

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學（一）

組 別：國小甲組

作品名稱：不傷喉的祕密：近距離收音老師說話監測之研究

關鍵字：喉嚨健康、聲音能量、INMP441 感測

編 號：115PA-I001

目錄

摘要.....	1
前言.....	1
壹、 研究設備及器材.....	3
貳、 研究過程或方法.....	4
參、 研究結果與討論.....	17
肆、 結論	29
伍、 參考文獻資料.....	30

不傷喉的祕密：近距離收音老師說話監測之研究

摘要

本研究因觀察到老師普遍存在喉嚨不適問題，問卷調查顯示 95.6%的老師曾感喉嚨不適且 83.2%從沒檢查過聲帶，因此開發一套穿戴式聲音監測系統。系統以 ESP32-C6 Mini 搭配 INMP441 麥克風建構音量監測模組，經 NIOSH SLM App 校正後，量測誤差小於 1 dB (A)。實驗證實 10 公分近距離收音時目標人聲占比超過 99%，並透過動態閾值設計有效排除教室背景噪音干擾。程式可準確記錄說話時間（誤差小於 1 秒），並加入「需在說話時才計算」的邏輯，降低用力說話次數的誤判。最終完成 3D 列印穿戴式外殼及雲端網頁系統，數據透過 Wi-Fi 即時上傳至 Google Sheet，讓老師隨時掌握用嗓狀況，達成自我健康管理目標。

前言

一、研究動機

學校裡，時常可以看到老師在咳嗽、清喉嚨和上課時突然聲音沙啞，我十分好奇老師為何會這樣，因此我四年級時在交換日記裡寫道：「請問您喉嚨狀況還好嗎？為何會這樣呢？」，老師說：「哈哈，沒事啦！老師講太多話就會這樣。」五年級的時候，我的社會老師說話聲音比較高，聲音也比較響亮，因此我又產生一樣的困惑，難道喉嚨不會受傷嗎？於是我下課也問了社會老師一樣的問題，社會老師說：「沒關係啦，只是偶爾喉嚨有點痛！」這兩件事情至今仍令我印象深刻。喉嚨損傷不但會不舒服，要是長時間不治療有可能會損害喉嚨，甚至造成喉嚨永久性傷害。

二、研究目的

因此我決定設計一款可以幫助老師意識到自身喉嚨健康狀況從而做出改變的裝置，研究目的如下：

- (一) 瞭解校內老師喉嚨健康與自我意識情形
- (二) 設計音量監測模組並測試其準確性
- (三) 瞭解音量監測模組是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標人聲聲音。
- (四) 瞭解音量監測模組在干擾下是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標人聲聲音。
- (五) 設計音量監測模組程式能有效計算老師說話時間與用力說話次數，並測試其準確性。
- (六) 設計音量監測穿戴式裝置與數據呈現網站。

三、文獻探討


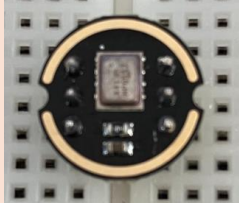

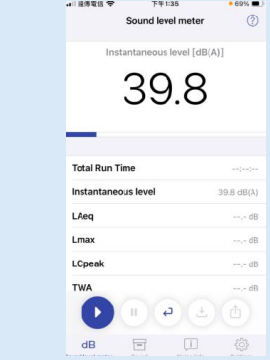

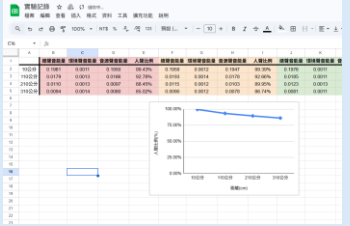

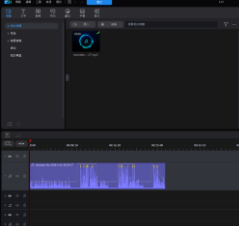

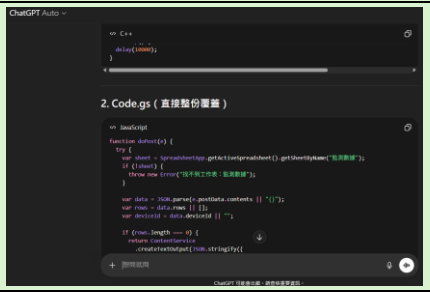

(一) 老師職業與喉嚨健康相關性：

根據我對學校中 50 位老師的問卷調查結果，95.6%的老師都曾有過喉嚨不適的症狀 87% 老師認為過度用嗓是老師工作中無法避免的現象，而臺北市立聯合醫院耳鼻喉科張欣平主任在一篇衛教文章中寫到曾對所有國小約 1,400 位老師做出問卷調查，約有 1/3 國小老師常有嗓音問題，約 1/10 有聲帶病灶，約有 1/5 老師曾因嗓音問題而需請假。由此可知，大部分老師認為過度用嗓是老師這份工作沒辦法避免發生的，且確實已經造成喉嚨健康影響。

(二) 造成老師喉嚨損傷原因分析：

根據我對學校中 50 位老師的問卷調查結果，發現只有 26.1%老師有時會保護自己喉嚨，82.6%認為因為工作環境與教學需求無法有效保護自己的喉嚨，41.3%老師認為是因為缺乏定期嗓音健康檢查或諮詢，而臺北市立聯合醫院也對所有國小約 1,400 位老師做出問卷調查，83.2%從沒檢查過聲帶（張欣平，2012），醫院耳鼻喉科賴盈達醫師也指出，多數老師就診反應話說多喉嚨會乾緊痛，或是有話說多會沙啞的症狀，這些都屬於使用過度的功能性嗓音障礙。而台北慈濟醫院語言治療師蔡得榕也表示，聲帶長繭大多是保養方式不當或用聲方式錯誤導致，經常需要長時間說話或用力說話，很容易發生聲帶長繭的情形，由此可知，老師造成喉嚨損傷很有可能是因為說話時間過長和過度使用造成，加上沒有保護、保養自己的喉嚨和定時檢查造成更嚴重的喉嚨健康問題。

壹、 研究設備及器材

音量監測模組			
名稱	ESP32-C6 Mini	INMP441	鋰電池
圖片			
實驗與設計相關軟體			
名稱	NIOSH App	Arduino IDE	Google Sheet
圖片			
名稱	TTS maker	威力導演	Tinkercad
圖片			
AI 工具			
名稱	ChatGPT (open AI)	Gemini AI	
圖片			

其他工具：筆記型電腦、平板、手機、直尺、捲尺、膠帶

貳、研究過程或方法

不傷喉的祕密：近距離收音老師說話監測之研究

研究目的 1：瞭解校內老師喉嚨健康與自我意識情形

研究目的 2：設計音量監測模組並測試其準確性

實驗一：設計音量監測模組

實驗二：音量監測模組量測值校正

實驗三：音量監測模組量測準確性實驗

研究目的 3：瞭解音量監測模組是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標人聲聲音。

研究目的 4：瞭解音量監測模組在干擾下是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標人聲聲音。

實驗四：目標人聲距離變化對目標人聲比例之影響

實驗五：目標人聲音量變化對目標人聲比例之影響

實驗六：干擾教室聲距離與音量對目標人聲比例之影響

實驗七：安靜環境中干擾人聲距離與音量變化對目標人聲比例之影響

實驗八：教室環境中干擾人聲距離與音量變化對目標人聲比例之影響

研究目的 5：設計音量監測模組程式能有效計算老師說話時間與用力說話次數，並測試其準確性。

研究目的 6：設計音量監測穿戴式裝置與數據呈現網站。

實驗九：設計可準確量測老師說話時間與用力說話次數的程式

實驗十：說話監測與說話時間記錄之可行性實驗

實驗十一：用力說話次數估算之可行性實驗

實驗十二：3D列印外殼設計

實驗十三：聲音監控網頁設計

實驗十四：實際穿戴後的效果與使用者回饋

一、設計音量監測模組並測試其準確性

(一) 實驗一：設計音量監測模組

1. 研究問題：如何設計音量監測模組來量測聲音
2. 設計想法：考慮到未來要做成穿戴式裝置，我選用較小且可支援充電的 ESP32-C6 Mini 做為開發板，及 INMP441 為收音麥克風，並請指導老師協助焊接成小型音量監測模組，最後透過原廠提供的程式與人工智慧工具 ChatGPT (OpenAI) 協助修改程式範例與除錯。
3. 設計架構：
將 ESP32-C6 Mini 與 INMP441 連接，透過 ESP32-C6 Mini 的充電腳位連接鋰電池與開關 (如圖 3-1)，焊接成小型音量監測模組 (如圖 3-2)。

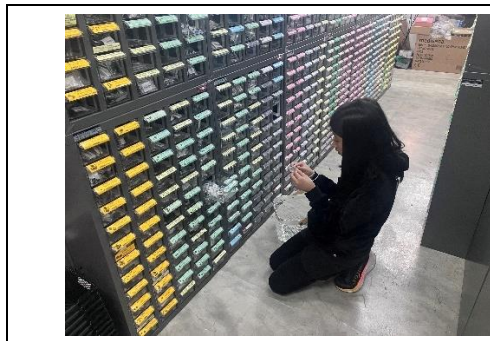


圖 3-1 電子材料行選購元件

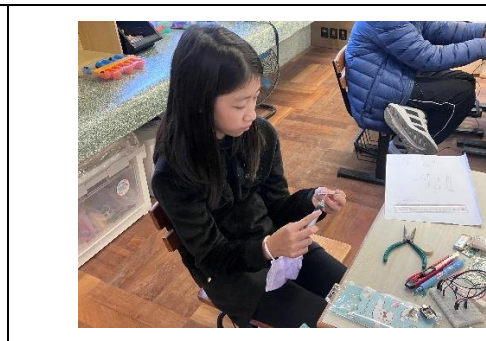


圖 3-2 音量監測模組測試

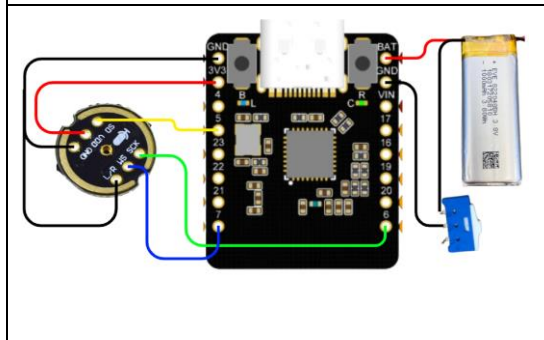


圖 3-3 音量監測模組線路圖

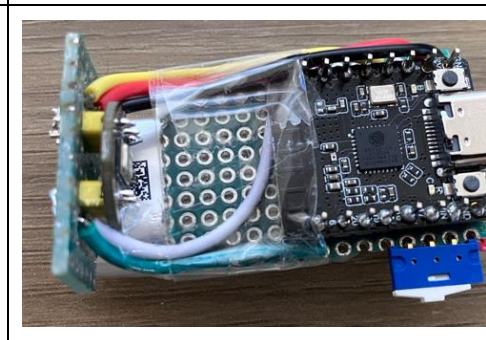
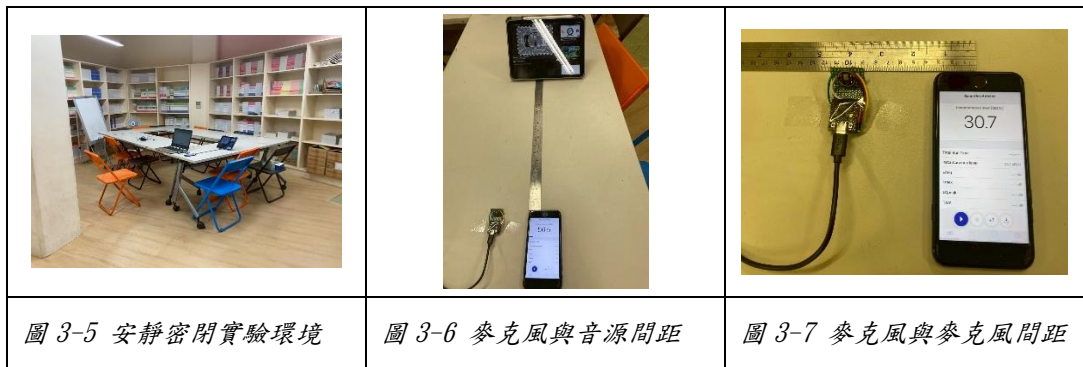


圖 3-4 音量監測模組完整版

(二) 實驗二：音量監測模組量測值校正

1. 研究問題：如何透過參考儀器之測量值，校正本實驗所開發之音量監測模組，使其量測誤差最小化？
2. 設計想法：本實驗選擇由美國國家職業安全衛生研究所（National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH）開發 NIOSH Sound Level Meter App（以下簡稱 SLM）作為參考儀器，以提升校正過程可信度與一致性。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間（如圖 3-5）
 - (2) 音量監測模組和裝有 SLM 的手機放在距離平板（音源）45 公分處（如圖 3-6），且音量監測模組與裝有 SLM 的手機兩者麥克風間距 10 公分（如圖 3-7）。
 - (3) 透過平板持續撥放 1 kHz 的聲音且固定 8/16 級音量。同時按下 Arduino IDE 與 SLM 的紀錄開始鍵，紀錄音量監測模組和裝有 SLM 的手機 10 秒的平均 A 加權分貝。
 - (4) 重複進行三次實驗。



4. 資料處理：透過 Google Sheet 紀錄音量監測模組與裝有 SLM 的手機，量測到三次實驗中 10 秒平均 A 加權分貝的平均值。並透過校正值計算修改音量監測模組中的校正值，計算方式如下：

$$\text{校正值} = \text{參考儀器平均值} - \text{模組平均值}$$

(三) 實驗三：音量監測模組量測準確性實驗

1. 研究問題：校正後的音量監測模組在不同音量下，是否能準確測量聲音大小？
2. 設計想法：我選擇音量用 4/16、10/16 與 16/16 級有兩個原因考量，第一，三個音量具有高、中、低不同強度，可觀察音量監測模組在不同聲音大小下的表現；第二，本實驗環境的背景噪音約為 32 dB (A)，因此測試音量需明顯高於背景噪音，才能避免環境聲音干擾量測結果。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間
 - (2) 音量監測模組和裝有 SLM 的手機放在距離平板（音源）45 公分處，且音量監測模組與裝有 SLM 的手機兩者麥克風之間距離 10 公分。
 - (3) 分別播放 1 kHz 音源於 4/16、10/16 與 16/16 級三種音量。同時開始 Arduino IDE 與 SLM App 紀錄，10 秒平均 A 加權分貝。
 - (4) 各音量條件皆重複實驗三次。
4. 資料處理：透過 Google Sheet 紀錄音量監測模組與裝有 SLM 的手機，三組實驗三次 10 秒平均 A 加權分貝的平均值，再計算兩者之誤差。

二、瞭解音量監測模組是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標聲音。

(一) 實驗四：目標人聲距離變化對目標人聲比例之影響

1. 研究問題：當目標人聲音源與音量監測模組的距離改變時，量測到的目標聲音能量是否會受到影響？目標人聲的能量在音量監測模組中的占比為何？
2. 設計想法：目標人聲音源選擇用翻譯軟體撥放固定台詞聲音，來獲取固定且穩定的人聲。另外採用聲音能量作為量測值，聲音能量是 Esp32 讀取的原始數值可以用來表示聲音的強度，比 A 加權分貝更方便用來做程式計算。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間
 - (2) 透過音量監測模組量測 10 秒平均環境音能量
 - (3) 粗尺度實驗時平板（目標人聲音源）放在距離音量監測模組 110 公分、210 公分、310 公分的處（如圖 3-8）。細尺度實驗時平板（目標人聲音源）放在距離音量監測模組 10 公分、30 公分、50 公分、70 公分、90 公分的處（如圖 3-9），透過音量監測模組量測 10 秒平均總聲音能量並計算出目標人聲能量與人聲比例。



圖 3-8 粗尺度實驗

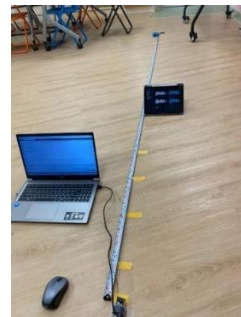


圖 3-9 細尺度實驗

- (4) 各距離條件皆重複實驗三次。
4. 資料處理：將實驗量測之總聲音能量、環境音能量記錄於 Google Sheet 中，透過空間內總聲音能量扣除環境音能量，計算音量監測模組測到的目標人聲能量變化，計算方式如下：

$$\text{目標人聲能量} = \text{總聲音能量} - \text{環境音能量}$$

以及在音量監測模組中目標人聲能量在總聲音能量中的占比，代表音量監測模組能夠區分目標人聲與其他聲音的比例，計算方式如下：

$$\text{目標人聲比例} = \frac{\text{目標人聲能量}}{\text{總聲音能量}}$$

(二) 實驗五：目標人聲音量變化對目標人聲比例之影響

1. 研究問題：在距離固定的情況下，音量監測模組量測到的目標人聲能量是否會隨人聲音量大小的改變而產生明顯差異？目標人聲占比為何？
2. 設計想法：我好奇如果目標人聲的音量大小不同，會不會影響音量監測模組蒐集目標人聲，因此我選用平板中 4/16、10/16 與 16/16 級，模擬三種級別強度的人聲音量，同時測試不同距離上的變化。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間
 - (2) 透過音量監測模組量測 10 秒平均環境音能量
 - (3) 平板（目標人聲音源）放在距離音量監測模組 10 公分與 110 公分處，播放 4/16、10/16 與 16/16 級音量（如圖 3-10），透過音量監測模組量測 10 秒平均總聲音能量並計算出目標人聲能量與人聲比例。
 - (4) 各音量條件皆重複三次實驗。
4. 資料處理：將不同人聲音量實驗量測之總聲音能量、環境音能量記錄於 Google Sheet 中，透過空間內總聲音能量扣除環境音能量的方式，計算目標人聲音源在不同音量下，音量監測模組量測到的目標人聲能量變化與人聲比例。



圖 3-10 距離音量監測模組 10 公分處量測不同目標人聲音量

三、瞭解音量監測模組在干擾下是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標聲音

(一) 實驗六：干擾教室聲距離與音量對目標人聲比例之影響

1. 研究問題：在教室環境中音量監測模組量測到的目標人聲能量是否會受到影響，目標人聲的能量在音量監測模組中的占比為何？
2. 設計想法：老師在教室環境工作中具有多種不同的干擾，因此我們選擇以 YouTube 上教室背景音來模擬，並以 4/16、10/16 與 16/16 級分別在近距離（100 公分）與遠距離（300 公分）下，模擬六種情境的教室環境音。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間
 - (2) 平板 1 撥放干擾教室聲音源，放在距離音量監測模組 100 公分與 300 公分處，分別撥放 4/16、10/16 與 16/16 級教室環境音量，透過音量監測模組量測模擬教室環境下 10 秒平均環境音能量。
 - (3) 平板 2 撥放目標人聲音源，放在距離音量監測模組 10 公分的處，固定撥放 8/16 級人聲音量（如圖 3-11），透過音量監測模組量測 10 秒平均總聲音能量並計算出目標人聲能量與人聲比例。
 - (4) 各距離與音量條件皆重複實驗三次。



圖 3-11 近距離教室環境音量干擾實驗

4. 資料處理：將不同模擬教室環境音量量測之總聲音能量、環境音能量記錄於 Google Sheet 中，透過空間內總聲音能量扣除環境音能量的方式，計算音量監測模組測到的目標人聲能量變化與人聲比例。

(一) 實驗七：安靜環境中干擾人聲距離與音量變化對目標人聲比例之影響

1. 研究問題：在安靜環境下如果有其他人聲干擾，音量監測模組量測到的目標人聲能量是否會受到影響，目標人聲的能量在音量監測模組中的占比為何？
2. 設計想法：老師時常與同事或學生近距離對話，因此我模擬當目標人聲音源在干擾人聲音源不同距離不同音量干擾下，監測裝置蒐集目標人聲情形。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間
 - (2) 平板 1 撥放干擾人聲音源，放在距離目標人聲音源 10、20、30、40、50 公分處，分別撥放 4/16、10/16 與 16/16 級人聲音量，透過音量監測模組量測模擬教室環境下 10 秒平均環境音能量。
 - (3) 平板 2 撥放目標人聲音源，放在距離音量監測模組 10 公分的處，固定撥放 8/16 級人聲音量（如圖 3-12），透過音量監測模組量測 10 秒平均總聲音能量並計算出目標人聲能量與人聲比例。
 - (4) 各音量條件皆重複實驗三次。



圖 3-12 人聲音量干擾實驗

4. 資料處理：將不同距離與不同音量干擾人聲條件下，量測之總聲音能量、環境音能量記錄於 Google Sheet 中，透過空間內總聲音能量扣除環境音能量的方式，計算音量監測模組量測到的目標人聲能量變化與人聲比例。

(二) 實驗八：教室環境中干擾人聲距離與音量變化對目標人聲比例之影響

1. 研究問題：在教室環境下如果有其他人聲干擾，音量監測模組量測到的目標人聲能量是否會受到影響，目標人聲的能量在音量監測模組中的占比為何？
2. 設計想法：模擬在教室環境與人聲干擾的雙重干擾下，監測裝置蒐集目標人聲情形。
3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的密閉空間
 - (2) 平板 1 撥放干擾教室聲音源，放在距離音量監測模組 100 公分處，固定撥放 8/16 級教室環境音量，同時平板 2 撥放干擾人聲音源，放在目標人聲音源 10、20、30、40、50 公分處，分別撥放 4、10、16 級人聲音量。透過音量監測模組量測模擬教室環境下 10 秒平均環境音能量。
 - (3) 平板 3 撥放目標人聲音源，放在距離音量監測模組 10 公分的處，固定撥放 8/16 級人聲音量（如圖 3-13），透過音量監測模組量測 10 秒平均總聲音能量並計算出目標人聲能量與人聲比例。
 - (4) 各音量條件皆重複實驗三次。

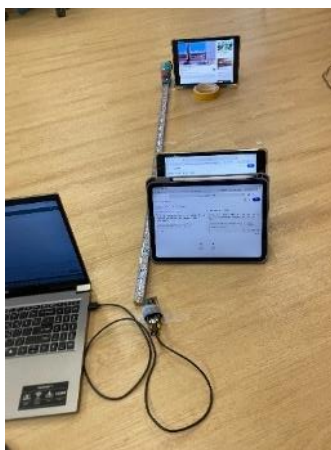


圖 3-13 教室環境背景音與人聲音量干擾實驗

4. 資料處理：將不同距離與不同音量干擾人聲條件下，量測之總聲音能量、環境音能量記錄於 Google Sheet 中，透過空間內總聲音能量扣除環境音能量的方式，計算音量監測模組量測到的目標人聲能量變化與人聲比例。

四、設計音量監測模組程式能有效計算老師說話時間與用力說話次數，並測試其準確性

(一) 實驗九：設計可準確量測老師說話時間與用力說話次數的程式

1. 研究問題：如何透過程式設計可以量測到老師說話時間與用力說話次數
2. 設計想法：為了即時監測老師的說話時間與用力說話次數，本研究設計「說話閾值」與「用力說話閾值」作為判斷條件，且兩者會隨環境動態調整。當環境較安靜時，閾值降低以避免漏判；當環境較吵時，閾值提高以避免誤判。
3. 設計架構：

- (1) 說話閾值與時間計算：音量監測模組每秒紀錄音量監測裝置接收到的總聲音能量，並取最近 10 秒內總聲音能量最低三筆的平均值，來反應近期環境音能量變化，當作估計環境音能量，公式如下：

$$envEnergy = \frac{(miniEnergy\ 1 + miniEnergy\ 2 + miniEnergy\ 3)}{3}$$

同時將總聲音能量扣除估計環境音能量可得目標人聲能量，並與說話閾值比較，公式如下：

$$targetEnergy = totalEnergy - envEnergy$$

取得估計環境音能量後將其作為基準，加上一個常數，方便根據環境調整，以降低聲音量測誤差，公式如下：

$$speakthreshold = envEnergy + k$$

當目標人聲能量大於說話閾值時，即可視為正在說話，累積說話 1 秒，直到其目標人聲能量小於說話閾值。

- (2) 用力說話閾值與次數計算：設計每秒紀錄音量監測裝置計算的目標人聲能量，並取最近 10 秒內目標人聲能量最高三筆的平均值，來反應近期說話用力強度，定義為估計用力說話能量，並以此作為基準加上一個常數，方便根據環境調整，以降低聲音量測誤差，公式如下：

$$loudEnergy = \frac{(maxEnergy\ 1 + maxEnergy\ 2 + maxEnergy\ 3)}{3} + k$$

而當目標人聲能量上升超過用力說話閾值後又回落小於用力說話閾值，即

可視為老師用力說話，累計用力說話 1 次。

(二) 實驗十：說話監測與說話時間記錄之可行性實驗

1. 研究問題：我們設計的程式是否能透過聲音能量的變化判斷使用者是否正在說話，並進一步記錄說話時間長度？
2. 設計想法：我選擇透過人工智慧工具 ChatGPT (OpenAI) 協助產生台詞，並透過 TTSMaker 平台來生成目標人聲聲音模擬老師說話，台詞與停頓時間設計如下：

各位同學早安，請大家先回座位坐好，把課本翻到第三單元第 58 頁（停 2 秒）。在上課之前，我先簡單說明一下昨天的作業情況，大部分同學都寫得不錯，但有幾個關於邏輯推導的小錯誤，等一下我會統一在黑板上講解（停 2 秒）。另外提醒大家，下週三我們會有一個隨堂小測驗，範圍是第三到第五章，請大家回家要記得提早準備（停 2 秒）。好，現在請大家抬頭看黑板。（總時長 29 秒）

3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的開放空間（如圖 3-14）。
 - (2) 透過平板撥放目標人聲音源，音量為 8/16 級，並與音量監測模組保持 10 公分的距離（如圖 3-15），同時手機拍攝 Arduino IDE 監控視窗上顯示的資料。
 - (3) 重複實驗三次。
4. 資料處理：透過拍攝影片將 Arduino IDE 監控視窗上顯示的說話時間記錄在 Google Sheet 中，並與實際時間進行比較。



圖 3-14 安靜開放實驗環境



圖 3-15 音量感測模組與麥克風距離

(三) 實驗十一：用力說話次數估算之可行性實驗

1. 研究問題：音量監測模組量測到的聲音能量是否能反映說話音量大小的變化，並用以估算使用者說話的音量強度？
2. 設計想法：我選擇透過人工智慧工具 ChatGPT (OpenAI) 協助產生台詞，並透過 TTSMaker 平台來生成目標人聲聲音模擬老師說話，在請老師用威力導演調整說話音量，台詞與說話音量設計如下：

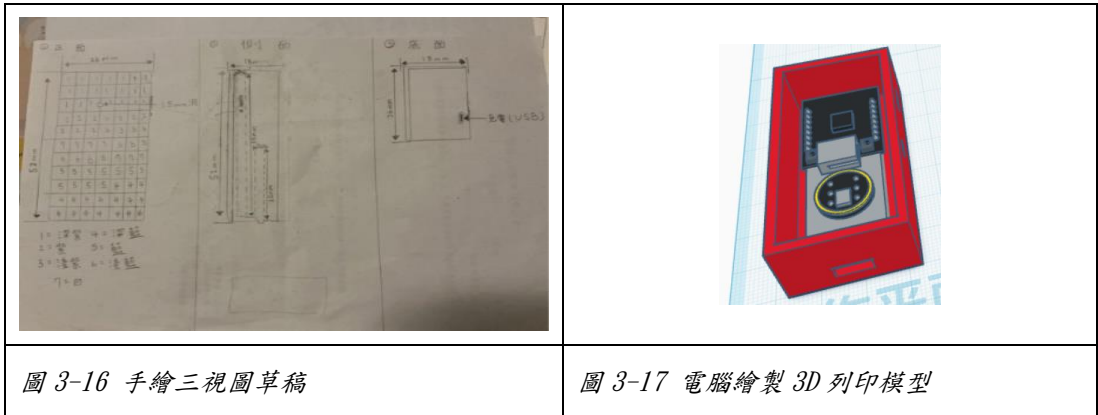
(正常) 大家好，我們現在開始上課，請同學把課本拿出來翻到第十二頁。今天我們要一起讀一小段課文，請大家自己先看一次。(大聲) 安靜！現在請不要說話，安靜看課文內容。(正常) 好，接下來老師帶大家讀一次，(大聲) 安靜！後面的同學請不要聊天，請一起看課本。(正常) 最後請大家自己再讀一次。(大聲) 安靜！等一下老師會請同學回答問題。(總計用力說話 3 次)

3. 流程步驟：
 - (1) 選擇安靜的開放空間
 - (2) 透過平板撥放目標人聲音源，音量為 8/16 級，並與音量監測模組保持 10 公分的距離。
 - (3) 手機拍攝 Arduino IDE 監控視窗上顯示的用力說話次數。
 - (4) 重複實驗三次。
4. 資料處理：透過拍攝影片紀錄 Arduino IDE 監控視窗上顯示的用力說話次數，觀看後記錄在 Google Sheet 中，並與實際用力說話次數進行比較。

五、設計音量監測穿戴式裝置與數據呈現網站

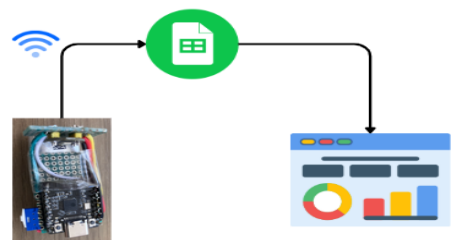
(一) 實驗十二：3D 列印外殼設計

1. 研究問題：如何設計適合的 3D 列印外殼，使聲音監測裝置能夠受到保護，同時方便固定與使用？
2. 設計想法：為了保護聲音監測裝置，我們設計外殼。先以紙筆繪製外觀並標示元件位置（如圖 3-16），再用 3D 建模軟體製作模型確認尺寸（如圖 3-17），最後以 3D 列印完成外殼。
3. 設計架構：首先先畫出外殼的手繪草圖，規劃裝置的大小與位置；接著使用電腦軟體建立 3D 模型；最後再利用 3D 列印機列印出外殼，並將聲音監測裝置放入外殼中完成組裝。



(二) 實驗十三：聲音監控網頁設計

1. 研究問題：如何將數據上傳到網頁讓老師可以看到聲音的相關數據？
2. 設計想法：我希望老師直接從網頁看到自己的聲音資料。所以我們先用 ESP32 聲音監測模組收集聲音資訊，再利用 Wi-Fi 把資料傳到 Google Sheet 保存，最後再用網頁把這些資料讀出來，做成圖表和數字畫面。
3. 設計架構：本系統先由 ESP32 聲音監測模組負責量測聲音資料，接著透過 Wi-Fi 將資料傳到 Google Sheet，最後由網頁讀取 Google Sheet 中的資料並顯示在畫面上。



(三) 實驗十四：實際穿戴後的效果與使用者回饋

1. 研究問題：實際讓老師配戴穿戴式裝置並於課堂中使用後，本裝置在判斷講話時間與用力講話次數上的效果如何？老師實際配戴後的使用感受，以及對網站呈現內容的看法為何？
2. 設計想法：前面的實驗多在控制情境下進行，但實際教學情境較為複雜，容易受到背景音、移動聲與臨時對話影響。因此，本研究請老師於真實上課情境中配戴穿戴式裝置，並同步錄音，再將系統紀錄結果與人工標記結果進行分布比較，以了解裝置在實際使用時對講話時間與用力講話的判斷效果。同時透過課後訪談，了解老師對裝置配戴感受及網站內容呈現的看法。
3. 實驗流程：
 - (1) 請老師配戴穿戴式裝置並聯上 Wi-Fi。
 - (2) 老師於正常上課情境下進行授課，同時也進行錄音。
 - (3) 連續收集 3 分鐘的資料。
 - (4) 課程結束後，詢問老師對裝置配戴感受及網站呈現內容的看法。
 - (5) 研究者聽取錄音並配合波形圖進行人工標記，再與裝置紀錄結果進行比較分析。
4. 資料處理：本研究以錄音檔作為比對依據，採人工標記方式整理老師於 3 分鐘內的講話時間分布與用力講話分布。講話時間分布的人工標記方式為：依錄音內容判斷老師每一秒是否正在說話，再與系統判定結果逐秒比較，紀錄有量測到 (1) 或未量測到 (-1)，計算量測正確時間比例。用力講話分布的人工標記方式為：結合錄音軟體波形圖與人工聽覺判斷，標記聲音振幅明顯較大且聽覺上較用力的說話時點，再與裝置測得之用力講話分布進行對照比較。另外，為了解老師對本穿戴式裝置的實際使用感受，本研究設計簡單訪談架構，於實驗結束後進行詢問。訪談內容包含外觀設計、體驗感受、實際評價、回饋建議與後續意願五個面向，並依逐字稿整理成摘要，了解老師未來是否願意持續於教學情境中使用本裝置。

參、 研究結果與討論

一、 研究目的 2：設計音量監測模組並測試其準確性

(一) 實驗一：設計音量監測模組結果

在實際測試結果中音量檢測模組可以量測到聲音的 10 秒平均 A 加權分貝並顯示在 Arduino IDE 監控視窗，如圖 4-1 所示。由監控畫面可見，系統能持續輸出對應的分貝數值，作為後續紀錄與分析之依據。

```
10秒 LAeq(A): -9.60
```

圖 4-1 Arduino IDE 監控視窗顯示 10 秒平均平均 A 加權分貝

(二) 實驗二：音量監測模組量測值校正結果

本實驗先進行三次量測並比較兩者之誤差，結果平均相差 65.34 dB (A)，誤差非常大，如圖 4-2-a 所示。接著依據量測結果對音量監測模組進行校正後，再次進行三次量測，其結果平均相差 0.35 dB (A)，誤差縮小到 1 dB (A) 以下，如圖 4-2-b 所示。

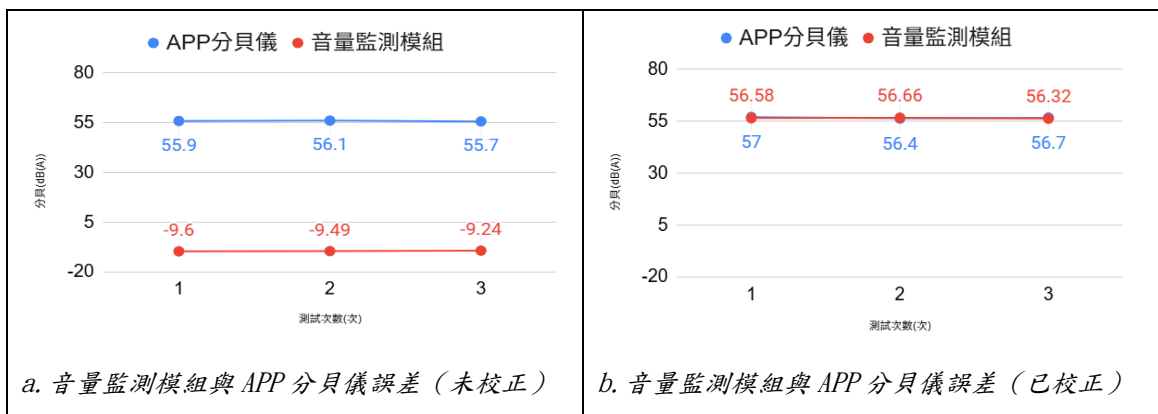


圖 4-2 音量監測模組與參考分貝儀量測結果比較

(三) 實驗三：音量監測模組量測準確性實驗結果

本實驗於三種不同音量等級 (4、10、16 級) 下進行三次量測，並計算參考分貝儀與音量監測模組之平均絕對誤差，其結果如圖 4-3-a 與 4-3-b 所示。

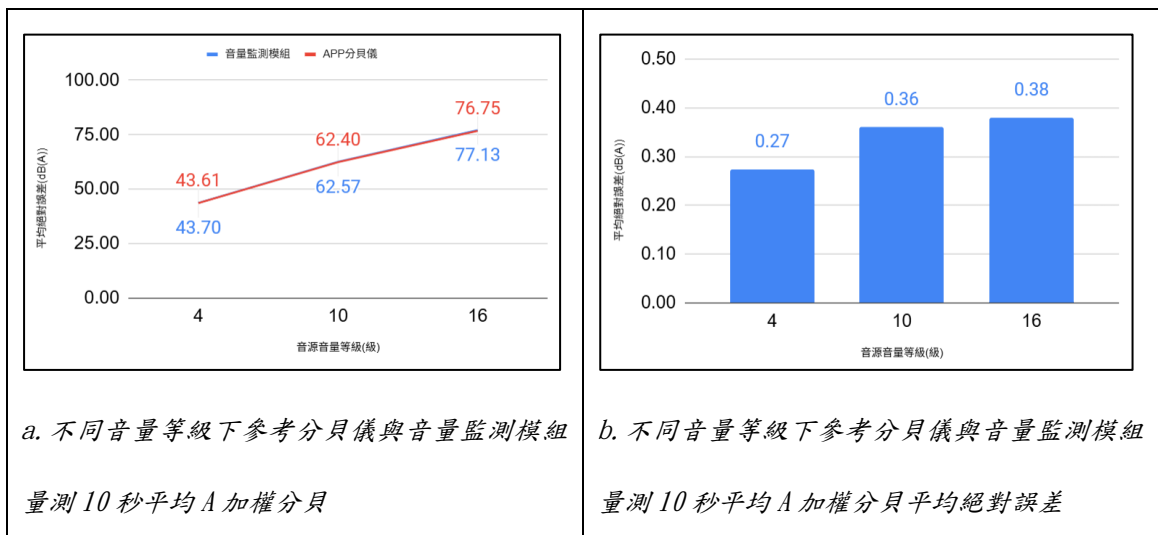


圖 4-3 不同音量等級下對參考分貝儀與音量監測模組的影響

我的發現：

1. 未校正前音量監測模組與參考分貝儀平均相差 65.34 dB (A)，推測可能來自麥克風靈敏度與訊號處理方式不同。經校正後平均誤差降至 0.35 dB (A)，顯示透過校正常數可有效修正系統性誤差，使量測結果更接近參考分貝儀。
2. 隨著音量等級增加，量測誤差略有增大（從 0.27 上升至 0.38 dB (A)），推測是較高音量使微小誤差被放大所致。但三種音量等級的誤差皆維持在 0.5 dB (A) 以下，整體仍在合理範圍內。
3. 綜合以上兩個實驗，本研究開發的音量監測模組在校正後誤差小於 1 dB (A)，且在高、中、低三種音量下皆維持穩定的量測表現，顯示本模組具備足夠的準確性，可作為後續實驗的可靠量測工具，達成研究目的 2。不過由於本研究以 NIOSH App 作為校正參考，若未來能使用專業聲音量測儀器進行校正，準確性有望進一步提升。

二、 研究目的 3：瞭解音量監測模組是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標人聲聲音

(一) 實驗四：目標人聲距離變化對目標人聲比例之影響結果

本實驗選擇三種粗尺度距離（110 公分、210 公分與 310 公分）及五種細尺度距離（10 公分、30 公分、50 公分、70 公分與 90 公分）進行三次量測取平均值，量測所得資料進一步計算目標人聲能量與目標人聲比例，其結果如圖 4-4 所示。

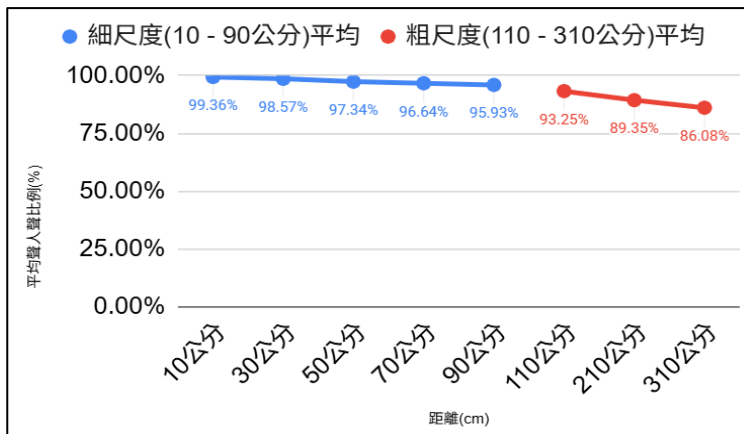


圖 4-4 目標人聲音源與音量監測模組距離對目標人聲比例變化

(二) 實驗五：目標人聲音量變化對目標人聲比例之影響結果

本實驗就三種不同音量等級（4、10、16 級），在近距離（10 公分）和遠距離（110 公分）條件下進行三次量測取平均值。量測所得資料進一步計算目標人聲能量與目標人聲比例，其結果如圖 4-5 所示。

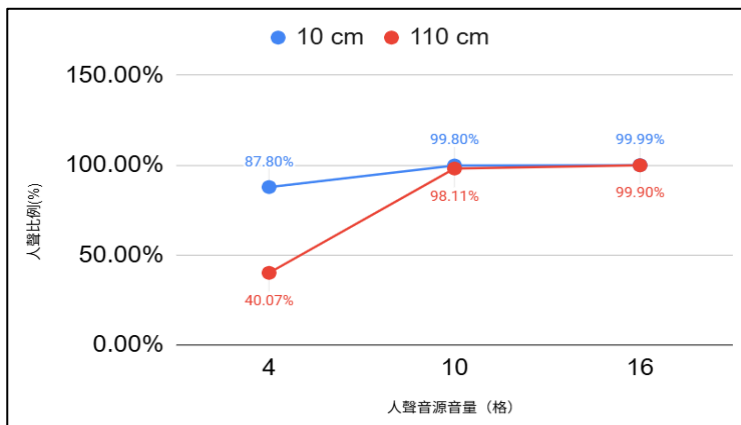


圖 4-5 不同音量等級與距離條件下目標人聲比例變化

我的發現：

1. 目標人聲比例隨距離增加而快速下降，推測是因為聲音在空氣中傳遞時能量會衰減，使聲音監測模組收到的目標人聲能量減少。實驗結果顯示，距離從 10 公分增加至 310 公分時，目標人聲比例從 99.36% 下降至 86.08%。
2. 在距離 110 公分的情況下，當目標人聲音量為 4/16 級時，目標人聲比例僅有 40.07%，遠低於音量 16/16 級時的 99.90%，推測是因為音量較小的聲音在空氣傳遞過程中能量衰減後，更容易接近環境聲音能量，導致量測結果較容易受到干擾。
3. 綜合距離與音量兩項實驗，可以發現影響目標人聲比例最關鍵的因素是收音距離。在 10 公分時目標人聲比例高達 99.36%，即使目標人聲音量較小也能有效收音；但距離超過 110 公分後，音量較小時比例會明顯下降至 40.07%。因此，將裝置掛於頸部保持 10 公分左右的近距離收音，是本穿戴式裝置最適合的使用方式，達成研究目的 3。

三、 研究目的 4：瞭解音量監測模組在干擾下是否可以有效區分目標與環境聲音，並蒐集最多目標人聲聲音

(三) 實驗六：干擾教室聲距離與音量對目標人聲比例之影響結果

本實驗就三種不同教室環境音量等級（4、10、16 級），並於近距離（100 公分）和遠距離（300 公分）條件下進行三次量測。量測所得資料進一步計算目標人聲能量與目標人聲比例，其結果如圖 4-6 所示。

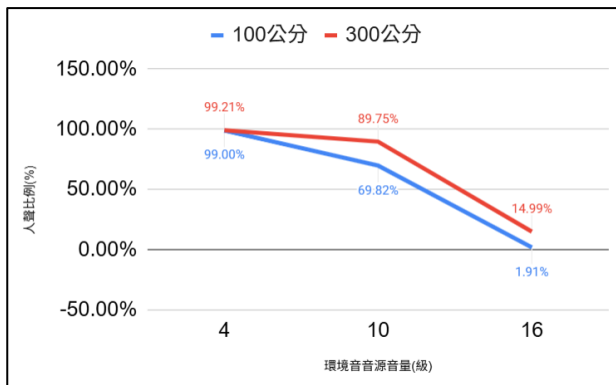


圖 4-6 不同教室環境音量對目標人聲比例影響

(四) 實驗七：安靜環境中干擾人聲音量與音量變化對目標人聲比例之影響結果

本實驗在安靜環境中，就三種不同干擾人聲音量等級（4、10、16 級，在五種干擾人聲與目標人聲間距（10~50 公分）條件下進行三次量測。量測所得資料進一步計算目標人聲能量與目標人聲比例，其結果如圖 4-7 所示。

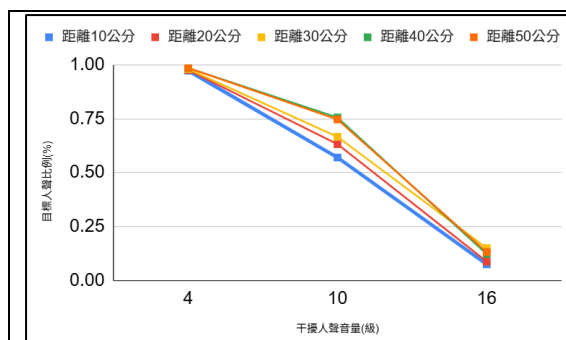


圖 4-7 安靜環境中干擾人聲音量變化對目標人聲比例之影響

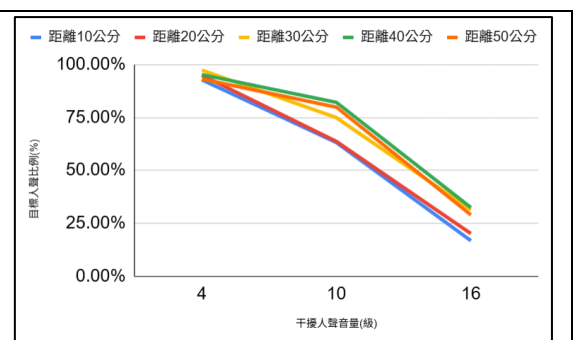


圖 4-8 教室環境中干擾人聲音量變化對目標人聲比例之影響

(五) 實驗八：教室環境中干擾人聲距離與音量變化對目標人聲比例之影響結果

為瞭解教室環境中干擾人聲音量對目標人聲比例之影響，本實驗在教室環境中，就三種不同干擾人聲音量等級（4、10、16 級），在五種干擾人聲與目標人聲間距（10~50 公分）條件下進行三次量測。量測所得資料進一步計算目標人聲能量與目標人聲比例，其結果如圖 4-8 所示。

我的發現：

1. 實驗結果顯示，當教室環境音量增加，或干擾人聲音量變大、距離變近時，監測模組接收到的干擾聲音能量會隨之增加，使目標人聲在總聲音能量中的比例降低。其中教室環境音以 16/16 級近距離播放時，目標人聲比例甚至降至 1.91%，顯示高強度環境噪音對收音效果影響最為嚴重。
2. 不論是在安靜環境或教室環境中，只要干擾人聲音量增加，都會對音量監測模組造成干擾。但相較於安靜環境，教室環境中的目標人聲比例整體更低，顯示背景噪音與人聲干擾同時存在時，對辨識準確度的影響會疊加，更難以有效區分目標人聲。
3. 當干擾音源距離音量監測模組較遠時，聲音能量在空氣中傳播時會逐漸衰減，因此對目標人聲比例的影響較小。以教室環境音為例，音源在 300 公分時的目標人聲比例（99%以上）明顯高於 100 公分時，這也再次印證了近距離收音能有效提升目標人聲比例的設計邏輯。
4. 綜合三種情境的結果可以發現，當裝置與目標人聲保持約 10 公分的近距離收音時，即使在教室環境並同時存在人聲干擾的情況下，仍能維持較高的目標人聲比例，達成研究目的 4。但當干擾音源也位於近距離且音量較大時，仍可能造成明顯影響，未來可考慮加入方向性麥克風或訊號過濾機制，以進一步提升在高干擾環境下的辨識能力。

四、研究目的 5：設計音量監測模組程式能有效計算老師說話時間與用力說話次數，並測試其準確性。

(一) 實驗九：設計可準確量測老師說話時間與用力說話次數的程式結果

實際測試結果中音量監測模組可以量測到每秒時間、總聲音能量、估計環境音能量、目標聲音能量、說話閾值、說話時間、估計用力說話能量、用力說話閾值、用力說話次數、平均 A 加權分貝並顯示在 Arduino IDE 監控視窗，如圖 4-9 所示。

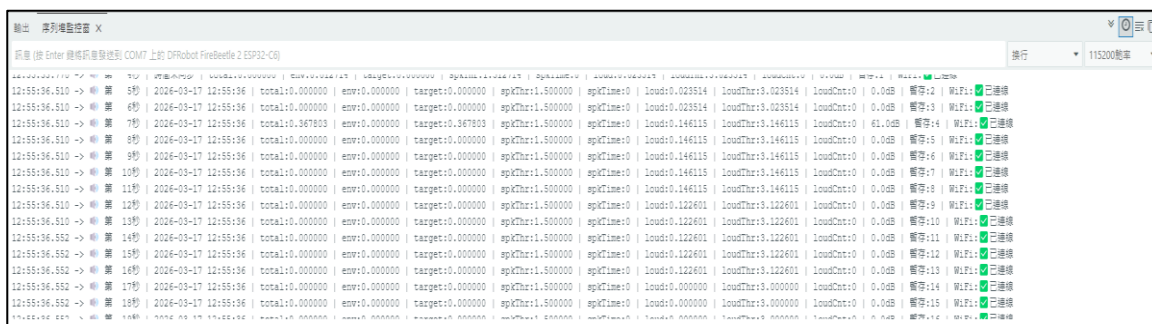


圖 4-9 Arduino IDE 監控視窗顯示數據

(二) 實驗十：說話時間記錄之可行性實驗結果

本實驗在模擬安靜環境與教室環境下，對同一段人聲量測三次說話時間，並與實際人聲說話時間比較，其結果如表 4-1 所示。

表 4-1 監測裝置在安靜環境與干擾環境下紀錄說話時間

環境	實驗次數	監測說話時間 (S)	實際說話時間 (S)	誤差時間 (S)
安靜環境	1	30	29	1
	2	28	29	-1
	3	28	29	-1
教室環境	1	29	29	0
	2	28	29	-1
	3	28	29	-1

註：常數皆為 0。

(三) 實驗十一：用力說話次數估算之可行性實驗結果

本實驗在安靜與教室環境中，對同一段人聲量測三次用力說話次數，並與實際次數比較（如表 4-2）。另外為瞭解是否因為計算到當沒有說話到有說話的過程能量大幅提升導致多計 1 次用力說話次數，量測新增條件「需在說話時才計算用力說話次數」，並與實際人聲用力說話次數比較，其結果如表 4-3 所示。

表 4-2 監測裝置在安靜環境與干擾環境下記錄用力說話次數

環境	實驗 次數	監測用力說話次數 (次)	實際用力說話次數 (次)	誤差次數 (次)
安靜環境	1	4	3	1
	2	4	3	1
	3	4	3	1
教室環境	1	4	3	1
	2	4	3	1
	3	4	3	1

註：常數皆為 0。

表 4-3 新增說話時條件監測裝置在安靜環境與干擾環境下記錄用力說話次數

環境	實驗 次數	監測用力說話次數 (次)	實際用力說話次數 (次)	誤差次數 (次)
安靜環境	1	4	3	1
	2	3	3	0
	3	3	3	0
教室環境	1	3	3	0
	2	5	3	2
	3	4	3	1

註：常數皆為 0。

我的發現：

1. 六次量測中，監測說話時間與實際說話時間（29 秒）的誤差介於 0 至 1 秒之間，安靜與教室環境下表現一致。誤差可能源自系統以秒為單位進行判斷，在說話開始或結束的瞬間可能產生約 1 秒的判斷延遲，屬於系統設計上可預期的誤差範圍。
2. 未加入條件前，安靜與教室環境下六次量測均比實際多計 1 次。加入「需在說話時才計算」條件後，安靜環境有兩次達到完全準確（0 誤差），但教室環境仍出現最多多計 2 次的誤差，推測是教室背景聲音能量突然變化時，超過用力說話閾值導致誤判。
3. 整體而言，本系統在說話時間記錄上表現穩定可靠；用力說話次數的判斷在安靜環境下準確度高，但在複雜的教室環境中仍有改善空間，部分達成研究目的 5。說話時間的量測已能穩定準確，但用力說話次數在教室環境下仍有誤判情況，未來可針對動態閾值的計算方式進行優化，以提升在複雜環境下的判斷準確度。

五、 研究目的 6：設計音量監測穿戴式裝置與數據呈現網站

(一) 實驗十二：3D 列印外殼設計結果

第一板 3D 列印外殼因為尺寸丈量不夠精確，加上 3D 列印的誤差，導致音量監測模組無法順利放入，且開關的挖孔也過小，沒有辦法順利安裝開關，如圖 4-10 所示。而後設計了第二板 3D 列印外殼，這一板將先前的尺寸問題解決了，音量監測裝置已經可以順利放入，另外我將蓋口從上方改成側面，來解決開關與 USB 孔無法同時對準位置的問題，如圖 4-11 所示。



圖 4-10 第一版外殼設計



圖 4-11 第二版外殼設計

(二) 實驗十三：聲音監控網頁設計結果

實際測試結果顯示，聲音監測裝置可透過 Wi-Fi 將資料上傳至 Google Sheet (如圖 4-12)，並依時間記錄各項聲音數據。網頁系統再讀取這些資料，整理為圖表與數值呈現 (如圖 4-13)，讓使用者清楚了解說話時間、用力說話次數及聲音變化 (網頁程式由 Google Gemini AI 輔助生成)。

圖 4-12 Google Sheet 接收資料



圖 4-13 護喉助手網頁設計

(三) 實驗十四：實際穿戴後的效果與使用者回饋結果

表 4-4 教師訪談摘要

向度	訪問摘要
外觀	1. 大小適中且不顯眼：關於裝置的大小，使用者提到雖然看起來沒有那麼小巧，但也不會到非常顯眼。 2. 降低學生的好奇關注：使用者原本擔心戴著裝置會讓學生一直詢問「這是什麼」，但實際使用後發現狀況還好（學生並未過度關注）。
感受	1. 輕巧不影響動作：使用者表示裝置並不會重，不會限制上課時動作的變化。 2. 對教學的幫助：使用者認為網站提供的數據化顯示與完整的歷史表單非常有幫助可配合影片調整自身用嗓。
評價	1. 題與架構明確：使用者認為網頁顯示的內容標題非常明確，讓他能輕鬆了解每個頁面想要傳達的主要資訊。 2. 數據化顯示清晰：網站有明顯的數據化呈現，能讓使用者清楚掌握具體的時間點。 3. 具備實際應用價值：使用者提到可以將這些數據搭配自己的教學影片，找出在哪個時間點說話特別用力，進而調整授課的說話方式。
建議	1. 擴大測試對象：使用者建議可以將這套系統提供給更多人進行測試。透過收集更多使用者的數據比對，觀察大家的想法與反饋是否一致，再根據這些綜合意見進行後續的調整與優化。 2. 增加網站視覺的吸引力：使用者也針對網站的美觀提出建議，認為加入一些可愛、有趣或生動的動畫可以更吸引人。
後續	希望持續使用：在訪問的最後，使用者表示如果有機會也希望可以繼續使用本裝置。

老師的訪談摘要如表 4-4 所示。訪談後，透過人工標記與裝置量測結果進行比對，分析教師在 3 分鐘內說話時間量測情形（量測到記為 1，未量測到記為-1），其分布如圖 4-14 所示。此外，透過聲音波形圖與用力說話次數分布圖進行比對，分析教師在 3 分鐘內用力說話之判定結果，如圖 4-15 所示。

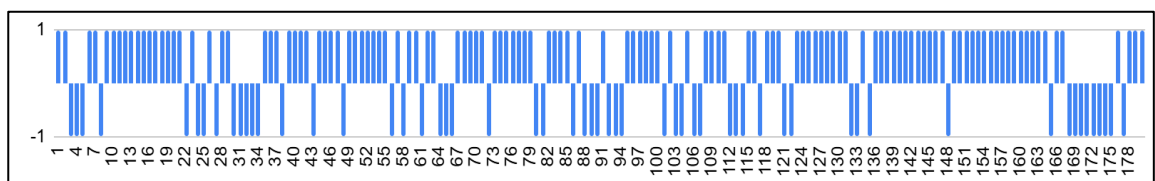


圖 4-14 人工標記與裝置量測說話比較分布(閾值常數為 1.5)

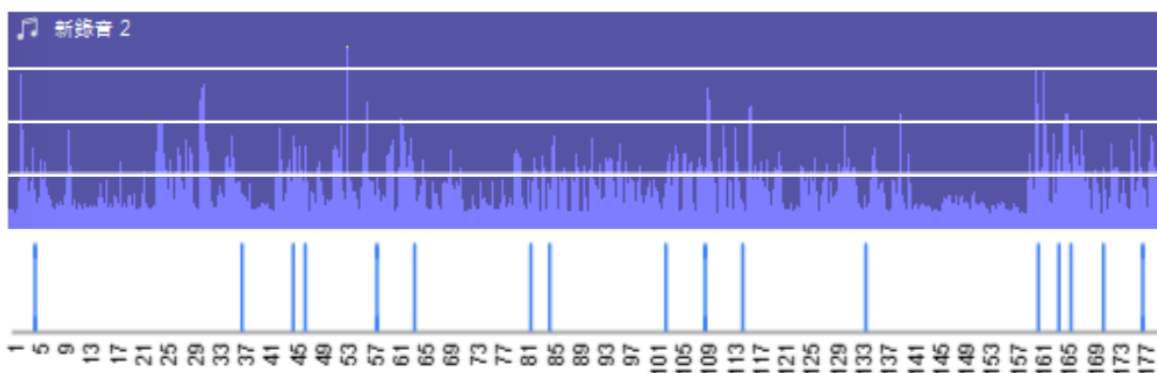


圖 4-15 聲音波形圖與裝置量測用力次數分布對比(閾值常數為 3)

我的發現：

1. 由訪談結果可知，經過外殼尺寸與顏色調整後，穿戴式裝置在設計上需兼顧「功能性」與「隱蔽性」，能提高使用者接受度。
2. 教師表示系統提供的數據與歷史紀錄能協助其檢視教學過程，並可搭配教學影片進行反思。顯示將聲音行為轉換為具體數據，有助於提升教師對自身用嗓習慣的覺察，具備實際應用潛力。
3. 在說話時間比較中，量測正確時間比例為 68.33%，顯示本裝置已能偵測大部分說話時間，但準確度仍有提升空間。推測原因可能為說話閾值設定較高，或環境音變動影響背景音估計，造成部分較小聲或較短暫的語音未被判定為說話，顯示目前演算法在說話邊界判定上仍需進一步改進。
4. 在用力說話次數比較中，聲波圖振幅較大的區段，與下方裝置所判定之用力說話時間大致相對應，顯示本裝置能初步辨識出較大聲的語音。然而仍可發現部分聲波振幅較高的區段，未被裝置判定為用力說話，推測可能原因為用力說話閾值設定較高，導致部分接近閾值的聲音未被計算。
5. 綜合上述結果，本裝置已能初步量測教師說話時間與用力說話次數，並提供具意義的回饋資訊。雖然仍存在誤差，但不影響教學使用，且具備實際應用價值與可行性。

肆、 結論

本研究成功開發一套基於 ESP32-C6 Mini 與 INMP441 感測器的穿戴式聲音監測系統，目的在解決老師因長期過度用嗓導致的喉嚨健康問題。透過多項實驗驗證，本研究得出以下主要結論：

1. 老師喉嚨健康普遍面臨風險：問卷調查顯示，高達 95.6% 的老師曾感喉嚨不適，且 83.2 % 從沒檢查過聲帶。多數老師認為過度用嗓是教學中不可避免的現象，顯示出開發自主監測裝置的必要性。
2. 音量監測模組具備高準確性：開發的監測模組在經過校正（校正值 65.34）後，與專業 APP 分貝儀的平均絕對誤差小於 1dB (A)。這證明該裝置在不同音量強度下均能提供精準的音量數據，足以作為可靠的監測工具。
3. 近距離收音能有效區分目標人聲：實驗證實，當收音距離在 10 公分時，目標人聲在總能量中的占比超過 99% ，且此距離最符合穿戴式裝置掛於頸部的實際使用需求。隨距離增加，目標人聲占比會快速下降，顯示近距離監測是排除環境干擾的關鍵。
4. 具備優異的抗干擾與環境適應力：透過動態閾值設計（計算近 10 秒環境音能量作為基準），裝置能在教室背景噪音或其他人聲干擾下，依然有效辨識目標老師的聲音。除非環境噪音過大，否則裝置皆能維持穩定的監測表現。
5. 精確記錄說話行為與用力程度：本系統能準確計算說話時間（誤差小於 1 秒）。此外，透過「需在說話時才計算用力說話次數」的邏輯優化，能有效排除環境突發噪音的誤判，準確記錄老師過度用力說話次數。
6. 完整的穿戴式與雲端數據整合：本研究完成穿戴式音量監測裝置與雲端系統之整合，透過改良 3D 列印外殼提升佩戴便利性與保護性，並可將監測數據即時上傳至雲端供教師查閱，達成用嗓行為量化與自我健康管理之目標。然而，在說話判定與用力說話次數在真實環境中仍存在誤差，顯示演算法於邊界聲音與瞬間變化判定上尚有改進空間，未來可透過優化閾值設定與提升判定穩定性，以進一步提升整體量測準確度與系統可靠性。

伍、 參考文獻資料

1. 張欣平. (2012, September 4). 老師常見的嗓音問題及保養之道. 臺北市立聯合醫院 .
https://tpech.gov.taipei/mp109181/News_Content.aspx?n=80359412498D4193&sms=D6D8C221F7AECFEE&s=73A76991BAF9BD4C
2. 辰蘊如. (2026, March 3). 開學回歸校園生活黑板前的職業傷害 老師易忽略的警訊. LINETODAY. <https://today.line.me/tw/v3/article/0MVK1on>
3. 王家瑜. (2022, December 4). 補教老師聲帶長繭 「免開刀」找回好聲音！語言治療師提醒護嗓 6 件事. 健康 2.0. <https://health.tvbs.com.tw/medical/317348>