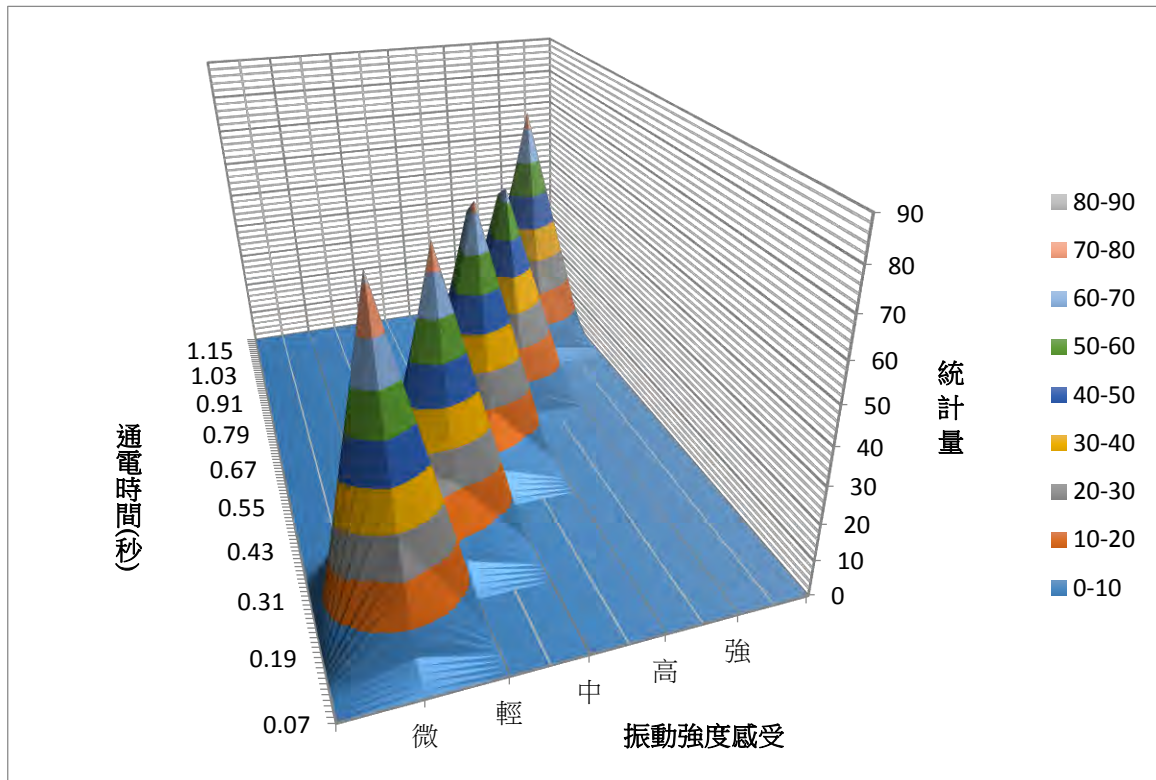


<圖>分別依振動強度的感受統計圖(共五張)

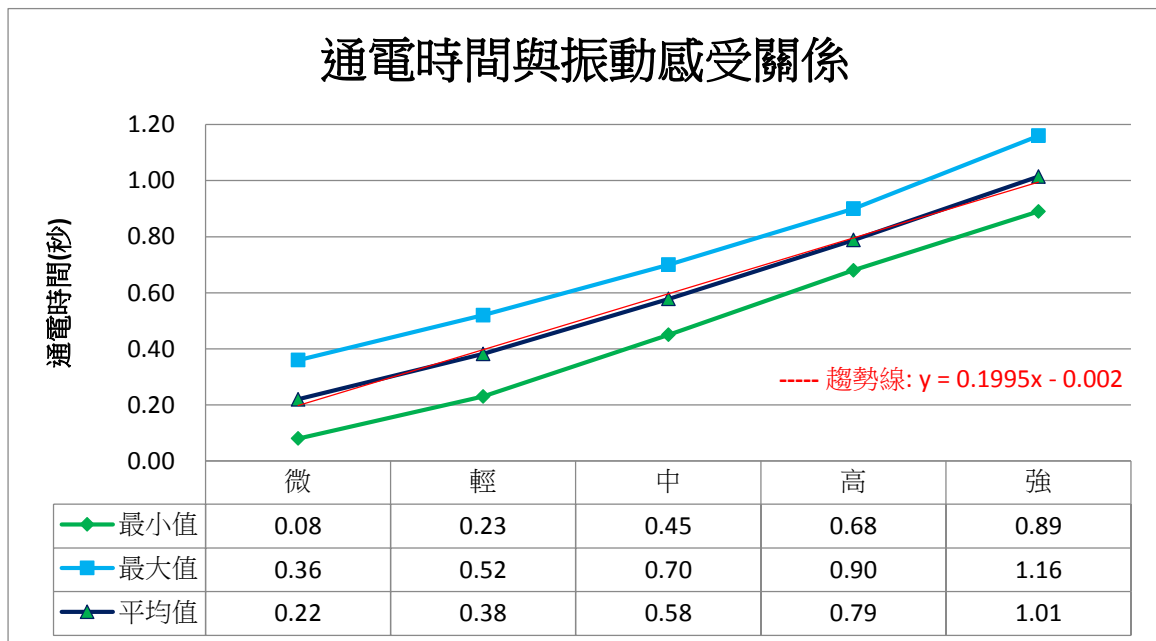


<照片>操作者的實驗準備

2. 通電時間與振動感受，彙整統計分析資料的等高線圖



3. 繪出分析數據與線性趨勢



(五) 實驗發現：

1. 利用 Excel 試算表得到線性趨勢線的公式為  $y = 0.1995x - 0.002$ 。x=強度，y=時間
2. 因截距 0.002 在誤差範圍內，故其線性方程式接近  $y = 0.2x$ ，其物理意義表示無通電時即無振動感受，所以接下來研究過程採用  $y = 0.2x$  來控制馬達振動強度。

## 研究四、探討線性振動控制與人體感受，實驗與問卷調查

### (一) 實驗方法與說明：

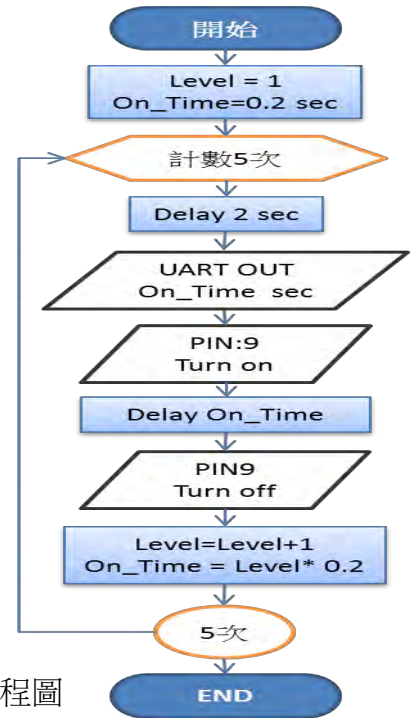
1. 使用「控制扁平式振動馬達實驗」的控制線路。
2. 根據上個實驗的結論  $y = 0.2x$ ，通電時間線性參數為 0.2，振動強度從 Level = 1 開始，累加到 Level = 5 結束，間隔 2 秒重新開啟一次振動馬達。
3. 每個人對振動的感受不同，請 20 個同學感受振動，並記錄輕重感受分五級。
4. 實驗記錄分析

### (二) 微型振動馬達的控制軟體設計：

通電時間線性參數為 0.2，振動強度 Level 從 1 開始，累加到 Level = 5 結束，間隔 2 秒開啟一次振動馬達。



<圖左> 微型振動馬達控制程式



<圖右> 程式流程圖

### (三) 通電時間與振動反應感受實驗：

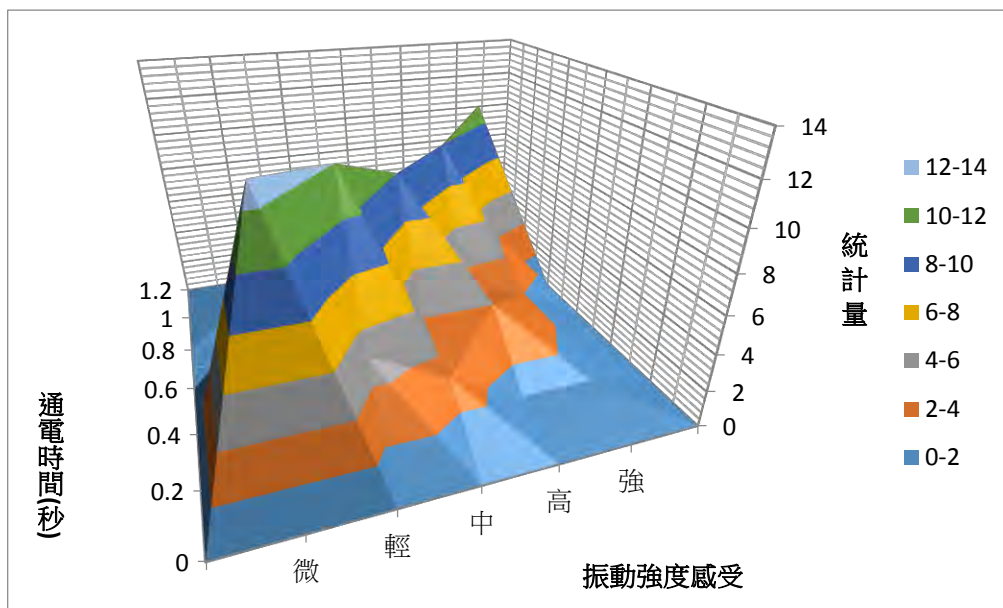
每個人對振動的感受不同，請 20 個同學感受振動，並記錄輕重感受分五級。

感受 振動秒數	微小	輕	中	高	強
Level=1: 0.2s	13	6	0	0	1
Level=2: 0.4s	5	12	2	0	1
Level=3: 0.6s	3	4	10	2	1
Level=4: 0.8s	1	4	3	10	2
Level=5: 1.0s	1	2	2	4	11

(單位：人)



(四) 實驗記錄分析：根據實驗的記錄統計繪製等高線圖。



(五) 實驗發現：

1. 從分析圖形可以看出來，大多數的受測者可以分辨間隔 0.2 秒振動強度的差異。
2. 驗證線性公式  $y = 0.2x$  強度控制可以被多數人清楚分辨。

#### 研究五、探討人體部位對於振動的辨識度，實驗與問卷調查

(一) 實驗方法與說明：

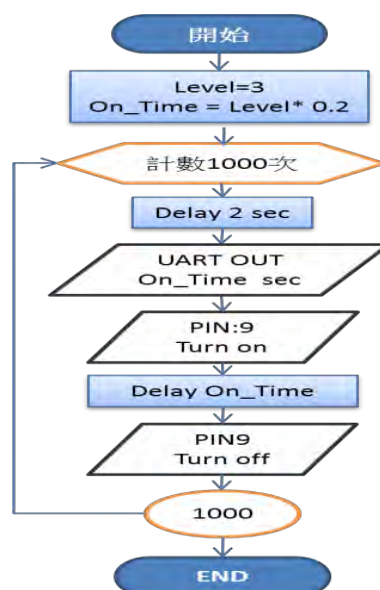
1. 使用「控制扁平式振動馬達實驗」的控制線路。
2. 修改上個實驗寫的程式。振動強度設定為 Level = 3，間隔 2 秒振動一次。
3. 每個人對振動的感受不同，身體各部位的感受也不一樣，請男、女同學各 10 個分別感受振動，並提出輕重感受分五級與喜歡、不喜歡測試部位的振動。

(二) 微型振動馬達的控制軟體設計：

振動強度設定為 Level = 3，間隔 2 秒振動一次。

```

Arduino 主程式
將變數 level 的值設為 3
將變數 on_time 的值設為 level * 0.2
重複 1000 次
  等待 2 秒
  串口寫入文字 合併 on_time 和 sec
  設置 數位腳位 9 輸出為 高電位
  等待 on_time 秒
  設置 數位腳位 9 輸出為 低電位
  
```



### (三) 身體各部位與振動反應感受實驗：

每個人對振動的感受不同，身體各部位的感受也不一樣，請男、女同學各 10 個分別感受振動，並提出輕重感受分五級與喜歡、不喜歡測試部位的振動。

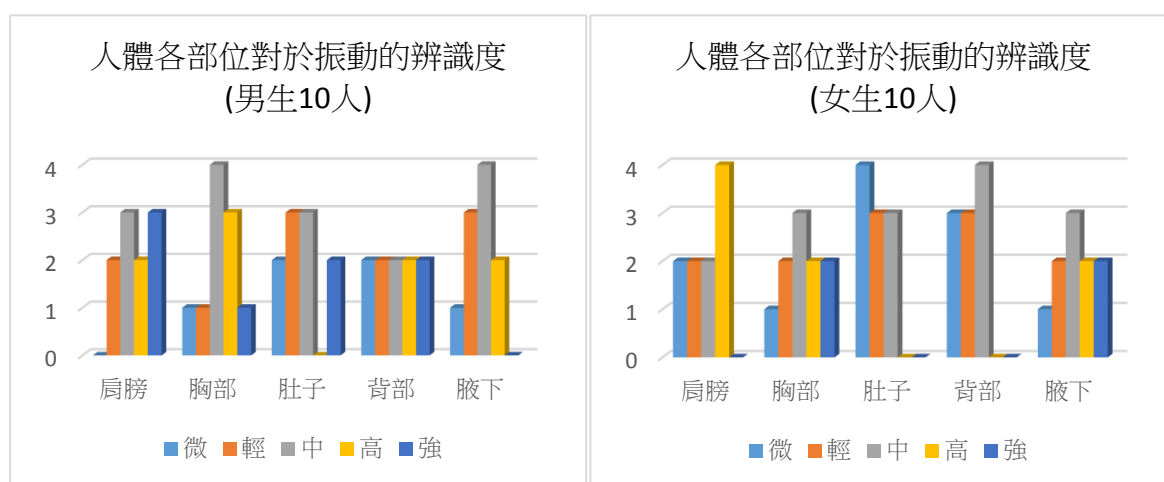
<表>男生各部位對於振動的辨識度與感受調查記錄表 (單位：人)

(男)感受 身體部位	微	輕	中	高	強	感受 喜歡	感受 不喜歡
肩膀	0	2	3	2	3	9	1
胸部	1	1	4	3	1	8	2
肚子	2	3	3	0	2	8	2
背部	2	2	2	2	2	8	2
腋下	1	3	4	2	0	7	3

<表>女生各部位對於振動的辨識度與感受調查記錄表 (單位：人)

(女)感受 身體部位	微	輕	中	高	強	感受 喜歡	感受 不喜歡
肩膀	2	2	2	4	0	8	2
胸部	1	2	3	2	2	6	4
肚子	4	3	3	0	0	7	3
背部	3	3	4	0	0	8	2
腋下	1	2	3	2	2	6	4

### (四) 實驗記錄分析： 根據實驗的記錄統計繪製統計圖如下：



### (五) 實驗發現：

1. 透過問卷我們發現不管男生還是女生對於肩膀的感受普遍比較明顯。
2. 調查中發現背部的感受也是普遍比較明顯，比較能被接受。
3. 少部份人對於腋下的反應較差。而部分女生不喜歡胸部與肚子的振動。



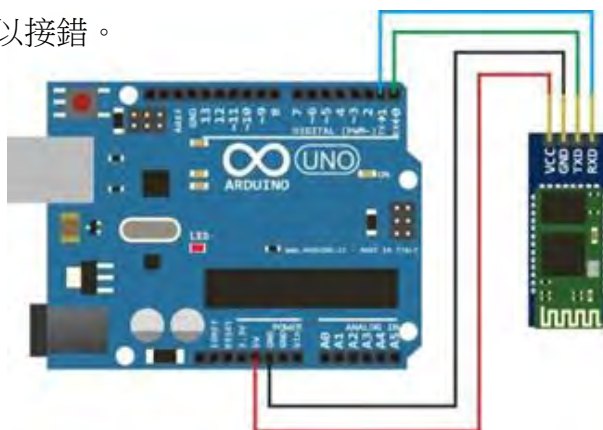
## 研究六、探討手機與 Arduino UNO 透過藍芽連接的方法與實驗

### (一) 實驗方法與說明：

1. 本實驗使用手機並透過 HC-06 藍芽模組來控制 Arduino UNO 上面的 LED(13)亮滅。
2. 在電腦上使用 mBlock 軟體來設計控制 Arduino UNO 板子上 LED 動作
3. 使用 MIT AI2 來製作手機端的軟體
4. 手機與 Arduino UNO 透過藍芽通訊裝置連線並控制 LED 開/關實驗

### (二) Arduino UNO 與 HC-06 藍芽模組電路設計與製作：

1. 模組有四條線要連接，是電源正(5V)、源負(GND)、串口輸入(RX)與串口輸出(TX)。
2. Arduino UNO 與藍芽模組的串口資料是交叉連線 TX(板端)-RX(模組)、RX(板端)-TX(模組)，不可以接錯。



<圖> 依照原理將藍芽模組如上圖連接，透過手機 APP 開關 Arduino UNO 的 LED

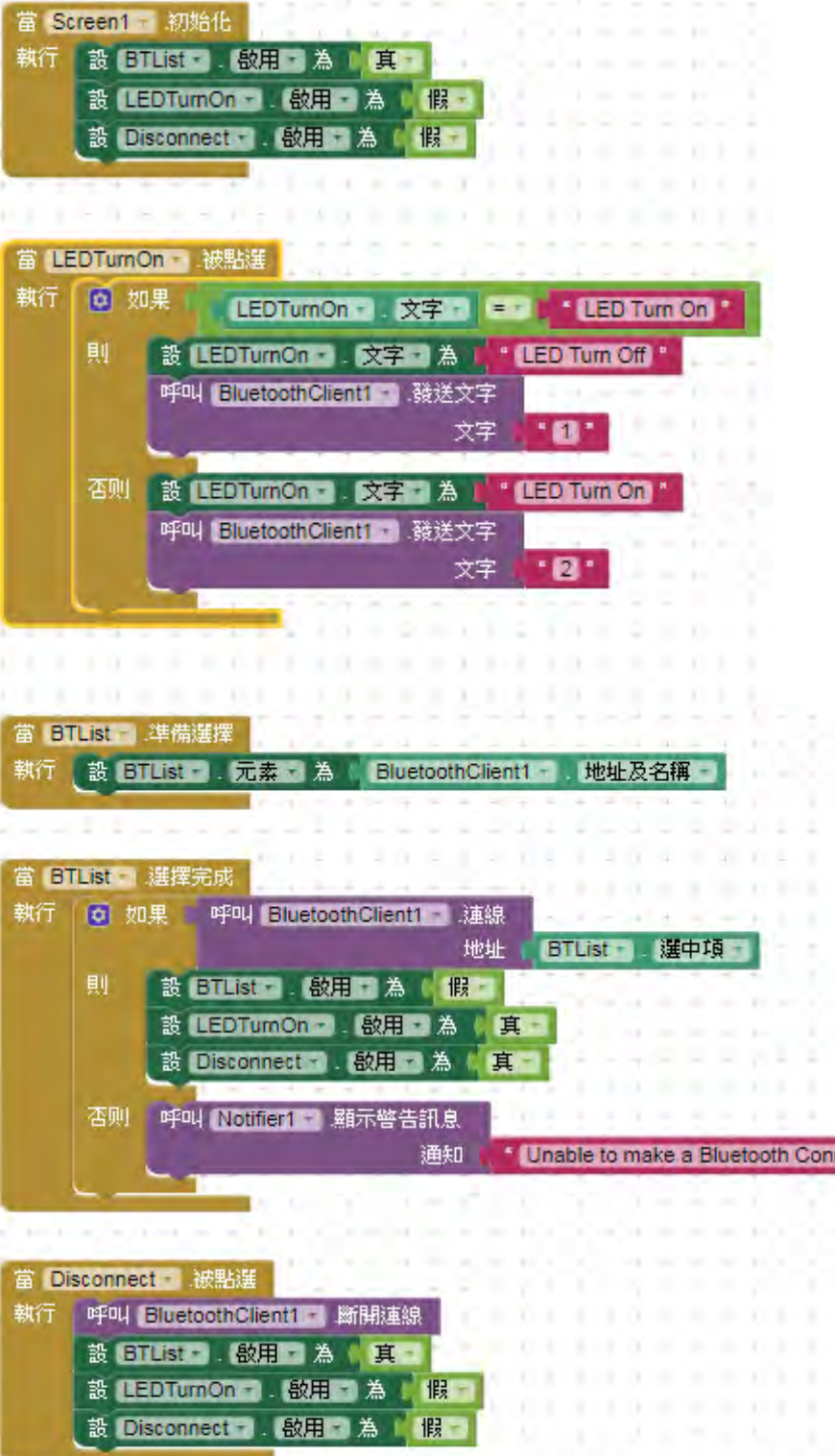
### (三) Arduino UNO 控制軟體設計：

1. 為了測試利用藍芽與串口通訊，簡單的每次只從串口取一個字節。
2. 設計資料規則，當資料送”1”的時候點亮 LED，資料送”2”的時候熄滅 LED。



(四) 手機 APP 軟體設計： 使用 MIT AI2 來製作手機端的軟體

1. BTLIST 從手機上取得已經完成配對的藍芽裝置資料。
2. LED Turn On/Off 將 LED 控制命令 “1” (開) 或 “2” (關) 透過手機的藍芽送出。
3. Disconnect 是切斷手機與模組間的藍芽連線。

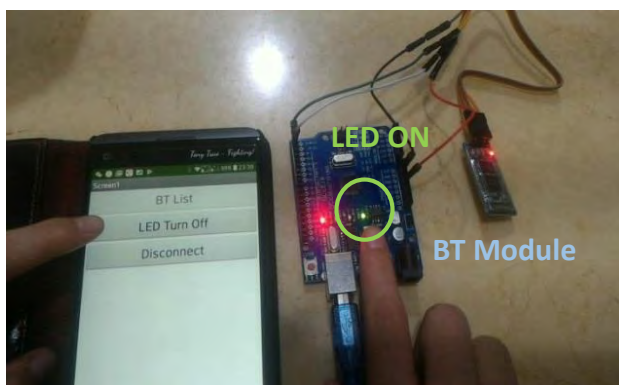
程式內容	程式說明
 <p>當 Screen1 初始化</p> <p>執行 設 BTLIST 啟用 為 真      設 LEDTurnOn 啟用 為 假      設 Disconnect 啟用 為 假</p> <p>當 LEDTurnOn 被點選</p> <p>執行 如果 LEDTurnOn 文字 = "LED Turn On"      則 設 LEDTurnOn 文字 為 "LED Turn Off"      呼叫 BluetoothClient1 發送文字 文字 "1"      否則 設 LEDTurnOn 文字 為 "LED Turn On"      呼叫 BluetoothClient1 發送文字 文字 "2"</p> <p>當 BTLIST 準備選擇</p> <p>執行 設 BTLIST 元素 為 BluetoothClient1 地址及名稱</p> <p>當 BTLIST 選擇完成</p> <p>執行 如果 呼叫 BluetoothClient1 連線 地址 BTLIST 選中項      則 設 BTLIST 啟用 為 假      設 LEDTurnOn 啟用 為 真      設 Disconnect 啟用 為 真      否則 呼叫 Notifier1 顯示警告訊息 通知 "Unable to make a Bluetooth Connection"</p> <p>當 Disconnect 被點選</p> <p>執行 呼叫 BluetoothClient1 斷開連線      設 BTLIST 啟用 為 真      設 LEDTurnOn 啟用 為 假      設 Disconnect 啟用 為 假</p>	<p>(1) APP 螢幕初始化： 藍芽成功連線前，只會顯示藍芽連線按鈕，其他按鈕均關閉顯示。</p> <p>(2) LED ON/OFF 按鈕： 如果現在 LED 按鈕是顯示“LED Turn On”，則透過藍芽送出“1”，並將按鈕文字改成“LED Turn Off”；反之，如果按鈕是顯示“LED Turn Off”，則透過藍芽送出“2”，並將按鈕文字改成“LED Turn On”。</p> <p>(3) 藍芽連線按鈕： 列出可以連線的藍芽裝置，選擇後連線。</p> <p>(4) 藍芽連線狀態判斷： 選擇連線裝置後，判斷成功則啟用 LED 按鈕與中斷藍芽連線按鈕；藍芽連線失敗則顯示警告訊息</p> <p>(5) 藍芽連線中斷按鈕： 結束藍芽連線，並關閉藍芽連線以外的按鈕顯示</p>

### (五) 手機與 Arduino 透過藍芽裝置連線控制實驗：

1. 將本實驗第一項接好的 Arduino UNO 接上電源，藍芽模組的燈號閃爍。
2. 下載 MIT AI2 將寫好的 APP 安裝到手機上。
3. 打開手機的藍芽設定，藍芽模組必須先在手機上完成配對〈密碼是 1234〉。
4. 開啟 APP，按下 BT List 找到藍芽模組的名稱，並按下名稱確認連線。
5. 成功連線後，藍芽模組的燈號會從閃爍變成恆亮。
6. 按下手機 APP “LED Turn On” 按鈕，板子上 LED 亮起。
7. 按下手機 APP “LED Turn Off” 按鈕，板子上 LED 熄滅。
8. 按下手機 APP “Disconnect” 按鈕，中斷藍芽連線，藍芽模組的燈號恢復閃爍。
9. 本實驗的藍芽模組連線與控制測試成功。



<圖> 手機與藍芽連線成功



<圖> 透過手機點亮與關閉 LED

### (六) 實驗發現：

1. 藍芽模組必須先與手機完成配對，APP 才能找得到藍芽裝置名稱。
2. 手機與藍芽裝置連線與控制實驗成功，表示控制裝置可以無線傳輸。

## 研究七、研究手機在雲端資料交換的方法與實驗

### (一) 實驗方法與說明：

1. Firebase 資料庫簡介： (<https://firebase.google.com/>)
  - (1) 成立於 2011/9 月， 2014 年被 google 買下。
  - (2) 免費方案：同時 100 個連線，有 1GB 容量與 10GB 流量限制
  - (3) 可以與很多程式連結使用，像是 MIT App Inventor2、Webduino、python...
2. 註冊 Firebase 資料庫，可以使用現有的 Gmail 帳戶申請後立即可進入。



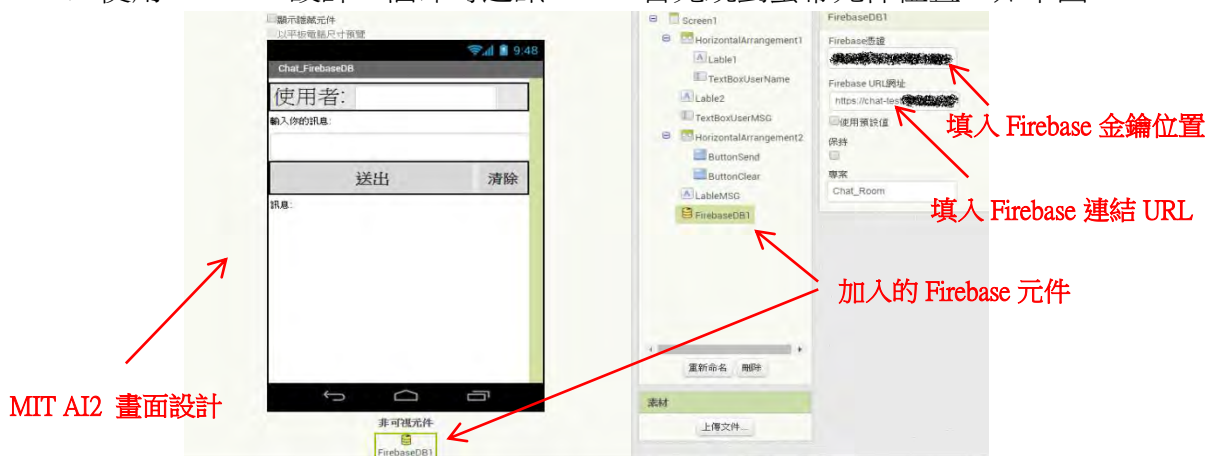
- 首先在 Firebase 上建立新專案，並將使用規則設定為開放( True )，取得資料庫的網址與網路憑證(金鑰)以後，就可以開始使用資料庫了(方法詳見 Firebase 網站)。



- 使用 MIT AI2 設計一個即時通訊 APP，並研究雲端資料交換的方法。

## (二) 手機即時通訊 APP 設計與實驗：

- 使用 MIT AI2 設計一個即時通訊 APP，首先規劃螢幕元件位置，如下圖：



- 加入 Firebase 元件後，將憑證(金鑰)與連接資料庫的 URL 網址填入。
- 建立使用者的名稱欄位，輸入使用者姓名，用來建立與辨識訊息資料。
- 輸入訊息文字框：用來輸入將傳送至雲端的訊息。
- 送出按鈕：“Button Send” 傳送訊息，將訊息上傳到 FirebaseDB1。
- 訊息視窗：用來顯示資料庫即時狀態，當 FirebaseDB1 資料變動，就立刻顯示訊息。
- 清除按鈕：“Button Clear” 清除 FirebaseDB1 的訊息，其實是填入“空字串”。



8. 即時通訊 APP 的程式內容與說明如下：

程式內容	程式說明
 <p>初始化全域變數 name 為 " " </p> <p>初始化全域變數 message 為 " " </p> <p>初始化全域變數 chat_data 為 " " </p> <p>當 ButtonSend 被點選 執行 設置 global name 為 TextBoxUserName 文字 設置 global message 為 TextBoxUserMSG 文字 設置 global chat_data 為 合併文字 取 global name " " 取 global message " " LableMSG 文字 呼叫 FirebaseDB1 儲存數值 標籤 " message " 儲存值 取 global chat_data</p> <p>當 FirebaseDB1 資料改變 標籤 value 執行 設 LableMSG 文字 為 取 value 呼叫 Screen1 隱藏鍵盤</p> <p>當 ButtonClear 被點選 執行 設 LableMSG 文字 為 " " " 呼叫 FirebaseDB1 儲存數值 標籤 " message " 儲存值 " " "</p>	<p>(1)設置變數：使用者名稱</p> <p>(2)設置變數：即時訊息</p> <p>(3)設置變數：聊天字串</p> <p>(4)建立、寫入訊息： 當“送出”按鈕按下，將使用者名稱與輸入訊息合併為聊天字串，接著連接雲端資料庫，將資料寫入資料庫。</p> <p>(5)讀取即時訊息： 當發現雲端資料庫有資料改變時，將雲端資料讀取回來，並顯示在即時訊息的文字視窗，同時螢幕如果有顯示輸入鍵盤，就隱藏起來，以免遮住訊息視窗。</p> <p>(6)刪除即時訊息： 當“清除”按鈕按下，將即時訊息的文字視窗內容全部清除，並把空字串寫入雲端資料庫中。</p>

(三) 實驗發現：

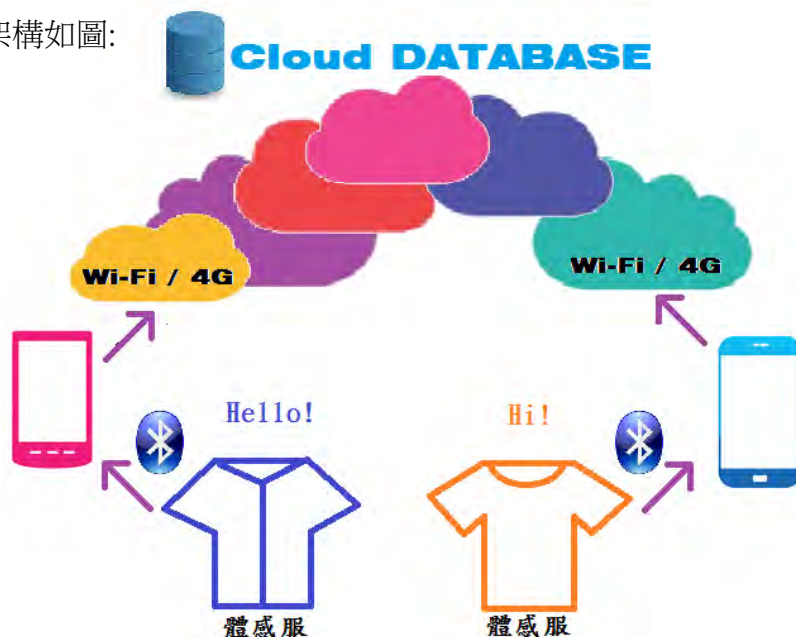
1. 經過手機聊天 APP 實際測試，雲端 Firebase 資料可被寫入、取出與清除。
2. 可以從電腦瀏覽器觀察 Firebase 資料的即時變化。
3. 從實驗中成功將手機透過雲端交換資料，藉由 Firebase 打開通往世界的大門。

## 研究八、體感服的模擬器設計與測試

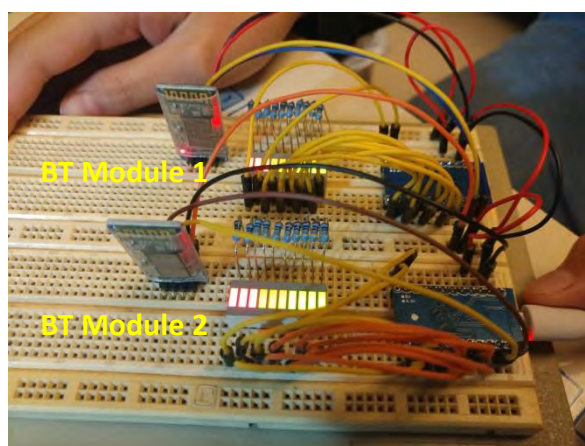
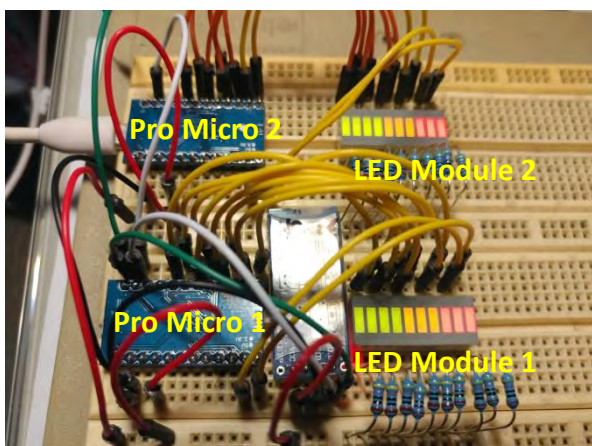
### (一) 實驗說明與體感服模擬器製作：

1. 經過第一項到第七項的實驗，我們將前面的實驗結果在這個過程全部整合起來。

整個架構如圖：



2. 首先要解決 Arduino UNO 的板子體積太大，因為要放進衣服裡面，所以重新上網找到一個與 UNO 接近的板子叫做 Pro Micro ( SparkFun )，解決了體積的問題。
3. 體感服的模擬器線路一共接了二組，可以模擬二套衣服溝通的狀況，暫時用 LED 模組代替振動馬達，以 LED 亮暗代表振動，每組共使用了 10 個數位腳位。



4. 軟體分成二個部分，一個是 Arduino Pro Micro 的部分，一個是手機端的部分。

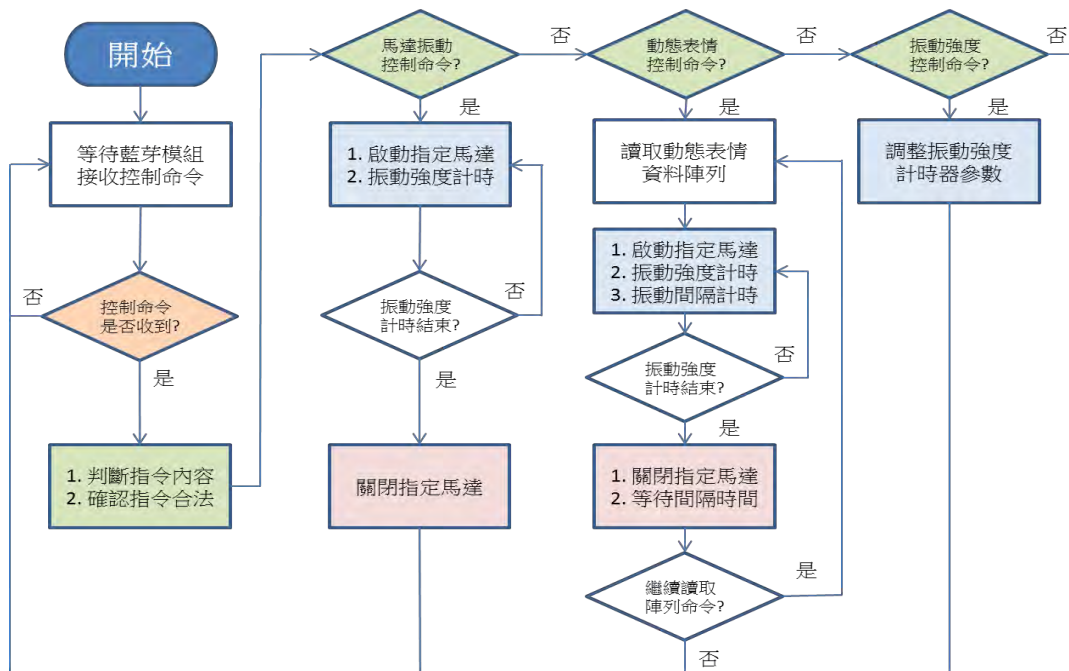
### (二) Arduino Pro Micro 控制軟體設計：

1. 程式與實驗六接近，為了避免傳輸資料錯誤，所以每個命令前面多加一個“#”字號，後面帶一個數字就是振動馬達編號，例如: #2 表示開啟編號 2 的振動馬達。



2. Pro Micro 的部分，先用 mBlock 寫好架構，再用 Arduino IDE 來修改部分內容。

3. 程式流程圖如下：



4. 指令部分的程式，“#”開啟馬達、“!”強制關閉

```

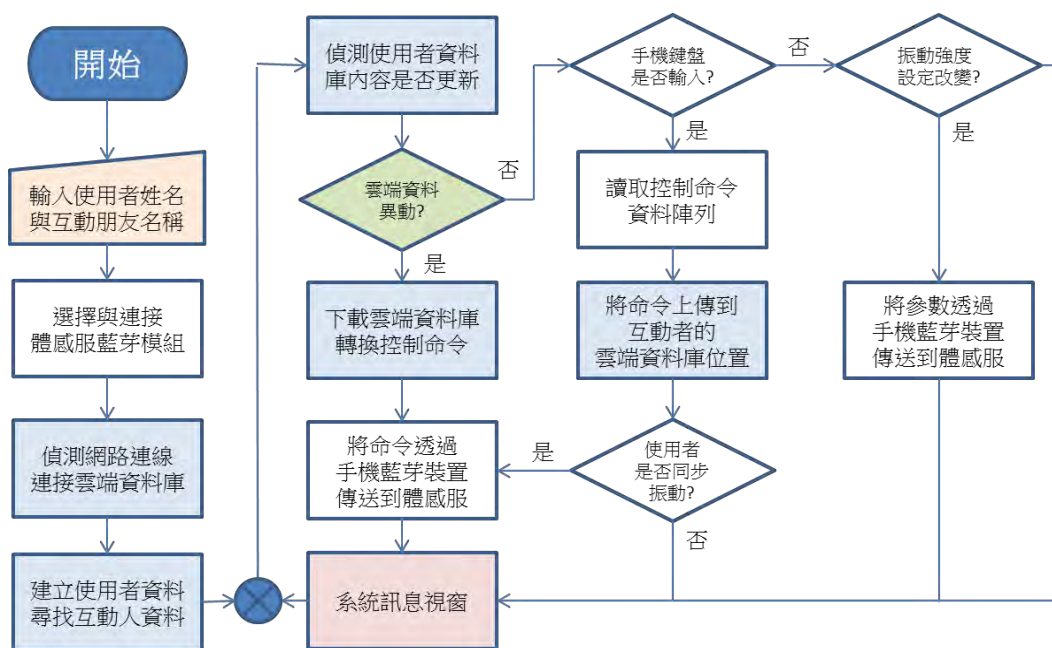
void loop() {

  t.update();

  if (Serial1.available() > 0) {
    char inChar = (char)Serial1.read();
    if ((inChar == '\r' || inChar == '\n')) {
      if (command.length() > 0) {
        Serial1.print(command);
        if (command.startsWith("#")) {
          uint8_t channel = command.substring(1).toInt()-def_io;
          if (channel < channels) {
            action = on_actions[channel];
            on_times[channel] = update_times;
            Serial1.println();Serial1.print("$"); Serial1.print(channel+def_io);Serial1.print(",1");
          }
        }
        else if (command.startsWith("!")) {
          uint8_t channel = command.substring(1).toInt()-def_io;
          if (channel < channels) {
            action = off_actions[channel];
            on_times[channel] = 0;
            Serial1.println();Serial1.print("$"); Serial1.print(channel+def_io);Serial1.print(",0");
          }
        }
      }
    }
  }
}
  
```

### (三) 手機 APP 軟體設計：

1. 手機端的部分是結合實驗六與實驗七的部分，把連線雙方的姓名與資料即時記錄到雲端，確保控制振動馬達的命令可以傳達到對方。
2. 當雲端資料庫有任何變動，立刻透過藍芽將控制信號傳到體感服的控制模組上。
3. 程式流程圖如下：



### (四) 體感服模擬器實驗操作：

1. 因為要安裝到二支手機，所以利用 MIT AI2 將 APP 以 APK 方式製作安裝檔案。
2. 手機安裝 APP，依照步驟與藍芽連線，每隻手機連接上一組模擬控制電路，分別可以控制對方模擬電路的 LED 燈號。

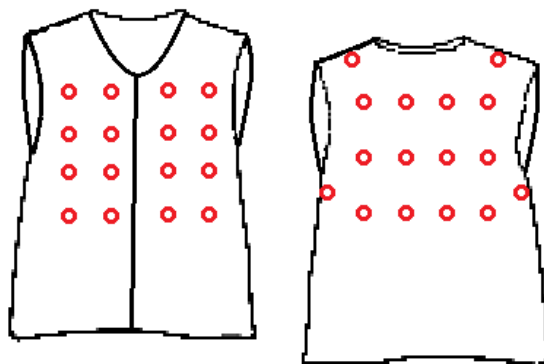
### (五) 實驗發現：

1. 模擬器的實驗驗證通訊與控制的架構與線路設計已經完成。
2. 使用模擬器採用 LED 顯示，不需要去尋找振動位置，可以快速驗證程式的問題。
3. 完成這個模擬器的實驗，整個通訊與控制的架構已經全部完成。

## 研究九、實際體感服的製作與 APP 測試

### (一) 實作方法與說明：

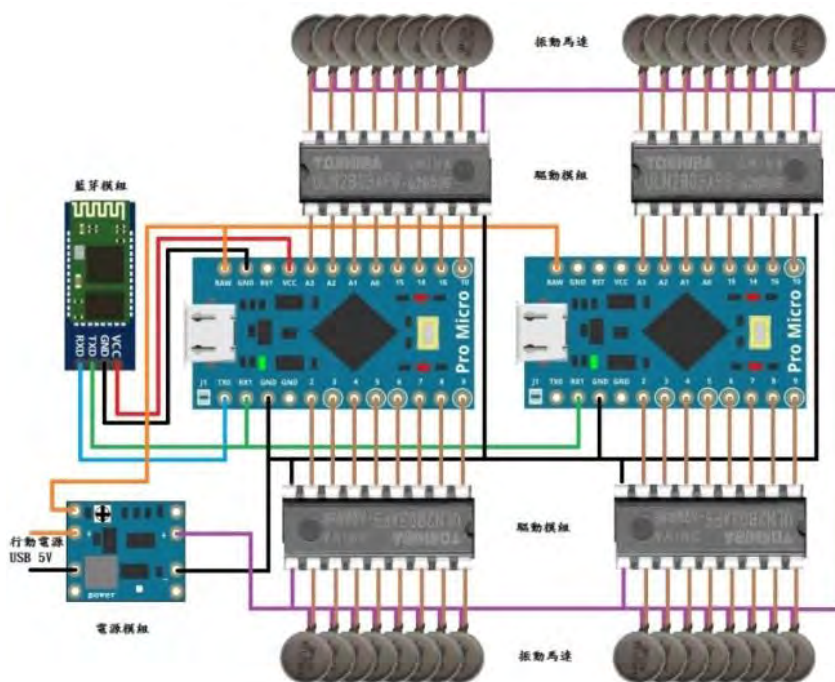
1. 經過第八項的實驗，我們將前面的研究結果在這個實驗中完成製作體感服。
2. 計算整件衣服，肩膀(左右)x2、右前胸到肚子 x8、左前胸到肚子 x8、背部 x12、腋下(左右)x2，整件衣服預計使用 32 個振動控制點。



<圖>體感服設計圖，紅圈為馬達預計位置

### (二) 體感服的線路設計與製作：

1. 每片 Pro Micro 可以接 16 個數位腳位，所以要使用 2 片。
2. 每片馬達驅動模組可以驅動 8 個振動馬達，所以要使用 4 片。
3. 體感服通訊需要藍芽模組 HC-06 與微型振動馬達用 3.0V 需要電源轉換模組。
4. 將上述這些模組需要依照接線圖把它們全部連接起來。



<圖> 體感服接線圖



<圖> Pro Micro ( SparkFun )



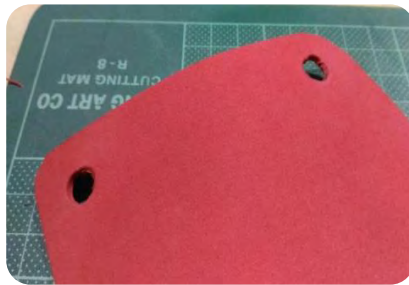
<圖>電源模組、藍芽模組、控制與驅動模組

### (三) 體感服的製作：

1. 準備衣服上的振動馬達在 EVA 上安裝與接線。
2. 依照衣服大小泡棉剪裁泡棉。
3. 在安裝振動馬達的位置打孔，孔徑略小於馬達的直徑。
4. 將馬達塞入預打好的孔中間，並使用熱溶膠固定。
5. 將振動馬達的電線接出，預留適當的長度與控制模組連接。



<圖>裁切泡棉



<圖>將泡棉打孔



<圖>安裝振動馬達

### (四) 手機 APP 軟體設計：

1. 關於 Arduino Pro Micro 的控制軟體，增加了控制振動強度設定指令，我們在前面實驗知道，每個人對於振動的感受度不同，為了讓使用者有更好的體驗，根據振動感受度線性控制公式，在手機 APP 內可以自行調整振動強度。
2. APP 啟動時先輸入連絡雙方名稱，然後選擇正確體感服的藍芽連線。
3. 操作簡單容易，控制按鍵直接對應身體的每個部分振動。
4. 實驗傳送或接收的數據與藍芽連線狀況顯示在系統訊息的視窗。
5. 體感模式可以選擇按鍵時只有對方振動或雙方都會振動，還是只有自己振動。
6. 第二代 APP 增加動態表情，表情主要提供組合式(多點)的振動方式。

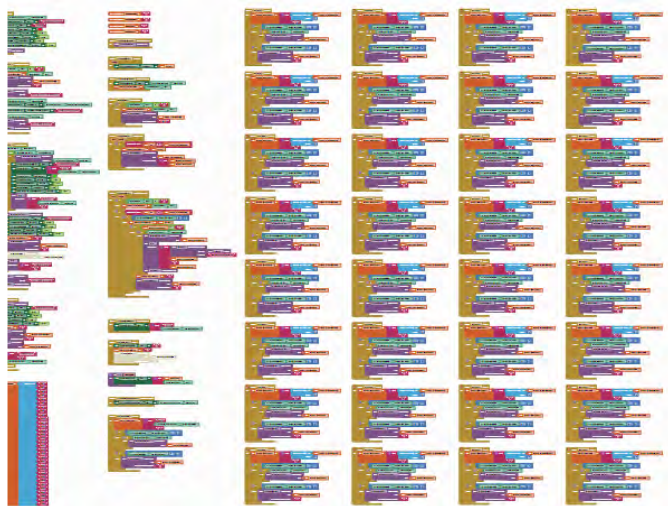




<圖> APP 登入畫面



<圖> APP 操作畫面



<圖> 手機 APP 程式列表

### (五) 體感服實測與發現：

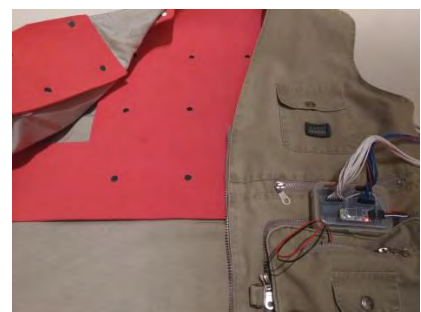
1. 將手機 APP 安裝到二支手機上。
2. 受測雙方的手機與體感服完成藍芽連線。
3. 雙方互傳資料，確認體感服是否依照指令可以在正確的位置產生振動。
4. 監看 Firebase 資料庫的資料是否正確，有無錯誤資料。
5. 完成體感服的功能測試。



<圖> 體感服成



<圖> 體感服控制盒

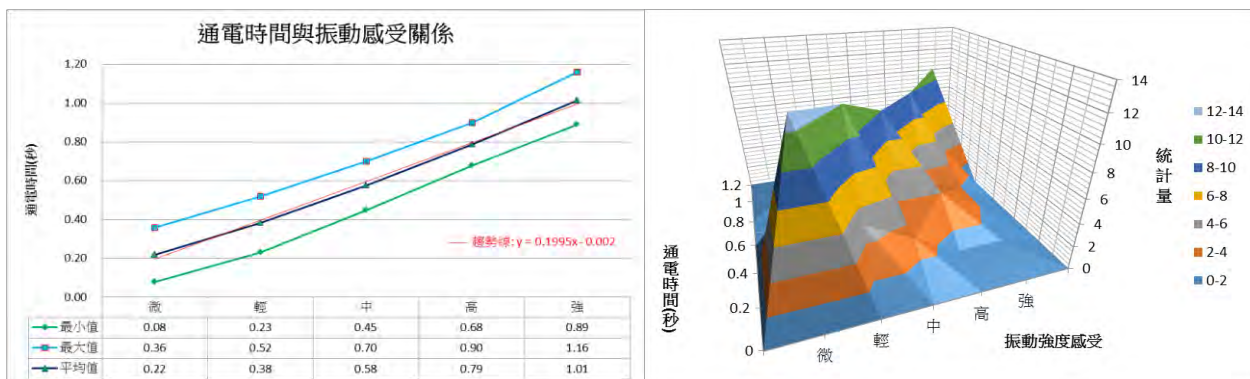


<圖> 體感服內側

## 伍、研究結果

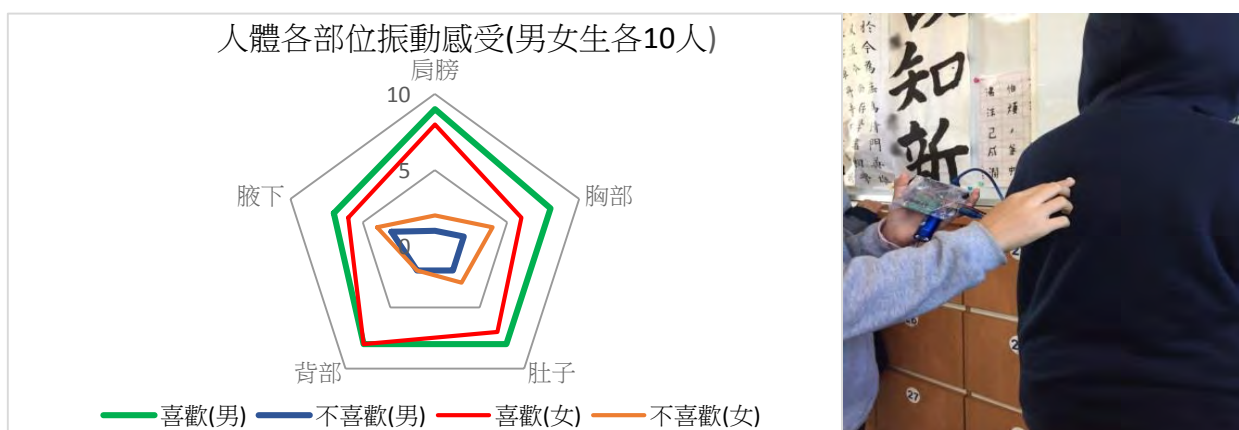
- 一、經過研究與比較我們選擇扁平型的振動馬達作為體感服傳達感受的來源。
- 二、為了能同時控制很多的振動馬達，使用 Arduino UNO 做為控制的核心，但 Arduino UNO 的輸出電流有限，所以必須外加驅動模組來驅動電流比較大的振動馬達。

三、從實驗三中我們得知控制通電的時間可以影響馬達的振動強度，透過 20 個受測者的感受實驗，取得 200 筆有效的感受記錄，經過統計分析得到  $y=0.2x$  線性公式。x=強度 y=時間



四、雖然受訪同學對振動的反應不一樣，從振動馬達通電時間與感受的問卷中得到結論，由  $y=0.2x$  線性公式來控制的振動強度，大多數人都可以正確分辨出振動強弱的差異性。

五、人身體各部位對於振動的感受不太一樣，男生與女生的反應也有一些不同，透過問卷我們發現不管男生還是女生對於肩膀的感受普遍比較明顯的，另一個部位則是背部，比較能被接受。少部份人對於腋下的反應較差。而部分女生不喜歡胸部與肚子的振動。



六、使用藍芽與手機連線，成功控制 Arduino UNO 板子上的 LED 開啟與關閉，這表示體感服與手機之間的通訊可以透過藍芽連線，不需要透過 USB 接線來傳送控制訊號控制。

七、我們從實驗中成功將手機透過雲端交換資料。藉由 Firebase 資料伺服器所提供的服務，可以輕鬆地將聊天訊息或控制資料送到雲端，這就等於打開通往世界的大門。

八、實驗八，透過體感服模擬器的通訊控制，包括 Arduino 的線路、藍芽模組、控制軟體、手機的 APP 與 Firebase 的設置。依步驟完成了體感服整個網路通訊與控制線路架構。

九、根據前面的實驗與問卷，我們實際設計了一件體感服，綜合每個人對振動的感受來設置馬達的位置。肩膀 2 個、胸到肚子 16 個、背部 12 個、腋下 2 個，為了增加振動效果之後又在左右肩膀與腋下又再各並聯一組馬達。整件使用 36 個微型振動馬達構成陣列。



十、經過了每項的實驗與問卷驗證，成功的製作完成可以透過網路互動的體感服，結合現成的通訊軟體，如 LINE、SKYPE……，不但可以透過聲音溝通，更可以傳達擁抱給雙方。

## 陸、討論

- 一、微型振動馬達種類多是否容易取得？體感服觸覺的產生選擇扁平微型振動馬達使用廣泛所以容易取得，而且人們對於日常生活中常接觸到利用振動馬達來設計的產品，例如手機、遊戲控制手把、按摩器……。
- 二、如何控制驅動微型振動馬達？Arduino UNO 幫助我們很快建立控制線路，不需要有太多電子知識，只要知道電源正負極怎麼接，就可以開始做實驗，配合實驗的各種功能模組選擇很多，因為是屬於開源的，所以網路上的學習資料與範例非常豐富。包含模組的使用都可以找到很多教學資料。實驗前必須詳細閱讀規格書，雖然 Arduino 有簡單的保護機制，還是要注意電壓與電流資訊。因為電流關係所以微型振動馬達需要外接驅動模組。
- 三、探討振動馬達通電時間與振動感受的線性關係？首先要確認振動感受與人類反應時間，所以將最小時間單位設定在 0.01 秒。人的反應時間與專注力有關係，樣本太少統計數據可能會被影響，所以我們每位受測者取樣 10 次，並調查年齡接近的受測者共 20 人次。總共取得 200 筆有效的感受記錄，經過統計分析得到  $y=0.2x$  線性公式( $x$ =強度,  $y$ =時間)。
- 四、探討線性振動控制與人體感受？透過實驗與調查，我們驗證了  $y=0.2x$  線性公式適用在控制振動馬達對人體的感受，輸入強度即可獲得馬達通電時間的長度。
- 五、探討人體各部位振動辨識度？根據問卷調查我們得到設計體感服需在哪些部位放置振動元件，以及放置的數量，以期達到傳遞觸感的效果。
- 六、探討手機透過藍芽連接的方法？從認識與設定藍芽模組，學會串列傳輸的原理與規格。手機與控制端的藍芽裝置完成連接與資料交換，代表從此控制變成以無線方式進行。
- 七、設計一個即時通訊 APP？雲端交換資料，研究開始花了很多時間，尋找了網路上的很多資料，有各式各樣的聊天資料庫，但是都沒有連線成功。查詢 MIT App Inventor 2 網站提供的詳細教學之後，發現它有提供 Google Firebase 資料庫函式，才能開始測試如何連接雲端資料庫。一個簡單的聊天 APP，可以完整測試雲端資料庫的基本使用方法。

八、微型振動馬達在衣服上的密度越高，是不是可以得到更細緻的觸覺體驗？目前我們全部放置了 36 個振動馬達，可以清楚表達每個觸碰的位置。未來可以增加身體其他部位的振動單元，獲得更好更多的體驗。

九、設計體感服必須更合身，振動才能傳達到感受的部位，這個部分需要持續改進。

十、持續研究與設計的體感服過程：

1. 第一代體感服(2018.11 完成)

- (1) 使用 Arduino Pro Micro 控制核心
- (2) 振動馬達採用嵌入 EVA 海棉墊
- (3) 採用一般的休閒背心不夠貼身
- (4) 動態振動被擁抱的感覺不夠明顯
- (5) 電線非常多，控制盒很大
- (6) 使用手機 APP 按鍵輸入控制馬達振動



<照片> 第一代體感服

2. 第二代體感服 (2019.04 完成)

- (1) 使用 Arduino Pro Micro 控制核心
- (2) 微型振動馬達改固定在 EVA 表面，振動感受效果佳
- (3) 改用漆彈防護背心比較貼身，利用魔鬼氈來改變背心大小，振動感受明顯改善
- (4) 控制板與電路隱藏在 EVA 海棉墊內側
- (5) 二片振動模組只用四條控制線連接，減少連接電線



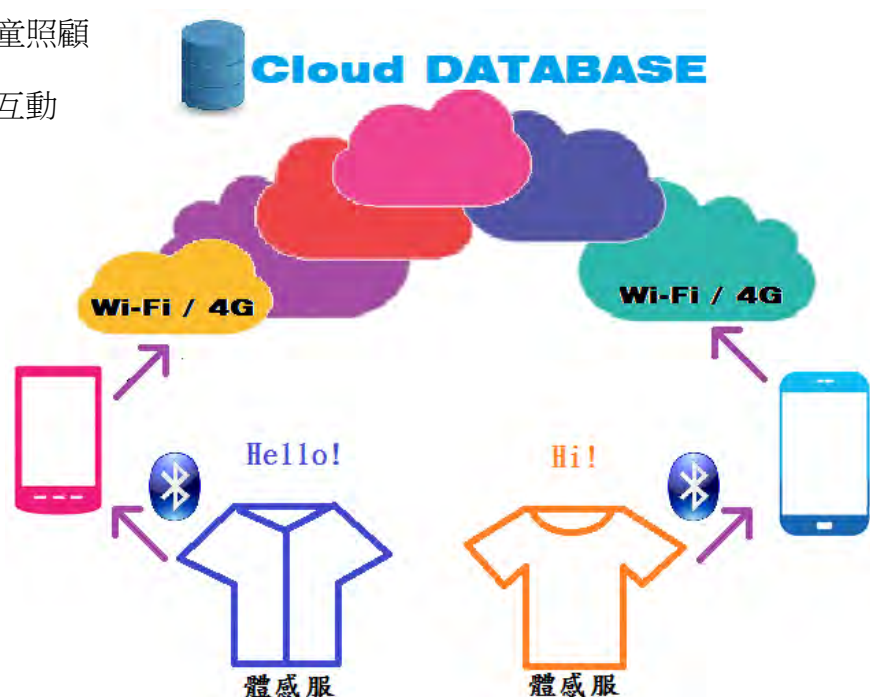
<照片> 第二代體感服

3. 第三代體感服 (2019.06 進行中)

- (1) 設計專用並整合的控制模組
- (2) 振動模組四條控制接線改用研發中的彈性編織線
- (3) 從按鍵輸入改成用手勢輸入控制振動
- (4) 增加生理傳感器，監測身體狀態
- (5) 持續進行功能的研發與特殊用途

## 柒、結論

- 一、本作品藉由無線雲端傳輸與資料交換確實完成可以“擁抱”之體感服。
- 二、目前已完成研發至第二代體感服，改善了服裝的貼身性與實用性，具有良好的振動觸感以及隱藏了控制模組與線路，並增加傳輸動態表情的功能。未來第三代體感服將增加傳感器，可以即時偵測人體生理參數，改變目前手機按鍵輸入的控制方式，增加人體振動模組的接觸面積與更細緻的控制振動。
- 三、本作品以線性系統“馬達通電時間與人體感受之線性關係”來控制微型振動馬達，建構「情感性觸覺」之關鍵參數。
- 四、研究過程以問卷方式處理人體受振動大小之感受，並且以統計分析方式，完成數據之可信度分析。
- 五、體感服的應用與未來：
  1. 使用在人與人的溝通，可搭配通訊軟體，如 Skype、LINE、Messenger、QQ、微信
  2. 用在人群的溝通與互動、搭配直播軟體，如 FaceBook、17 直播、抖音...
  3. 多媒體播放互動，搭配撥放軟體，如 Youtube、愛奇藝、有線電視系統...
  4. 教育類輔助遠端教學與肢體互動
  5. 遠端醫療照顧與復健工作
  6. 老年長照與特殊兒童照顧
  7. 電玩與手遊的虛擬互動
  8. 其他特殊產業應用



## 捌、參考資料

- 一、科學人雜誌 解讀心智 觸覺的情感力量 撰文／SA 編輯部 ( The Editors of SA )  
翻譯／陳瑀葳 <http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&id=3011>
- 二、神奇「擁抱背心」 按讚就有愛的抱抱！ | ETtoday 新奇 | ETtoday 新聞雲  
<https://www.ettoday.net/news/20121007/111606.htm>
- 三、CUTECIRCUIT The-Hug-Shirt <http://cutecircuit.com/the-hug-shirt/>
- 四、CUTECIRCUIT Sound-Shirt <http://cutecircuit.com/soundshirt/>
- 五、Teslasuit - full body haptic VR suit <https://teslasuit.io/>
- 六、ARAIG <https://araig.com/>
- 七、PrioVR <https://yostlabs.com/priovr/>
- 八、e-skin <https://xenoma.com/eskin-dk>
- 九、TACTSUIT <https://www.bhaptics.com/tactsuit>
- 十、Hardlight VR <http://hardlightvr.com/>
- 十一、ARDUINO <https://www.arduino.cc/>
- 十二、ARDUINO IDE 1.8.5 <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- 十三、mBlock Developer Documentation  
<http://www.mblock.cc/doc/en/developer-documentation/developer-documentation.html>
- 十四、mBlock <http://www.mblock.cc/mblock-software/>
- 十五、MIT App Inventor 2 <http://appinventor.mit.edu>
- 十六、Firebase Documentation <https://firebase.google.com/docs/dynamic-links/?hl=zh-tw>
- 十七、Firebase <https://console.firebase.google.com/>
- 十八、人類反應時間測試與統計 <https://www.humanbenchmark.com/tests/reactiontime>
- 十九、如何使用 Excel2007 建立常態分布曲線圖表  
<https://www.researchmfg.com/2014/05/excel-2007-normal-distribution-chart/>
- 二十、XL：如何建立鐘型曲線圖表  
<https://support.microsoft.com/zh-tw/help/213930/xl-how-to-create-a-bell-curve-chart>

二十一、笨鳥慢飛 簡報筆的進化 (二)

[https://www.birdandgua.net/bird/2018/02/evolution\\_of\\_presentation\\_remote\\_2/](https://www.birdandgua.net/bird/2018/02/evolution_of_presentation_remote_2/)

二十二、 百度知道 微型振动马达的结构原理

<https://zhidao.baidu.com/question/1949912825841205788.html>

二十三、 兴华鑫 1034 马达规格书 深圳市兴华鑫电子科技有限公司

二十四、 Arduino 互動設計專題與實戰：深入 Arduino 的全方位指南 /碁峯資訊 柯博文著

二十五、 從 Arduino 到 AVR 微控制器：嵌入式系統原理與應用

Beyond the Arduino : m Programming AVR Microcontrollers in C /旗標出版社 林聖泉著

二十六、 用 Arduino 全面打造物聯網 /碁峯資訊 孫駿榮 蘇海永著

二十七、 mBot 創意機器人：使用 Scratch(mBlock)含 App Inventor 程式設計

/台科大圖書 李春雄 李碩安 林暉詒著

二十八、 mBlock 創客實戰演練：用 mBlock 玩轉 Arduino /經緯文化 林俊傑著

二十九、 Android 手機程式超簡單!!. App Inventor 入門卷

/馥林文化 CAVEDU 教育團隊 曾吉弘 高稚然 陳映華著

三十、 MIT App Inventor 開發手冊：不會寫程式也能設計你的 App /上奇 王培坤著

三十一、 國立台中教育大學 吳智鴻教授 教學網站

<http://120.108.221.55/PROFCHWU/dctai/index.php>

三十二、 Creating a Chat Application in App Inventor 2

<https://opensourceforu.com/2016/11/creating-chat-application-app-inventor-2/>

三十三、 App inventor 2 en español

<http://kio4.com/appinventor/8CChatfirebaseDB.htm>

三十四、 CAVEDU App Inventor 中文學習網 [雙 A 計畫] <https://pse.is/HVTDW>

三十五、 App Inventor 中文學習網 <http://www.appinventor.tw/>

## 【評語】 082801

1. 本作品運用 Arduino 及相關套件，透過手機程式，讓在遠端的雙方能表達彼此關心，並製作穿戴型裝置並運用微型振動馬達裝設在人體擁抱時接觸部位以傳達觸覺感受，富有創意。
2. 透過 20 位受測者實驗分析出馬達開關間隔與感受強度，但受測者群組只有小朋友男生與女生，難以表達不同族群需求，具體的接觸感受需要更多的實測數據驗證體驗，例如測試男女老少不同年齡層。
3. 從第一代設計至第三代設計可以看出作品有持續改進功能，未來應用面極廣。



# 摘要

“擁抱”在人際關係中扮演重要的角色，而觸覺經驗常常伴隨著豐沛的情感。本研究之應用核心價值是透過雲端科技，真實地傳遞「情感性的觸覺」。作品在衣服中安裝Arduino Pro Micro與Bluetooth Communication Module，以線性方式控制微型振動馬達陣列的振動，利用手機藍芽連接體感服，透過4G或Wi-Fi與Google Firebase雲端服務連結，即時傳遞與交換控制資料。從實驗統計數據中分析馬達振動與觸覺感受的線性關係，建立具有重複性價值之微型振動馬達的線性系統參數。讓人們除了可以透過文字、語音及影像溝通，也可以透過體感服做遠距離的接觸與互動達到“擁抱”的人際關係。



## 壹、研究動機

從小到大我們最喜歡抱抱了，爸爸媽媽的擁抱、爺爺奶奶的擁抱、與許久不見的好朋友來個擁抱，都會讓人感覺心情愉快。在SCIENTIFIC AMERICAN 科學人雜誌在2015年165期有一篇文章“觸覺的情感力量”，文中詳述科學家如何研究與發現觸覺神經傳導與人類情感的重要關係，強調觸覺經驗在人際關係中扮演重要角色。

英國一家公司CUTECIRCUIT在2006年設計一件The-Hug-Shirt 利用手機傳輸觸摸信號與“熱感”來表現擁抱。2012年美國麻省理工學院科學家研在網路上公佈只要臉書按讚，就會“充氣”的「擁抱背心」(Like-A-Hug)概念影片。近年來有些用在娛樂的穿戴裝置，像是Teslasuit、ARAIG、PrioVR...等。對於體感的表現方式雖然都不一樣，但這些都僅是為了遊戲而設計而不是用來溝通與傳達情感。本研究創新發想的“擁抱”體感服有別於以上的文獻與產品，透過雲端來表達情感性的觸覺。

在國小自然課中累積了電學的知識，學校也從五年級開始在電腦課教導如何用Scratch寫程式，加上從網路上看到創客Maker利用Arduino UNO做了很多好玩的東西，於是我想到可以用學過的程式語言加上Arduino來做一件體感服。

## 貳、研究目的

人體皮膚非常敏感，大部分的神經生理學家認為，唯有觸覺刺激的物理性質“種類、強度、大小”傳送至神經系統，情緒會在最後階段加入觸覺認知中。利用多個微型振動馬達的陣列，來傳遞身體的觸覺感受，並將心情及感動的情緒讓遠端的使用者知道，透過穿戴裝置可以將「情感性觸覺」傳達出去。

### 選擇適合表現觸感的元件

- (一) 研究振動馬達的原理與種類
- (二) 研究如何控制扁平振動馬達

### 研究振動與人體感受之間的關係

- (三) 探討振動馬達通電時間與振動感受的線性關係
- (四) 探討線性振動控制與人體感受，實驗與問卷調查
- (五) 探討人體部位對於振動的辨識度，實驗與問卷調查

### 研究無線控制與雲端數據交換

- (六) 探討手機與Arduino UNO 透過藍芽連接的方法與實驗
- (七) 研究手機在雲端資料交換的方法與實驗

### 實現體感服的製作

- (八) 體感服的模擬器設計與測試
- (九) 實際體感服的製作與APP測試

## 參、研究設備與器材

### 一、主要實驗材料：

- (一) 扁平振動馬達 x80
- (二) Arduino UNO x1
- (三) Pro Micro x4
- (四) 電源轉換模組 x2
- (五) LED 模組 x4
- (六) 行動電源 x2
- (七) 馬達驅動模組(U2N2803) x8
- (八) 藍芽模組(HC-06) x2
- (九) 衣服 x2
- (十) 電阻、電線、焊錫絲、EVA海綿墊、魔鬼沾、熱熔膠

### 二、實驗軟體與雲端資料庫：

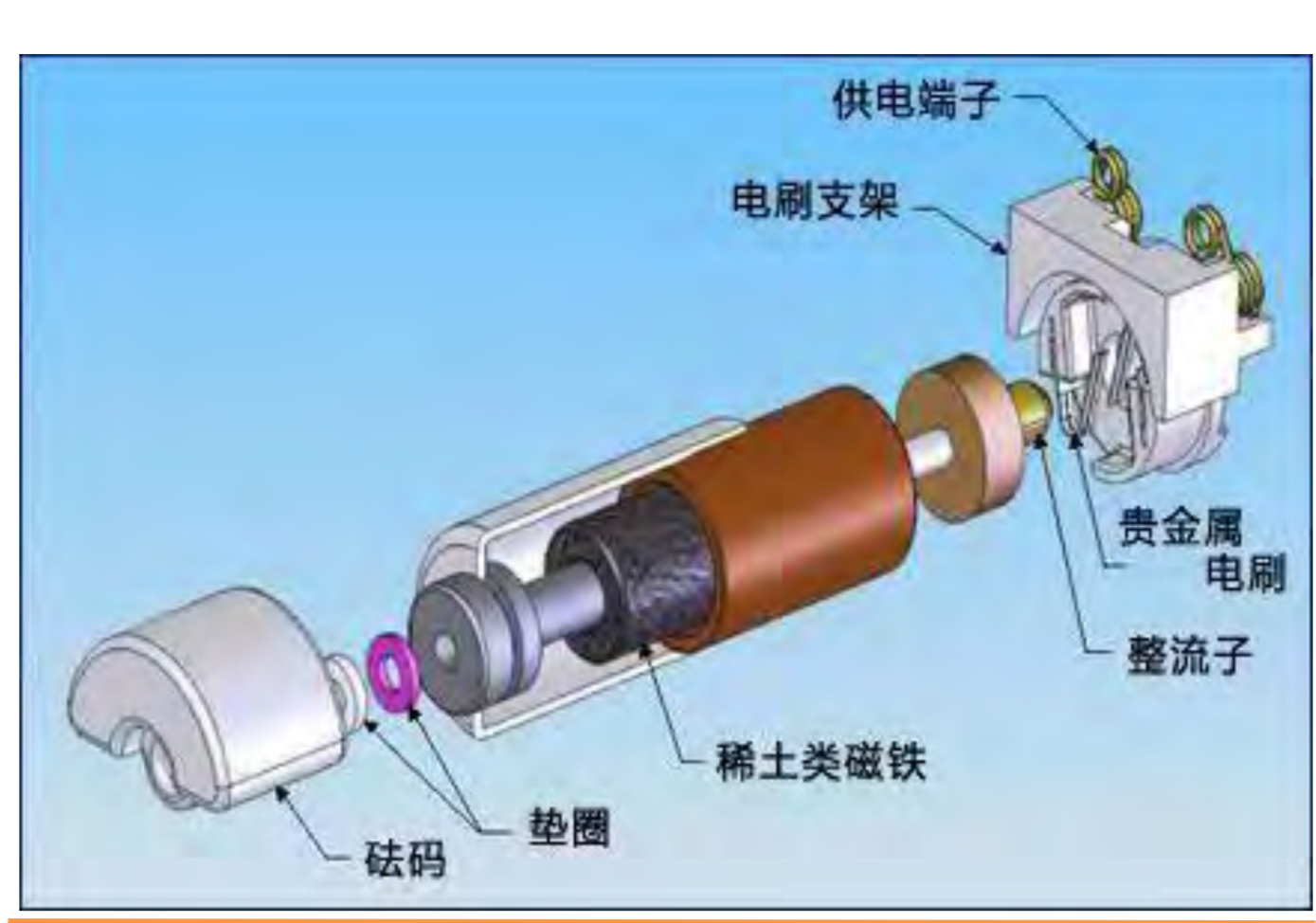
- (一) ARDUINO IDE 1.8.5
- (二) mBlock
- (三) MIT App Inventor 2
- (四) Google Firebase
- (五) Microsoft Excel
- 三、連接設備與工具：
  - (一) Android 手機 x2
  - (二) 筆記型電腦 x1



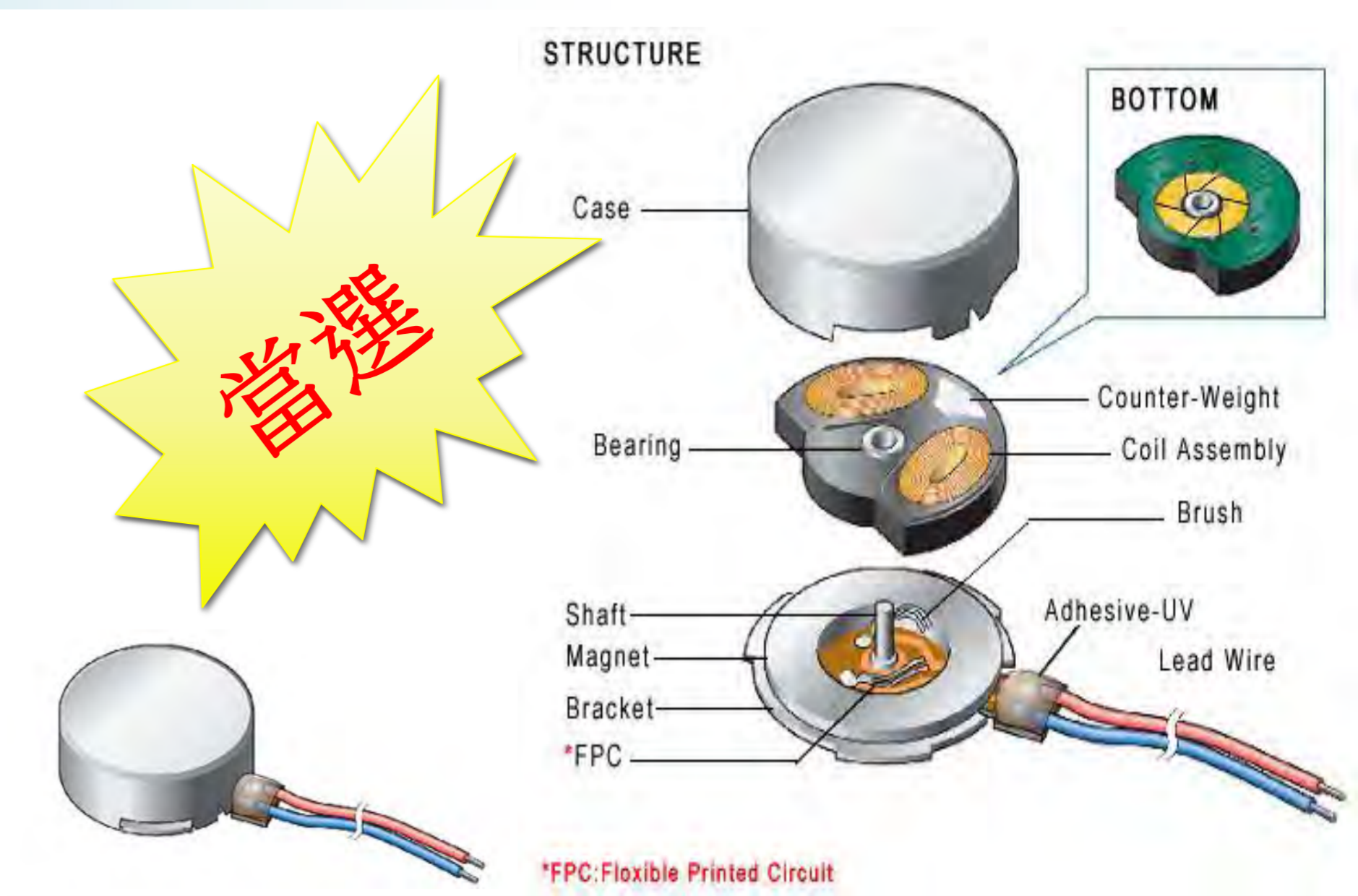
# 肆、研究過程與方法

## 研究一、研究振動馬達的原理與種類

微型振動馬達目前市面上常見的主有兩種類型，一種是**長條型**的，一種則是**扁平式**的，兩者在形狀有些許差異，但基本原理都是通過電機轉動帶動凹輪轉動產生離心力，而離心力快速的變動導致整個馬達都在快速的抖動。另外還有一種叫做**線性共振驅動器 LRA**，但是控制起來很困難，所以暫時不列入研究。考慮到必須要安裝到衣服上面，體積、包裝與固定方式是目前選擇的重點，所以**選擇扁平式振動馬達**作為體感服的振動元件。



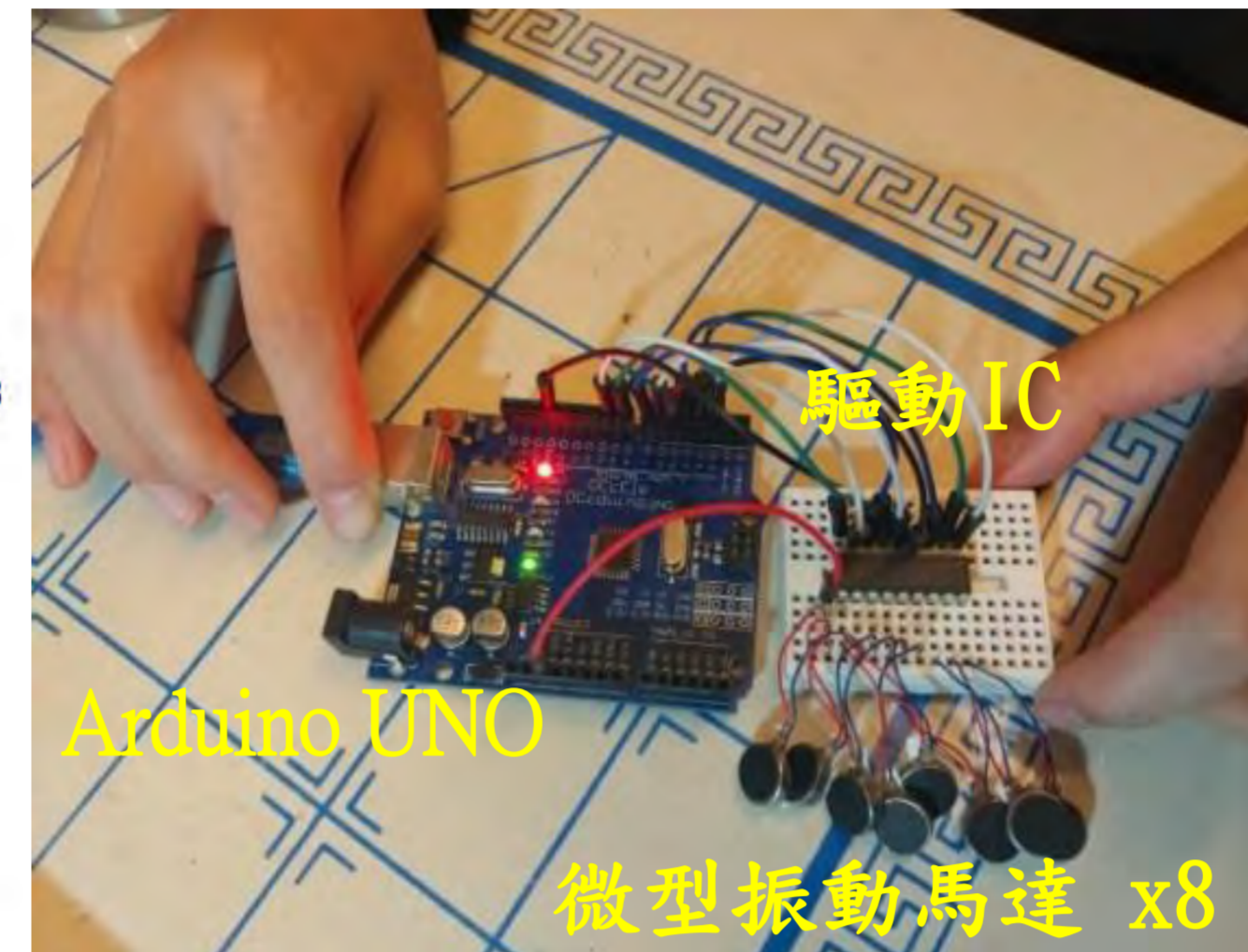
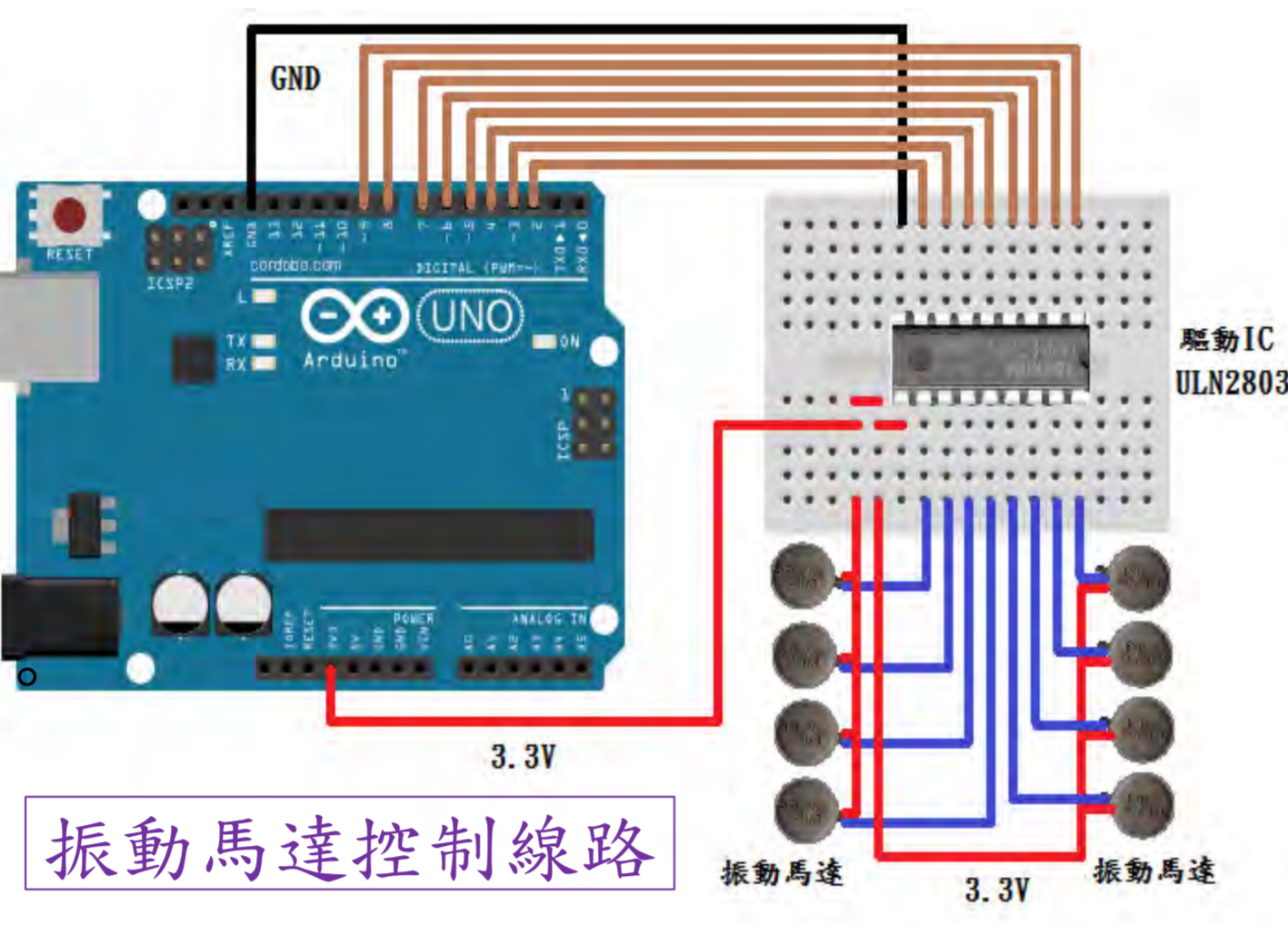
長條型



扁平式

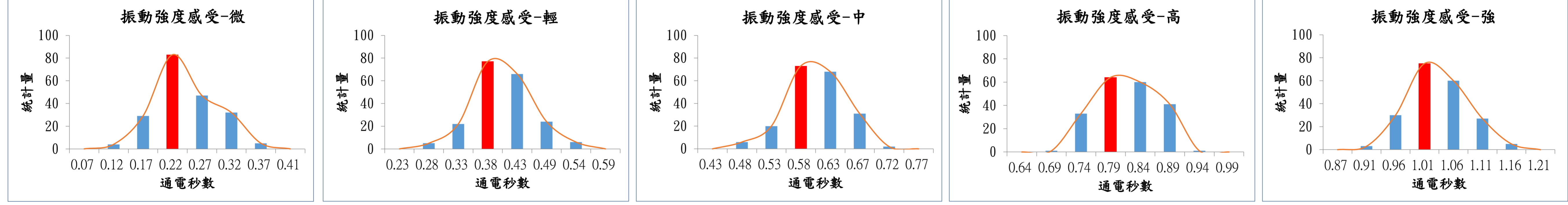
## 研究二、研究如何控制扁平式微型振動馬達

- (一) 微型振動馬達因為電流較大，需要驅動模組(IC)。
- (二) 設計與製作控制電路。
- (三) 使用mBlock撰寫程式。
- (四) 實驗發現：
  1. 必須使用驅動模組(IC)。
  2. 改變**時間**會影響**振動感受**
  3. 改變**數位腳位的數字**，可以控制不同的馬達振動。

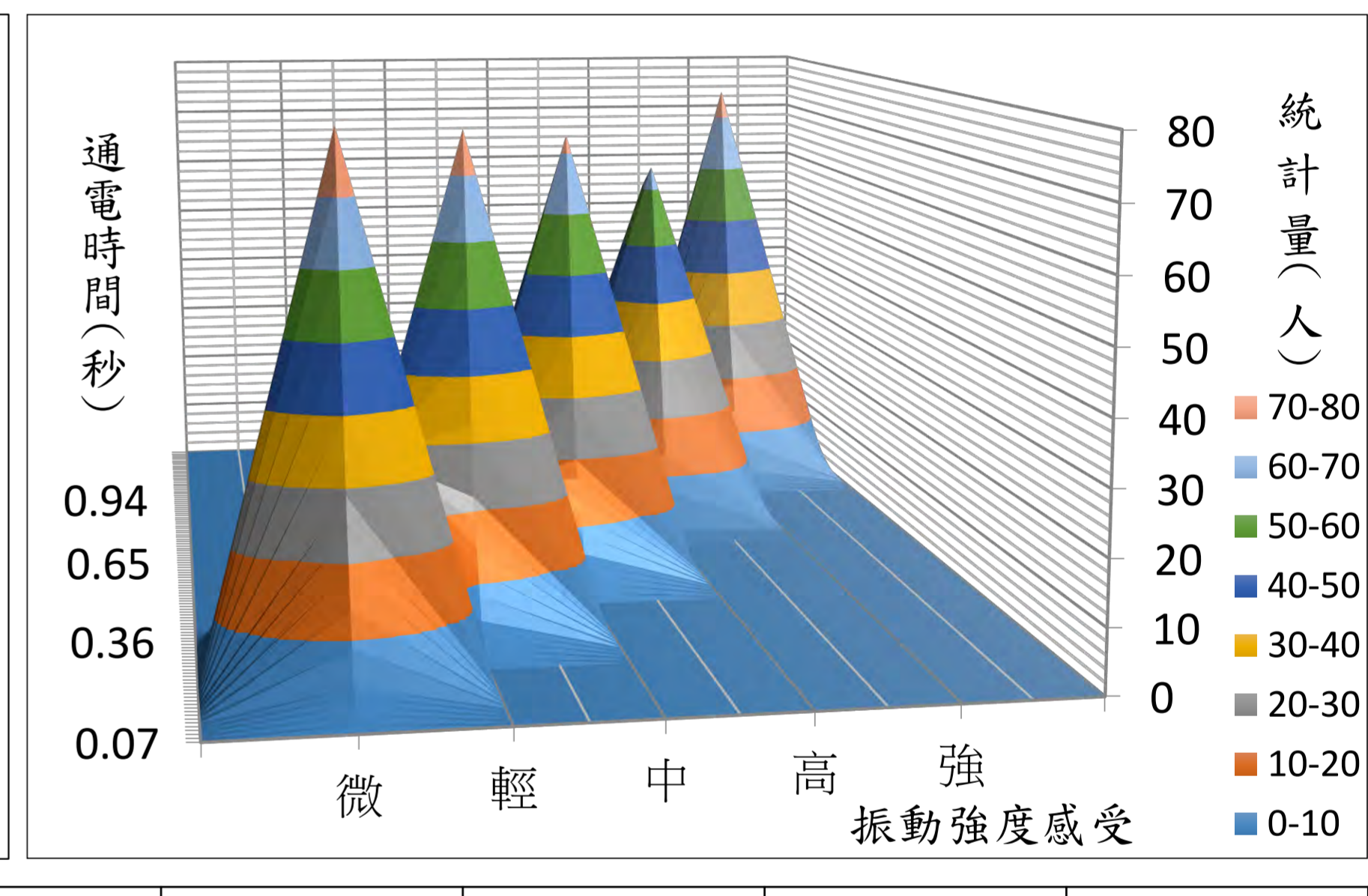
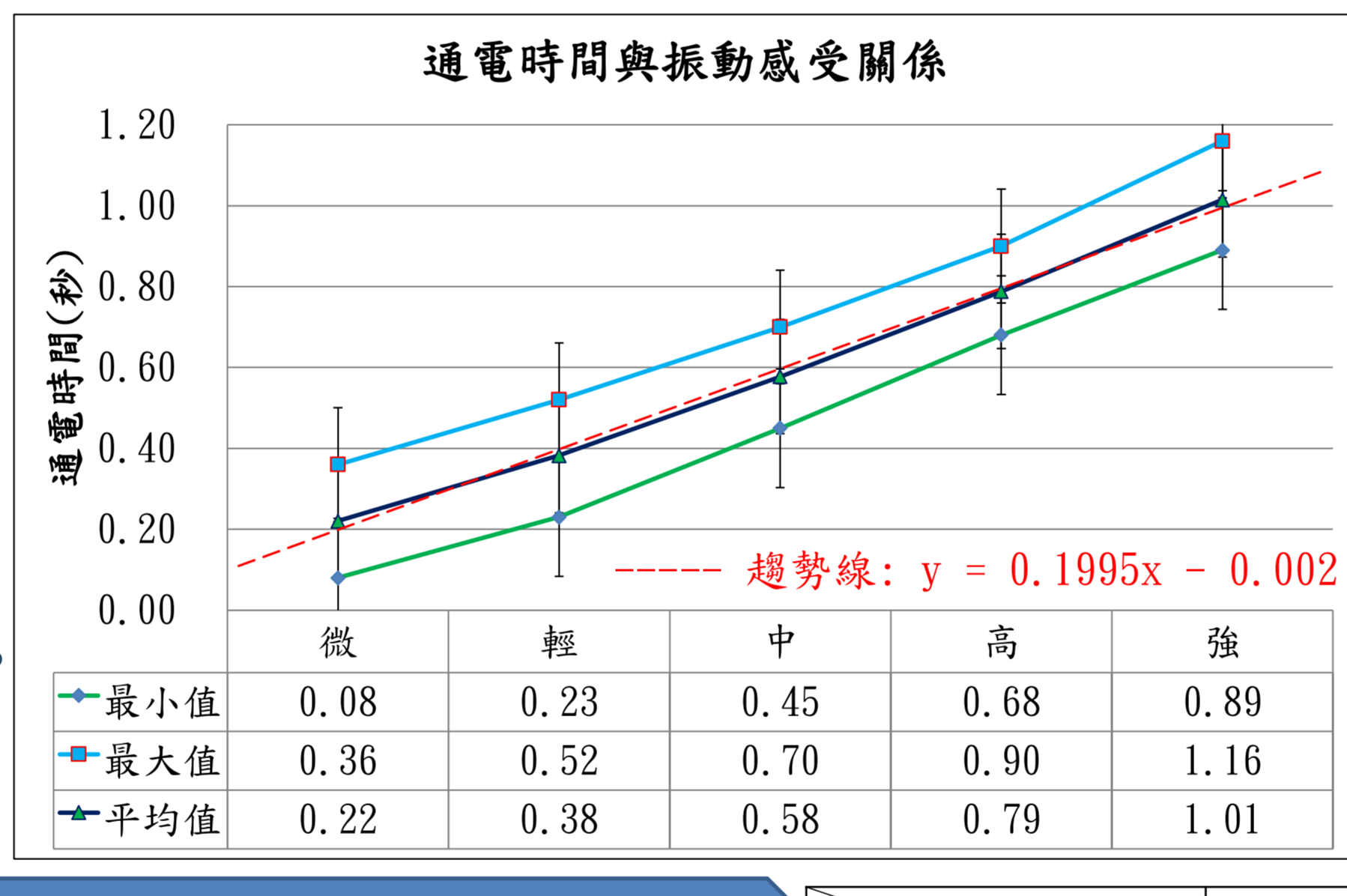


## 研究三、探討振動馬達通電時間與振動感受的線性關係

- (一) 尋找20位受測者對於馬達通電時間與振動反應感受實驗。
- (二) 使用研究二製作的控制電路，將程式修改為振動馬達通電時間從0.01秒到1.2秒為止，每增加0.01秒，間隔2秒開啟一次。
- (三) 振動強度問卷統計分為五個階段，請受測人辨識“微、輕、中、高、強”的振動強度。
- (四) 根據統計人類的平均反應時間為0.2秒到0.25秒，為避免反應時間的取樣誤差，每位受測者接受10次循環測試。
- (五) 操作人記錄受測者的感受與當時秒數。有效資料共有200筆。



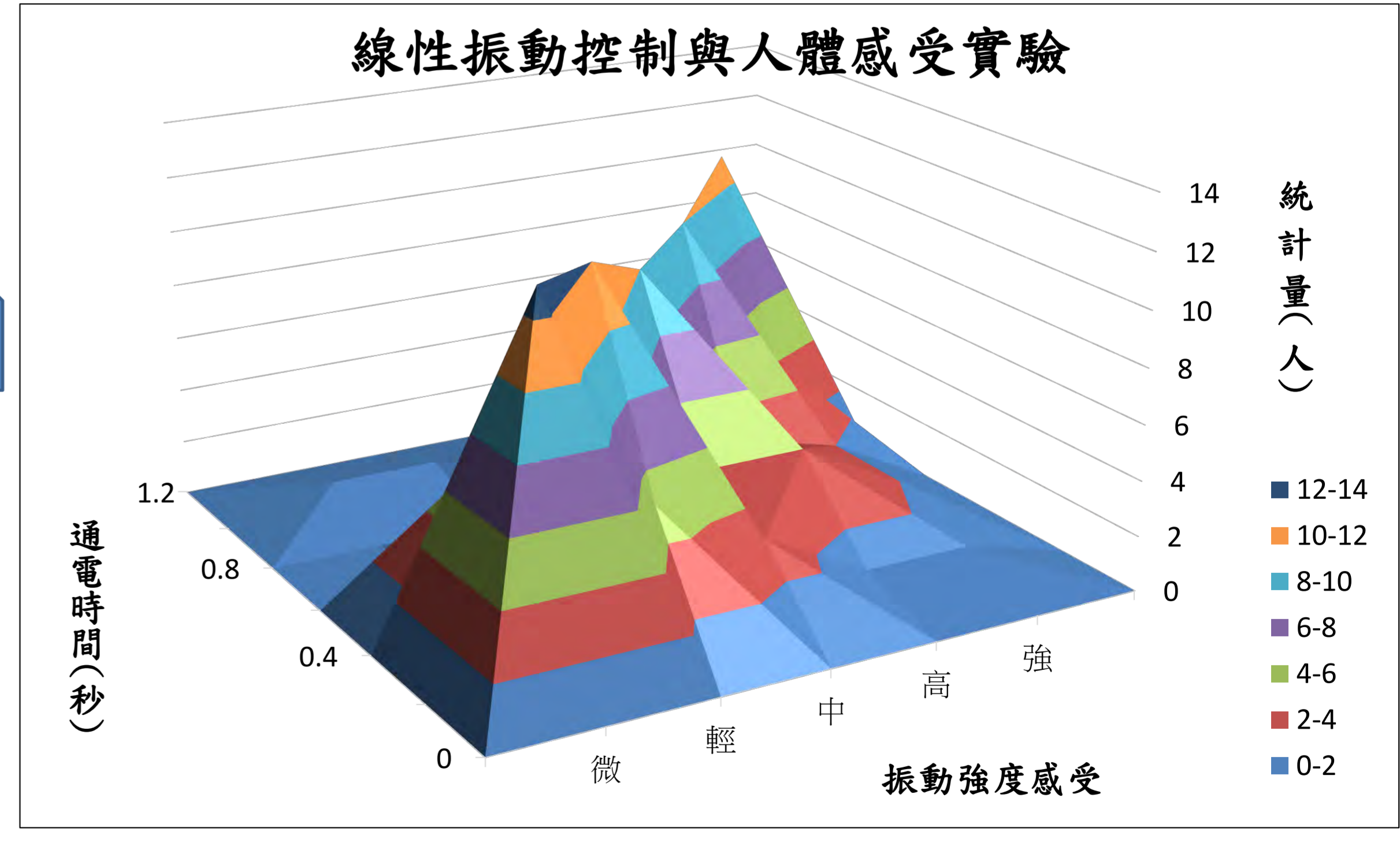
- (六) 實驗統計分析與發現：
  1. 利用Excel進行數據分析得到**線性趨勢線**的迴歸方程式： $y = 0.1995x - 0.002$  其中 x=振動強度, y=時間
  2. 因**截距0.002**在**誤差範圍內**，故其線性方程式接近  $y = 0.2x$ ，其**物理意義為通電時間與振動感受呈線性關係**，且方程式**通過原點**，表示**無通電時即無振動感受**。
  3. 依此結果，接下來研究過程採用方程式  $y = 0.2x$  來控制馬達振動強度。



## 研究四、探討線性振動控制與人體感受實驗與問卷

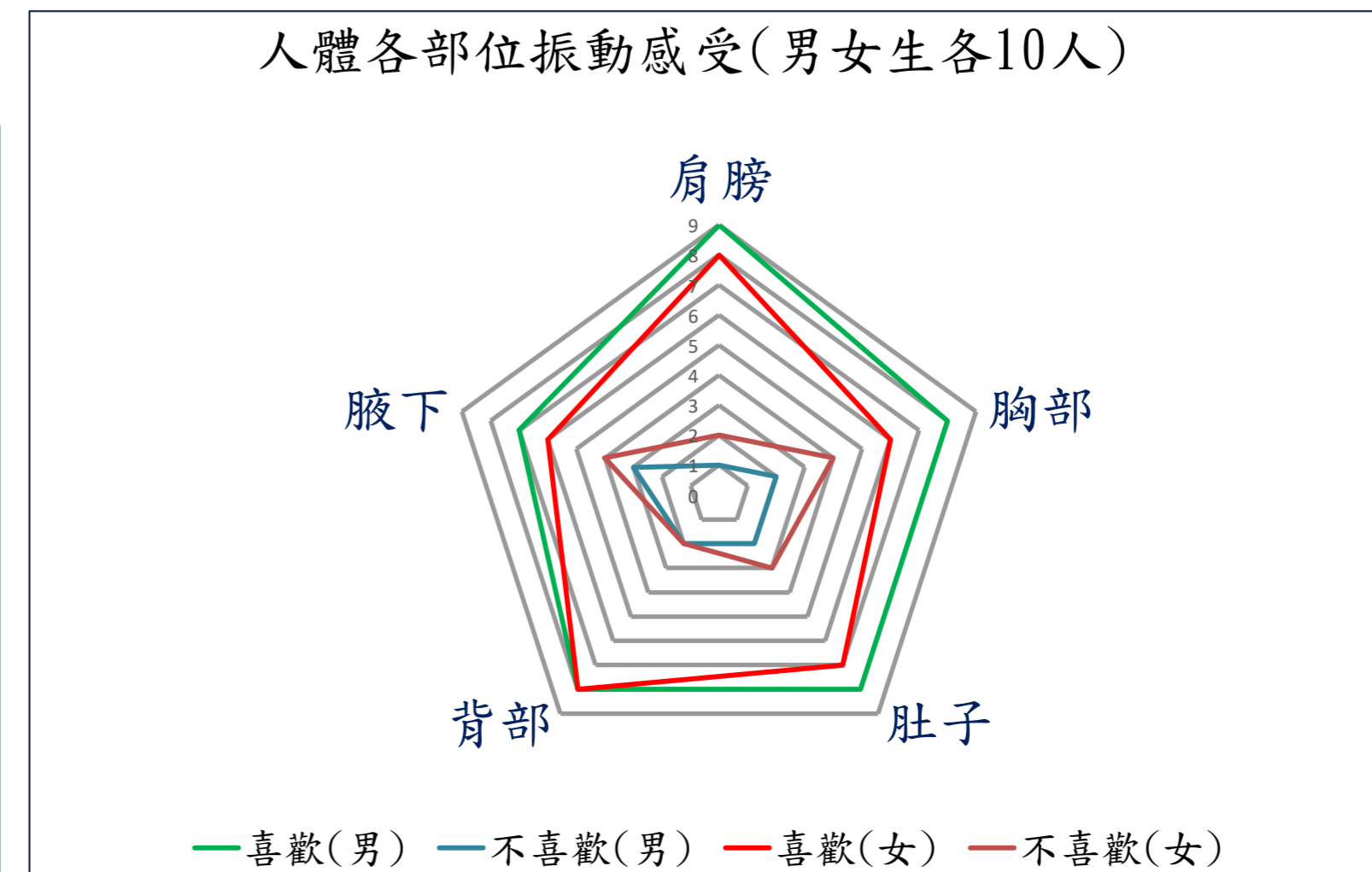
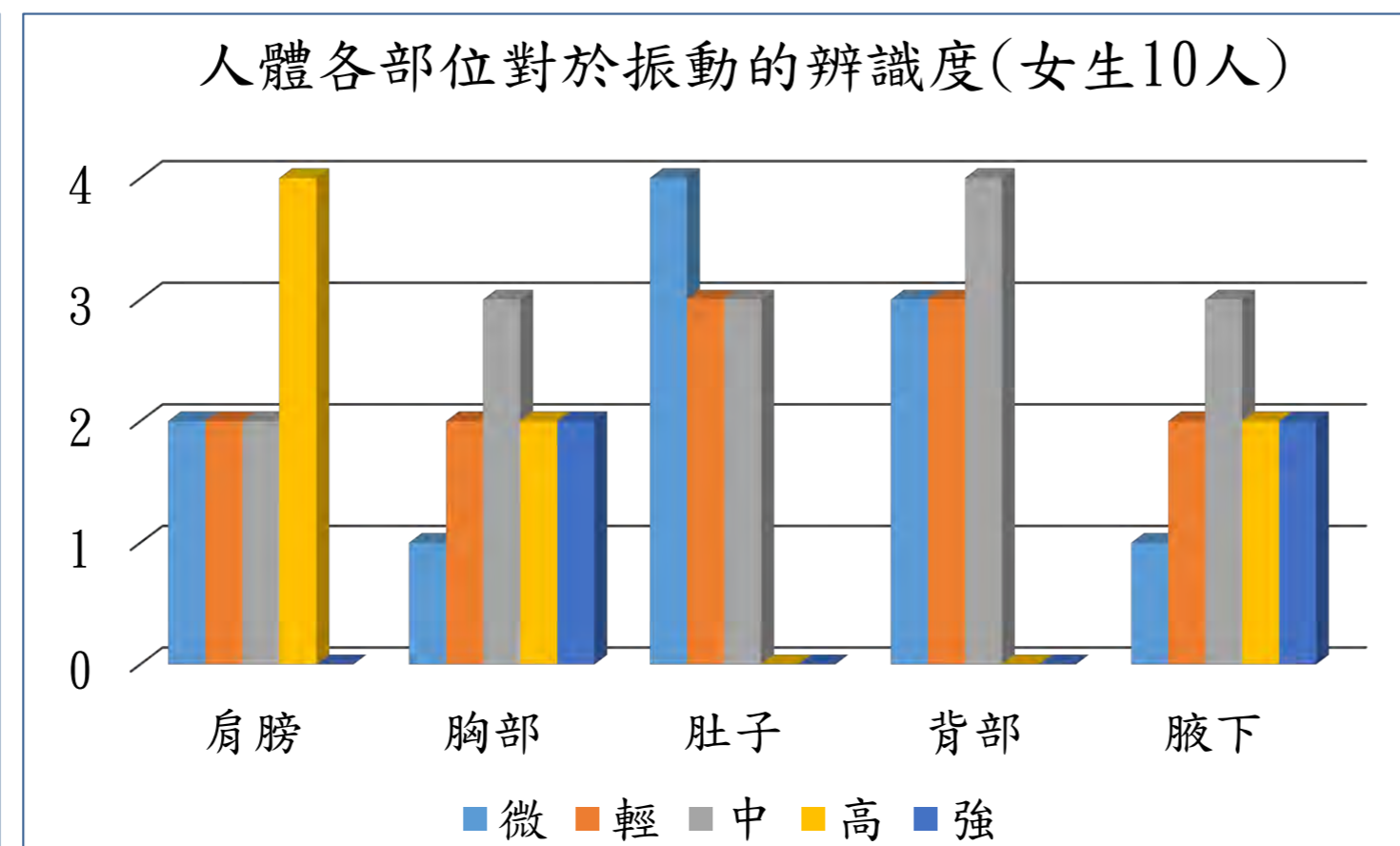
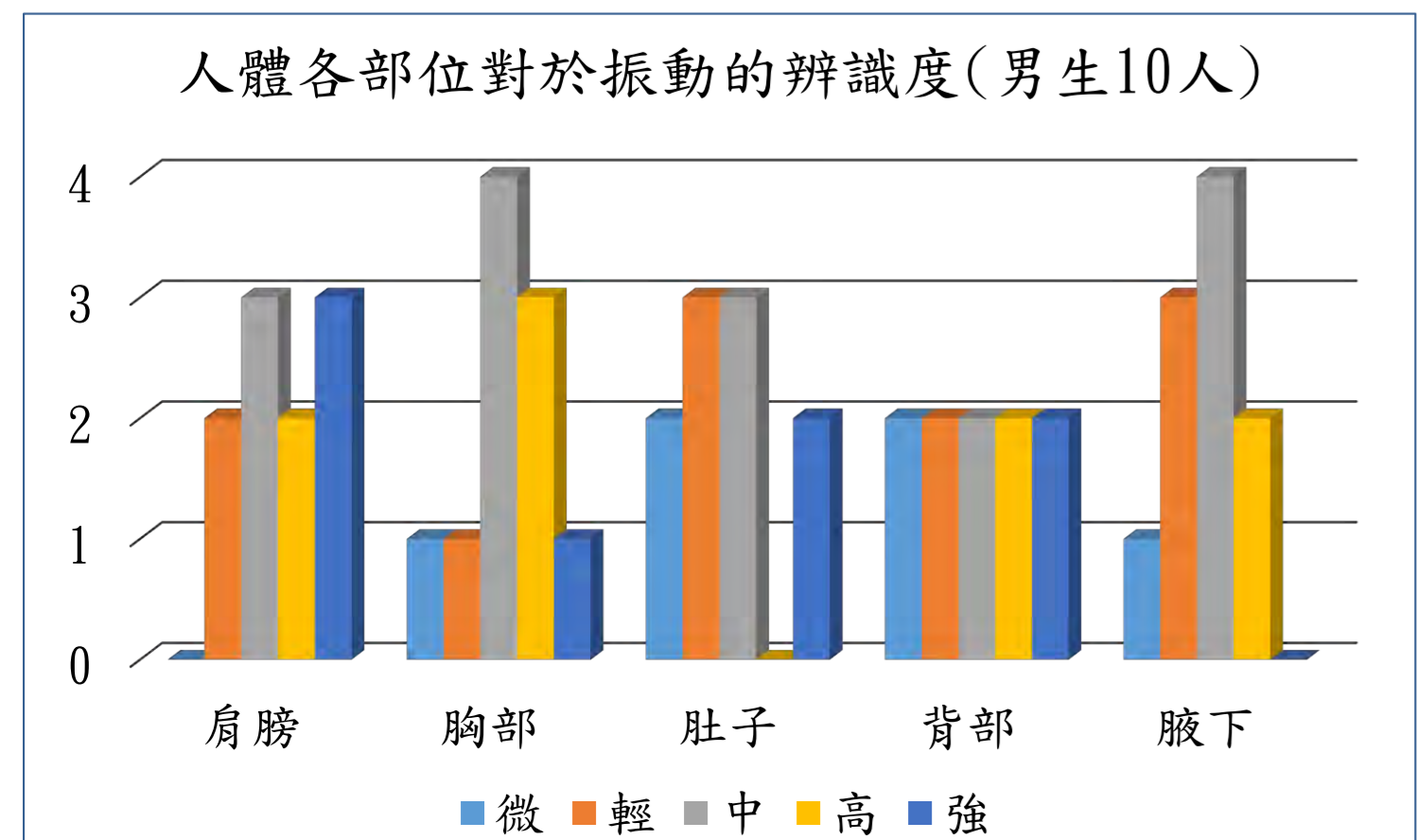
- (一) 使用微型振動馬達控制電路，依據上個實驗的結論  $y = 0.2x$ ，通電時間線性參數為0.2，振動強度從 Level = 1 開始，累加到 Level = 5 結束，間隔2秒重新開啟一次振動馬達。
- (二) 尋找20位受測者對於馬達通電時間與振動反應感受實驗。
- (三) 問卷統計，請受測人辨識“微、輕、中、高、強”的振動強度。記錄受測者的感受與當時秒數。有效資料共有20筆。
- (四) 從**分析圖形**可以發現：大多數受測人可以分辨**間隔0.2秒的差異**。
- (五) 驗證：**線性公式  $y = 0.2x$**  振動強度控制可以被多數人清楚分辨。

感受	微	輕	中	高	強
Level=1: 0.2s	13	6	0	0	1
Level=2: 0.4s	5	12	2	0	1
Level=3: 0.6s	3	4	10	2	1
Level=4: 0.8s	1	4	3	10	2
Level=5: 1.0s	1	2	2	4	11



## 研究五、探討人體部位對於振動的辨識度實驗與問卷

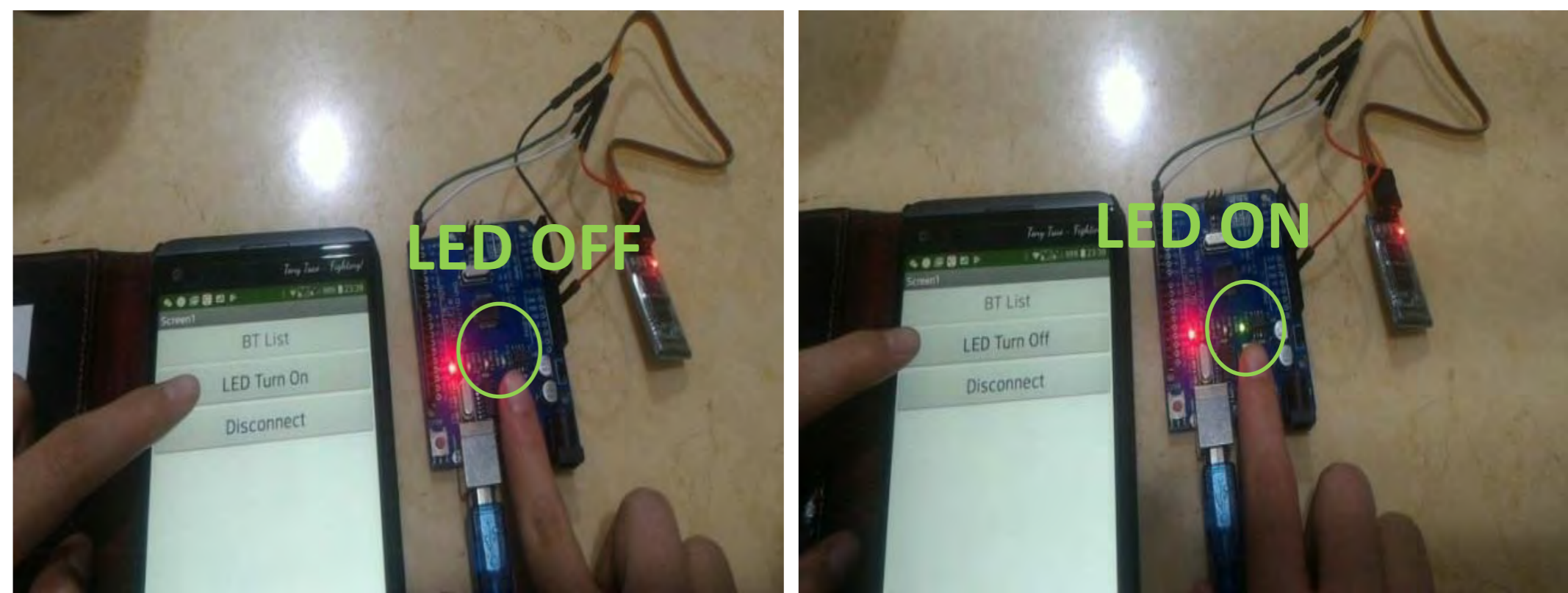
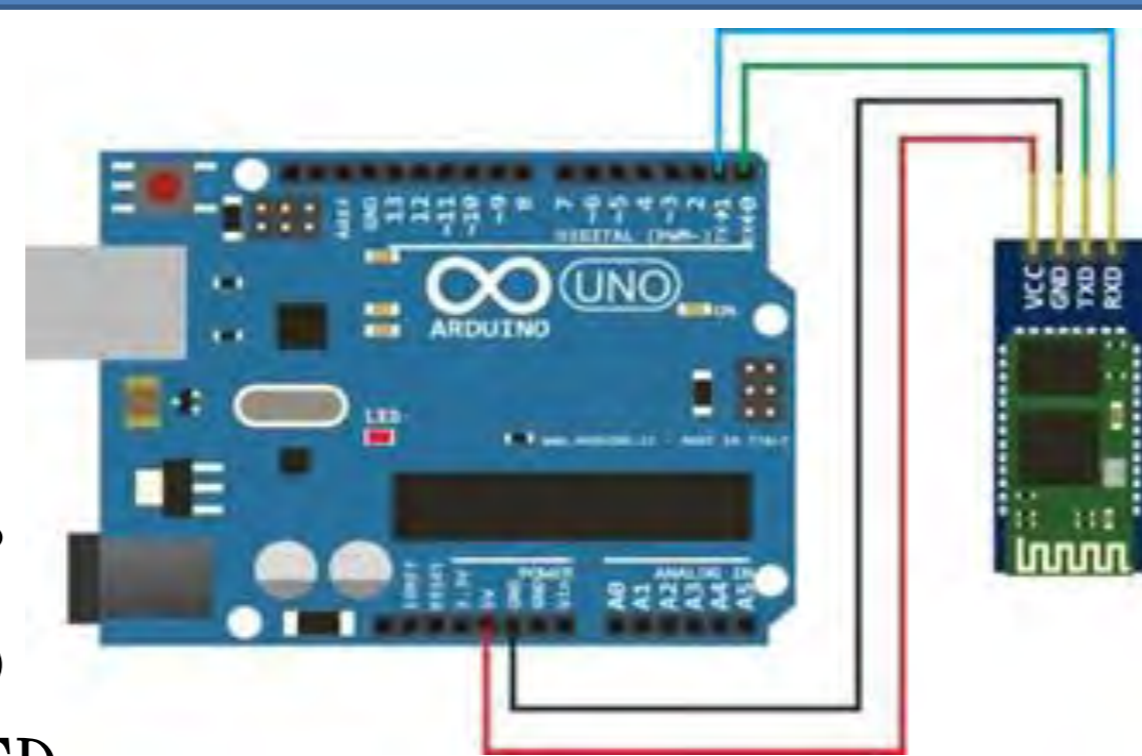
- (一) 使用微型振動馬達控制電路，修改上個實驗寫的程式，振動強度設定為 Level = 3，間隔2秒振動一次。
- (二) 身體各部位的感受不一樣，請男、女同學各10個分別感受振動，並提出輕重感受分五級與喜歡、不喜歡測試部位的振動感受。
- (三) 實驗統計分析與發現：
  1. 男生與女生對於**肩膀與背部**的感受**普遍比較明顯**。
  2. 男女生都有部份對於**腋下的反應較差**。
  3. 有部分**女生不喜歡胸部與肚子**的振動。





## 研究六、手機與Arduino UNO透過藍芽連接控制

- (一)使用手機透過HC-06藍芽模組控制Arduino上LED(13)ON/OFF。
- (二)使用mBlock來設計控制軟體。
- (三)使用MIT AI2來製作手機APP。
- (四)設置藍芽模組進行手機配對。
- (五)實驗結果:完成手機與Arduino透過藍芽通訊裝置連線控制 LED ON/OFF，達成**裝置的無線控制**。



Arduino UNO 與藍芽模組的串列埠是交叉接線 TX(板端)-RX(模組)、RX(板端)-TX(模組)

## 研究七、研究手機在雲端資料交換的方法與實驗

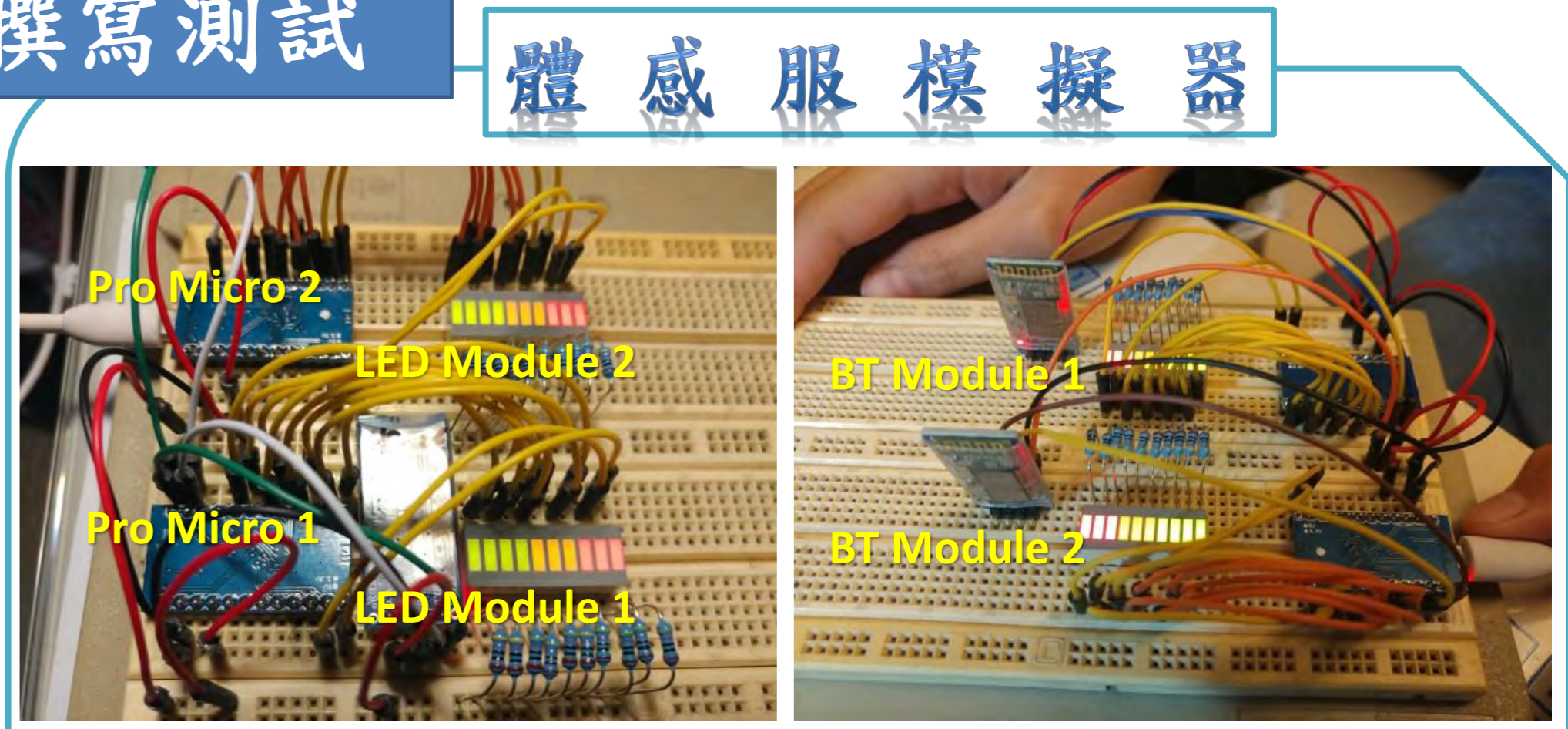


- (一)註冊**Firestore**資料庫並建立新專案，將使用規則設定為開放(Ture)，然後取得專案資料庫連結網址與網路憑證(金鑰)以後，就可以開始使用資料庫了。
- (二)使用MIT AI2設計**即時通訊APP**研究雲端資料交換的方法。
- (三)實驗結果：
  1. 操作**即時通訊APP**可以從瀏覽器觀察 Google Firestore 資料的即時變化。
  2. 實驗中利用手機透過 **Firestore** 交換資料，利用**雲端連接**打開通往世界的大門。



## 研究八、體感服的模擬器設計與控制軟體、APP撰寫測試

- (一)使用**Pro Micro** (相容Arduino)，解決放進衣服**體積**的問題。
- (二)體感服的**模擬器**線路共二組，可**模擬二套衣服**溝通的狀況。
- (三)撰寫**體感服控制軟體**與**手機APP**的偵錯測試。
- (四)實驗結果：
  1. 模擬器驗證通訊與控制的架構與線路設計可以正常工作。
  2. 模擬器利用LED顯示表示振動，可以快速驗證程式的問題。
  3. 完成模擬器的驗證，表示體感服的通訊與控制已經完成。



## 研究九、體感服的製作與實際測試

- (一)製作肩膀x2、右前胸到肚子x8、左前胸到肚子x8、背部x12、腋下x2，整件衣服共使用32個振動控制點。
- (二)將Pro Micro、藍芽模組、驅動模組、電源模組、振動馬達陣列模組連接。
- (三)將控制盒與馬達陣列模組安裝到衣服。
- (四)完成體感服的製作與功能測試。



## 伍、研究結果與討論

- 一、選擇**扁平式振動馬達**作為體感服**傳達觸感**的來源。使用Arduino UNO做為控制的核心，並外加電流驅動模組。
- 二、從研究三控制馬達通電時間影響振動強度，問卷調查取得200筆有效記錄，統計分析得到 **$y=0.2x$** 線性公式。
- 三、研究四利用 **$y=0.2x$** 線性公式來控制的振動強度，並從線性振動控制與人體感受的問卷中得到**可行性的驗證**。
- 四、**身體各部位**對於振動的感受不同，研究五透過問卷發現男女對於**肩膀與背部感受明顯**，對腋下的反應較差。
- 五、使用**藍芽通訊**連接手機與控制端，達成**短距無線控制**。並透過**Firestore**雲端資料庫，完成**遠距離資料交換**。
- 六、**體感服模擬器**可以同時測試線路、控制軟體與APP。製作**體感服**，完成**真實地傳遞「情感性的觸覺」**衣服。
- 七、探討**通電時間與振動感受**線性關係取樣數？首先要確認人類反應時間，將最小時間單位設定在0.01秒。反應與專注力有關，樣本不足統計數據可能會被影響，所以每位受測者取樣10次，並採樣年齡接近的20人次。
- 八、振動馬達的**密度越高**，可以得到**更好的觸覺體驗**？目前放置了36個振動馬達，可以清楚表達每個觸碰位置。
- 九、**持續研究與設計**：第一代體感服(2018.11完成)，振動馬達嵌入EVA中，振動被部分吸收。背心不夠貼身，控制盒太大、線路太多。第二代體感服(2019.04完成)改善上述問題，隱藏控制電路。第三代持續研發中...



## 陸、結論

- 一、本作品藉由**無線傳輸與雲端資料交換**，確實完成可以**「擁抱」**之體感服。
- 二、目前已完成研發至**第二代體感服**，改善了服裝的**貼身性與實用性**，具有良好的**振動觸感**以及隱藏了控制模組與線路，並增加**傳輸動態表情**的功能。未來**第三代體感服**將增加傳感器，可以即時偵測人體生理參數，改變目前手機按鍵輸入的控制方式，增加人體振動模組的接觸面積與更細緻的控制振動。
- 三、以**線性系統**“馬達通電時間與人體感受之線性關係”來**控制振動馬達**，建構**「情感性觸覺」**之關鍵參數。
- 四、研究過程以問卷方式處理**人體受振動大小之感受**，並且以**統計分析**方式，完成數據之**可信度**分析。
- 五、體感服的應用與未來：
  1. 使用在**人與人的溝通**搭配通訊軟體，如LINE、微信...或是**直播與粉絲互動**的軟體，如Facebook、抖音...
  2. 影音平台的**多媒體播放互動**，搭配撥放軟體，如YouTube、網路或有線電視系統...
  3. 教育類輔助**遠距教學**與肢體互動，以及**現場教學**的虛擬互動
  4. 遠距**醫療照顧**與復健工作、**老年長照**與**特殊兒童照顧**
  5. 其他特殊應用，像是**收集擁抱**、**記憶擁抱**，以及**擁抱的販售**。

## 柒、參考資料

一、科學人雜誌 解讀心智 觸覺的情感力量 撰文/SA編輯部 (The Editors of SA) 四、ARDUINO <https://www.arduino.cc/>  
翻譯/陳瑛葳 <http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&id=3011> 五、mBlock <http://www.mblock.cc/>  
二、神奇「擁抱背心」 按讚就有愛的抱抱! | ETtoday新奇 | ETtoday新聞雲 <https://www.ettoday.net/news/20121007/111606.htm> 六、MIT App Inventor 2 <http://appinventor.mit.edu>  
三、CUTECIRCUIT The-Hug-Shirt <http://cutecircuit.com/the-hug-shirt/> 七、Firestore <https://console.firebase.google.com/>  
八、人類反應時間測試與統計 <https://www.humanbenchmark.com/>  
九、興華鑫1034馬達規格書 深圳市興華鑫電子科技有限公司  
十、互動設計專題與實戰:深入Arduino的全方位指南/慕峯資訊柯博文著  
十一、從Arduino到AVR:嵌入式系統原理與應用/旗標出版社 林聖泉著  
十二、用Arduino全面打造物聯網/慕峯資訊 孫駿榮 蘇海水著  
(由於版面有限,詳細參考資料相關內容請翻閱科展作品說明書)