

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

國中組 生活與應用科學科(一)

佳作

032816

啞鈴幫我數與運動姿態分析系統

學校名稱： 高雄市立龍華國民中學

作者：	指導老師：
國二 羅雅勻	林佳德
國二 林稟軒	周靜芳
國一 錢冠叡	

關鍵詞： 啞鈴、運動姿態、加速度

## 摘要

健身房四處林立，健身為現代人所崇尚的活動，人們知道健身的益處，但須持之以恆才能享受，否則容易受到傷害。根據研究證實適當運動對身體的益處大於壞處。傳統啞鈴只是一種健身器材，但也是最佳器具之一，然而每次操作時使用者須自行計算次數，使遺漏次數、多算次數等問題層出不窮，容易造成使用者心理負擔和增加運動傷害的可能性。在作品中我們將啞鈴結合科技，使用時在啞鈴或手機設定次數，啞鈴即可幫助使用者計算次數，也能糾正使用者動作是否標準，當達到設定次數時，啞鈴會發出聲音提醒使用者。系統以 ESP32 為主控器，搭配 6 軸加速度感測器偵測慣性運動，介面設計有 HMI、心率感測器及藍芽無線傳輸控制，再經由手機 APP 程式記錄操作者每次運動姿態。

# 壹、前言：

## 一、研究動機：

- (一)、假日有一天隨父親至健身工廠運動，眼前所見內部有各式各樣的運動器具，具有「科技感」與「傳統健身器材」更顯現出之差異性，大都數的人選擇操作智慧型的健身器具，除健身者需要才會選擇啞鈴，但又笨又重的啞鈴鮮少人會去選用，因此創作中我們想要改變活化啞鈴健身器材。
- (二)、現代的人們愈來愈趨向於室內工作，坐在辦公室裡的時間愈來愈長，運動變成生活中不可或缺的角色之一，隨著各種健身器材的興起，健身也可以不必請教練，而是可以依靠如：AI 陪伴科技教練，利用影片學習方式，達到一樣的健身效果，甚至還能訂做專屬課程，讓健身不必再拘泥於健身房。
- (三)、啞鈴鍛練有多種好處，可增加手臂肌耐力、並改善關節穩定性和增加靈活性，在啞鈴運動可完成一次性多個肌肉群運動，使啞鈴運動對日常活動和運動表現非常有功能性。因此我們心想設計一款可以提供，居家的運動健身器材。
- (四)、啞鈴不像其他的運動器材，已經發展出各種先進的功能，所以我們想做一個智慧啞鈴，可以自動數數，並結合手機 APP 程式，將每次健身的數據、結果，記錄在手機中，即可以隨時查看健身的效果，作品設計也可以讓不常去健身房的人們選擇使用，作品之設計也不會因過量運動或運動量不足而導致成效不佳，甚至造成運動傷害。
- (五)、「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」，如圖 1-1 所示。設計初衷為了讓人們擁有健康的身體，它結合了傳統的啞鈴與電子設備、結合 APP 程式設計，可先在手機 APP 中或啞鈴機身上設定今日運動目標，在達到目標時會發出提醒聲或音樂從而讓使用者知道達成目標，也可結合心率監測系統，可隨時查看運動過程心率數據，大大降低運動傷害或因疾病、身心障礙所產生的傷害。

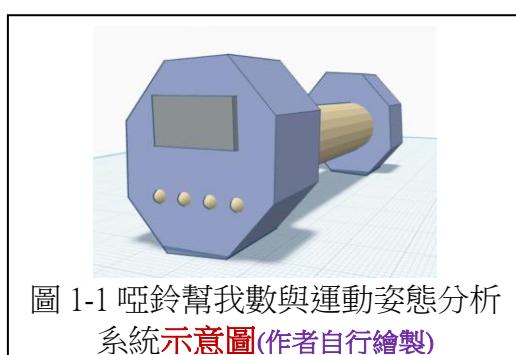


圖 1-1 啞鈴幫我數與運動姿態分析  
系統示意圖(作者自行繪製)

## 二、研究目的：

- (一)、深植活化傳統啞鈴的單調操作模式，啞鈴的啞字就是不言不語，如瘡啞人士用詞，只能用手語來表達語意。作品將啞鈴設計成具有智慧科技感的健身運動裝置，將不會講話的啞鈴，變身成為聰明會開口講話的新一代啞鈴裝置。成為科技教練陪伴健身運動，達到**休閒娛樂**之目的。
- (二)、創新改變傳統啞鈴，導入電子偵測、數據紀錄與分析，心率偵測，將健身/生理參數資訊經由手機螢幕顯示，裝置可即時糾正操作者運動姿態是否標準、偏左或偏右，並以燈號顯示提醒。運動健身須以定數定量的規律的運動，即可避免**運動過量**造成**運動傷害**，或次數不及未能達到運動健身成效。
- (三)、環境中免不了食衣住行育樂生活型態，豐衣足食的台灣社會大家所嚮往就是健康與快樂，運動時身體會釋放快樂荷爾蒙，能減輕工作及課業壓力，同時運動也能改善睡眠，作品也能居家個人休閒之用，提升大家使用的機會。
- (四)、創作以科技為主軸，啞鈴可以協助使用者來計數每次操作次數，並以語音方式透過喇叭說出計數值，也能選擇四種國家語言(中文女、中文男、英語、日語、韓語)。
- (五)、健身如遊戲可提高使用者操作意願，可經由智慧型裝置計算運動者所消耗的卡路里，計算操作時間，並分析操作者運動姿態，再將運動健身成效**量化成績**。健身運動或使用者可經由成績明白每次運動成效或姿態正確性。
- (六)、心率偵測裝置，可單機操作用來量測健身者，運動前或運動過程心率資料。當心率異常時裝置會發出警報聲，提醒使用者停止運動。讓每次健身都能在心身健康無虞下運動。
- (七)、啞鈴計數器裝置，透過啞鈴訓練可增加身體肌耐力，設計只要在啞鈴上設定運動次數，裝置即可協助操作者來「計數次數」，也能糾正操作者「運動姿態」之正確性，可記錄每次運動量及運動時間。當計數值到達設定值時，裝置會發出提醒聲。

## 三、文獻回顧：

藉以瞭解之前的研究者針對此作品相關研究主題，提供了哪些重要的貢獻，而在這過程中我們透過探討、反思、創新思維，研究方法，發現問題與結果，因此作品針對歷年相關之實驗研究、閱讀後整理部分重點摘要如下：國立科教科教館全國中小學科展作品查詢。

作品名稱	主要探討	研究方法	發現結果
重力加速度簡易測量法(加速度) 中華民國第 19 屆中小學科學展(中等學校組)	1.研究想藉由簡易的操作求取更精確的數值,因此設計出由數個定滑輪與能夠轉動的腕架所構成的裝置,並附上翼片,避免氣體影響實驗結果。	1.觀察短距離內的落體運動,是否為等加速度運動,才設計出實驗(B)予以證實。實驗(C) 原理簡單,操作容易,且每個有興趣的讀者皆可自己動手製作此裝置,實驗結果已使外力影響達到極限。	1.實驗中可提供有效而可靠重力加速度測量方法。 2.以物理實驗方式實踐加速度測試與驗證。 3.我們設計使用六軸加速度感測器,以現今科技處理物理特性之加速度量測。
生醫監控守護神 中華民國第 57 屆中小學科學展(中等學校組)	1.研究主要利用 Pulse Sensor 脈搏心率心跳感測器,偵測人體心跳,並將數值資料透過 Wi-Fi 傳輸,回傳至電腦程式做解讀與判斷,即時判斷出受測者的當下的心跳狀況。	1.自行撰寫設定與顯示介面之程式,可顯示心跳相關數據,亦可即時繪出心電圖,當無線遠端監測時,只要連接到網頁就可以即時掌握穿戴者的脈搏現況。	1.透過 WF8266R,利用 IFTTT 發送訊息,保障受照護者權益。 2.設計電腦設定介面,方便照護者觀察配戴者情形並採取適當措施。 3.透過 APP 讓使用者一啟用便能看到受照護者的資訊。 4.透過 WF8266R 將資料儲存到照護者的資料庫中,以供照護者追蹤。
啞鈴 中華民國專利資訊檢索系統	1.一種具有計數器之啞鈴係包括:啞鈴本體及計數器,其中該啞鈴本體具有握把及設於該握把兩端的配重體,其特徵在於:該配重體上設有一容置槽,該計數器係設置於該容置槽。	1 再藉該微處理器將該計數單元所傳輸的累積步數,與該記憶體所預存的相關資料進行比對與分析,並將分析結果傳輸至該顯示幕中,且透過該發音器語音提示。.	1.使用開關上下偵測。我們作品使用六軸加速度感測器。 2.同樣有計數語音功能。我們作品可選擇各種運動項目,使用液晶顯示器顯示計數值,作品可選擇兩種文字顯示介面及四種國家語言。 3.沒有運動姿態分析。我們作品可以偵測操作者的運動姿態及心率偵測,運動成績量化,計算操作時間,消耗卡路里,並輸出運動成績及 QR code,手機同步看運動成效。

在文獻查詢方面，我們尚未查詢與我們研究相關之作品，作品最大的特色就是能幫使用者以語音來計數操作啞鈴次數，並分析操作者的姿態是否正確，最後在將運動時的姿態量化成績，提供使用者明白知道每次運動成效。以下是我們經歷數月的研究設計成果。

## 貳、研究設備及器材：

設 備 名 稱	數量	用 途 說 明	備 註
筆電	1	ESP32 程式設計、報告撰寫、APP 程式設計	
ESP32 微控制器模組	1	啞鈴系統主控制器、控制 HMI 與輸出輸入控制、感測器	
RF2.4GHz 無線模組	4	無線射頻模組，心率資料傳送/接收控制	
脈搏心率心跳感測器	1	感測器偵測人體心率資料，透過 Arduino 讀取心率	
HMI 人機介面 2.8 吋、2.4 吋	4	啞鈴計數值各參數顯示、子系統為心率數據及心率曲線圖顯示	
Arduino UNO R3	1	子系統控制器，控制 HMI 及讀取心率感測器資料	
MPU6050 六軸加速度感測器	3	偵測加速度與陀螺儀數據	
ESP32 晶片	3	主系統控制晶片微控制晶片	
ATmega328P 積體電路	1	心率偵測子系統，單晶片微電腦控制晶片	
鋰電池 7.4V、12V	4	電源供應、可充電使用	
鋰電池充電控制板	2	鋰電池電控制、防止過充及保護	
USB 轉 TTL 模組	1	HMI 編輯下載傳輸裝置、ESP32 程式下載	
麵包版	1	免焊電路板，用於電路設計與實驗	
MP3 語音撥放模組	3	語音輸出控制板、播放語音資料	
SD 記憶卡 32GB	4	主要存放語音資料(音效、國家語言)	
5050RGB_LED	10	主要用於狀態燈號顯示、顏色為紅、綠、藍三種顏色	
喇叭 8Ω/0.5W	3	聲音輸出	
鐵砂	1	啞鈴負重填充	
充電器 8.2V/2A	1	鋰電池充電用	

## 參、研究過程或方法：

### 一、系統設計架構圖

系統設計架構，如圖 3-1 所示。可分主系統與子系統與智慧型裝置，主系統為「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」，子系統為「心率偵測系統」。主系統可單機操作，用來計數啞鈴操作次數，子系統也可單機操作，用來量測健身者運動前心率資料，同時兩者也可與智慧型裝置一起搭配進行，透過智慧型裝置即可顯示啞鈴操作次數，健身時之心率資訊並記錄。

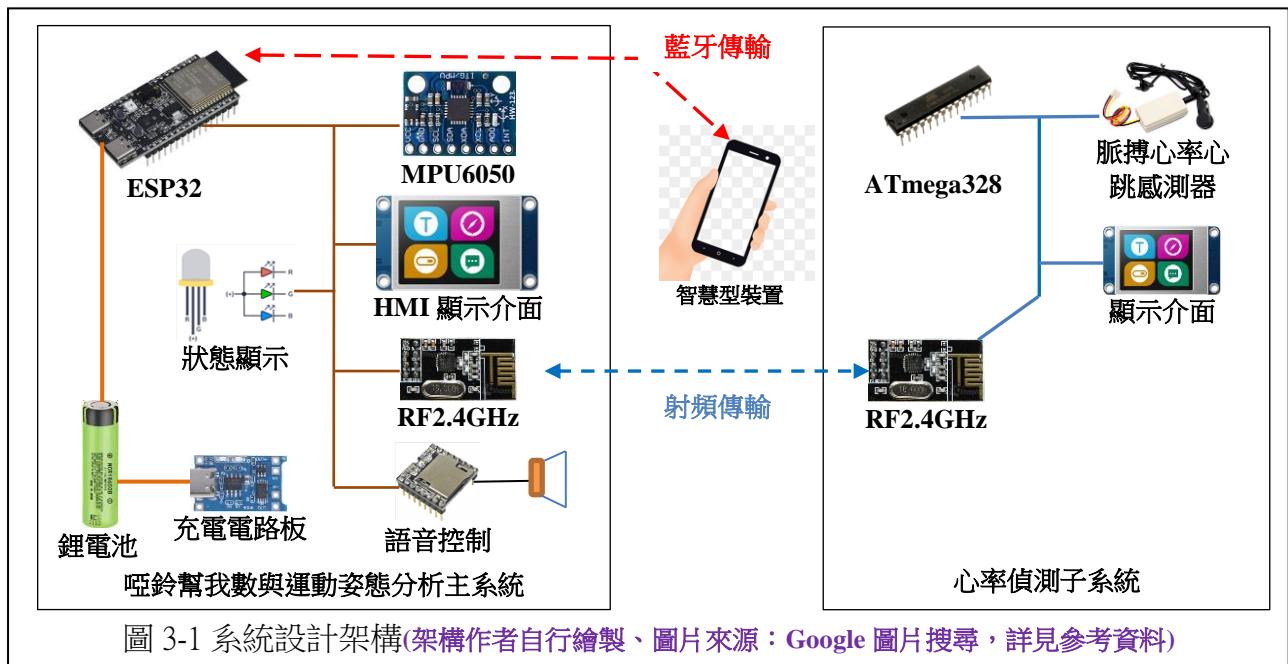


圖 3-1 系統設計架構(架構作者自行繪製、圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

#### (一) 啞鈴幫我數與運動姿態分析主系統方塊圖

啞鈴幫我數與運動姿態分析主系統方塊圖，如圖 3-2 所示。系統共有七個單元模組，分別為 ESP32 微電腦主控制器單元，MPU6050 六軸加速度感測器單元、HMI 顯示介面單元、語音控制模組單元、RF2.4GHz 無線通訊模組單元、RGB LED 狀態顯示單元、電源供應與充電電路單元。

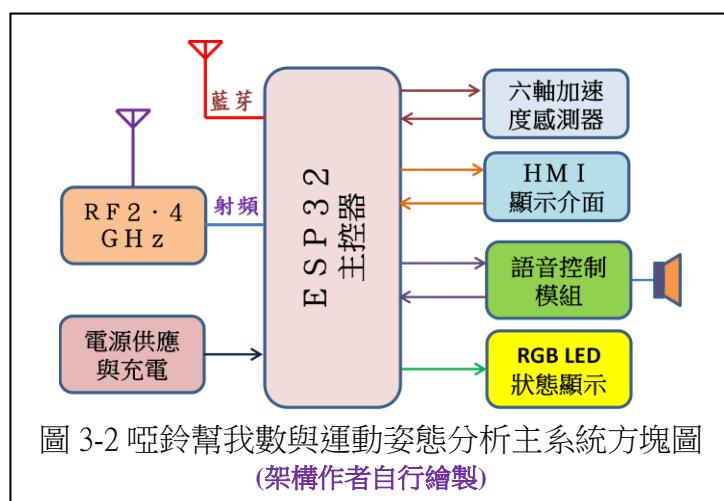
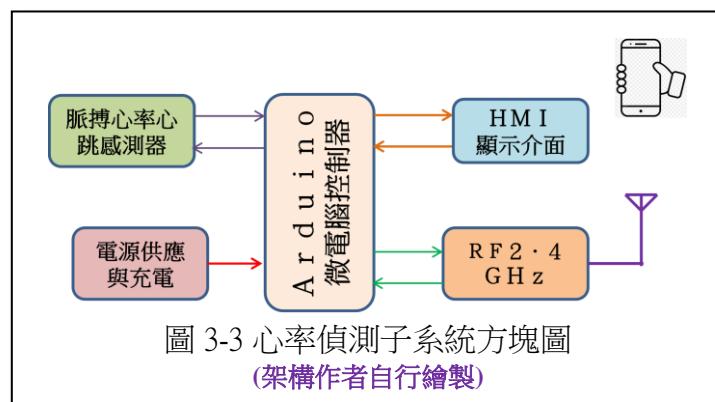


圖 3-2 啞鈴幫我數與運動姿態分析主系統方塊圖  
(架構作者自行繪製)

ESP32 微電腦主控制器單元為系統核心，主要是用來控制周邊介面電路，撰寫韌體與硬體電路。MPU6050 六軸加速度感測器單元，主要是偵測施於感測器上之加速度值與傾斜角度值，透過 $I^2C$ 將訊息傳送至 ESP32。HMI 顯示介面單元，主要用來顯示系統各項選單界面，顯示資料則由 ESP32 傳送並顯示。語音控制模組單元，主要是輸出播放語音資料與音樂。RF2.4GHz 無線通訊模組單元，主要是透過接 ESP32 控制接收，經由子系統傳送的心率資訊。RGB LED 狀態顯示單元，主要用來顯示運動慣性燈號，姿態正確點亮綠色 LED，偏左偏右則分別以左右兩個紅色 LED 顯示，上下定位點位置則以白光 LED 顯示。電源供應與充電電路單元，主要是提供電路板所需要的電壓/電流，充電電池則選用 18650 鋰電池，外部充電則使用鋰電池充電控制板進行充電。

## (二)、心率偵測子系統方塊圖

心率偵測子系統方塊圖，如圖 3-3 所示。共有五個單元分別有 Arduino 微電腦控制器單元、脈搏心率心跳感測器單元、HIM 顯示介面單元、RF2.4GHz 無線通訊模組單元、電源供應與充電單元。在心率偵測子系統我們選用 Arduino 微電腦控制器，主要是控制及接收周邊控制介面。脈搏心率心跳感測器，主要用來偵測人體脈搏、心率、心跳，透過介面將資料傳送至 ESP32 處理。HMI 顯示介面，則用來顯示人體脈搏、心率、心跳數值。RF2.4GHz 無線通訊模組單元，將 Arduino 所量測的心率資料透過 RF2.4GHz 傳送至 ESP32 主系統。電源供應與充電電路單元，提供電源給子系統使用，所使用的則為鋰電池。



## 二、硬體與軟體設計步驟圖

在硬體與軟體設計步驟流程圖，如圖 3-4 所示。需先完成硬體電路同時在設計軟體，作品先設計左側「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」，分別有六個項目，在完成各項硬體與軟體，再逐一分別加入各項再分別整合測試。右側為「心率偵測」設計步驟流程，依步驟完成各項設計與測試，最後再與主系統整合測試，如錯誤需修改再返回各項步驟逐一修正，待軟硬體測試無誤後即可完成整合測試工作。

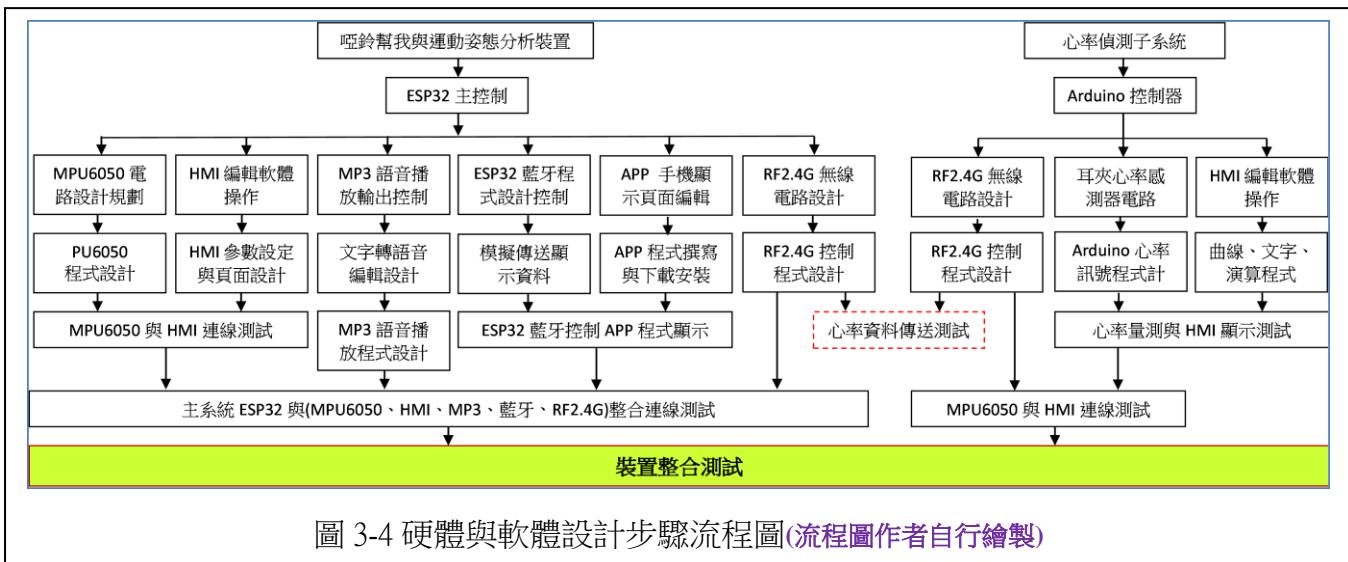


圖 3-4 硬體與軟體設計步驟流程圖(流程圖作者自行繪製)

### 三、ESP32 微控制器

ESP32 微控制器，如圖 3-5 示。啞鈴幫我數與運動姿態分析系統，設計我們選用 ESP32 為主控制器，ESP32 是由樂鑫科技公司研發的低功耗的微控器 (Micro Controller Unit, MCU)，它是一款擁有強大功能的微控制器，內部具有 Wi-Fi 通訊功能、藍牙通訊功能，輸出/輸入控制，因此被廣泛的應用在物聯網以及無線通訊領域。選用主要原因就是 ESP32 模組的開發方式，可以完全相容於 Arduino，所以只要在 Arduino IDE 介面即可撰寫程式，ESP32 函式庫也與 Arduino 開發板的範例可共用相容性高。ESP32 應用在無線資料傳送，簡單易學的開發工具，網路功能與簡單易學的模組函式庫，還有很多相關的範例可供參考、修改、設計。



圖 3-5 ESP32 微控制器  
(圖片來源：Google 圖片搜尋、詳見參考資料)

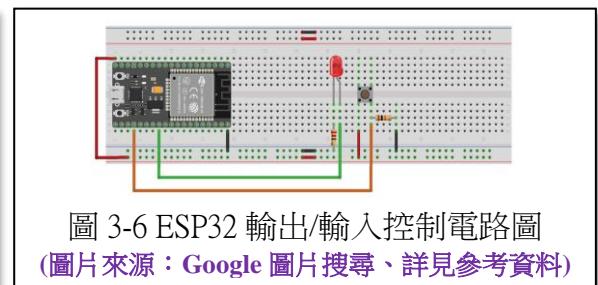


圖 3-6 ESP32 輸出/輸入控制電路圖  
(圖片來源：Google 圖片搜尋、詳見參考資料)

#### 實驗一：ESP32 連線下載及輸出與輸入控制設計測試

說明：1. 測試 ESP32 連線下載及燒錄程式，ESP32 輸出/輸入控制電路、如圖 3-6 所示。

2. 動作功能當按下 SW1 控制 LED 點亮 5 秒後熄滅。

3. 程式完成後下載軟體至 ESP32，測試按下 SW1 檢查 LED 是否點亮，經過 5 秒後熄滅。

### 四、Arduino UNO 微控制器

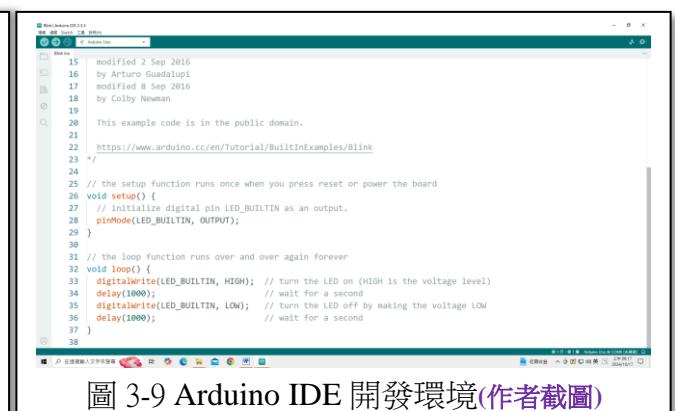
心率偵測子系統則我們選用 Arduino UNO 微電腦控制器，如圖 3-7 示。主要是接收脈搏心率心跳感測器所傳送資料，心率感測器範例程式只提供 Arduino 介面，沒有 ESP32 範例程式，因此在心率偵測則選用 Arduino 原因，程式編譯方式使用 Arduinod IDE 開發環境。Arduino

Uno 微控制器板，晶片編號為 Atmel ATmega328P，8 位元微控制器 (MCU) 為基礎。Arduino Uno 具有 14 個數位輸入/輸出腳位，其中 6 個用於 PWM 輸出、6 個類比輸入，以及 1 個 16MHz 石英晶體。Uno 也包含 USB 連線、電源插孔、線路內序列程式設計 (ICSP) 插頭，以及 Reset 重置按鈕。



### (一)、Arduino IDE 開發環境

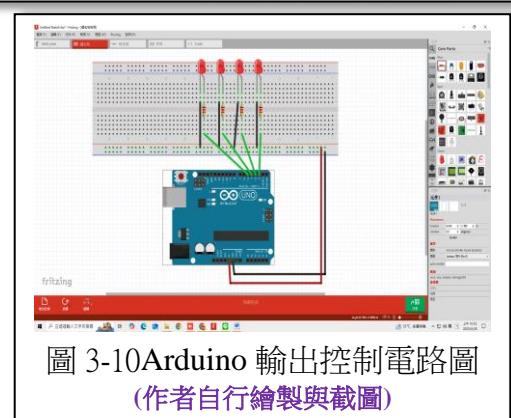
Arduino 開發軟體為免費軟體，Software Arduino 軟體下載官網，如圖 3-8 所示。軟體目前版本為 Arduino 2.3.3，此時選擇 Windows 安裝包即可進行下載，軟體並提供繁體中文環境，下載後再安裝 Arduino IDE 完成後，再將 Arduino UNO 接上 USB 傳輸線在與電腦連接，螢幕上會出現安裝驅動程式畫面。Arduino 提供使用者開發平台為，Arduino IDE 提供程式設計、編譯/連結、除錯與燒錄等功能，Arduino IDE 開發環境，如圖 3-9 所示。



### 實驗二：ArduinoUNO 連線下載及輸出控制設計與測試

說明：1. Arduino 經由數位輸出控制 LED、設計 4 個 LED 輸出控制，由 D2~D5 數位輸出腳以低態輸出控制 LED，依序點亮程式，Arduino 輸出控制配線圖，如圖 3-10 所示。

2. 程式完成後下載至 Arduino 模組，然後檢查 LED 是否依程式控制方式依序點亮。



## 五、HMI 顯示介面控制電路設計

HMI 顯示器，如圖 3-11 所示。我們設計選用掏晶馳公司所開發的顯示器，該模組為 USART HMI 顯示器，開發軟體使用 GUI 界面的進行設計顯示頁面及物件屬性設定，HMI 控制可透過串列傳輸進行指令及數據資料之傳遞。我們所選用為 2.4 吋液晶模組作為啞鈴顯示器，螢幕解析度 320x240、TFT LCD 顯示器，傳送文字以 ASCII 即可，因此透過 ESP32 USART TX0、RX0 腳即能簡單的進行控制與顯示。



圖 3-11 HMI 顯示器  
(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

### (一)、HMI 顯示器編輯軟體

HMI 顯示器編輯軟體操作界面，如圖 3-12 所示。軟體及顯示器模組皆為淘晶馳公司之產品，該軟體為簡體中文，對於開發操作有點困擾。開發界面各項功能說明，如圖所示。



圖 3-12 HMI 顯示器編輯軟體操作界面(作者截圖設計)

USART HMI 人機界面編輯完成後，即可將編輯軟體下載到 USART HMI，點選下載鈕後選擇 COM3 及傳輸鮑率，USART HMI 編輯下載，如圖 3-13 所示。



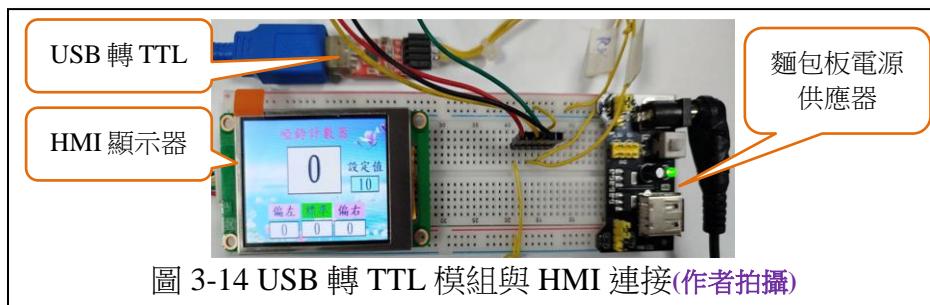
圖 3-13 USART HMI 編輯下載(作者截圖設計)

### 實驗三：HMI 顯示器介面編輯設計與測試

說明：1. 使用 USB 轉 TTL 模組與 HMI 連接，如圖 3-14 所示。

2. 電源腳+5V、GND 與 HMI 連接，但 TX、RX 需跳接，完成後執行 HMI 編輯軟體，此時即可依規劃功能頁面進行人機界面編輯及設計人機界面控制程式。

3. 編輯完成顯示介面下載至 HMI。

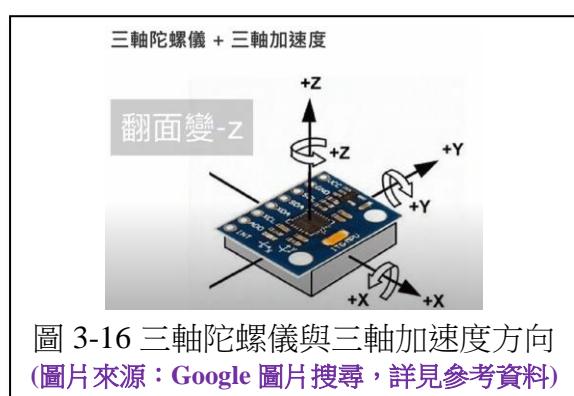


## 六、MPU6050 六軸加速度感測器控制電路設計

MPU6050 六軸加速度感測器，如圖 3-15 所示。他是一款常見的 6 軸慣性感測元件，它包括了三軸加速度計及三軸陀螺儀。MPU6050 使用與讀取資料的介面為  $I^2C$ ，在網路我們也找很多的 library 與範例可供參考使用。將參考電路與程式下載進行驗證測試，在修改成我們系統所需要功能。

陀螺儀-用於測量旋轉速度 (rad/s)，這是角度位置沿 X、Y 和 Z 軸（滾動、俯仰和偏航）隨時間的變化。這使我們能夠確定物體的方向。MPU-6050 測量 X、Y 和 Z 軸上的加速度。理想情況下，在靜態物體中，Z 軸上的加速度等於重力，並且在 X 和 Y 軸上應為零。

MPU-6050 三軸陀螺儀模組，通常可用於測量物體的姿態和運動，它能夠提供以下數據，加速度數據：MPU-6050 可以測量物體在三個軸向上的加速度，分別是 X、Y 和 Z 軸。三軸陀螺儀與三軸加速度方向，如圖 3-16 所示。這些數據可以用來測量物體的運動加速度。速度數據：MPU-6050 也可以測量物體在三個軸向上的角速度，同樣是 X、Y 和 Z 軸。這些數據可以用來測量物體的旋轉速度，如檢測物體的旋轉或轉動。因此選用 MPU-6050 來做為啞鈴慣性運動偵測。



## (一)、ESP32 與 MPU6050 電路設計

電路設計使用 ESP32 連接 MPU6050 六軸加速度感測器，透過 ESP32 軟體讀取 MPU6050 三軸加速度與三軸陀螺儀資料，該電路設計主要用於偵測啞鈴偏移角度，也是作品最核心重要的設計。

### 實驗四：ESP32 控制 MPU6050 電路設計與測試

說明：1.ESP32 與 MPU6050 接線圖，如圖 3-17 所示。將

MPU6050，VCC 接至 ESP32 +5V 位置，GND 則接至 ESP GND 位置。

2.將 ESP32 GPIO22(SCL)腳接至 MPU6050 SCL 腳，GPIO21(SDA)腳接至 MPU6050 SDA 腳。撰寫程式並下載程式測試。

3.MPU6050 程式與測試數據，如圖 3-18 所示。



圖 3-17 ESP32 與 MPU6050 接線圖  
(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

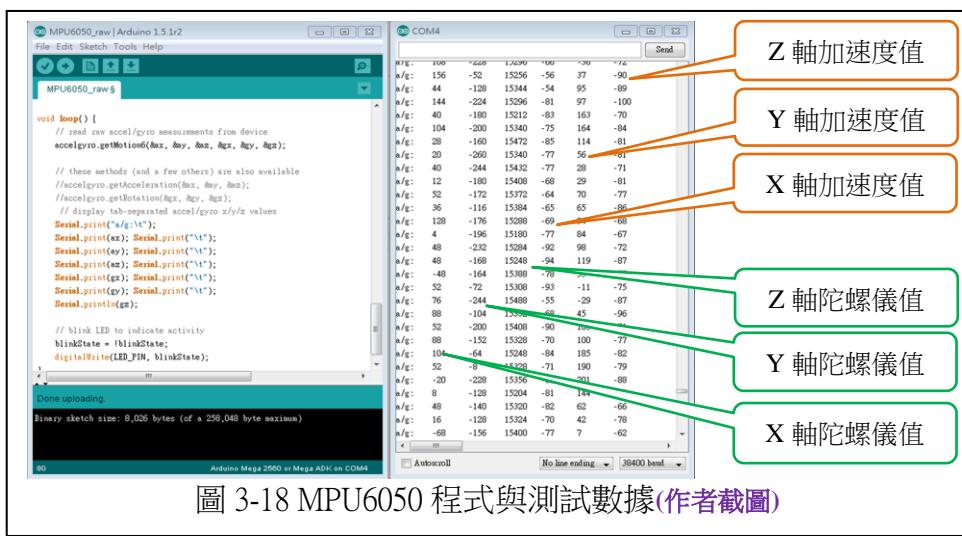


圖 3-18 MPU6050 程式與測試數據(作者截圖)

## 七、脈搏心率心跳感測器控制電路設計

耳夾脈搏心率心跳感測器，如圖 3-19 所示。脈搏波是心臟發送血液時產生的血管的體積變化波形，監測該體積變化的檢測器稱為脈搏感測器。以目前得知測量心率有四種方法，心電圖、光電脈波法、血壓測量法、心音描記法等。我們選用則為光電脈波法來進行脈搏次數的測量方式。

由於測量方法的不同，光電脈波法的脈搏感測器有透過型和反射型。透過型通過向體表照射紅外線或紅光，測量隨著心臟的脈動而變化的血流量的變化，作為透過身體的光的變化量來測量脈搏波，是最簡便的心率量測



圖 3-19 耳夾脈搏心率心跳感測器  
(圖片來源：標機器人)

方式，因此電路設計我們使用光電脈波法進行設計與實驗測試。引用該元件所提供的範例程式。設計製作的耳夾心率裝置，為了驗證其準確性，則以市面上的 OMRON 電子血壓計、脈搏，作為校正的參考依據，驗證測試則以三人進行電子血壓計與耳夾心率感測器同步量測，如圖 3-20 所示。耳夾心率感測器與 OMRON 校正測試結果，如表 3-1 所示。



圖 3-20 電子血壓計與耳夾心率感測器同步量測(作者截圖或拍攝)

表 3-1 耳夾心率感測器與 OMRON 校正測試(作者製表)

	A 同學		B 同學		C 同學	
時間	耳夾	OMRON	耳夾	OMRON	耳夾	OMRON
8:00	66	69	69	71	72	71
12:00	71	70	64	60	69	73
16:00	69	71	67	67	73	70

\*量測發現我有所設計的耳夾心律偵測與 OMRON，準確率可達到 97.18~100%，證明我們所製作的心率所量測的心率值是可參考。

### (一)、Arduino 與脈搏心率心跳感測器電路設計

心率感測器，這個模組採用超亮紅外(IR)LED 光敏晶體來探測手指的脈搏，紅色 LED 會隨著脈搏閃動，當血壓脈搏通過手指時，電阻便會有微小的變化，電路則以 Arduino 控制器，讀取心率脈搏資料，只需將脈搏感測器夾在耳垂或指尖，就可以量側心率脈搏數據。

#### 實驗五：Arduino 與心率感測器電路設計與測試

說明：1.Arduino 與心率感測器接線。

2. 將心率感測器+5V、GND 接至 Arduino 電源端，DOUT 腳接至 Arduino D2 腳。開始撰寫修改程式並下載至 Arduino 並進行測試。
3. 心率感測器測試數據，如圖 3-21 所示。

```

COM5
Send
17
31166
1113
18
32206
1040
19
33278
1072
20
34433
1155
Heart_rate_is: 53
0
35236
803
Autoscroll No line ending 9600 baud

```

圖 3-21 心率感測器測試數據  
(作者截圖)

## 八、RF2.4GHz 無線模組控制電路設計

RF24L01 無線模組接腳圖，如圖 3-22 所示。工作電壓：1.9~3.6V，RF24L01 的發射功率和資料傳輸速率可由軟體設定，設定廣播功率的 setPALevel，設定資料傳輸速率的 setDataRate，傳輸速率的任一常數，250kbs、1Mbps、2Mbps 三種傳輸率。

RF24L01 是一款新型單片射頻收發器，工作於 2.4 GHz~2.5 GHz ISM 頻段。內置頻率合成器、功率放大器、晶體振盪器、調製器等功能模塊，其中輸出功率和通信頻道可通過程序進行配置。RF24L01 功耗低，在以-6 dBm 的功率發射時，在數據傳輸方面實現相對比 WiFi 距離更遠，因此作品在心率偵測子系統，因資料訊息傳遞不同，則選用 RF24L01 無線模組，同時也可與 ESP32 藍芽裝置作區隔。



圖 3-22 RF24L01 無線模組接腳圖  
(圖片來源:Google 圖片搜尋, 詳見參考資料)

### (一)、ESP32 與 RF24L01 無線模組硬體電路設計

將 RF24L01 模組、Vcc、GND 電源腳接至 ESP32 3.3V 與 GND，接著將模組 CE 接腳接至 GPIO7 腳，CSN 接腳接至 GPIO8 腳，SCK 接腳接至 GPIO13 腳，MISO 接腳接至 GPIO12 腳，MOSI 接腳接至 GPIO11 腳。

實驗六：ESP32 控制 RF24L01 無線模組硬體電路設計與測試

說明：1.ESP32 與 RF24L01 接線圖，如圖 3-23 所示。

- 2.RF24L01 無線收發模組接於麵包板上，使用 SPI 傳輸方式，將 RF24L01 模組，裝配檢查無誤後，將 ESP32 傳輸線接至電腦 USB 座。
- 3.開啟 Arduino IDE 軟體介面，開始撰寫程式，完成後將程式下載至 ESP32，測試是否接收到經由 Arduino RF24L01 所傳送之心率資料。
4. RF24L01 無線模組接收程式，如圖 3-24 所示。

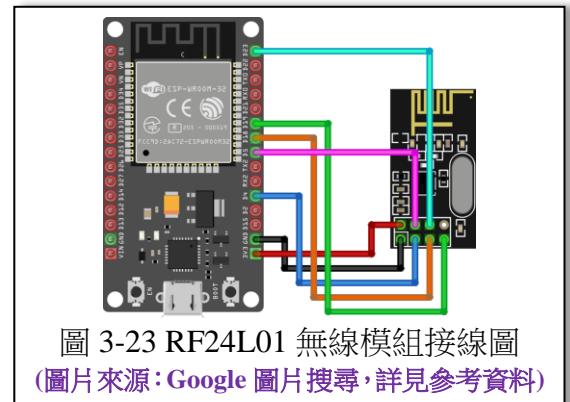


圖 3-23 RF24L01 無線模組接線圖  
(圖片來源:Google 圖片搜尋, 詳見參考資料)

```
//ESP32 RF2.4G 接收心率資料 2024.12.02

#include <SPI.h>
#include <RF24.h>
#include <nRF24L01.h>

RF24 radio(4,5); // CE 腳, CSN 腳
long weight;
=====

void setup(){
    delay(5000); //延遲 5 秒
    Serial.begin(115200); //鮑率設定
    radio.begin(); //
    radio.setChannel(83); //設定 RF2.4G 頻道
    radio.setDataRate(RF24_250KBPS); //設定資料傳輸速率
    radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH); //設定廣播功率
    radio.openReadingPipe(1,0x1); //通道 (pipe) 的位址格式為 5 個字元
    radio.startListening(); //開始偵聽；設定成發射模式
}

=====

void loop(){
    if(radio.available()){
        radio.read( &weight, sizeof(weight) ); // (訊息內容指標，傳送尋席長度)
        Serial.println(weight);
    }
}
```

圖 3-24：ESP32 控制 RF24L01 無線模組發射程式(作者設計與截圖)

## (二)、Arduino 發射端與 ESP32 接收端無線模組電路設計

RF24L01 無線收發模組接於麵包板上，使用 SPI 傳輸方式，將 RF24L01 模組、Vcc 電源腳接至 Arduino 電源端 3.3V 與 GND，接著將模組 CE 接腳接至 PIN7 腳，CSN 接腳接至 PIN8 腳，SCK 接腳接至 PIN13 腳，MISO 接腳接至 PIN12 腳，MOSI 接腳接至 PIN11 腳。發射端與接收端無線模組接線圖，如圖 3-25 所示。

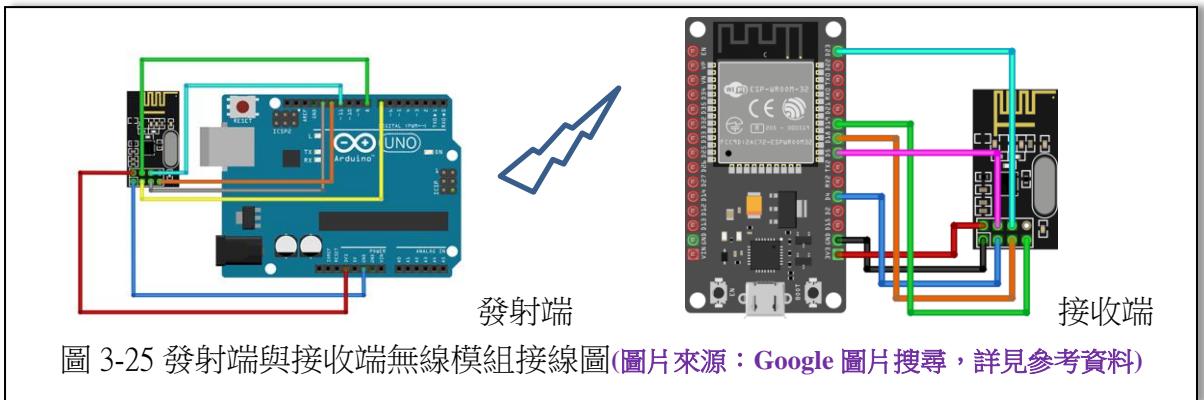


圖 3-25 發射端與接收端無線模組接線圖(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

### 實驗七：Arduino 發射端與 ESP32 接收端無線模組硬體電路設計與測試

說明：1.Arduino 與 RF24L01 接線圖，如圖 3-25 所示。

- 2.電路設計 Arduino 控制 RF24L01 發射端，傳送心率值，接收則由 ESP32 搭配 RF24L01，負責接收由心率子系統所傳送的心率資料。Vcc 電源腳接至 3.3V 與 GND。
- 3.開啟 Arduino IDE 軟體，將設計完成的兩程式分別下載至 Arduino、ESP32，測試接收端是否接收到經由發射端所傳送的資料，當接收到的資料正確，表示電路與軟體無誤。
- 4.RF24L01 無線模組發射數據，如圖 3-26 所示。RF24L01 無線模組接收數據，如圖 3-27 所示。

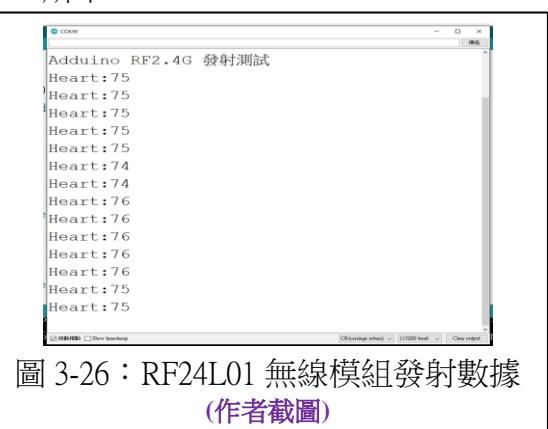


圖 3-26：RF24L01 無線模組發射數據  
(作者截圖)

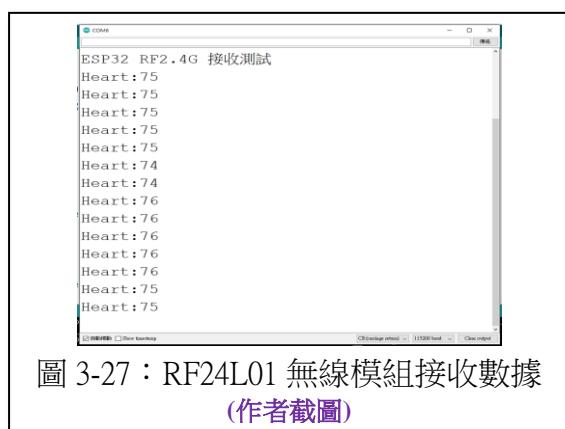


圖 3-27：RF24L01 無線模組接收數據  
(作者截圖)

## 九、APP 手機程式設計

APP 設計我們使用 APP Inventor2，App Inventor2 為一個透過視覺化圖形介面來設計行動應用服務的工具，可以透過 google 瀏覽器編輯器中拖拉積木和 GUI 圖形化介面的方式來開發 APP 而不用撰寫 Java 程式開發，開始製作我們在使用者介面設計，先規劃整個 APP 的功能還有主

畫面。MIT APP Inventor2 開發介面，如圖 3-28 所示。

APP Inventor2 分別為畫面編排、程式設計等兩種介面，APP 顯示畫面編輯介面，如圖 3-29 所示。APP 程式設計介面，如圖 3-30 所示。APP Inventor2 開發軟體使用積木方式撰寫程式，以物件導向方式設計，因此每一個物件都有該物件、屬性、事件、方法，APP Inventor2 易懂易學，只要有基礎程式設計及邏輯能力即可完成。國家語言與音效設定介面編輯，如圖 3-31 所示。



圖 3-28 MIT APP Inventor2 開發介面  
(作者拍攝與截圖)



圖 3-29 APP 顯示畫面編輯介面  
(作者拍攝與截圖)

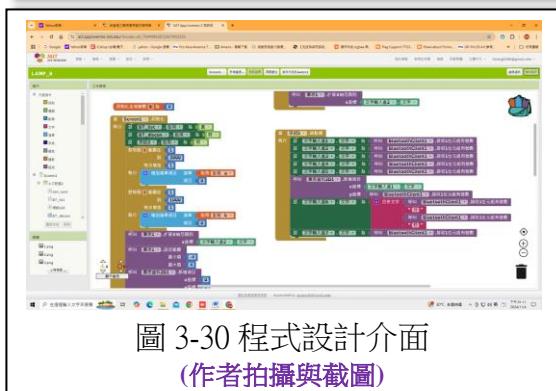


圖 3-30 程式設計介面  
(作者拍攝與截圖)

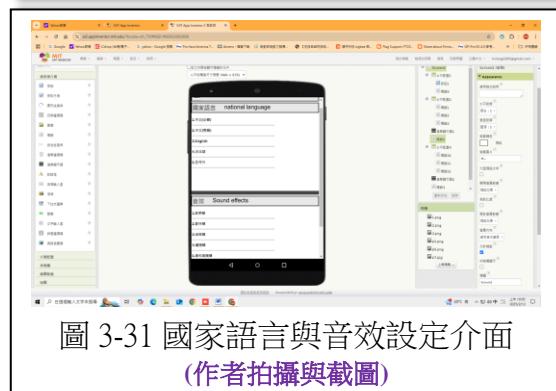


圖 3-31 國家語言與音效設定介面  
(作者拍攝與截圖)

### (一)、ESP32 和 Android 手機的藍牙進行數據通訊

使用 ESP32 的藍牙與手機藍牙進行簡單的相互數據傳輸。設計 ESP32 與 Android 手機的藍牙 2.0 進行資料傳送與接收，藍牙 Bluetooth 無線通訊傳輸，通常用於近端點對點通訊，設計為了確保藍牙裝置間的互通性，則與手機的藍牙進行數據傳輸。ESP32 傳輸有兩種模式：主模式和從模式，如圖 3-32 所示。



圖 3-32 主模式和從模式  
(作者拍攝與截圖)

### 實驗八：ESP32 和 Android 手機的藍牙通訊控制、電路設計與測試

說明：1. 設計 ESP32 負責傳送啞鈴計數器資料及心率資料，則 Android 手機負責接收資料，再將計數值、心率資料顯示在螢幕。

2. 設計由 Android 手機傳送設定值資料至 ESP32。

3. 設計由 Android 手機傳操作次數值至資料 ESP32。

4. 程式方面則需要撰寫 APP 程式及 ESP32 資料傳送程式。

5. ESP32 傳送資料欄位格式，如表 3-2 所示。

表 3-2 ESP32 傳送資料欄位(作者設計製表)

欄位	起始碼	計數值	設定值	偏左	標準	偏右	傾角值	心率	分數	時間
Bytes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Data	S	20	20	5	10	5	-4~+4	86	98	120

## (二)、Android APP 軟體設計

開啟 MIT APP Inventor2 開發軟體進行程式設計，首先編輯「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」主畫面，如圖 3-33 所示。國家語言與音效設定，如圖 3-34 所示。



圖 3-33 啞鈴幫我數與運動姿態分析系統主畫面(作者拍攝與截圖)

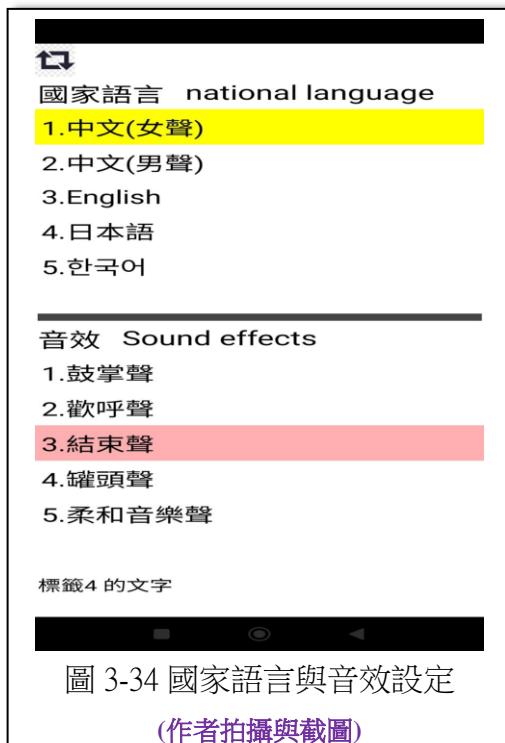


圖 3-34 國家語言與音效設定  
(作者拍攝與截圖)

## 十、MP3 語音控制電路設計

MP3 播放模組接腳圖，如圖 3-35 所示。DFPlayer Mini 是一款小巧且價格低廉的 MP3 模組，可以由 SPK\_1,2 腳直接接揚聲器。使用該模組主要是作為語音及音效觸發播放。MP3 模組也可以通過串列埠(Rx、Tx)控制，電路以 ESP32 串列埠連接 MP3 模組。模組支援 MP3、WAV、WMA 的解碼音檔。程式設計只要簡單的串列埠指令即可完成播放指定的音樂功能。音檔以序號方式儲存於 SD 卡，用來儲存數位的聲音資料。

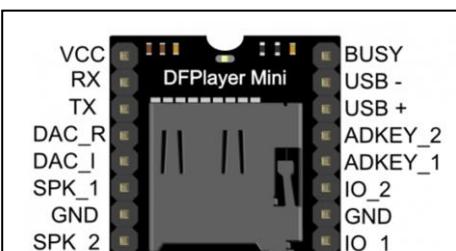


圖 3-35MP3 播放模組接腳圖  
(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

## (一)、MP3 播放模組硬體電路設計

在音樂與語音控制，我們選用 MP3 播放模組( DFPlayer Mini)，使用操作非常簡單，只要把 DFPlayer Mini 模組的 VCC、GND 插入接轉插杜邦線，接在 ESP32 開發板電源(+5V、GND)，再將 MP3 播放模組 Rx、Tx 用杜邦線接在 ESP32 開發板 GPIO16 腳、GPIO17 腳(ESP USART2)，Rx、Tx 腳位接至 MP3 Tx、Rx 位置，MP3 播放模組接線圖、如圖 3-36 所示。將 ESP32 電源腳至麵包板上+5V、GND 端，再將 MP3 SPK\_1、SPK\_2 接至喇叭，載入程式並進行 MP3 音樂播放程式測試，MP3 播放程式，如圖 3-37 所示。

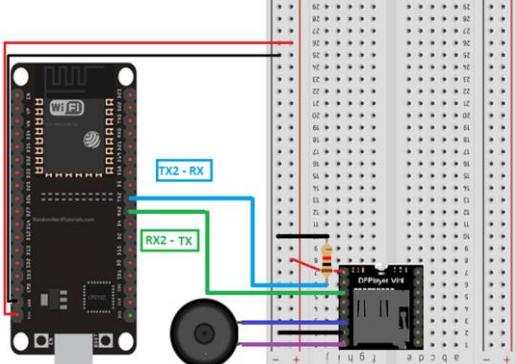


圖 3-36MP3 播放模組接線圖  
(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

```
#include <Arduino.h>
#include "DFRobotDFPlayerMini.h"
HardwareSerial mySoftwareSerial(1);
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
void setup()
{
    mySoftwareSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
    myDFPlayer.setTimeOut(500);
    myDFPlayer.volume(10); /* Volume de 0 a 30. */
    myDFPlayer.volumeUp(); /* Volume Up */
    myDFPlayer.EQ(0);
    myDFPlayer.outputDevice(DFPLAYER_DEVICE_SD);
    myDFPlayer.play(1); //播放 0001.MP3
}
void loop()
{
}
```

圖 3-37MP3 播放程式(作者設計拍攝與截圖)

## 十一、啞鈴機構設計

傳統的啞鈴，如圖 3-38 所示，傳統啞鈴依重量的不同並以鑄鐵方式成型。設計新一代啞鈴裝置除本身金屬重量外，也須將控制電路設計於裝置中，左側為顯示器與電路板，右側則設計安裝電池與喇叭，中央手握手把為中空設計，連接兩端控制線用。傳統啞鈴為正六角形等邊長，我們設計新一代的啞鈴則為八角形不等邊長，主要是當啞鈴放置時能很明確知道放置方向。首先設計啞鈴金屬板金外觀製作，如圖 3-39 所示。作品保留原黑鐵顏色，未加工噴漆。啞鈴組裝圖，如圖 3-40 所示。機構板金我們委外加工廠幫忙製作，加工廠依設計尺寸以雷射裁切、板金彎折與電焊工序完成啞鈴裝置，啞鈴尺寸與元件配置圖，如圖 3-41 所示。

設計考量其重量，初期設計我們將啞鈴主體中空，增加重量則填充鐵砂，但其重量無法填充至市面上的 10kg 以上的啞鈴，針對這問題我們未來可能會以固定機構，以外掛鐵塊方式設計。

機構性問題作品須將啞鈴兩側騰出空間，安裝電路板及電池，因此我們設計安裝電路板及電池的 3D 列印的塑膠外殼。安裝感測器需要校正調整方向，避免彼此碰撞造成顯示器損壞，因此顯示器外加一片壓克力以保護顯示器。



圖 3-38 傳統啞鈴  
(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)



圖 3-39 啞鈴模型製作(作者拍攝)

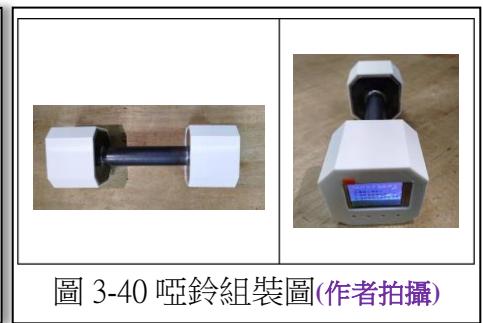


圖 3-40 啞鈴組裝圖(作者拍攝)

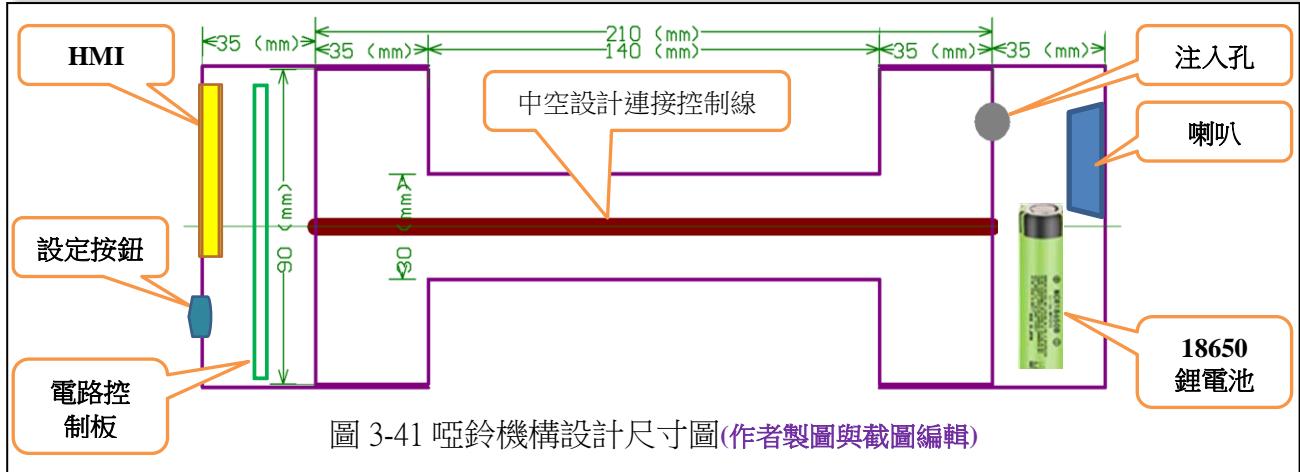


圖 3-41 啞鈴機構設計尺寸圖(作者製圖與截圖編輯)

### (一)、啞鈴 3D 列印繪製

在機構設計我們使用 Auto Desk123 軟體來繪製，如圖 3-42 所示。依前圖 3-41 啞鈴機構尺圖先行繪製啞鈴模型裝置，如圖 3-43 所示。啞鈴顯示器外殼模型製作，如圖 3-44 所示。啞鈴喇叭外殼模型製作，如圖 3-45 所示。產生.STL 輸出檔由 3D 印表機列印模型。

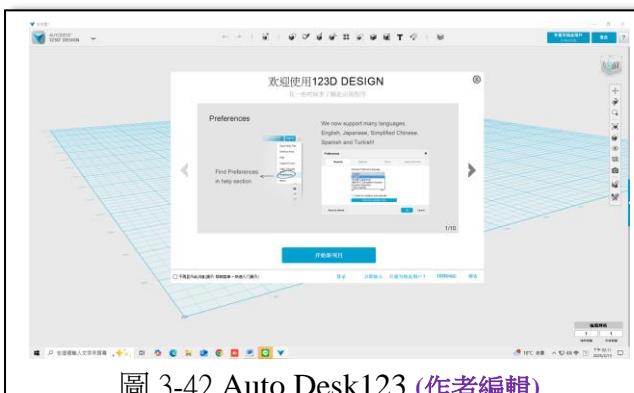


圖 3-42 Auto Desk123 (作者編輯)

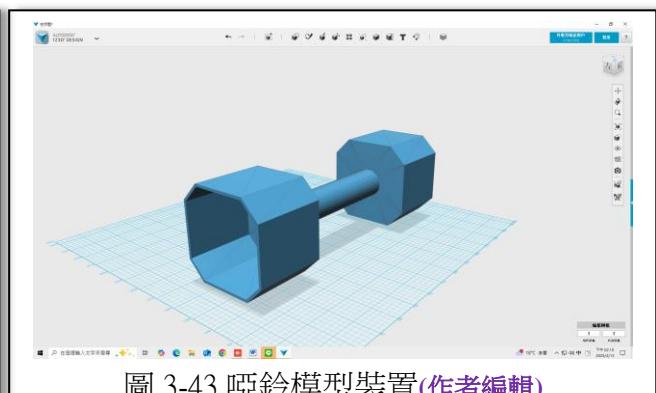


圖 3-43 啞鈴模型裝置(作者編輯)

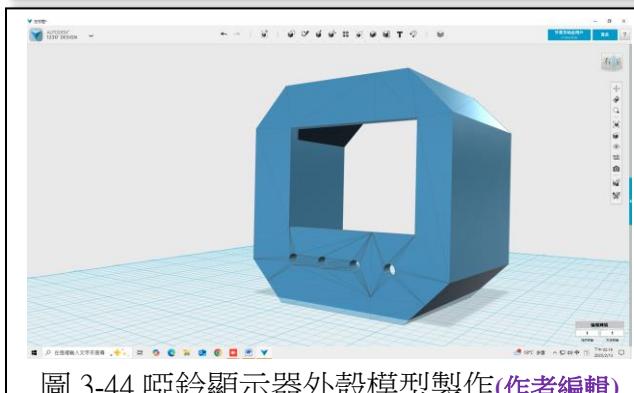


圖 3-44 啞鈴顯示器外殼模型製作(作者編輯)

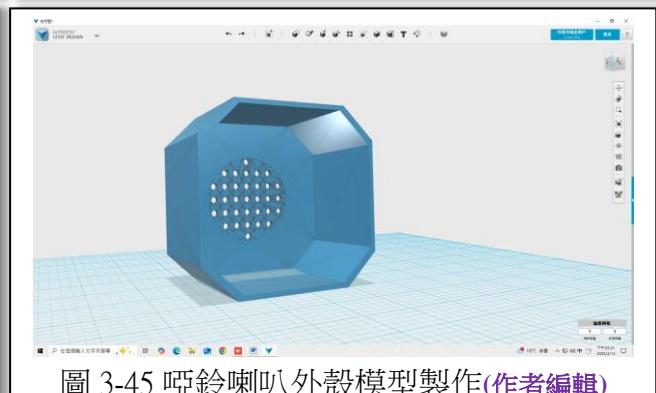


圖 3-45 啞鈴喇叭外殼模型製作(作者編輯)

## 十二、ESP32 控制腳位規劃設計

啞鈴幫我數與運動姿態分析系統，在各電路實驗單元中，我們將各各電路逐一加入並安裝於麵包板，並進行程使與印體電路之測試，電路單元麵包板製作裝配圖，如圖 3-46 所示。ESP32 控制 I/O 腳位規劃，如表 3-3 所示。



圖 3-46 電路單元麵包板製作裝配圖(作者拍攝編輯)

表 3-3 ESP32 控制 I/O 腳位規劃(作者規劃與設計)

腳位	名稱	ESP32S 接腳功能、硬體電路 I/O 腳位規劃
1	GPIO36/ADC0	START 開始
2	GPIO39/ADC3	- 減
3	GPIO34/ADC6	+ 加
4	GPIO35/ADC7	SET-外部按鈕設定
5	GPIO32/RX2/ADC4	串列 2 埠傳輸接收端
6	GPIO33/TX2/ADC5	串列 2 埠傳輸發射端
7	GPIO26	RIGHT-LED 紅光
8	GPIO27	LEFT-LED 紅光
9	GPIO14	GOOD-LED 綠光
10	GPIO12	UP-LED 白光
11	GPIO13	DOWN-LED 白光
12	GPIO0	PRO-bootload 燒錄控制腳
13	GPIO4	CE-RF2.4GHz 無線模組
14	GPIO16	RX1
15	GPIO17	TX1
16	GPIO5	CSN-RF2.4GHz 無線模組
17	GPIO18	CLK-RF2.4GHz 無線模組
18	GPIO19	MISO-RF2.4GHz 無線模組
19	GPIO21	SDA-六軸加速度感測器
20	RXD0	RX0-HMI
21	TXD0	TX0-HMI
22	GPIO22	SCL-六軸加速度感測器
23	GPIO23	MOSI-RF2.4GHz 無線模組

## 肆、研究結果：

### 一、前言

研究結果針對設計的軟體與硬體電路進行測試，功能與動作是系統設計的命脈，可藉由測試結果校正軟體與硬體電路動作，完成系統整合工作。系統測試依其功能屬性，分成硬體電路測試及軟體測試兩部份。

### 二、操作方法

(一)「啞鈴幫我數與運動姿態分析裝置」可單機操作，使用者可選擇 4 種啞鈴健身模式，我們選擇操作模式，則選擇“啞鈴傳教士彎舉法”，如圖 4-1 所示。

(二)先設定啞鈴健身次數，按下啟動後操作者手握啞鈴中間之握手處，手臂伸直後舉起啞鈴手肘彎曲 $>90^\circ$ 再將手臂伸直，並做規律運動，此時裝置偵測慣性運動 1 次，經裝置以語音方式說出計數值，由顯示器顯示目前次數，同時裝置會糾正操作者姿態是否正確，並以燈號方式顯示，當操作次數到達設定值時，裝置會以提醒聲或音效方式呈現。經由啞鈴裝置產生運動報告，及 QR CODE 提供使用者掃描紀錄。

(三)裝置可搭配手機 APP 程式與心率偵測子系統，可經由手機設定健身次數，按下開始後每一次慣性運動時，手機螢幕會同步顯示操作次數，啞鈴裝置會經由喇叭發出語音數出操作次數，並偵測啞鈴加速度與姿態分析數據，手機將姿態分析以曲線圖顯示，顯示標準、偏左、偏右次數，顯示運動操作時間及消耗的卡路里。啞鈴裝置會將運動者心率資料顯示手機上。計數值 1~10 手機 APP 顯示畫面，如圖 4-2 所示。

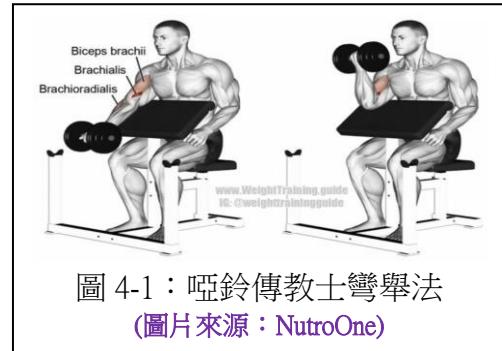


圖 4-1：啞鈴傳教士彎舉法  
(圖片來源：NutroOne)

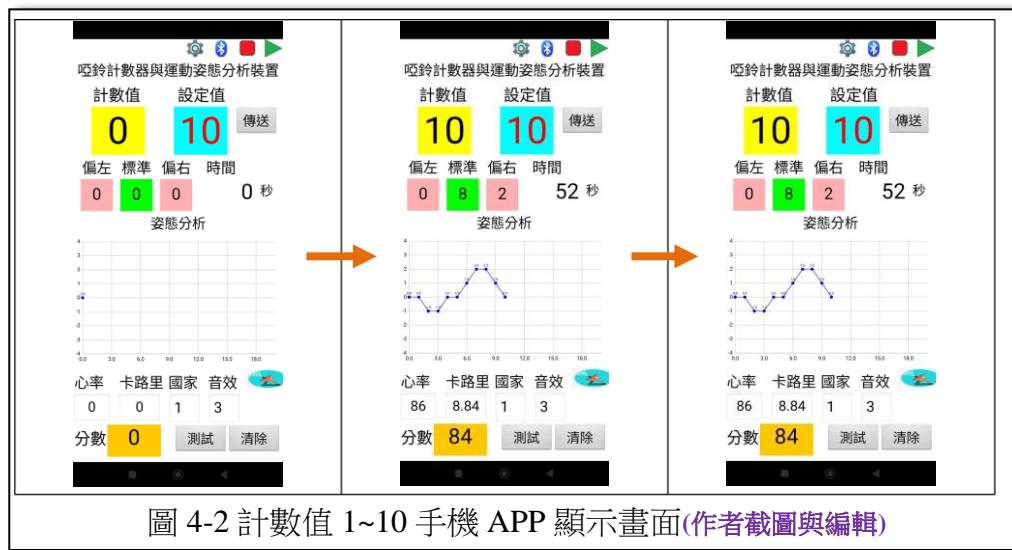


圖 4-2 計數值 1~10 手機 APP 顯示畫面(作者截圖與編輯)

### 三、HMI 人機介面畫面編輯

HMI 各子畫面顯示編輯頁面，如圖 4-3 所示。啞鈴幫我數與運動姿態分析系統，中文、英文顯示各共編輯 5 個頁面，心率偵測子系統，編輯 2 個頁面，分別顯示心率偵測曲線，心率偵測上限警示畫面。

中文主選單	啞鈴計數器操作畫面	運動報告顯示畫面	中文 QR CODE 掃描
管理介面	英文主選單	英文啞鈴計數器操作畫面	英文運動報告顯示畫面
英文 QR CODE 掃描	英文管理介面	心率偵測顯示畫面	心率偵測上限警示畫面

圖 4-3 HMI 各子畫面顯示編輯頁面(作者截圖編輯)

### 四、運動成績演算法

採分數值衡量或以數據說明的運動過程，須將其結果「量化」，成績對很多人說確實是有意義有價值性，但卻有很多事情都要看成績，如學習成績、訓練成績、比賽成績、運動成績、電玩遊戲成績等等。分數究竟可以用來判斷什麼，就運動而言如何評分、成績、分數需透過演算給於正確成績，讓每次運動或嘗試都能有所突破，讓成績展現、發揮真正的意義。獲得的進步與學習成果。

運動姿態分析可依動作正確性給予量化的分數值，從分數中分析每次運動成效指標，而分數是最直接的表示方式，因此我們需就系統設計一套成績計算的演算法，評比每一次運動結果。啞鈴成績的計算非固定值，會因操作的次數不同，其演算等距值也會有所不同。

運動成績以百分制，滿分 100 為 S。設等距值為 Y，運動次數設為 X=10，級距值設為 Z，姿態分析向量值為(+4~-4)分，+1~-1 範圍為標準、-2~-4 範圍為偏左、+2~+4 範圍為偏右，再將姿態分成 5 級距(0~4)，偏移向量值設為 P。如表 4-1 所示。

表 4-1 姿態分析分為 P=5 級距(作者製表)

向量	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
P	4	3	2	1	0	1	2	3	4
結果	偏左			標準			偏右		

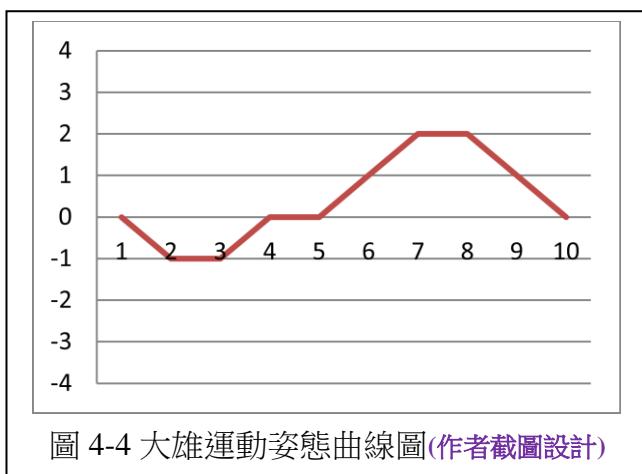
1.當次數 X=10，則：

- (1).等距值  $Y = S/X = 100/10 = 10$
- (2).級距值  $Z = Y/5 = 10/5 = 2$
- (3).等距分數  $SCORE_{(P=0)} = Y - (P * Z) = 10 - (0 * 2) = 10$  ..... 得 10 分
- (4).等距分數  $SCORE_{(P=1)} = Y - (P * Z) = 10 - (1 * 2) = 8$  ..... 得 8 分
- (5).等距分數  $SCORE_{(P=2)} = Y - (P * Z) = 10 - (2 * 2) = 6$  ..... 得 8 分
- (6).等距分數  $SCORE_{(P=3)} = Y - (P * Z) = 10 - (3 * 2) = 4$  ..... 得 8 分
- (7).等距分數  $SCORE_{(P=4)} = Y - (P * Z) = 10 - (4 * 2) = 2$  ..... 得 2 分

2.當次數 X=12，則：

- (1).等距值  $Y = S/X = 100/12 = 8.33$
- (2).級距值  $Z = Y/5 = 8.33/5 = 1.66$
- (3).等距分數  $SCORE_{(P=0)} = Y - (P * Z) = 8.33 - (0 * 1.66) = 8.33$  ..... 得 8.33 分
- (4).等距分數  $SCORE_{(P=1)} = Y - (P * Z) = 8.33 - (1 * 1.66) = 6.67$  ..... 得 6.67 分
- (5).等距分數  $SCORE_{(P=2)} = Y - (P * Z) = 8.33 - (2 * 1.66) = 5.01$  ..... 得 5.01 分
- (6).等距分數  $SCORE_{(P=3)} = Y - (P * Z) = 8.33 - (3 * 1.66) = 3.35$  ..... 得 3.35 分
- (7).等距分數  $SCORE_{(P=4)} = Y - (P * Z) = 8.33 - (4 * 1.66) = 1.69$  ..... 得 1.69 分

例 1：大雄使用啞鈴健身時，首次健身次數設定為 10 次，大雄運動姿態曲線圖，如圖 4-4 所示，輸出運動結果報告，如圖 4-5 所示。計算：運動健身成績？運動所消耗卡路里？



- 解:(1).大雄啞鈴健身操作次數設定為 10 次，操作完成時間 52 秒，經運動姿態分析標準 8 次、偏右 2 次、偏左 0。
- (2).依網路所查詢的資料，舉啞鈴每小時所消耗的卡路里為 612 卡，換算每秒則為 0.17 卡。探討舉啞鈴也會因啞鈴重量與運動慣性距離，有絕對關係，作品卡路里計算以通用值 612 卡計算，簡化上述兩點問題。
- (3).分析大雄 10 次彎舉啞鈴向量值，如表 4-2 所示。總得分為 84 分。
- (4).運動所使用時間為 52 秒，共消耗 Cal=52\*0.17=8.84 卡。

表 4-2 大雄 10 次彎舉啞鈴向量值(作者製表)											總分
次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	總分
P	0	1	1	0	0	1	2	2	1	0	84
得分	10	8	8	10	10	8	6	6	8	10	

## 五、文字轉語音下載與測試

在語音開發我們使用免費，TTSMAKER 文字轉語音服務，如圖 4-6 所示。網頁中我們先選擇人物與語言國家，如圖 4-7 所示。語言國家我們選擇”中文”，人物我們選擇台灣雅婷比較接近台灣人的腔調，再輸入轉檔文字「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」，經轉檔試聽後調正語調是否符合，再點選下載產生即可，軟體就能將文字轉成 MP3 語音檔，透過硬體電路 MP3 模組即可觸發所需求的語音撥放。



圖 4-6 TSMAKER 文字轉語音服務(作者截圖)



圖 4-7 人物、語言選擇(作者截圖)

### (一)、語音訊號剪接

將 MP3 語音檔訊號，我們使用 Gold Wave 聲音編輯軟體。進行聲音剪接，先載入中文\_女音數數 1~20 聲音波形圖，如圖 4-8 所示。再將數數 1~20 聲音波形圖分段剪成 1~20 數字語音檔案。分別將檔案名稱存檔為 0001.MP3~0020.MP3，中文女音數字 10 語音波形圖，如圖 4-9 所示。英文\_女音\_數數 1~20 聲音波形圖，如圖 4-10 所示。英文\_女音數字 6 語音波形圖，如圖 4-11 所示。分別將檔案名稱存檔為 0021.MP3~0040.MP3。

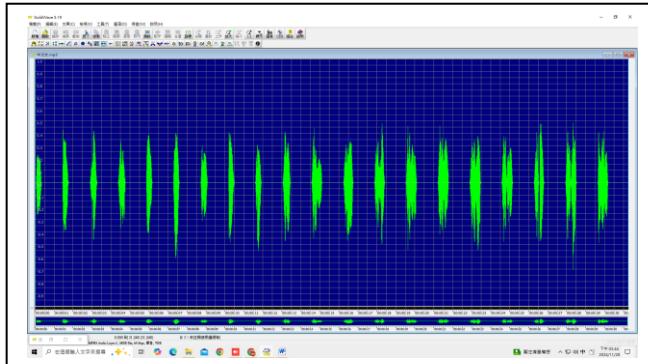


圖 4-8 中文\_女音\_數數 1~20 聲音波形圖  
(作者截圖)

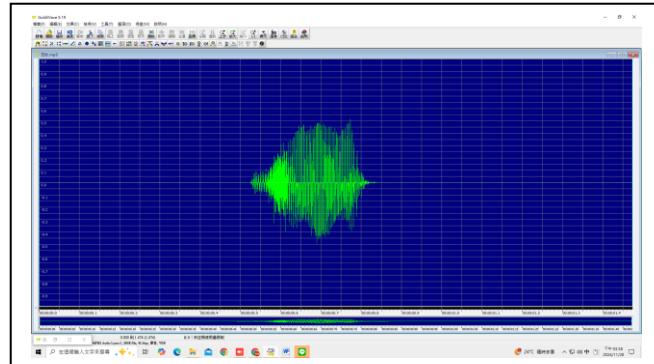


圖 4-9 中文女音數字 10 語音波形圖  
(作者截圖)

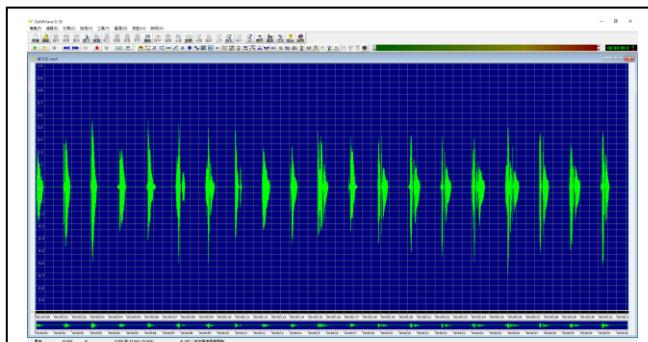


圖 4-10 英文\_女音\_數數 1~20 聲音波形圖  
(作者截圖)

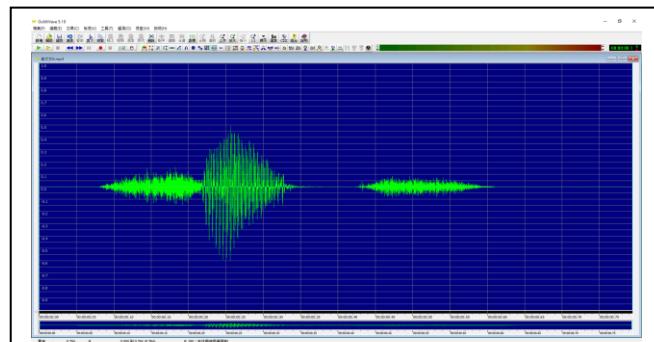
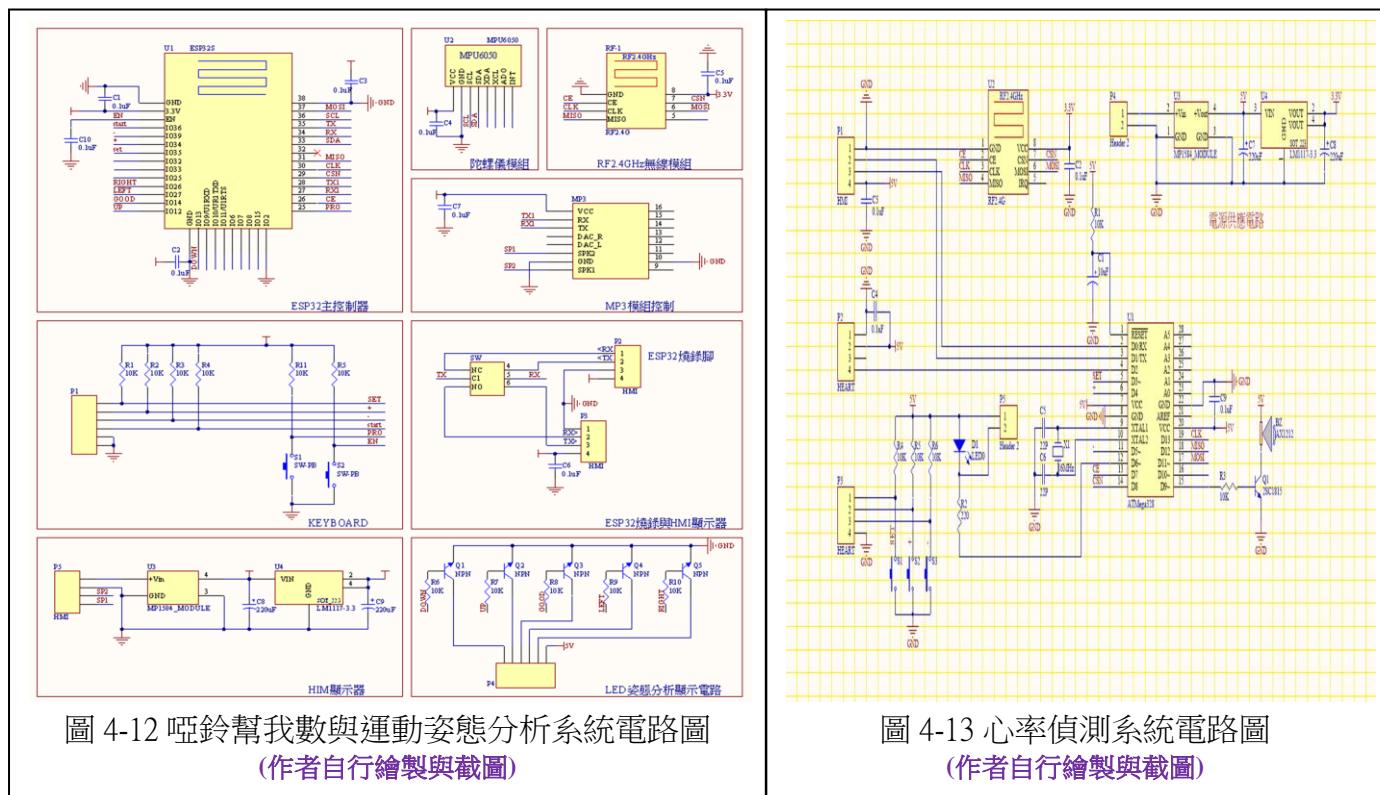


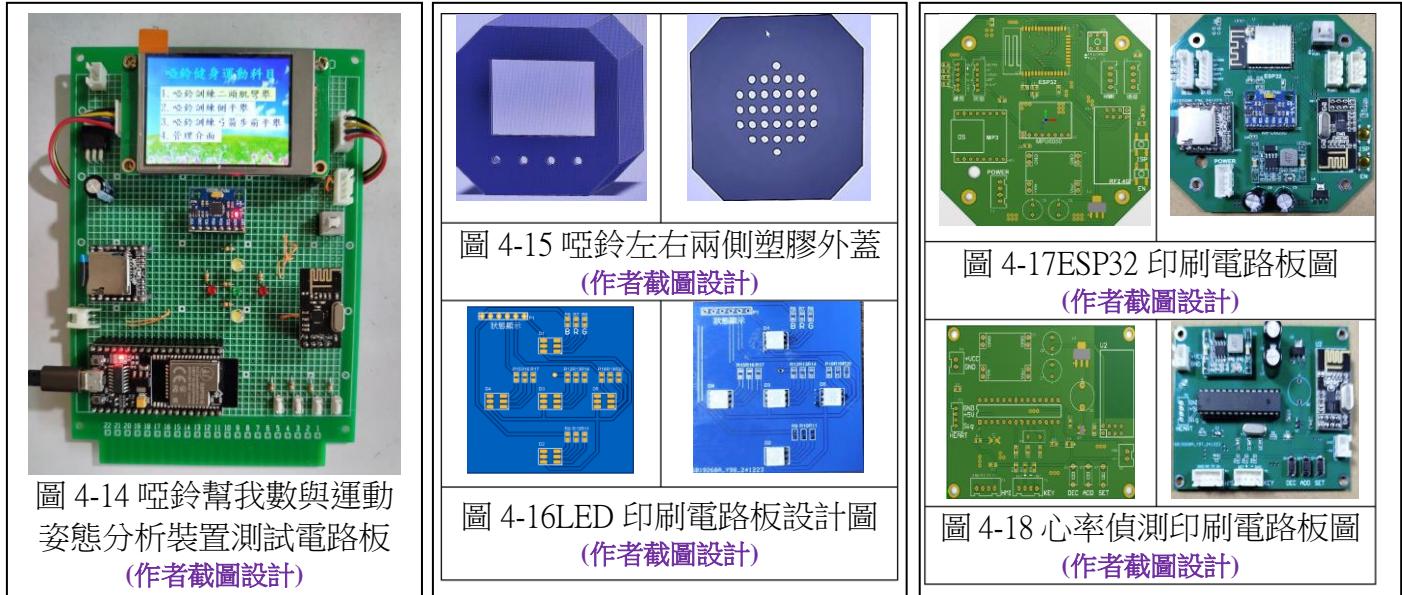
圖 4-11 英文\_女音數字 6 語音波形圖  
(作者截圖)

## 六、啞鈴幫我數與運動姿態分析系統電路設計與心率偵測裝置電路設計

啞鈴幫我數與運動姿態分析系統電路圖，如圖 4-12 所示。心率偵測裝置電路圖，如圖 4-13 所示。電路圖繪製我們使用 Altium Designer 軟體。



啞鈴幫我數與運動姿態分析系統測試電路板，如圖 4-14 所示。將麵包版實驗完成後電路，先以洞洞板的方式進行元件焊接與安裝配置，作為基本電路範本與程式驗證測試工具。啞鈴機構左右兩個外蓋則以 3D 印表機列印，啞鈴左右兩側塑膠外蓋，如圖 4-15 所示。待硬體電路與軟體測試成功後，印刷電路板設計則請專業電路板廠製作。運動姿態分析顯示，LED 印刷電路板設計圖，如圖 4-16 所示。啞鈴幫我數與運動姿態分析系統，ESP32 印刷電路板圖，如圖 4-17 所示。心率偵測印刷電路板圖，如圖 4-18 所示。印刷電路板製作完成後，再依電路圖將各元件焊接於印刷電路板，再進行軟體下載燒錄及測試。



## 七、慣性運動姿態與六軸加速度關係

啞鈴運動項目有 1. 傳教士彎舉。2. 啞鈴訓練側平舉。3. 啞鈴訓練弓箭步前平舉。研究分析運動慣性相位值與偏移慣性相位值之關係，慣性運動姿態與六軸加速度關係，如圖 4-19 所示。

傳教士彎舉	水平放置  運動慣性相位：X=364 ：Y=17708 偏移慣性相位：Z=1334	下定位位置  運動慣性相位：X=-5321 ：Y=13324 偏移慣性相位：Z=1256	中間位置  運動慣性相位：X=12184 ：Y=12186 偏移慣性相位：Z=1563	上定位位置  運動慣性相位：X=16964 ：Y=7812 偏移慣性相位：Z=487
啞鈴訓練側平舉	水平放置  運動慣性相位：X=384 ：Y=13324 偏移慣性相位：Z=1472	下定位位置  運動慣性相位：X=268 ：Y=13324 偏移慣性相位：Z=1443	中間位置  運動慣性相位：X=14820 ：Y=13324 偏移慣性相位：Z=2112	上定位位置  運動慣性相位：X=16983 ：Y=13324 偏移慣性相位：Z=1724
啞鈴訓練弓箭步前平舉	水平放置  運動慣性相位：X=452 ：Y=17052 偏移慣性相位：Z=1402	下定位位置  運動慣性相位：X=338 ：Y=13324 偏移慣性相位：Z=1362	中間位置  運動慣性相位：X=12685 ：Y=11784 偏移慣性相位：Z=2872	上定位位置  運動慣性相位：X=17064 ：Y=-940 偏移慣性相位：Z=1780

圖 4-19 慣性運動姿態與六軸加速度關係(作者數據量測、圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

## 八、裝置整合測試與操作使用步驟圖

裝置整合測試與操作使用步驟圖，如圖 4-20 所示。動作 1：選擇項目，選擇啞鈴傳教士彎舉法。項目中也可經由手機裝置設定或修改國家語言或音效。動作 2：設定次數，10 次。項目中也可右手機來設定次數。動作 3：按下 START 鈕，啞鈴開始進行量測作慣性運動位置。動作 4：經由喇叭發計數次數語音。到達次數設定值時，結束音效。動作 5：產生運動報告。動作 6：輸出運動報告 QR code，提供作者掃描儲存。動作 7：心率量測，由心率偵測子系統將量測心率資料傳送至主系統。動作 8：音量調整及感測位置偵測。動作 9：英文顯示介面。

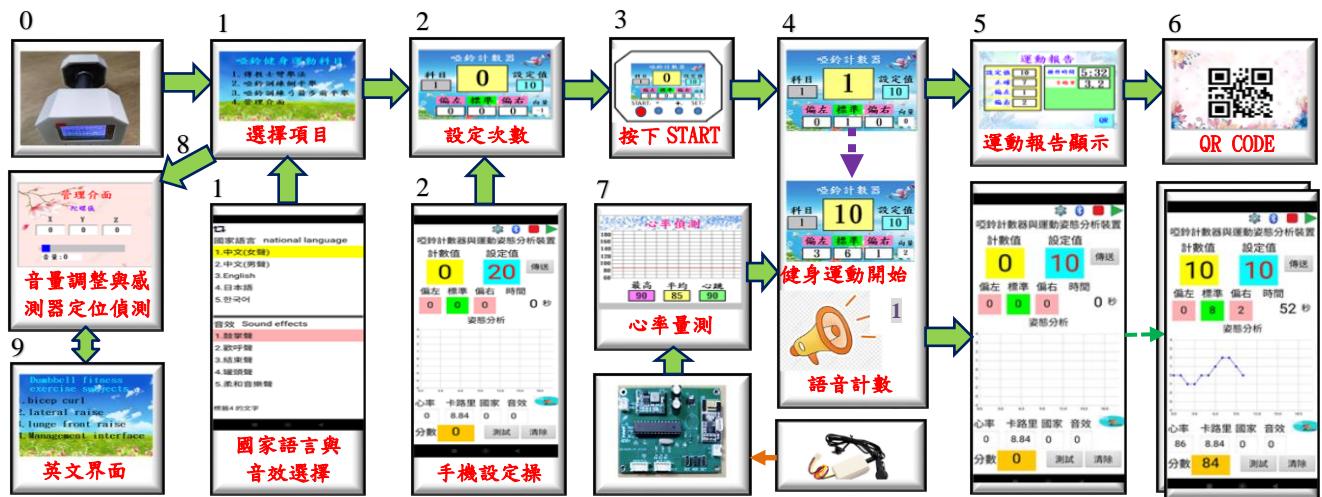


圖 4-20 裝置整合測試與操作使用步驟圖(流程圖及圖片截圖、由作者自行設計)

## 九、啞鈴幫我數與運動姿態分析系統作品圖

在研究設計我們完成新一代智慧啞鈴裝置，啞鈴幫我數與運動姿態分析裝置作品圖，如圖 4-21 所示。

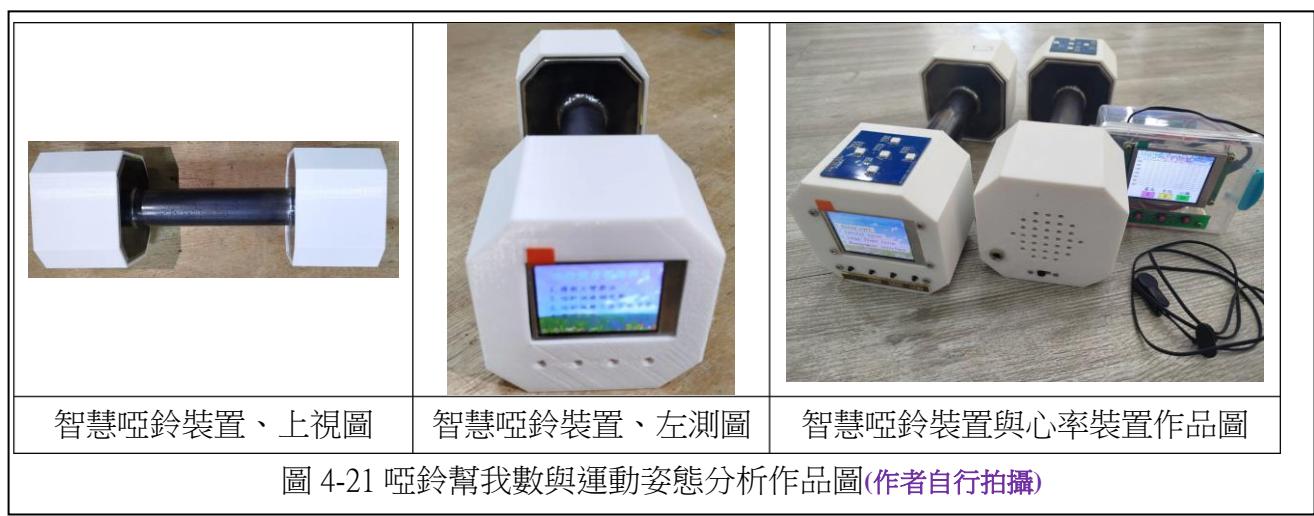


圖 4-21 啞鈴幫我數與運動姿態分析作品圖(作者自行拍攝)

## 伍、討論：

一、隨著科技進步、經濟成長、所得提高，民眾有更多時間及金錢參與運動活動，加上健康意識提升，健身運動產業已成為現今最具發展潛力產業之一，根據研究，2023~2030 年全球健身俱樂部產業銷售規模之年成長率為 7.67%，我們所設計的新一代的啞鈴，將有機會搭上產業熱潮。根據文獻中統計 2030 年全球健身產業規模可望達 1,697 億元。

### 二、依據豐雲學堂在 2023 年 6 月所統計，

台灣健身房分布情形圖，如圖 5-1 所示。目前台灣有四大品牌健身房，總間數達 199 家，分布在北中南、都會區最多。每一家健身房所需要啞鈴也會因重量不同，配備不同的啞鈴的數目，以一家健身房計算啞鈴數目約為

臺灣健身房分布情形				
	World Gym	健身工廠	統一健身俱樂部 新世代健身房	活力康有限公司
在台灣成立年度	2001	2005	2003	2018
會所間數 (截至2023.06)	116	68	9	6
會員人數	約43萬	約24萬	--	--
市占率(%)	58%	24%	--	--
2022 营收	約89億	約36億	--	--
類型	全方位服務、高性價比、 特定族群	全方位服務	全方位服務	全方位服務
服務	專業的健身場所、 私人教練、球館场所	專業的健身場所、 私人教練、保齡球	專業的健身場所	專業的健身場所
私人教練占比(%)	50%	39%	--	--

圖 5-1 台灣健身房分布圖([圖片來源：風雲學堂](#))

20 個，將可提供多人使用，但雙手健身操作則需要準備 40 個，因此就以台灣健身房所需要的啞鈴數量=199 間 x40 個 x3 套=23,880 個，再將(啞鈴數 x 科技啞鈴單價=**商機**)，則所創造的商機是值得投資與開發，如果將商品推展至全球市場，所產生的市值達數百億。

三、經濟效益:如果百家健身房中，有第一家使用我們所設計的新一代啞鈴裝置，那就是起頭者、領先者，市場產生追隨效應相互比較與競爭，人們會有嚐新心理作用就會選擇具科技感的啞鈴，因此健身房也會投資添購新器材，增加經濟效應產值，健身房也能配合新一代的啞鈴裝置開設啞鈴課程，增加會員創造更大經濟效益。

四、減少錯誤：啞鈴的訓練以人工的方式計算次數，可能會因環境因素、人為因素、心理因素，造成計數錯誤，因此使用人工計數是很不科學的方法。我們設計新一代的啞鈴裝置就能解決改善因計數錯誤的問題。

五、增加收入：新一代啞鈴裝置產生了需求理論，因有需求、有需要就能產生市場效益，才能滿足人們的需求層次，因此也增加健身房會員人數。增加整體產業鏈的獲利契機。

六、裝置需要使用充電電池，使用時要注意電量，因此在電路設計須設計低電量顯示裝置，提醒使用者裝置需充電。

## 陸、結論：

- 一、新一代啞鈴裝置能符合男女老幼，適合各年齡層的使用者，但使用操作時必須先要有教練的指導後，才能選擇屬於自己重量的啞鈴裝置訓練，可避免運動傷害，啞鈴運動未來也能成為全民運動追隨風，更能發展到國軍體能訓練之用，增強國防戰力。
- 二、啞鈴語音計數器裝置，透過啞鈴訓練可增加身體肌耐力，只要在啞鈴上設定運動次數，裝置即可協助操作者來「計數次數」，也能糾正操作者「運動姿態」之正確性，可記錄每次運動量及運動時間。當計數值到達設定值時，裝置會發出提醒聲。
- 三、心率偵測裝置，可單機操作用來量測健身者，運動前或運動過程心率資料。當心率異常時裝置會發出警報聲，提醒使用者停止運動。
- 四、同時兩者也可與智慧型裝置一起搭配進行，透過智慧型裝置即可顯示啞鈴操作次數、運動姿態曲線圖、健身時之心率資訊、運動時間、運動過程所消耗的卡路里值。
- 五、新一代啞鈴設計可搭配不同模組功能，可分為旗艦版(搭配 6 軸加速度、顯示器、語音、心率偵測)、進階版(搭配 6 軸加速度、顯示器、語音)、標準版(搭配 6 軸加速度、語音)這三款。可依需求選擇不同功能的裝置。
- 六、國際化設計具有兩種文字顯示介面(中文、英文)，提供健身者選擇。可透過手機可選擇(中文、英語、日語、韓語)四種國家語音，計數值語音就會發出所選擇的國家語言聲音。當運動結束後裝置會產生 QR Code 運動報告，可提供使用者掃描存檔，也可經由顯示器顯示健身報告。
- 七、新一代啞鈴裝置上下慣性位置非固定值，設計須考量使用者啞鈴操作慣性運動位置的不同，因此裝置可依使用者自行校正定位點位置。還有啞鈴慣性偵測反應時間。
- 八、新一代啞鈴裝置機構完整性設計可分為兩個部分，啞鈴金屬機構板金加工成啞鈴形狀，再注入鐵粉增加啞鈴重量。電路板控制機構則於兩側設計同 8 角形狀 3D 塑料，外殼在與啞鈴金屬機構組立方式成型，具有美麗的外型、堅固耐用機構，可增加使用年限。
- 九、新一代啞鈴裝置，需注入鐵粉增加其負重，操作需要注意配重問題，最重要的還是如何將重心位置，落在啞鈴中心點位置，兩側重量均等重心能落於中心點。
- 十、忙碌的現代人為了保持健康越來越重視運動，以台灣為例，運動人口比例也逐年增長，且由於疫情影響，居家健身風氣盛行，啞鈴便成為熱門運動器材。此外，運動產業的風貌也隨科技的不斷進步而改變，智慧化的運動訓練已逐漸成為趨勢，而運動活動的自動紀錄和分析可以幫助使用者監控自己的運動狀況並發揮最大程度的訓練效果。

## 柒、參考資料及其它：

### 【一本書】

- 1.施士文(2022/08/03)。Arduino 微電腦應用實習。台科大圖書。
- 2.劉政鑫、莊凱喬(2024/06/12)。ESP32 微處理機實習與物聯網應用。台科大圖書。
- 3.鐘國家、侯安桑、廖忠興(2022/11/21)。感測器原理與應用實習。全華圖書。
- 4.鄧文淵(2016/06/03)。用 Autodesk 123D Design 玩出 3D 設計大未來。碁峰圖書
- 5.楊明豐(2021/06/03)。Arduino 最佳入門與應用：打造互動設計輕鬆學。碁峰股份有限公司

### 【學位論文】

- 1.高雅珩(2020)。基於機器學習的即時啞鈴運動識別系統(108NTUS5427167)。[碩士論文]。國立台灣科技大學。台灣博碩士論文知識加值系統。
- 2.王巨成(2023)。基於慣性感測器與陀螺儀之帕金森氏症手部顫動樣態分析與穩定裝置(112TIT00427151)。[碩士論文]。國立臺北科技大學。台灣博碩士論文知識加值系統。
- 3.戴均諺(2021)。三軸陀螺儀的運動項目識別系統(110CSU00394003)。[碩士論文]。正修科技大學。台灣博碩士論文知識加值系統。
- 4.李培聞(2023)。基於深度學習於舉重運動姿態的改善(112NKUS0437010)。[碩士論文]。國立高雄科技大學。台灣博碩士論文知識加值系統。
- 5.蔡易霖(2020)。基於藍牙穿戴式裝置的啞鈴動作計次和辨識系統(109NTUS5427188)。[碩士論文]。國立臺北科技大學。台灣博碩士論文知識加值系統。

### 【圖片來源】

圖 3-1 系統設計架構：<https://www.google.com/search?>、<https://www.google.com/search?q=MPU6050&sca>

圖 3-5 ESP32 微控制器：<https://www.google.com.tw/search?s>

圖 3-6 ESP32 輸出/輸入控制電路圖：<https://www.google.com.tw/search?q=esp32led>

圖 3-7 Arduino UNO 微電腦為控制器：<https://www.google.com/search?q=arduino>

圖 3-11 HMI 顯示器：<https://www.tjc1688.com/>

圖 3-15 MPU6050 六軸加速度感測器：<https://www.google.com/search?q=MPU6050&>

圖 3-16 三軸陀螺儀與三軸加速度方向：<https://www.google.com/search?q=MPU6050&>

圖 3-17 ESP32 與 MPU6050 接線圖：<https://www.google.com/search?q=ESP32%E8%88%87MPU6050&>

圖 3-19 耳夾脈搏心率心跳感測器：<https://shop.playrobot.com/products/ear-clip-heart-rate-sensor>

圖 3-22 RF24L01 無線模組接腳圖：<https://pizgchen.blogspot.com/2020/01/nrf24l01-1100.html>

圖 3-23 RF24L01 無線模組接線圖：<https://www.google.com.tw/search>

圖 3-25 發射端與接收端無線模組接線圖：[https://www.google.com/search?sca\\_esv=503f905593dc3832](https://www.google.com/search?sca_esv=503f905593dc3832)

圖 3-35MP3 播放模組接腳圖：<https://www.google.com/search?q=dfplayer>

圖 3-36MP3 播放模組接線圖：[https://www.google.com/search?sca\\_esv](https://www.google.com/search?sca_esv)

圖 3-38 傳統啞鈴：<https://www.google.com/search?q=%E5%95%9E%E9%88%B4>

圖 4-1 啞鈴傳教士彎舉法：<https://nutroone.com/tw/2021/05/18/一組啞鈴幾個健身撇步>

圖 4-19 慣性運動姿態與六軸加速度關係：<https://www.google.com/search?q=MPU6050&>

圖 5-1 台灣健身房分布圖：<https://www.sinotrade.com.tw/>

## 【評語】032816

1. 此作品中將啞鈴結合科技，物聯網與感測科技，突破傳統器材的局限，應用面廣泛。自行繪製各式流程圖、方塊圖、接線圖與 APP 畫面，具高度自主學習能力。使用 Arduino 與 ESP32 協同控制，系統實作完整。
2. 所展示的作品具商品化潛力，目前為原型設計，建議後續進行強度、防摔等測試，並思考模組化與量產潛力，可考慮朝實際應用發展。
3. 關於姿態演算法與評分機制，現階段僅判定偏移角度，建議納入動作速度、穩定性等變因，並可嘗試機器學習輔助分類，提升辨識精度。

作品海報

點齡幫我數與運動次態分析系統

## 摘要

健身房四處林立，健身為現代人所崇尚的活動，人們知道健身的益處，但須持之以恆才能享受，否則容易受到傷害。根據研究證實適當運動對身體的益處大於壞處。傳統啞鈴只是一種健身器材，但也是最佳器具之一，然而每次操作時使用者須自行計算次數，使遺漏次數、多算次數等問題層出不窮，容易增加使用者心理負擔和造成運動傷害的可能性。在作品中我們將啞鈴結合科技，使用時可在其或 APP 上設定次數，啞鈴即可幫助使用者計算次數，也能糾正使用者動作是否標準，當達到設定次數時，啞鈴會發出聲音提醒使用者。系統以 ESP32 為主控器，搭配 6 軸加速度感測器偵測慣性運動，介面設計有 HMI、心率感測器及藍芽無線傳輸控制，再經由手機 APP 程式記錄操作者每次運動姿態。

## 壹、前言：(研究動機、研究目的)

- 一、假日有一天隨父親至健身工廠運動，眼前所見內部有各式各樣的運動器具，具有「科技感」與「傳統健身器材」更顯現出之差異性，大都數的人選擇操作智慧型的健身器具，除健身者需要才會選擇啞鈴，但又笨又重的啞鈴鮮少人會去選用，因此創作中我們想要改變活化啞鈴健身器材。
- 二、啞鈴不像其他的運動器材，已經發展出各種先進的功能，所以我們想做一個智慧啞鈴，可以自動數數，並結合手機 APP 程式，將每次健身的數據、結果，記錄在手機中，即可以隨時查看健身的效果，作品設計也可以讓不常去健身房的人們選擇使用，作品之設計也不會因過量運動或運動量不足而導致成效不佳，甚至造成運動傷害。
- 三、啞鈴鍛練有多種好處，可增加手臂肌耐力、並改善關節穩定性和增加靈活性，在啞鈴運動可完成一次性多個肌肉群運動，使啞鈴運動對日常活動和運動表現非常有功能性。因此我們心想設計一款可以提供，居家的運動健身器材。
- 四、深植活化傳統啞鈴的單調操作模式，啞鈴的啞字就是不言不語，如瘡啞人士用詞，只能用手語來表達語意。作品將啞鈴設計成具有智慧科技感的健身運動裝置，將不會講話的啞鈴，變身成為聰明會開口講話的新一代啞鈴裝置。成為科技教練陪伴健身運動，達到休閒娛樂之目的。
- 五、健身如遊戲可提高使用者操作意願，可經由智慧型裝置計算運動者所消耗的卡路里，計算操作時間，並分析操作者運動姿態，再將運動健身成效量化成績。健身運動或使用者即可從成績明白每次運動成效或姿態正確性。
- 六、啞鈴計數器裝置，透過啞鈴訓練可增加身體肌耐力，設計只要在啞鈴上設定運動次數，裝置即可協助操作者來「計數次數」，也能糾正操作者「運動姿態」之正確性，可記錄每次運動量及運動時間。當計數值到達設定值時，裝置會發出提醒聲。

本海報照片及圖片皆由作者群拍攝或繪製

## 貳、研究設備器材：

設備名稱	數量	用途說明	備註
筆電	1	ESP32 程式設計、報告撰寫、APP 程式設計。	
ESP32S 微控制器	1	啞鈴系統主控制器、控制 HMI 與輸出輸入控制、感測器。	
RF2.4GHz 無線模組	4	無線射頻模組，心率資料傳送/接收控制。	
脈搏心率心跳感測器	1	感測器偵測人體心率資料，透過 Arduino 讀取心率。	
HMI 人機介面 2.8 吋、2.4 吋	4	啞鈴計數值各參數顯示、子系統為心率數據及心率曲線圖顯示。	
Arduino-UNO R3	1	子系統控制器，控制 HMI 及讀取心率感測器資料。	
MPU6050 六軸加速度感測器	3	偵測加速度與陀螺儀數據。	
ESP32S 晶片	3	主系統控制晶片微控制晶片。	
ATmega328P 積體電路	1	心率偵測子系統，單晶片微電腦控制晶片。	
鋰電池 7.4V、12V	4	電源供應、可充電使用。	
鋰電池充電控制板	2	鋰電池電控制、防止過充及保護。	
USB 轉 TTL 模組	1	HMI 編輯下載傳輸裝置、ESP32 程式下載。	
麵包版	1	免焊電路板，用於電路設計與實驗。	
MP3 語音撥放模組	3	語音輸出控制板、播放語音資料。	
SD 記憶卡 32GB	4	主要存放語音資料(音效、國家語言)。	
5050RGB_LED	10	主要用於狀態燈號顯示、顏色為紅、綠、藍三種顏色。	

(作者自行製表)

## 參、研究過程或方式：

### 一、系統架構圖

系統設計架構，如圖 3-1 所示。可分主系統與子系統與智慧型裝置，主系統為「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」，子系統為「心率偵測系統」。主系統可單機操作，用來計數啞鈴操作次數，子系統也可單機操作，用來量測健身者運動前心率資料，同時兩者也可與智慧型裝置一起搭配進行，透過智慧型裝置即可顯示啞鈴操作次數，健身時之心率資訊並記錄。

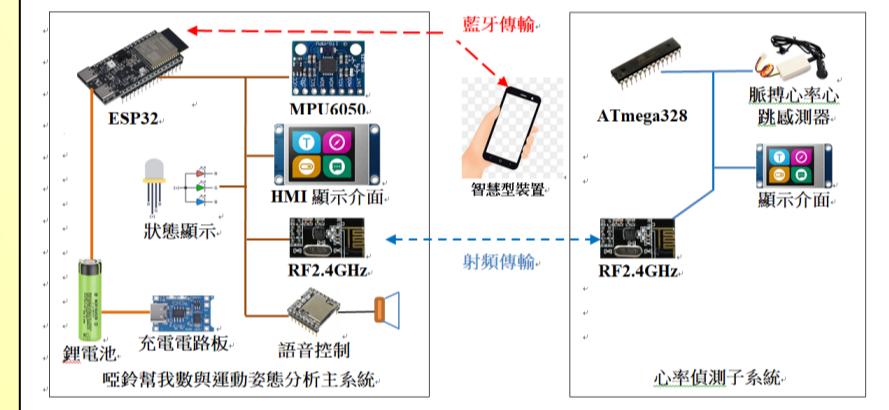


圖 3-1 系統架構圖(架構作者自行繪製、圖片來源:Google 圖片搜尋)

### (一) 啞鈴幫我數與運動姿態分析主系統方塊圖

啞鈴幫我數與運動姿態分析主系統方塊圖，如圖 3-2 所示。系統共有七個單元模組，分別為 ESP32 微電腦主控制器單元，MPU6050 六軸加速度感測器單元、HMI 顯示介面單元、語音控制模組單元、RF2.4GHz 無線通訊模組單元、RGB LED 狀態顯示單元、電源供應與充電電路單元。

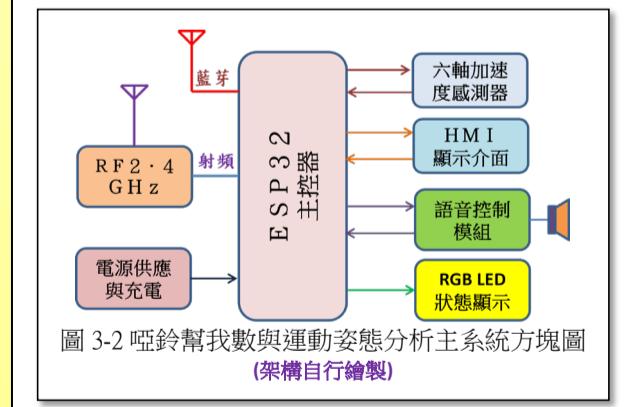


圖 3-2 啞鈴幫我數與運動姿態分析主系統方塊圖  
(架構自行繪製)

### (二) 心率偵測子系統方塊圖

心率偵測子系統方塊圖，如圖 3-3 所示。共有五個單元分別有 Arduino 微電腦控制器單元、脈搏心率心跳感測器單元、HIM 顯示介面單元、RF2.4GHz 無線通訊模組單元。

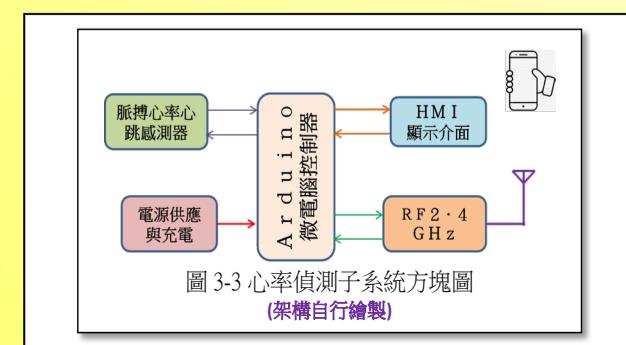


圖 3-3 心率偵測子系統方塊圖  
(架構自行繪製)

## 二、軟體與硬體設計步驟圖

在硬體與軟體設計步驟流程圖，如圖 3-4 所示。先設計左側”啞鈴計數器與運動姿態分析裝置”，分別有六個項目，在完成各項硬體與軟體，再逐一分別加入各項再分別整合測試。右側為”心率偵測”設計步驟流程，依步驟完成各項設計與測試，最後再與主系統整合測試，如錯誤需修改再返回各項步驟逐一修正，待軟硬體測試無誤後即可完成整合測試工作。

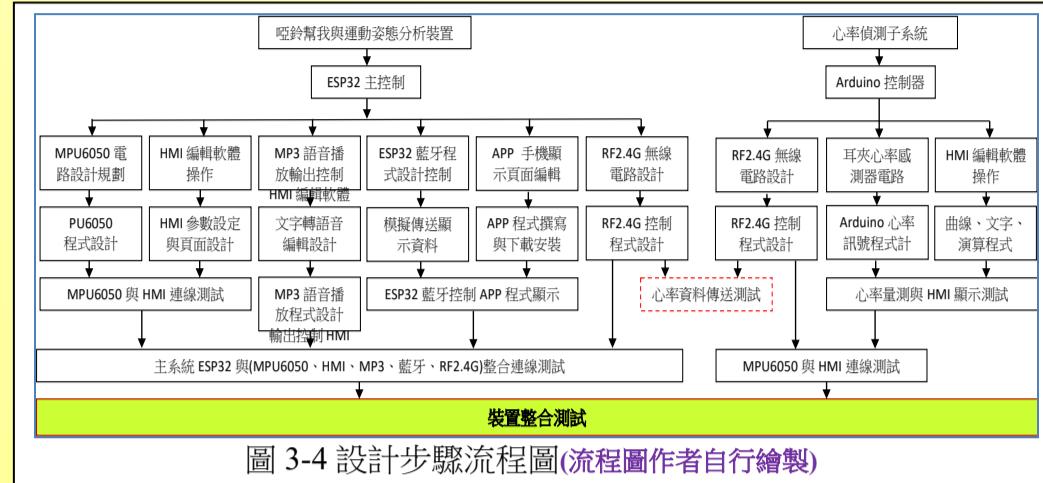


圖 3-4 設計步驟流程圖(流程圖作者自行繪製)

## 三、ESP32 微控制器

ESP32 微控制器，如圖 3-5 示。啞鈴幫我數與運動姿態分析系統，設計我們選用 ESP32 為主控制器，ESP32 是由樂鑫科技公司研發的低功耗的微控制器，它是一款擁有強大功能的微控制器，內部具有 Wi-Fi 通訊功能、藍牙通訊功能，輸出/輸入控制，因此被廣泛的應用在物聯網以及無線通訊領域。



圖 3-5 ESP32 微控制器(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)



圖 3-11 HMI 顯示器(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

## 四、HMI 顯示介面控制電路設計

HMI 顯示器，如圖 3-11 所示。我們設計選用掏晶馳公司所開發的顯示器，該模組為 USART HMI 顯示器，開發軟體使用 GUI 界面的進行設計顯示頁面及物件屬性設定，HMI 控制可透過串列傳輸進行指令及數據資料之傳遞。我們所選用為 2.4 吋液晶模組作為啞鈴顯示器，螢幕解析度 320x240、TFT LCD 顯示器，傳送文字以 ASCII 即可，因此透過 ESP32 USART TX0、RX0 腳即能簡單的進行控制與顯示。

## 五、MPU6050 六軸加速度感測器控制電路設計

MPU-6050 三軸陀螺儀模組，如圖 3-15 所示。通常可用於測量物體的姿態和運動，它能夠提供以下數據，加速度數據：MPU-6050 可以測量物體在三個軸向上的加速度，分別是 X、Y 和 Z 軸。三軸陀螺儀與三軸加速度方向，如圖 3-16 所示。這些數據可以用來測量物體的運動加速度。速度數據：MPU-6050 也可以測量物體在三個軸向上的角速度，同樣是 X、Y 和 Z 軸。這些數據可以用來測量物體的旋轉速度，如檢測物體的旋轉或轉動。因此選用 MPU-6050 來做為啞鈴慣性運動偵測。



圖 3-15 MPU6050 六軸加速度感測器(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

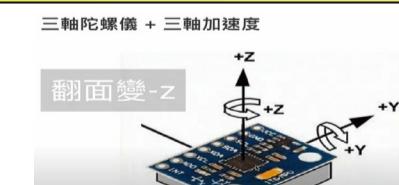


圖 3-16 三軸陀螺儀與三軸加速度方向(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

## 實驗四：ESP32 控制 MPU6050 電路設計與測試

說明：1. ESP32 與 MPU6050 接線圖，如圖 3-17 所示。將 MPU6050，VCC 接至 ESP32 +5V 位置，GND 則接至 ESP GND 位置。

本海報照片及圖片皆由作者群拍攝或繪製

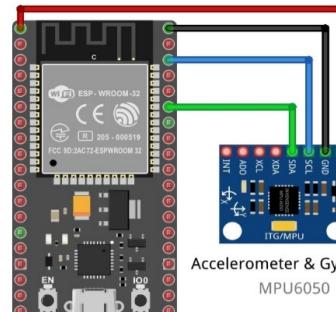


圖 3-17 ESP32 與 MPU6050 接線圖(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)



圖 3-20 電子血壓計與耳夾心率感測器同步量測(作者截圖或拍攝)

## 七、脈搏心率心跳感測器控制電路設計

耳夾脈搏心率心跳感測器，如圖 3-19 所示。脈搏波是心臟發送血液時產生的血管的體積變化波形，監測該體積變化的檢測器稱為脈搏感測器。以目前得知測量心率有四種方法，心電圖、光電脈波法、血壓測量法、心音描記法等。我們選用則為光電脈波法來進行脈搏次數的測量方式。圖 3-20 電子血壓計與耳夾心率感測器同步量測。



圖 3-19 脈搏心率心跳感測器(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)



圖 3-21 RF24L01 無線模組接腳圖(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

## 八、RF2.4GHz 無線模組控制電路設計

將 RF24L01 模組、Vcc、GND 電源腳接至 ESP32 3.3V 與 GND，接著將模組 CE 接腳接至 GPIO7 腳，CSN 接腳接至 GPIO8 腳，SCK 接腳接至 GPIO13 腳，MISO 接腳接至 GPIO12 腳，MOSI 接腳接至 GPIO11 腳。

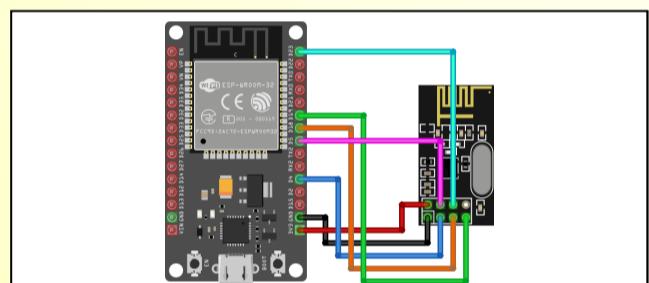


圖 3-22 RF24L01 無線模組接線圖(圖片來源：Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

## 九、APP 手機程式設計

APP 設計我們使用 App Inventor2 為一個透過視覺化圖形介面來設計行動應用服務的工具，可以透過 google 瀏覽器編輯器中拖拉積木和 GUI 圖形化介面的方式來開發 APP，開始製作我們在使用者介面設計，先規劃整個 APP 的功能還有主畫面。MIT APP Inventor2 開發介面，如圖 3-27 所示。APP 分別為畫面編排、程式設計等兩種介面，顯示畫面編輯介面，如圖 3-28 所示。

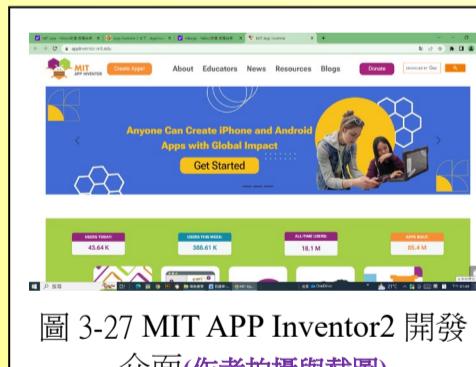


圖 3-27 MIT APP Inventor2 開發介面(作者拍攝與截圖)



圖 3-27 MIT APP Inventor2 開發介面(作者拍攝與截圖)

開啟 MIT APP Inventor2 開發軟體進行程式設計，首先編輯「啞鈴幫我數與運動姿態分析系統」主畫面，如圖 3-32 所示。國家語言與音效設定，如圖 3-33 所示。



圖 3-32 啞鈴幫我數與運動姿態分析系統主畫面(作者拍攝與截圖)

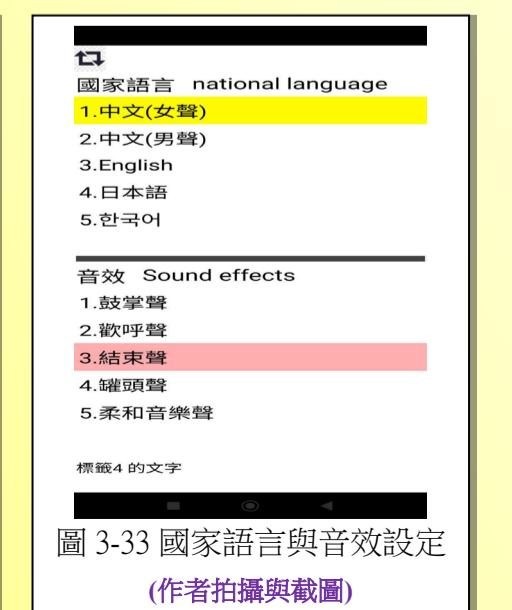


圖 3-33 國家語言與音效設定(作者拍攝與截圖)

## 十、啞鈴機構設計

設計新一代啞鈴裝置除本身金屬重量外，傳統啞鈴為正六角形等邊長，我們設計新一代的啞鈴則為八角形不等邊長，主要是當啞鈴放置時能很明確知道放置方向。如圖 3-38 所示。啞鈴組裝圖，如圖 3-39 所示。板金彎折與電焊工序完成啞鈴裝置，啞鈴尺寸與元件配置圖，如圖 3-40 所示。再將加工完成的機構噴漆處理。



圖 3-38 啟鈴模型製作  
(作者拍攝)

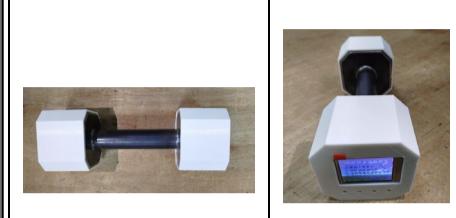


圖 3-39 啟鈴組裝圖(作者拍攝)

啞鈴 3D 列印繪製在機構設計我們使用 Auto Desk123 軟體來繪製，如圖 3-41 所示。依前圖 3-32 啟鈴機構尺圖先行繪製啞鈴模型裝置，如圖 3-42 所示。啞鈴顯示器外殼模型製作，如圖 3-43 所示。啞鈴喇叭外殼模型製作，如圖 3-44 所示。

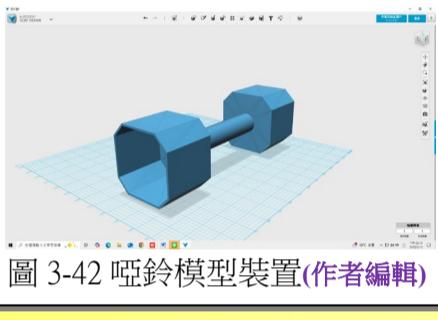


圖 3-42 啟鈴模型裝置(作者編輯)

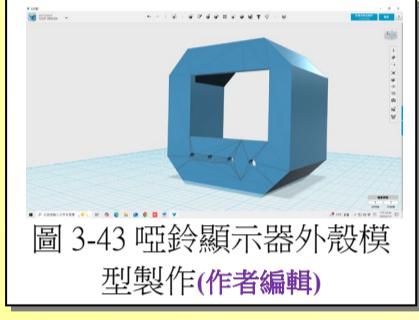


圖 3-43 啟鈴顯示器外殼模型製作(作者編輯)

## 肆、研究結果：

### 一、操作方法

(一)「啞鈴幫我數與運動姿態分析裝置」可單機操作，使用者可選擇 4 種啞鈴健身模式，我們選擇操作模式，則選擇“啞鈴傳教士彎舉法”，如圖 4-1 所示。

(二)先設定啞鈴健身次數，按下啟動後操作者手握啞鈴中間之握手處，手臂伸直後舉起啞鈴手肘彎曲 >90° 再將手臂伸直，並做規律運動，此時裝置偵測慣性運動 1 次，經裝置以語音方式說出計數值，由顯示器顯示目前次數，同時裝置會糾正操作者姿態是否正確，並以燈號方式顯示。

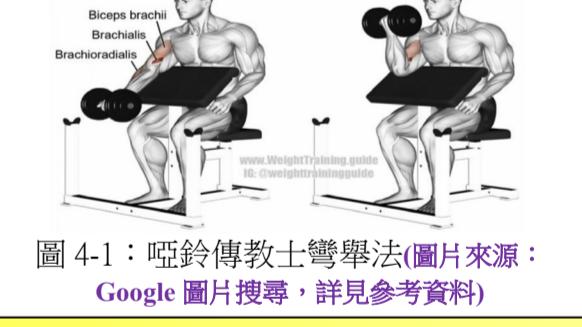


圖 4-1：啞鈴傳教士彎舉法(圖片來源：  
Google 圖片搜尋，詳見參考資料)

### 二、HMI 人機介面畫面編輯

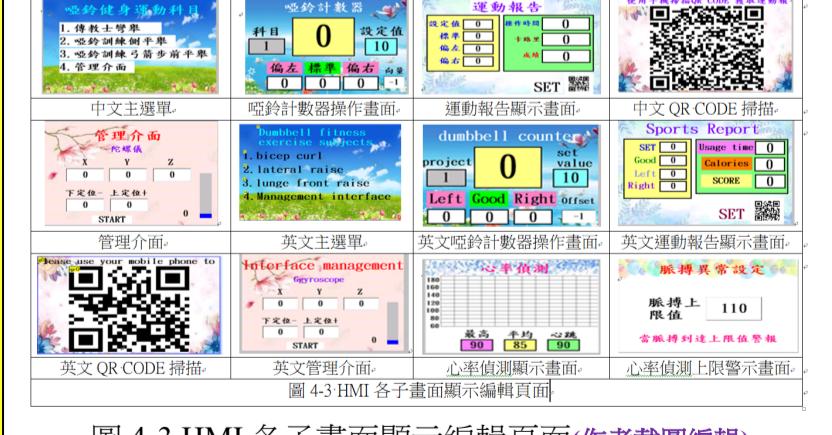


圖 4-3 HMI 各子畫面顯示編輯頁面(作者截圖編輯)

### 四、運動成績演算法

採分數值衡量或以數據說明的運動過程，須將其結果「量化」，成績對很多人說確實是有意義有價值性，但卻有很多事情都要看成績，如學習成績、訓練成績、比賽成績、運動成績、

本海報照片及圖片皆由作者群拍攝或繪製

電玩遊戲成績等等。分數究竟可以用來判斷什麼，就運動而言如何評分、成績、分數需透過演算給於正確成績，讓每次運動或嘗試都能有所突破，讓成績展現、發揮真正的意義。獲得的進步與學習成果。

表 4-1 姿態分析分為 P=5 級距(作者製表)

向量	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
P	4	3	2	1	0	1	2	3	4
結果	偏左		標準				偏右		

例 1：大雄使用啞鈴健身時，首次健身次數設定為 10 次，大雄運動姿態曲線圖，如圖 4-4 所示，輸出運動結果報告，如圖 4-5 所示。計算：運動健身成績？運動所消耗卡路里？

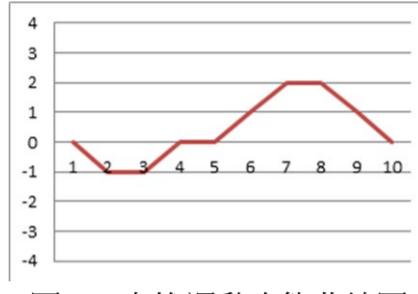


圖 4-4 大雄運動姿態曲線圖  
(作者截圖編輯)

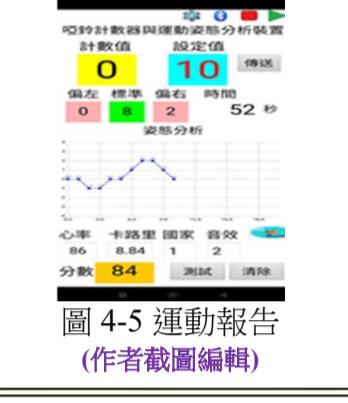


圖 4-5 運動報告  
(作者截圖編輯)

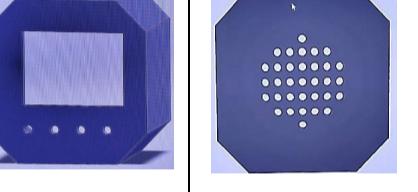


圖 4-15 啟鈴左右兩側塑膠外蓋  
(作者截圖編輯)

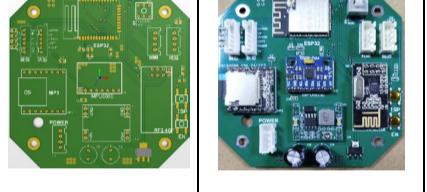


圖 4-17ESP32 印刷電路板圖  
(作者截圖編輯)

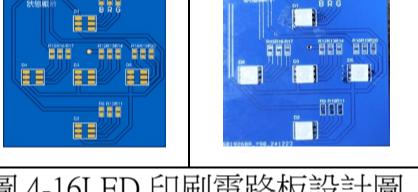


圖 4-16LED 印刷電路板設計圖  
(作者截圖編輯)

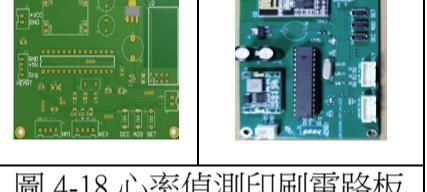


圖 4-18 心率偵測印刷電路板  
圖(作者截圖編輯)

### 伍、討論：

一、經濟效益：如果百家健身房中，有第一家使用我們所設計的新一代啞鈴裝置，那就是起頭者、領先者，市場產生追隨效應相互比較與競爭，人們會有嚐新心理作用就會選擇具科技感的啞鈴，因此健身房也會投資添購新器材，增加經濟效應產值，健身房也能配合新一代的啞鈴裝置開設啞鈴課程，增加會員創造更大經濟效益。

二、減少錯誤：啞鈴的訓練以人工的方式計算次數，可能會因環境因素、人為因素、心理因素，造成計數錯誤，因此使用人工計數是很不科學的方法。我們設計新一代的啞鈴裝置就能解決改善因計數錯誤的問題。

三、增加收入：新一代啞鈴裝置產生了需求理論，因有需求、有需要就能產生市場效益，才能滿足人們的需求層次，因此也增加健身房會員人數。增加整體產業鏈的獲利契機。

### 陸、結論：

一、新一代啞鈴裝置能符合男女老幼，適合各年齡層的使用者，可避免運動傷害，啞鈴運動未來也能成為全民運動追隨風，更能發展到國軍體能訓練之用，增強國防戰力。

二、透過啞鈴訓練可增加身體肌耐力，只要在啞鈴上設定運動次數，裝置即可協助操作者來「計數次數」，也能糾正操作者「運動姿態」之正確性。

三、心率偵測裝置，可單機操作用來量測健身者，運動前或運動過程心率資料。當心率異常時裝置會發出警報聲，提醒使用者停止運動。