

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學(一)機電與資訊

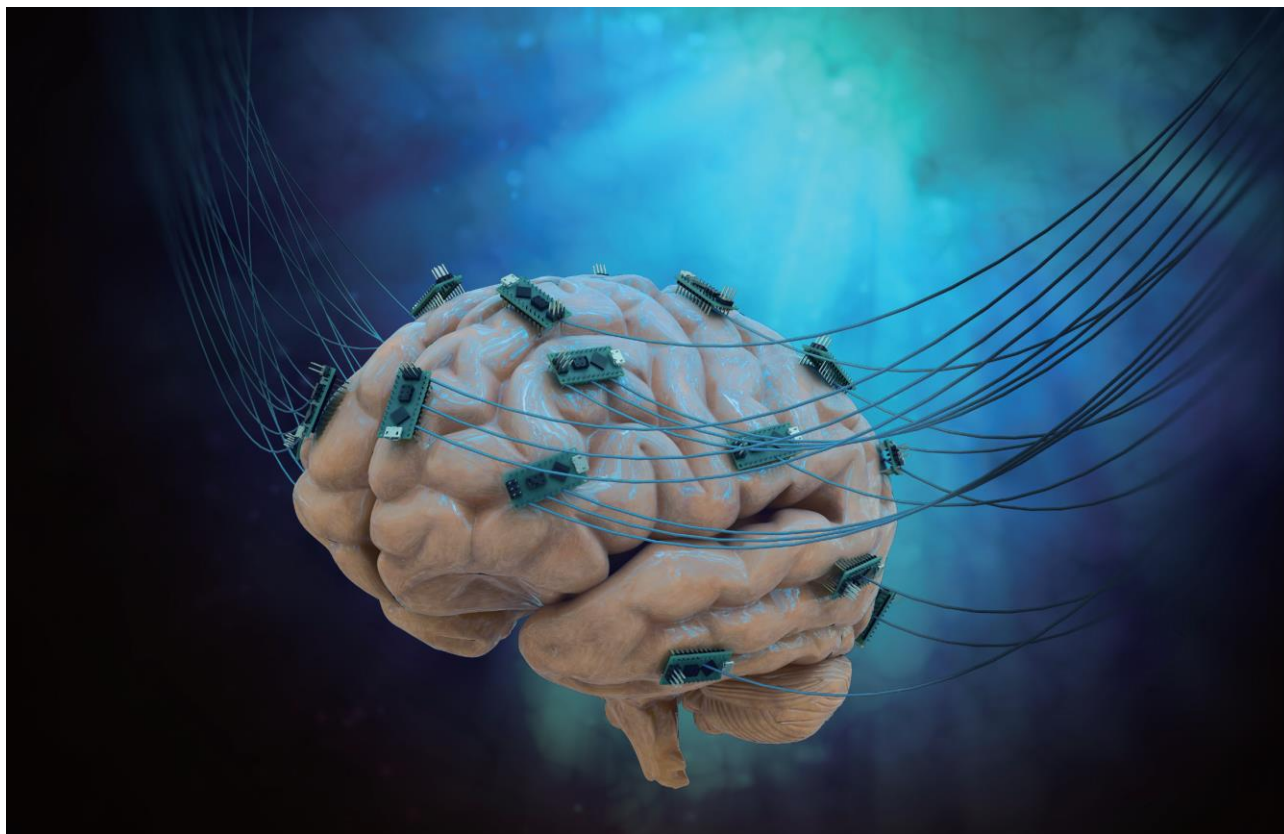
組 別：國中組

作品名稱：猜猜我是誰?用腦波「想」就知道!

結合腦機介面生物辨識的智慧家庭系統

關 鍵 詞：腦機介面、生物辨識、智慧家庭

編號：



下方圖片來源：科學發展 2020 年 12 月 | 576 期

# 目錄

摘要 .....	1
壹、 研究動機.....	1
貳、 研究目的.....	2
參、 研究設備及器材 .....	3
肆、 研究過程或方法 .....	4
伍、 研究結果.....	12
陸、 討論.....	27
柒、 結論.....	28
捌、 參考文獻資料.....	30

# 猜猜我是誰? 用腦波「想」就知道!

## 結合腦機介面生物辨識的智慧家庭系統

### 摘要

我們撰寫腦機介面程式，用低成本單電極的腦波儀讓智能車移動，實驗後發現專心度會隨著訓練而提高；在過程中看出每個人的腦波好像都不相同，所以嘗試從大量又凌亂腦波信號中萃取出四種有用的統計特徵值，再用近鄰演算法做生物辨識，正確率達到九成七以上，並實做出創新有趣具腦波解鎖應用的智慧家庭系統。此系統運用圖形的 mblock、程序的 C 和交互式的 Mathematica 等程式語言，特色包含可傳訊息到手機上的緊急救難 LINE 通知功能和中文語音合成功能。設計出固定式的跌倒偵測和一氧化碳偵測裝置，與整合各種元件的腦波可控智能車，能自主偵測環境指標和災害意外指標並能適時提醒。我們相信唯有探索最難破解的大腦祕密，才能朝向直接用腦訊號控制和意識交流的方向前進。

關鍵詞：腦機介面、生物辨識、智慧家庭

### 壹、研究動機

我們在生物課程中有學習到神經系統，做專題報告時接觸到腦機介面的相關報導，啟發我們想要進一步研究。現代的高齡化社會許多長輩獨自在家時需要照顧，小組成員間提出了智慧型居家照護的構想，開始著手設計出一個智慧家庭系統，就像有人看護照顧一般，可自動提醒年長者居家備忘事項，並幫助他們控制家裡的電器，如遇到緊急狀況時還能主動聯繫家人和醫療單位。這套系統可由智能車裝載各種感測器來達到主動偵測，也可裝置在家裡的固定地方。此外，家中長輩有些行動不便者，起身困難，這時就需要靠其他輔助工具來提升生活品質，因此我們先設計出一套透過腦波儀來控制 LED 的裝置，將來接上繼電器就能控制家電，就能幫助思緒清楚但四肢不便的人，透過專注度就能啟動電源。原始的想法就是利用腦機介面讀取腦波數據，藉以控制 LED 開關和智能車，構想如圖 1-1。

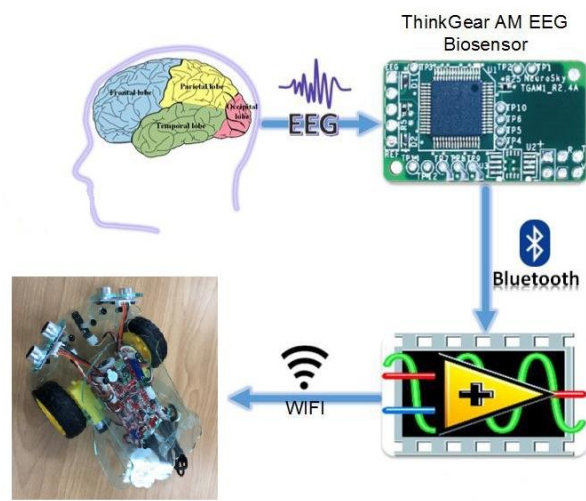


圖 1-1 腦波控制智能車示意圖 [1]

## 貳、研究目的

我們嘗試解決現今年長者和行動不便者面臨棘手的居家生活問題，希望達成目的如下：

- 一、多種行動(腦機介面、循跡、藍牙)控制和生物辨識的智慧家庭系統
- 二、主動監測居家環境指標：溫度、光線
- 三、即時監測意外災害指標：一氧化碳、火災
- 四、主動偵測危險情況：跌倒偵測
- 五、具有遠端監控與自動通報家屬的功能：Line 通知、語音提醒

本作品整合了腦波儀、智能車、Line 通知、物聯網與多種感測器，研究的流程如圖 2-1。

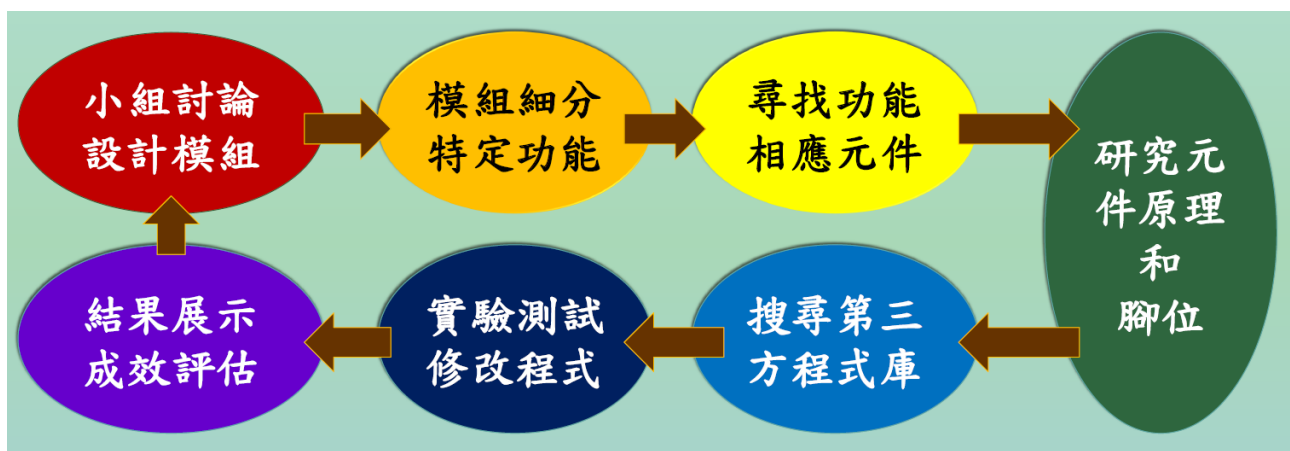


圖 2-1 科展研究的流程圖

## 參、研究設備及器材

本研究所使用的主要元件彙整如下。依照功能用四種顏色的框框分為四大區塊

(紅色：Arduino 開發板，藍色：腦波儀，綠色：固定式偵測元件，紫色：移動式偵測元件)

			
<b>Arduino UNO</b>	直流電機驅動擴展板	<b>MEGA2560 R3</b>	<b>Arduino MEGA Sensor Shield</b>
開放性、易用性、交流性	疊層設計可直接插接，使用更加方便	更多輸入/輸出引腳 更多硬體序列埠	感測器擴展板
			
<b>TGAM</b>	超聲波測距	<b>SYN6288 語音合成</b>	<b>A4950 雙路電機驅動模組</b>
腦電波傳感器套件	用於偵測距離	將文字轉成中文語音發音	驅動馬達
			
<b>藍牙元件</b>	<b>Wi-Fi 元件</b>	<b>MQ-7</b>	<b>MPU-9250 九軸感測器模組</b>
用於讀取腦電波與遙控智能機器人	用於連接伺服器發出 LINE 通知	一氧化碳傳感器模塊	三軸角速度測量轉動大小
			
<b>火焰偵測元件</b>	<b>光線感測器</b>	<b>GY-906 紅外線溫度計元件</b>	<b>LD3320</b>
能感測火災	判定光線是否充足	可以非接觸測量溫度	語音辨識模塊



## 肆、研究過程或方法

我們期望以簡單、現有的材料，以符合經濟與時間成本方式，設計製作出結合腦機介面和生物辨識的智慧家庭系統。

### 一、腦波靈感

我們研究主題靈感來自於研究人機介面馬斯克的三隻小豬研究後。美國神經科技公司 (Neuralink) 共同創辦人馬斯克 2020 八月廿八日舉行發表會，展示研發的植入式「腦機介面」電子裝置，圖 4-1，現場還有實驗用的三隻小豬亮相。馬斯克指出，該公司研發的晶片未來可應用於治療腦部疾病，希望最終能達到人腦與人工智慧 (AI) 共存。Neuralink 首席外科醫師麥道加爾說，未來首波人體試驗將聚焦治療四肢癱瘓及半身不遂病患等。



**圖 4-1 Neurallink 結構 [2]**

大腦百科 [3]一書中提到腦波在 1924 年由德國的生理學家漢斯·柏格(Hans Berger)製作出史上第一張電波。方法是透過貼附頭皮處的電極片，量測來自大腦中神經元的離子電流產生的電壓波動，並放大記錄為腦電圖(EEG)。EEG 是在無刺激的狀況下收集腦波，它所測量到的大腦電生理活動，是以毫秒為單位，具有很高的時間分辨率，並且為非侵入性的研究工具。

腦波 (brainwave) [4]是指人腦內的神經細胞活動時所產生的電氣性擺動。因這種擺動呈現在科學儀器上，看起來就像波動一樣，故稱之為腦波。人類每一秒，不論在做什麼，甚至睡覺時，大腦都會不時產生像「電流脈衝」一樣的「腦波」。腦波依頻率可分為五大類：β 波 (顯意識 14-30HZ)、α 波 (橋樑意識 8-14HZ)、θ 波 (潛意識 4-8Hz)及 δ 波 (無意識 4Hz 以下)和 γ 波 (專注於某件事 30HZ 以上)等。

**腦機介面** (Brain-Computer Interface, **BCI**)，是一種大腦與機器直接通信的途徑。人體腦部微弱訊號所產生之腦電圖(EEG)可進行腦機介面的相關研究，目的是讓使用者不需要使用四肢而達到控制物件的效果。腦機介面是一個能使大腦與外界直接溝通的途徑，如圖 4-2 所示，透過各式晶片量測大腦皮層上的電壓變化，經過各種分析方法將電壓轉換成命令，進而控制周遭的設備，腦波控制是幫助思緒清楚但四肢不便的人透過專注度就能啟動開關。德國科學家甚至已成功讓 7 名受測者在飛行模擬試驗中，以大腦意志控制飛機飛行。



圖 4-2 腦波的應用實例 [5]

**腦波儀**測量原理是將腦內神經細胞活動時產生的電位變化，經放大處理後記錄，即為腦波的檢測。可作為檢查、實驗的參考，腦波記錄為某一時間內多數腦細胞電位之綜合，非單一腦細胞之電位變化，傳統和現代的腦波儀如圖 4-3。



圖 4-3 傳統和現代的腦波儀 [6]

頻譜分析是目前腦波最常見的分析方法，根據不同的頻段，大致上可分為 5 種波形：**Delta**( $\delta$ , < 4Hz)、**Theta**( $\theta$ , 4~8Hz)、**Alpha**( $\alpha$ , 8~12Hz)、**Beta**( $\beta$ , 12~30Hz)、**Gamma**( $\gamma$ , 30~50Hz)。不同頻段的腦波分別有不同的特性，如表 4-1 所示。現今文獻大多以**振幅**、**頻率**、**波型**來進行腦波圖分析。







圖 4-6 腦波控制電器圖 [7]

## 二、腦波生物辨識

**生物辨識**技術能夠辨識基於身體和行為特徵的某個人，如**指紋、虹膜或聲音**等，而這項技術現在變得越來越重要，它甚至可以用來應對金融欺詐和安全威脅。然而，這也不是萬無一失的，這種基於生物辨識技術的密碼也是有可能被破解的。**所有的指紋都可以偽造**。有實驗驗證，用玻璃紙膠帶從玻璃上沾取的指紋印記，可以用來製作假冒指紋。鑒於很難複製一個人確切的**思維過程**，這項技術無疑是十分有利的。因此，**我們有必要研發更先進的、很難偽造的生物辨識技術**。每個人的「**腦指紋**」(即大腦對某些詞語或任務的反應)都是不同的，因為每個人的大腦都有不同的思維方式。**希望能研發出更簡便使用的腦波認證方式** [8]。

### (一)實驗流程 (如圖 4-7) [9]

1. **腦波擷取**：利用腦波儀讀取某人的腦波時間序列資料
2. **特徵選取**：以統計方法或自迴歸模式將腦波資料降維度並儲存
3. **辨識方法**：採**最近鄰居分類法**將所以腦波資料加以分類
4. **生物辨識**：當讀取測試者的腦波後可歸類為某一類或加以拒絕

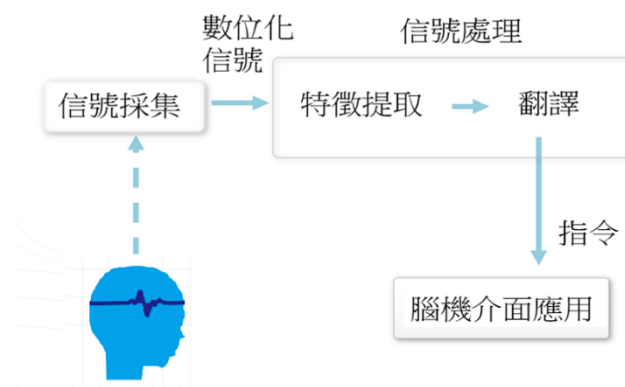


圖 4-7 腦波生物辨識系統流程圖

我們針對流程中每一項的細節分述如下。

**時間序列**：時間序列[10] (time series) 是一組按照時間發生先後順序進行排列的數據點序列。

我們將腦波的資料視為時間序列，以便利用模式進行分析。

## (二)特徵選取: 自迴歸模型

自迴歸模型[11] (Autoregressive model, 簡稱 AR 模型), 是統計上一種處理時間序列的方法, 用同一變數例如  $X$  的之前各期, 亦即  $X_1$  至  $X_{t-1}$  來預測本期  $X_t$  的表現, 並假設它們為一線性關係。簡單的說, 自我迴歸模型就是將時間序列自己過去的歷史資料當作解釋變數, 其方程式為:

$$X_t = C + \sum_{i=1}^p \varphi X_{t-i} + \varepsilon_t$$

其中:  $C$  是常數項;  $\varepsilon_t$  被假設為平均數等於 0, 標準差等於  $\sigma$  的隨機誤差值;  $\varepsilon_t$  被假設為對於任何的  $t$  都不變。意思即為:  $X$  的當期值等於一個或數個前期值的線性組合, 加常數項, 加隨機誤差。

如果我們簡單地僅只納入前一期的資料當作解釋變數, 就稱為一階自我迴歸模型 (first-order autoregressive model), 簡稱為 **AR(1)** 模型。

## (三)特徵選取: 統計方法

我們採用 Mathematica 中的描述性統計分析中的函數。如表 4-2 所示。運用的分群原則是同組內的變異小(也就是標準差小)和不同組間的變異大(也就是各組的平均值差異大)。

表 4-2 描述性統計分析中的函數表

統計分類	常見函數
定位統計	Mean、Median、SpatialMedian、CentralFeature、HarmonicMean、GeometricMean
分散統計	Variance、StandardDeviation、MeanDeviation、QuartileDeviation、InterquartileRange
形狀統計	Skewness、Kurtosis、QuartileSkewness、Entropy
普通統計	Moment、CentralMoment、RootMeanSquare、Expectation、Probability
次序統計	Min、Max、Sort、Ordering、RankedMin、RankedMax、Quantile

## (四)辨識方法:最近鄰居分類(k-NN)法

我們採用機器學習和圖形辨識領域中的最近鄰居分類法(Nearest-Neighbor Classification)

[12]，是根據現有已分類好的資料集合，找出與待分類資料最為鄰近資料，然後根據此最鄰近資料的所屬類別，對待分類資料進行類別判定或預測。

我們的程式流程如下：

- 1) 計算測試數據與各個訓練數據之間的**距離**；
- 2) 按照距離的遞增關係進行**排序**；
- 3) 選取距離最小的 **k 個點** (**k** 值是由自己來確定的)；
- 4) 確定前 **k** 個點所在類別的出現**頻率**；
- 5) 返回前 **k** 個點中出現頻率最高的類別作為測試數據的預測分類。
- 6) 若出現頻率相同則選擇距離總和較近的類別。

舉例說明如圖 4-8，如果  $k=3$  藍色星星會以紫色範圍選到距離前三名近的三個紅色圓點；當  $k=1\dots 6$  藍色星星都可判為屬於最鄰近的紅色圓點的類別。[13]

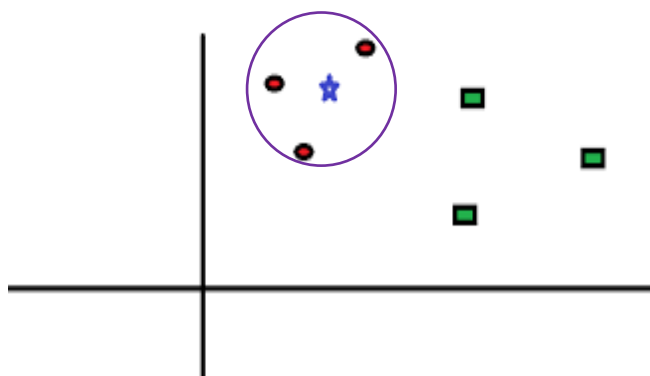


圖 4-8 k-NN 演算法示意圖

### 三、智慧家庭

**智慧家庭 (smart home)** 的概念最早出現在美國，利用先進的電腦技術、嵌入式技術、網路通訊技術、綜合佈線技術，將與居家生活有關的各種家庭應用設備巧妙的結合在一起。

智慧家庭 [14] 相關的產品應用層面很廣，以下為四大類應用說明，我們的設計如圖 4-9：

1. **安全監控**：這一類商品算是最多人需要的產品，應用有：監視攝影機、電子鎖、門窗感應器、煙霧偵測器與溫溼度感應器等。
2. **家庭娛樂**：主要是以電視為中心的應用，雖然產品不多，但這卻是生活中最常接觸的商品，應用有：智慧電視盒、智慧電視、Chromecast 播放器與智慧音箱等。
3. **智慧家電**：在一般的家電中再加上了聯網功能，可以透過手機或雲端來控制，應用如：

聯網冰箱、聯網洗衣機、掃地機器人、智慧冷氣、可聯網空氣清淨機與智慧風扇等。

4. **居家照顧**：現在的社會大部份的人都是留著長輩在家，雙薪家庭也把小孩托給保姆或長輩照顧，應用的商品有：健康智能手環、可聯網血壓計、可聯網血糖機、自動餵食機與緊急呼叫器等。



圖 4-9 我們設計的智慧家庭應用

#### 四、跌倒偵測

傳統的跌倒偵測藉由三軸加速度感測器的穿戴式感測裝置例如智慧手環，常會忘記攜帶。

某公司提出一項燈泡專利 [15]，採 VR 定位方案，有人在浴室滑倒，燈泡就能偵測到，並判斷這個人是否還活著。我們的設計是運用高處的超聲波元件用來偵測有人進入，如果跌倒了就只被低處的超聲波元件偵測到人，再用語音合成來提醒使用者，啟動偵測後如果此狀態(0,1)持續一段時間就代表人員可能跌倒了，則會發出即時 Line 通知，思考邏輯如表 4-3。

表 4-3 超音波元件偵測跌倒的邏輯狀態

高處超音波	0	1	0
低處超音波	0	0 or 1	1
狀態	沒人	啟動偵測	跌倒



## 五、一氧化碳偵測

常聽新聞提到熱水器安裝於通風不良處，導致家人一氧化碳(CO)中毒的不幸事件，所以想利用簡易的裝置來偵測室內的 CO 濃度是否過高，並進一步採取防範措施，以減少此類悲劇的發生。做法是當氣體偵測感測器 MQ7 偵測到 CO 濃度值過高時搭配蜂鳴器發出警報聲，開啟風扇裝置並即時傳送 LINE 通知給家人，這樣就能避免家中長輩離家時忘記關閉瓦斯，或使用燃氣熱水器時氧氣不足 CO 逸散造成中毒事件，構想和程式設計流程圖 4-10。

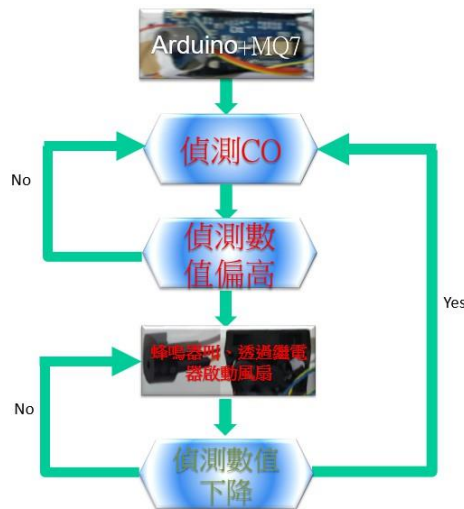


圖 4-10 一氧化碳偵測流程

## 六、移動偵測的腦波可控智能車

我們將藍牙測距、火災偵測、溫度感測和光線感測等元件，裝設在可移動式的智能車上，設計出移動偵測的腦波可控智能車，如圖 4-11。

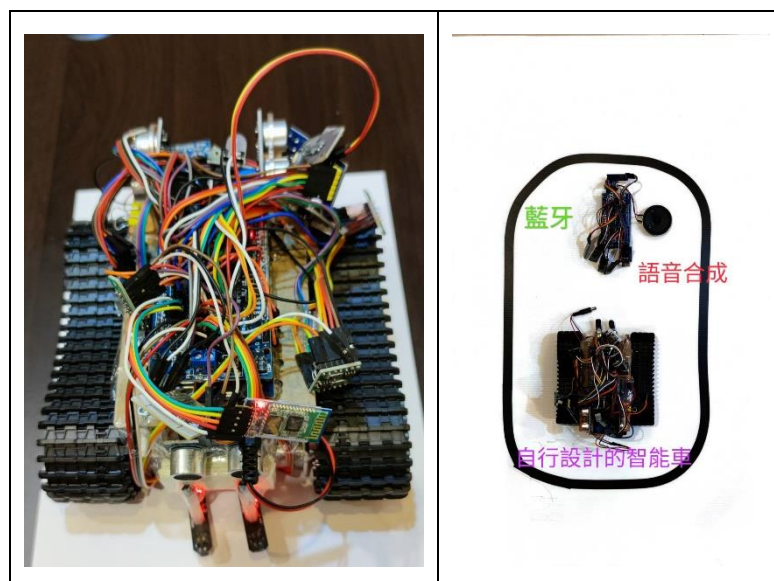


圖 4-11 移動式偵測的智能車

## 伍、研究結果

### 一、腦波控制 LED 和智能車

我們的腦波耳機是 NeuroSky 公司製造，在腦機介面上有著領先全球的應用技術，不會產生任何副作用，並經過 NCC 國家通訊傳播委員會 FCC、CE、FC、SRRC 等安規認證，而腦波原始訊經過處理後會得到  $\delta$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$  以及  $\beta$  波，並得到專心(Attention)與冥想(Meditation)的大小值，最後由藍牙通信介面傳至接收端上。本實驗使用這種安全性極高的非侵入非刺激的乾式電極腦波儀，一般用於健康監測等非醫學領域，每位受試者都填寫同意書(見圖 4-4)。使用的連接方式如圖 5-1。

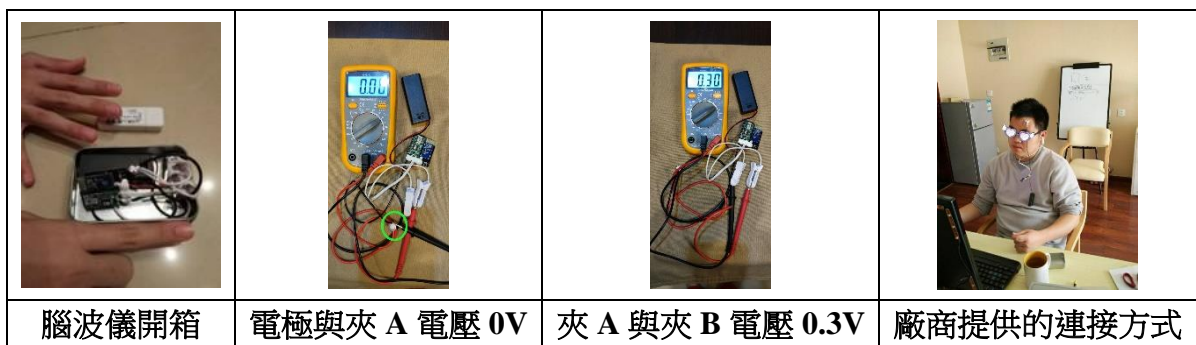


圖 5-1 腦波儀安全開箱與連接方式

#### (一)資料讀取

腦波儀 TGAM 大約每秒鐘發送 513 個包(圖 5-2)。發送的包有小包和大包兩種：小包的格式是 AA AA 04 80 02 xxHigh xxLow xxChecksum，前面的 AA AA 04 80 02 是不變的，後三個位元組是 xxHigh 和 xxLow 組成了原始資料 rawdata，xxChecksum 就是校驗和。所以一個小包裡面只包含了一個對開發者來說有用的資料，那就是 rawdata。

那怎麼從小包中解析出原始資料呢？ $rawdata = (xxHigh \ll 8) | xxLow$ ;  $if(rawdata \ge 32768)\{ rawdata -= 65536;\}$ ，但是在算原始資料之前，我們先應該檢查校驗和。校驗和怎麼算呢？ $sum = ((0x80 + 0x02 + xxHigh + xxLow) \wedge 0xFFFFFFFF) \& 0xFF$  什麼意思呢？就是把 04 後面的四個位元組加起來，取反(1->0,0->1)，再取低八位。如果算出來的 sum 和 xxChecksum 是相等的，那說明這個包是正確的，然後再去計算 rawdata，否則直接忽略這個包。

我們怎麼拿信號強度 Signal,專注度 Attention,冥想度 Meditation,和 8 個 EEG Power 的值呢？就在第 513 個這個大包裡面，我們整理可得以下十項腦波重要數據如表 5-1，大包的格式

是相當固定的，含義如表 5-2，紅色欄位是每次都不變的。

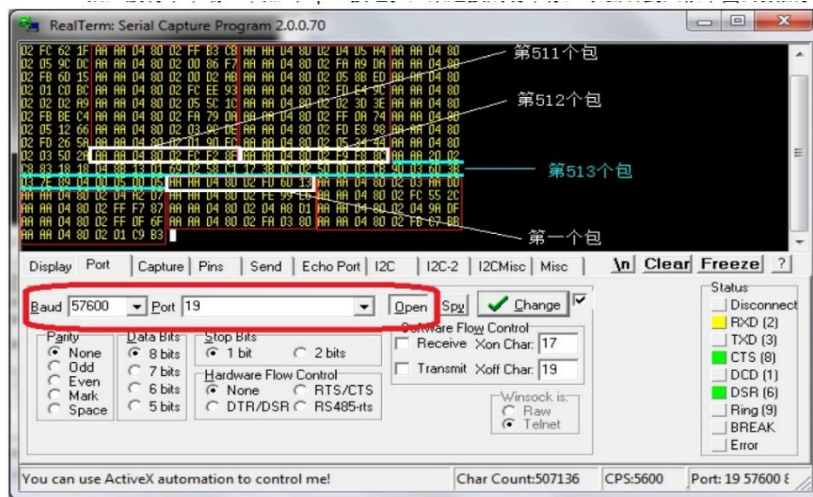


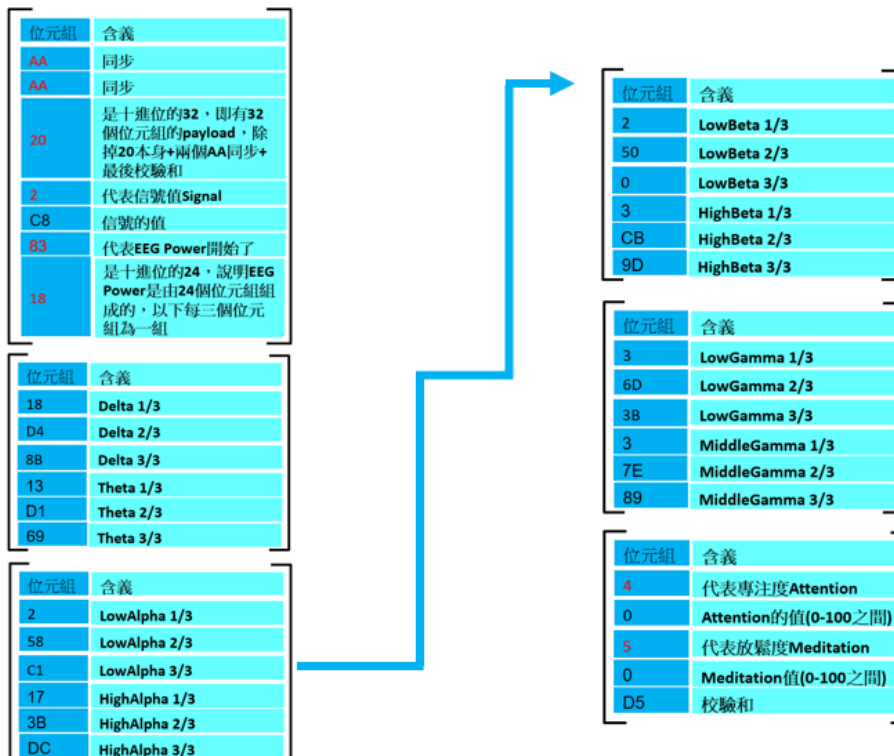
圖 5-2 腦波儀資料讀取


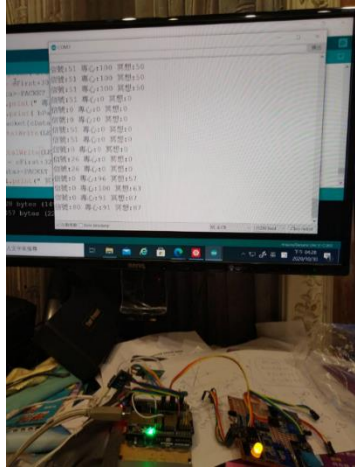
表 5-1 十項主要腦波數據表

專心度	冥想度	Delta	Theta	LowAlpha
HighAlpha	LowBeta	HighBeta	LowGamma	MiddleGamma

我們在 PC 上寫程式從腦波儀讀出的資料，專注度和冥想度等數值顯示如圖 5-3，設定當其個別超過門檻值，代表具有顯著性，可用於控制 LED 或智能車，例如當電腦螢幕顯示專心度如大於 50，Arduino 開發板上的 LED 黃燈就會變亮，如圖 5-4。

表 5-2 第 513 個大包資料對照表



	
<p><b>圖 5-3</b> 腦波儀讀出的原始資料</p>	<p><b>圖 5-4</b> 當專心度超過 50 時 Arduino 開發板上的 LED 黃燈會亮</p>

(二)腦波控制智能車移動流程，如圖 5-5。

- (1) 透過第一個藍牙模組傳輸腦波封包至 Arduino 模組。
- (2) Arduino 模組擷取封包，並從封包裡抓取所需要的數值，如：Quality、Attention。
- (3) 透過第二個藍牙模組傳控制訊號給智能車，使其能前進。

		
<p>控制程式</p>	<p>元件配置</p>	<p>影片 QR code</p>

**圖 5-5** 腦波控制智能車移動流程

(三)腦波訓練專心度結果

我們做受測者 A，B，C 控制智能車測試各十次，將每次的專心度平均值整理如表 5-3，發現專心度會因為想讓智能車移動而提升，達到訓練專心的效果。



表 5-3 智能車專心度訓練表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
A	35.9	40.5	45.7	51.8	54.1	57.3	58.2	61.3	62.3	64.5	53.16
B	34.6	40.4	46.3	52.2	53.2	58.2	61.5	62.2	64.4	67.1	54.01
C	25.4	31.8	39.8	45.3	50.1	55.8	60.4	62.1	63	63.6	49.73

## 二、腦波生物辨識

我們在進行腦波控制 LED 和智能車的實驗時，發現不同的受試人員會產生不一樣的腦波特徵圖形，例如受測者 A 和受測者 B 的腦波圖很明顯的有差異性（圖 5-6），用 Excel 軟體計算出前者的專注度和冥想度之間為負相關；但後者的專注度和冥想度之間卻為正相關，這個現象讓我們感到很驚奇，啟發了我們想進一步研究是否可以利用腦波來做生物辨識，就可以認證出不同人的身分。

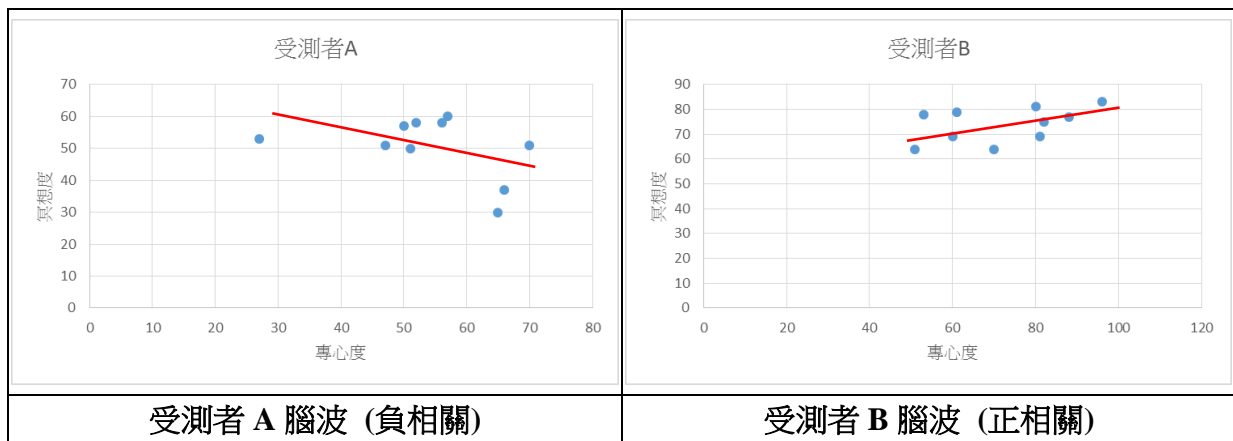


圖 5-6 腦波數據圖可看出不同受測者腦波的差異性很大

### (一)實驗設計

我們先選取受測者 A，B，C 測試各十次，分別用腦波儀擷取腦波資料連續十筆，當訊號狀態良好時才開始記錄。之後交叉驗證某一位腦波資料，在資料庫中進行比對，找出最匹配的對象，完成腦波生物辨識。

結合以上的實驗內容總整理如下

**實驗對象：**A，B，C 三人

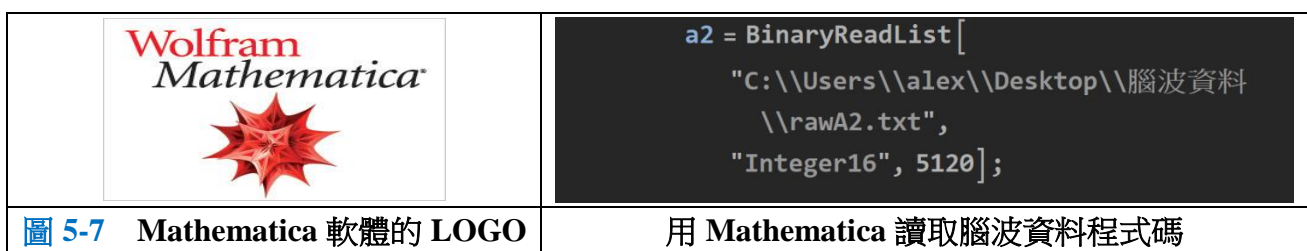
**腦波擷取：**腦波原始數據每秒 512 筆資料，每次取 10 秒共 5120 筆資料，每個人做十次，A，B，C 三人共有三十次原始資料。

- 特徵選取**：
1. 加總前後兩筆資料的差取絕對值，函數是 `Total[Abs[Differences[list]]]`
  2. 所有資料的標準偏差值，函數是 `StandardDeviation[list]`
  3. 所有資料的絕對值加總，函數是 `Total[Abs[list]]`
  4. AR(1)模式的最佳參數值  $\phi$ ，函數是 `TimeSeriesModelFit[list, {"AR", 1}]`

分類方法：**Mathematica 軟體**提供的 k-NN 分類模式

接下來的特徵擷取、腦波分類和生物辨識等都是利用 Mathematica 軟體來執行(如圖 5-7) ，

**Wolfram Mathematica**（簡稱：Mathematica）是一款科學計算軟體，有時候也被稱為電腦代數系統，廣泛使用於科學、工程、數學、計算等領域[16]。



然後我們以此軟體建立符合某人腦波的時間序列模式，經過多次實驗發現一階的自迴歸 AR(1)就能得到理想的結果，所以我們都採用 AR(1)來進行模擬，可得到最佳的參數值，就當作**特徵值**。舉例如圖 5-8：最上方一至二行的程式是在套用 AR(1)模式，最下方兩行就是所得的結果，顯示：常數  $C=2.66442$ 、最佳擬合參數數值  $\phi=0.955043$ ，還有誤差的變異數(error variance)630.793。

```
model = TimeSeriesModelFit[a1,
  {"AR", 1}];
In[59]:=
Normal[model]
Out[59]=
ARProcess[2.66442, {0.955043}, 630.793]
```

圖 5-8 最佳擬合 AR(1)的 Mathematica 程式

## (二)特徵實驗結果

首先我們分別選用這四項特徵值中的一個來做兩兩辨識，結果如表 5-4，可看出特徵 1 無法分辨 BC 兩人，特徵 2 和特徵 3 結果相同但都無法分辨 AC 兩人，特徵 4 結果最差，發現單一特徵有分辨的限制。接著我們選用**特徵 1,2**、**特徵 1,2,4**、**特徵 1,2,3** 和**特徵 1,2,3,4** 分別實驗的如表 5-5，可以看出來運用**特徵 1** 和**特徵 2** 就能得到不錯的結果了，**特徵 1,2,3** 能得最

佳解。四種特徵對應 A、B、C 三位受測者的機率密度圖整理如圖 5-9，可看出和只用一種特徵的表 5-4 實驗結果一致。四種特徵的三十次原始數據整理如表 5-6。

表 5-4 只用一種特徵的分辨率表

分辨正確百分率	特徵 1	特徵 2	特徵 3	特徵 4
AB 之間	100%	95%	95%	<50%
AC 之間	95%	<50%	<50%	<50%
BC 之間	<50%	100%	100%	85%

表 5-5 組合多項特徵的分辨率表

分辨正確百分率	特徵 1,2	特徵 1,2,4	特徵 1,2,3	特徵 1,2,3,4
AB 之間	100%	95%	95%	95%
AC 之間	90%	95%	100%	95%
BC 之間	100%	95%	100%	100%
ABC 之間	97%	100%	100%	97%

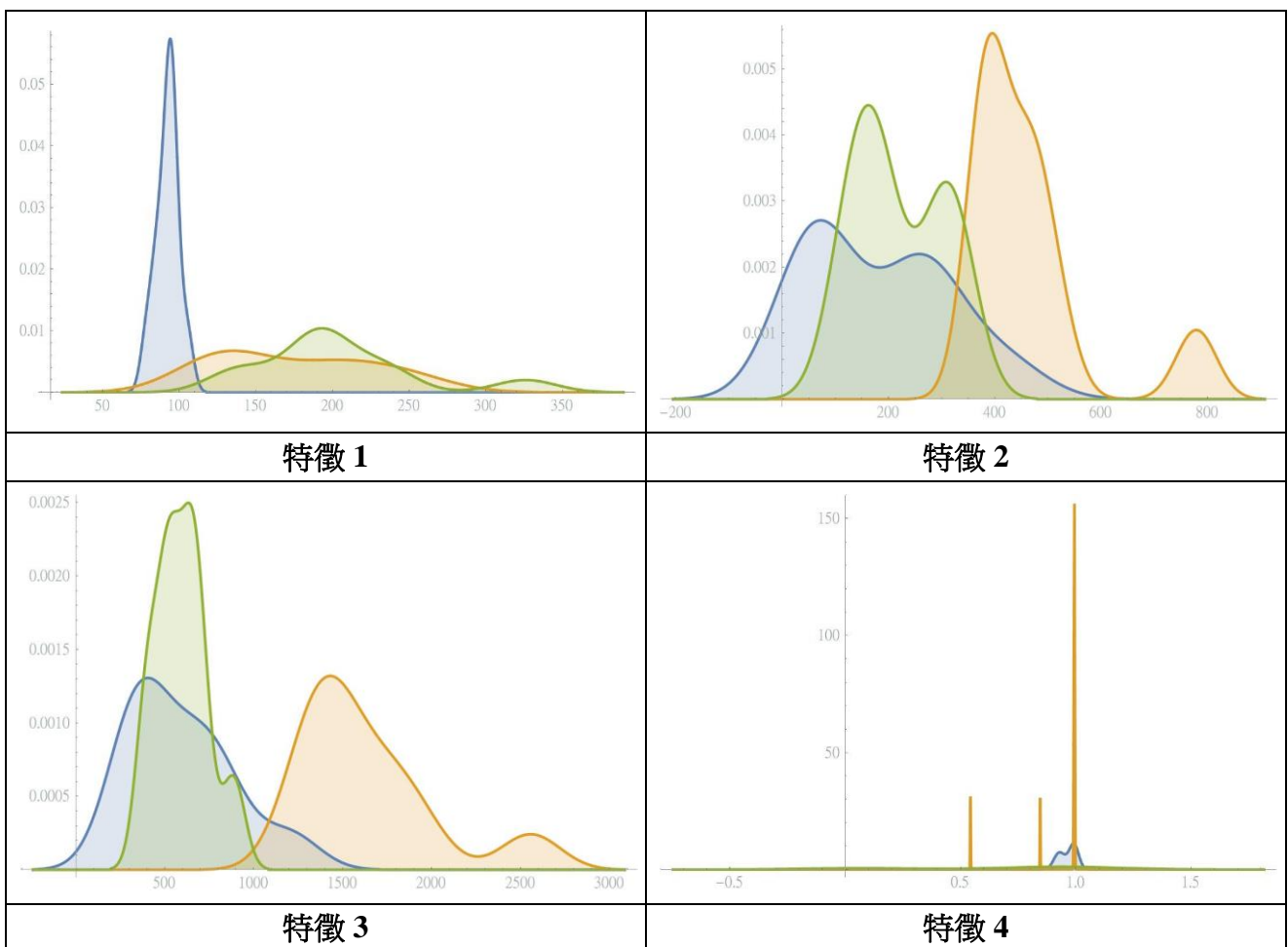


圖 5-9 四種特徵對應 ABC(藍橘綠)三位受測者的機率密度圖

表 5-6 三位受測者的特徵值原始數據表

受測者	特徵1	特徵2	特徵3	特徵4
A	96	266	810	0.984
A	79	422	1202	0.993
A	86	253	655	0.996
A	94	241	651	0.995
A	94	55	333	0.911
A	105	302	827	0.996
A	97	96	451	0.968
A	94	58	329	0.921
A	92	65	364	0.938
A	86	59	337	0.936
B	202	382	1548	0.991
B	256	779	2557	0.845
B	121	517	1690	0.996
B	148	379	1416	0.994
B	144	405	1466	0.994
B	122	385	1279	0.994
B	122	385	1286	0.993
B	212	457	1405	0.543
B	186	475	1795	0.993
B	237	469	1939	0.991
C	135	281	887	0.992
C	145	185	671	0.98
C	188	192	714	0.966
C	326	151	647	0.85
C	233	327	519	0.0942
C	191	176	632	0.963
C	234	122	530	0.876
C	198	132	529	0.925
C	195	318	411	0.0531
C	186	316	400	0.0441

### (三)生物辨識程式

我們用 Mathematica 寫的 k-NN 分類程式如圖 5-10。

The figure consists of two side-by-side Mathematica notebook screenshots. The left screenshot shows the training code for a k-NN classifier. The right screenshot shows the testing code and the resulting output probabilities for classes A, B, and C.

```
cc = Classify[
  <|"A" →
    cla[{{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}}],
    "B" →
    clb[{{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}}],
    "C" →
    clc[{{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
      10}}]>]

```

ClassifierFunction [ + Input type: {Numerical, N} Classes: A, B, C

```
cc[cla[[1]], "Probabilities"]
Out[ ] =
<|A → 0.833333,
  B → 0.0833333, C → 0.0833333|>

```

訓練 k-NN 分類第 2 到 10 筆資料的程式

測試 k-NN 分類第 1 筆資料的程式

圖 5-10 訓練與測試 k-NN 分類模式的 Mathematica 程式



#### (四)運用特徵 1 和特徵 2 的兩兩辨識詳細結果

我們採取測試 A 對 B、B 對 C、C 對 A 的交叉驗證方法[註 1]，分別用已知的 9 筆資料為訓練樣本，來測試剩餘的 1 筆資料，總共進行 10 次實驗的 10 折交叉實驗 [註 2]，結果如表 5-7，例如表中測試 1 代表以第 2 到第 10 筆資料為訓練樣本，測試第 1 筆資料的結果。

[註 1]：交叉驗證 (cross validation)，有時亦稱循環估計，是一種統計學上將數據樣本切割成較小子集的實用方法。可以先在一個子集上做分析，而其它子集則用來做後續對此分析的確認及驗證。一開始的子集被稱為訓練集。而其它的子集則被稱為驗證集或測試集。

[註 2]：k 折交叉驗證 (k-fold cross-validation)，將訓練集分割成 k 個子樣本，一個單獨的子樣本被保留作為驗證模型的數據，其他 k - 1 個樣本用來訓練。交叉驗證重複 k 次，每個子樣本驗證一次，平均 k 次的結果。我們選取 k =10，共做 10 次。

表 5-7 AB、BC、CA 兩兩對應的交叉驗證表 (T:正確；F:錯誤)

測試	A	B	B	C	C	A
1	T	T	T	T	T	F
2	T	T	T	T	T	F
3	T	T	T	T	T	T
4	T	T	T	T	T	T
5	T	T	T	T	T	T
6	T	T	T	T	T	T
7	T	T	T	T	T	T
8	T	T	T	T	T	T
9	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
	AB正確	100%	BC正確	100%	CA正確	90%

由上表可以看出測試者 A、B 間的總正確率為 100%；B、C 間的總正確率為 100%；而 C、A 間的總正確率為 90%，第一個和第二個 A 會誤判成 C。

#### (五)運用特徵 1 和特徵 2 的三人辨識結果

接下來我們增加為 A，B，C 三位受測者的實驗，各做了 10 次實驗，總共有 30 筆資料，散佈圖如圖 5-11，利用交叉驗證循環測試方法，結果以混淆矩陣 [註 3] 的方式列如表 5-8。表最左欄代表 A，B，C 的真正值，上方欄代表 A，B，C 的判釋值，如果判釋正確就會顯示在主對角線上。

[註 3]：混淆矩陣（**confusion matrix**）在機器學習領域和統計分類問題中是可視化工具，特別用於監督學習。矩陣的每一行代表一個類的實例預測，而每一列表示一個實際的類的實例。

表 5-8 A，B，C 三人判釋結果的混淆矩陣

	判A	判B	判C
真A	9	1	0
真B	0	10	0
真C	0	0	10

由上表可看出 A 正確 9 次，有一次誤判為 B；B 正確 10 次；C 正確 10 次，三人實驗的總正確率為  $(9+10+10)/30 = 97\%$ 。

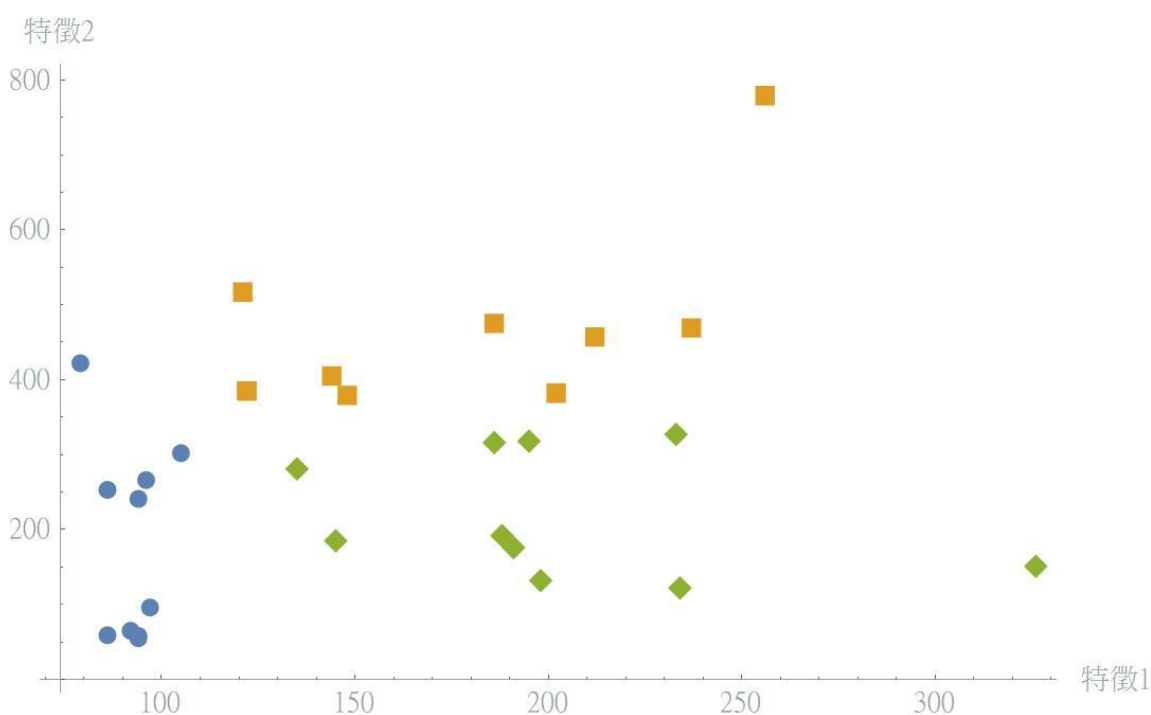


圖 5-11 三位受測者 ABC(藍橘綠)的特徵點散布圖

### (六)腦波解鎖應用

我們將以上的生物辨識研究成果，整合到 Arduino 開發板上，我們解決了即時性，也就是一讀到腦波立即做生物辨識，第二個問題是特徵的優化，因為 Arduino 開發板執行程式的效率不如 PC 快，我們優化了特徵的辨認方式，終於完成了腦波解鎖應用，影片的內容是戴上腦波儀後會經由程式的中文語音來同步實驗的流程，我們會在使用者說出繞口令的同時擷取腦波來和各人的腦波特徵做辨認分類，自動用語音說出使用者的身分，如圖 5-12。



圖 5-12 腦波身分解鎖實驗圖

### (七)洞悉人心的測謊儀波應用

這個應用是因為我們在研究腦波信號的過程中，發現有誘發電位這種腦波，如表 5-9，研究後發現事件發生後 100ms-400ms 後會產生高電位的腦波，所以我們用短時間內平均腦電波大於閾值時用 LED 快速閃爍顯示，發掘出隱藏行為(說謊)的時段，如圖 5-13。



圖 5-13 腦波測謊的實驗圖

表 5-9 誘發電位的種類表[4]

腦波種類	頻率	特性
Lambda ( $\lambda$ )	誘發電位 (100 ~ 200 Hz)	眼睛受光刺激時 100ms 後誘發 (又稱作 P100)
P200	誘發電位	尚有位於 200ms 左右的正波(P200)和 270ms 左右的負波(N270)
P300	誘發電位	看到或聽到腦中想像的東西時約 300ms 後誘發電位改變
N270	誘發電位	尚有位於 200ms 左右的正波(P200)和 270ms 左右的負

		波(N270)
N400	誘發電位	N400 在振幅上的變化，此屬於語意困惑的反應。

### 三、跌倒偵測

利用兩個超音波元件，輸入 DC5V 時有效偵測距離為 2cm~450cm，分別放在家中牆壁的適當的高度，高的用來偵測是否有人走進屋內，低的用來偵測是否有人跌倒。我們做了一個紙盒模型當作房間，長度約 23.7cm，超音波測出的時間約 1410 micro seconds，以圓柱體(高度 17 公分)當作人體，上方超音波位置為 15 公分；下方超音波位置為 3 公分，如果兩個超音波都沒偵測到代表無人狀態(左上圖)；上方超音波有偵測到代表有人狀態(中上圖)；上方超音波沒有偵測到但是下方超音波有偵測到代表跌倒狀態(右上圖)，這三種狀態都會用語音合成方式說出來，還有偵測到跌倒時會發出即時 LINE 通知給家人，主程式和模型實驗如圖 5-14。

		
無人狀態	有人狀態	跌倒狀態
		
主程式	LINE 通知	影片 QR code

圖 5-14 跌倒偵測實驗

### 四、一氧化碳偵測

我們所使用 MQ7 的氣敏材料是在空氣中電導率較低的二氧化錫(SnO<sub>2</sub>)，採用高低溫循環檢測方式低檢測 CO，感測器的電導率隨空氣中 CO 氣體濃度增加而增大，是一款低成本 CO 傳感器。初次使用之前需先熱機 48 小時之後，測試值較穩定之後使用熱機 3 分鐘後即可使用。我們讓 CO 測試的感應器結合 LED 到 Arduino 開發板，運用 LINE 設定通知將測試值設定為 100PPM，因為超過這濃度，2-3 小時候就會感到頭痛[17]，所以超出這個值蜂鳴器會



啟動鳴聲提醒現在數值超高。**LINE 通知**會把 CO 數值傳到手機上，超出值之後**風扇**會啟動送風將環境的 CO 值降低，讓居家安全多一份防衛，實驗過程如圖 5-15，CO 變化的結果如圖 5-16。



圖 5-15 一氧化碳偵測實驗

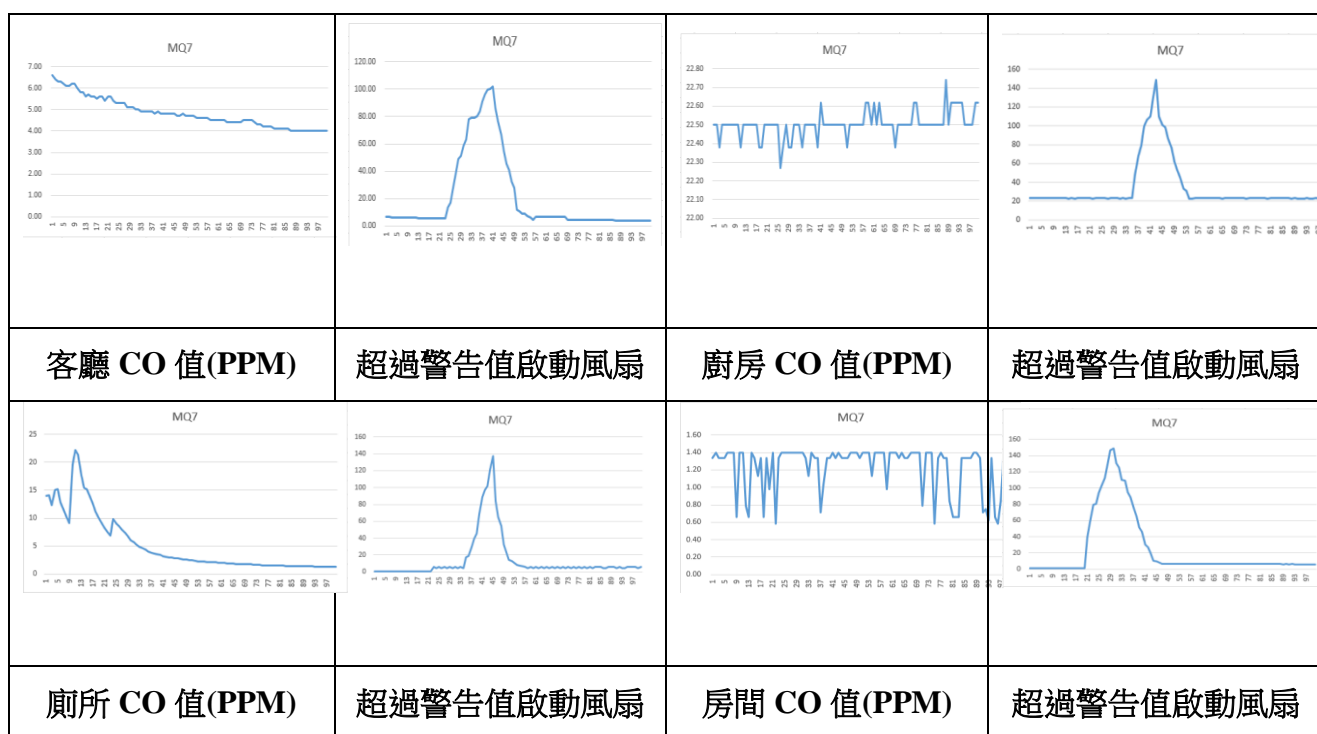


圖 5-16 CO 值變化圖

## 五、環境與災害感測器功能

### (一)藍牙社交距離

我們得到藍牙社交距離 APP 啟發，著手研究藍牙距離與信號強度關係，我們做十次實驗得到平均值，如表 5-10，可由藍牙信號強度 **RSSI** 對應距離的多少。

表 5-10 藍牙信號強度與距離的關係

距離	0m	1m	2m	3m
十次平均信號強度 RSSI	-49.6	-60.7	-65.1	-69.3

我們用兩隻手機，一隻放於一公尺處，一隻放於兩公尺處，測試的畫面如圖 5-17。



圖 5-17 藍牙社交距離測試

## (二) 火焰偵測、光線感測器元件

- 1、火焰偵測元件檢測火焰波長在 760nm~1100nm 範圍內，打火機測試火焰距離約為 80cm，若火焰越大測試距離應能越遠。探測角度約 60 度左右，對火焰光譜特別靈敏。
- 2、光線感測器能感測白天或晚上，當我們用手遮住感測器，日光燈無法照到元件上，此時語音系統會說出“光線太暗”，同時傳出 Line 通知，如圖 5-18。



圖 5-18 光線感測器亮度測試和自動開燈實驗

## 六、系統輸出功能

### (一) 語音合成

我們運用 TTS(Text To Speech)語音合成模塊來說出中文。語音模塊支持的內碼有很多種，我們花了很多時間才完成轉碼程式。用中文合成完成繞口令的實驗，如圖 5-19。

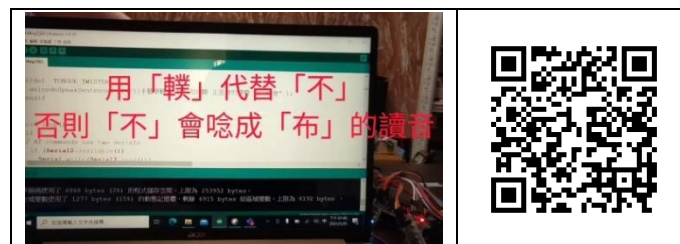


圖 5-19 語音合成的繞口令實驗圖

## (二)適時提醒功能

為了能夠適時提醒，需要知道現在的時間。以下是透過 Wi-Fi 連上國家時間與頻率標準實驗室的 NTP Server[18]，並且結合語音和 **Line 通知**的**適時提醒**影片，如圖 5-20。



圖 5-20 適時語音和 Line 通知提醒測試

## (三)Line 通知求救

我們在網路上尋找用發出 Line 通知方法，最後我們選用簡單好移植的，經由 **WiFi 元件**送 **AT commands** 用 **Webhooks** 到 **IFTTT**[19] 的方式。



圖 5-21 改良版能顯示中文字與空白符號的 Line 通知

剛開始時空白符號無法輸出，而且只能輸出英文，經由我們自己寫的中文**轉碼程式**，終於**改進能輸出中文字**和空白符號了，如圖 5-21。

## 七、整合完成的腦波可控智慧家庭系統

我們整合腦波、固定式、移動式偵測、各式元件、語音提醒和 **LINE 通知**功能後，完成智慧家庭的**系統架構圖**，如圖 5-22，集合所有元件的系統照片展示如圖 5-23，成功達到用**腦波解鎖系統**，偵測跌倒、**CO 超標**，感測環境與提醒等目標，使**居家生活更舒適安全**。

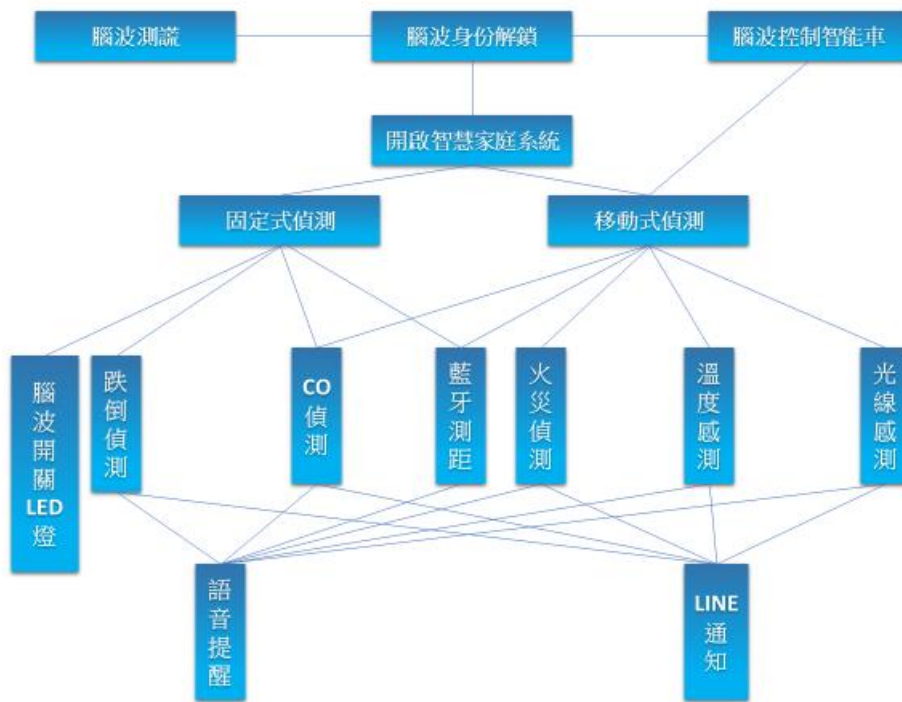


圖 5-22 系統架構圖

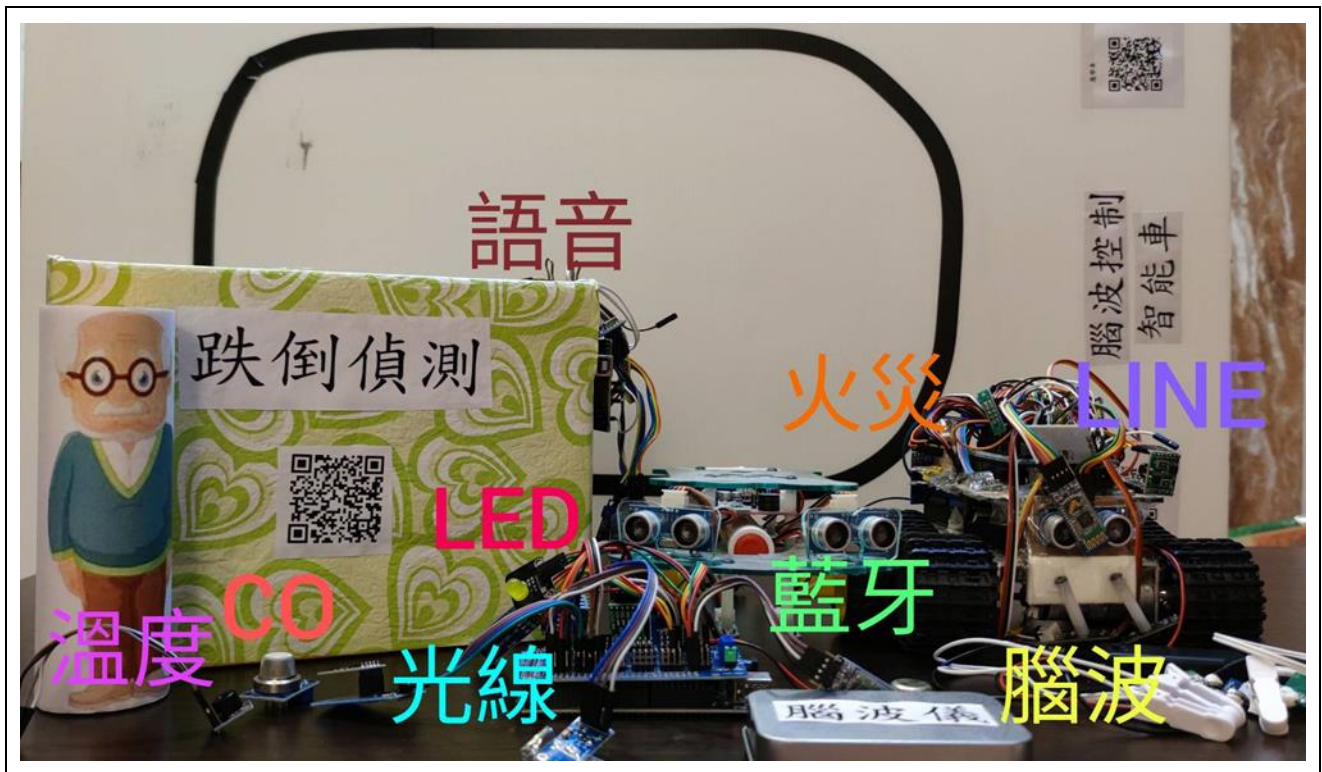


圖 5-23 集合所有功能的作品照片



## 陸、討論

- 一、我們做生物專題時看到馬斯克(Elon Musk)腦機介面報導。先搜尋相關的一些應用，發現用腦波控制智能車十分酷。為了避免侵入式的實驗，苦心搜尋才找到簡單且價格低廉的單一乾電極式腦波儀。
- 二、我們國小開始學習多種程式設計與應用。本作品控制智能車是圖形式的 **mblock** 程式，腦波生物辨識使用交互式的 **Mathematica** 程式，其他功能多使用程序式的 **C 語言**程式。程式總共超過 **3000 行**，每個程式花費的時間短則二、三個月多則半年以上。
- 三、本作品的元件都是便宜和容易取得的，軟體是我們獨力開發的。每種元件都先要研讀規格書，每項功能都要寫測試碼。軟體執行的環境有在 **PC** 上、也有在自行組裝設計的智能車上和是自己安裝元件的 **Arduino** 開發板上，我們具備整合軟體、硬體與測試系統的能力
- 四、研究腦波資料的過程中，意外發現每個人的腦波好像都不同，但是腦波原始資料是大量且凌亂的，無法直接做生物辨識，研究後發現腦波特徵是我們可以嘗試的方向，可是論文資料都沒有說明如何求得特徵值，只能一步步摸索，嘗試過元件提供的專心度、冥想度、八種腦波值，和寫程式在原始信號中擷取具分辨力的統計特徵值。
- 五、跌倒偵測我們自己做模型來驗證我們的設計，建議真實應用時，下方的超音波約人躺在地上會被偵測到的高度，上方的超音波約人的站立高度。將來考慮使用多個偵測器去除死角，或是使用更即時和穩定的感測距離元件。
- 六、中文語音的合成是友善系統必備的功能。我們先研究語音合成的命令格式，能說出特定的一句話，後來為了免去每次轉碼輸入容易造成錯誤，我們自己寫內碼互轉程式，從程式的內碼直接轉成語音元件的命令格式。但是我們的元件有個限制，就是一個中文字只



能發出一個特定常用的中文聲音，直到有一天靈機一動的用**同音字解決多音字問題**才終於完成。當系統能**字正腔圓**說出我們的**中文繞口令**句子時(見圖5-19)，真的讓人很感動!

七、**LINE 通知**採用在 **IFTTT** 裡建立 Line Notify 連結，寫出 Wi-Fi 元件送出相應網頁命令的 **AT commands** 到 IFTTT 程式，傳出我們要執行的命令與密碼，IFTTT 就會送出通知給我們設定的手機上，這種方式不用付費且程式很容易移植，達到快速且**即時**通報的目的，剛開始時只能輸出英文通知，而且空白符號無法輸出。當我們看到「由於 RFC1738 規定 URL 編碼只能用英數跟某些標點，所以常看到某些網址被編碼成%開頭之類的網址」，所以我們自己嘗試寫中文**轉碼程式**，終於**改進能輸出中文字**和空白符號了(見圖 5-21)。

## 柒、結論

- 一、我們研究腦波儀的**資料格式**，寫出透過**藍牙介面**解讀資料封包的各式程式，讀取腦波的專心度、冥想度和信號強度等數值。首先我們運用**專心度**的高低來**控制LED開關**(見圖5-4)，達成能簡單表達**yes/no**，可幫助口語表達有困難的人與外界溝通，接著完成用經由另一個藍牙元件發出前進信號**腦波控制智能車移動**的影片(見圖5-5)。再進行**專心度訓練實驗**得到十次的平均，受測者A由35.9進步到64.5，受測者B由34.6進步到67.1，受測者C由25.4進步到63.6(見表5-3)。
- 二、我們花了很多心力找到有分辨力的**四種特徵**(見圖5-9)：加總前後兩筆資料差的絕對值、所有資料的標準偏差值、所有資料的絕對值加總和AR(1)模式的最佳參數值 $\phi$ ，用近鄰演算法k-NN分類做**生物辨識**的**身分認證**，每種組合都需要做**90次**的實驗，完成兩人和三人辨識的**混淆矩陣**(見表5-7和表5-8)，**辨識正確率達九成七**以上。
- 三、**腦波身分辨識**能應用於智慧家庭的**門禁設定**和3C產品的**身分解鎖**(見圖5-12)，這種解鎖模式**不易仿冒**。也可做**測謊儀**來使用，由腦波圖看出說謊時的**腦電位**較平時更高(見圖5-13)，運用**LED快速閃爍**顯示出**隱藏行為**。

- 四、我們的智慧家庭系統，除了具有**固定式**的跌倒偵測和一氧化碳偵測裝置外，還有**移動式**的**腦波可控智能車**整合了中文語音合成、**Line通知求救**、藍牙社交距離(見表**5-10**和圖**5-17**)、光線偵測和**適時提醒**等功能(見圖**5-22**和圖**5-23**)，這是我們活用各式元件功能，並且**精巧設計組合**而成的。例如適時提醒就是結合了讀取現在的時間、中文語音合成和**LINE通知**，做出友善的**語音提醒**的功能(見圖**5-20**)；結合光線偵測、讀取時間和開關**LED燈**，就能依照光線充足與否，在**適當的時間**打開燈(見圖**5-18**)。
- 五、**跌倒偵測**的設計理念是用**上下兩顆超音波**來分辨是否跌倒的方式(見表**4-3**)，再運用**語音合成**和**Line通知**，做出縮小版的**模型跌倒偵測影片**(見圖**5-14**)。
- 六、**一氧化碳偵測**的設計是當超過設定**門檻**100ppm時，會發出**LINE通知**給緊急聯絡人，結合**警報聲**提醒，同時開啟**風扇**讓一氧化碳濃度快速下降(見圖**5-15**)。
- 七、最近看到一篇報導：成功讓**猴子靠意念**學會透過**腦機介面**連線**打電玩**，目標是讓**癱瘓人士**重獲「**數位自由**」[20]。後續我們也想要利用此技術來改良**智能義肢**，達成用腦波來操控四肢，希望**幫助行動不便的患者**。
- 八、將來想結合兩組腦波儀得到**不同腦區**的混和信號，或許更能**解讀腦波**。近期看到**Google攜手哈佛**，發布史上規模最大的**3D大腦皮層地圖**數據[21]，希望未來這個大腦皮層地圖能幫助我們做到直接用**腦波意識**傳達出一連串的訊息符號的目的。
- 九、**腦波解鎖和測謊儀都是我們的創意**，並**寫腦波程式**完成的，而不是購買現成套件的**內建功能**。每秒需要即時分析處理512筆腦波信號資料，還要同時操控很多非同步的元件，**克服很多的困難**。我們如此堅持的研究這些問題，因為我們相信「**唯有探索最難破解的大腦祕密，才能朝向直接用腦訊號控制和意識交流的方向前進**」。

## 捌、參考文獻資料

- [1] 陳昱伸(2016)，腦波控制四軸飛行器之腦機介面設計研究，國立嘉義大學理工學院生物機電工程學系碩士論文
- [2] 馬斯克展三隻小豬秀植腦晶片裝置，<https://udn.com/news/story/6811/4820815>
- [3] Rita Carter 著，黃馨弘譯(2020)，大腦百科，楓書坊文化出版社
- [4] 維基百科，腦波，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%85%A6%E6%B3%A2>
- [5] 腦波控制開飛機，  
<https://tw.appledaily.com/international/20140530/SIQONMAXV7UV63UHP2TCTZDOWM/>
- [6] 咦！什麼是腦波儀？，[http://www.brain-sh.tw/news\\_content.php?n\\_id=596](http://www.brain-sh.tw/news_content.php?n_id=596)
- [7] 鄭喬植(2018)，基於腦波感測之家電多元控制系統，樹德科大電腦與通訊研究所碩士論文
- [8] 人臉和聲紋識別也過時了，你聽過腦電波識別嗎？，  
<https://kknews.cc/zh-tw/science/vm6ob2a.html>
- [9] Reshmi K.C., Ihsana Muhammed P., Priya V.V., Akhila V.A. ( 2016 ), A Novel Approach to Brain Biometric User Recognition, Procedia Technology 25(pp. 240 – 247)
- [10] 維基百科，時間序列，  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%99%82%E9%96%93%E5%BA%8F%E5%88%97>
- [11] 維基百科，自迴歸模型，  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E8%BF%B4%E6%AD%B8%E6%A8%A1%E5%9E%8B>
- [12] 維基百科，K-近鄰演算法，  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/K-%E8%BF%91%E9%82%BB%E7%AE%97%E6%B3%95>
- [13] K 近鄰 k-Nearest Neighbor (k-NN) 演算法的理解，  
<https://codertw.com/%E7%A8%8B%E5%BC%8F%E8%AA%9E%E8%A8%80/635163/>
- [14] 智慧家庭(Smart Home)是什麼？智慧家庭應用與產品入門推薦，  
<https://myfone.blog/what-is-smart-home/>
- [15] HTC 智慧燈泡專利過關，可偵測老人跌倒、還有久坐提醒，| ETtoday3C 家電新聞 | ETtoday 新聞雲，<https://www.ettoday.net/news/20171226/1080250.htm#ixzz6c3WeB2VX>
- [16] 維基百科，Wolfram Mathematica，[https://zh.wikipedia.org/wiki/Wolfram\\_Mathematica](https://zh.wikipedia.org/wiki/Wolfram_Mathematica)
- [17] 認識一氧化碳中毒，<http://webc1.must.edu.tw/jtmust070/attachments/article/145/A06.pdf>
- [18] 利用 NTP 伺服器來同步 Arduino 系統時鐘，  
<http://yhhuang1966.blogspot.com/2016/07/ntp-a.html>
- [19] Send web request to Webhooks on IFTTT using AT commands，  
<https://www.esp8266.com/viewtopic.php?p=74105>
- [20] 隔空操控猴子玩電動、打乒乓球！Neuralink 新進展揭密，馬斯克想用黑科技做什麼？，  
<https://www.bnext.com.tw/article/62226/neuralink-bmi-monkey-video-games-elon-musk>
- [21] Google 攜手哈佛，發布史上規模最大的「人腦神經網路地圖」，  
<https://buzzorange.com/techorange/2021/06/03/brain-nerve-map/>