

2022 Synopsys ARC 盃 AIoT 設計應用競賽 決賽作品

作品標題-基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測

指導老師- 林淵翔 教授

報告人- 蔡明翰，王樹盛，林煜凱

2022/07/22



Agenda

- 作品概述
- 難點與創新
- 設計與實現
- 作品進度
- 測試結果
- 總結展望

Agenda

- 作品概述
- 難點與創新
- 設計與實現
- 作品進度
- 測試結果
- 總結展望

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品概述

—動機

- 根據呼吸醫學領域世界一流的期刊《柳葉刀雜誌呼吸醫學分冊》(The Lancet Respiratory Medicine)報導，超過9.36億人患有阻塞型睡眠呼吸中止症(Obstructive Sleep Apnea)，簡稱OSA。
- 有半數以上肥胖、心臟衰竭、中風或暫時性腦缺血發作(TIA)、心房顫動或糖尿病患者皆患有睡眠呼吸中止症。



基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品概述

一 動機

- 診斷阻塞型睡眠呼吸中止症(OSA)患者的標準方法是使用多導睡眠圖(PSG) ，但使用多導睡眠圖(PSG)是一個長期的過程，患者需要在睡眠中心過夜以觀察呼吸及各項生理訊號。
- PSG要記錄的資料包括：
 - 心電圖(ECG)
 - 腦波圖 (EEG)
 - 眼電圖 (EOG)
 - 肌電圖(EMG)
 - 胸腹呼吸動作(Thoracic Abdominal Effort)
 - 呼吸氣流(Respiratory airflow)
 - 血氧飽和度 (SaO2 Saturation)
 - 呼吸事件
- 雖然多導睡眠圖能提供準確的結果，但它的設備會為OSA患者帶來不舒服且不便。



傳統睡眠多導圖檢測

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品概述

－創意發想

- 是否可以讓睡眠呼吸中止症的檢測，就像快篩試劑一樣，在家就能自行檢測呢？
- 透過抓取呼吸中止症患者的**ECG**心電訊號特徵，提供阻塞型睡眠呼吸中止症病癥的檢測。



傳統多導睡眠圖檢測儀器



輕量化ECG檢測儀器

Agenda

- 作品概述
- **難點與創新**
- 設計與實現
- 作品進度
- 測試結果
- 總結展望

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-難點與創新

－創新

- 不需配戴繁雜的線材及儀器。
- 自己一人就能在家輕鬆檢測。



輕量化ECG檢測儀器

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-難點與創新

－難點

- EM9D開發板並沒有內建相關的生理訊號感測器。
- 心電訊號容易受到雜訊或是患者其他動作影響。
- 需要蒐集睡眠呼吸中止症患者的ECG訊號。
- 建立輕量且高準確率的模型。

Agenda

- 作品概述
- 難點與創新
- **設計與實現**
- 作品進度
- 測試結果
- 總結展望

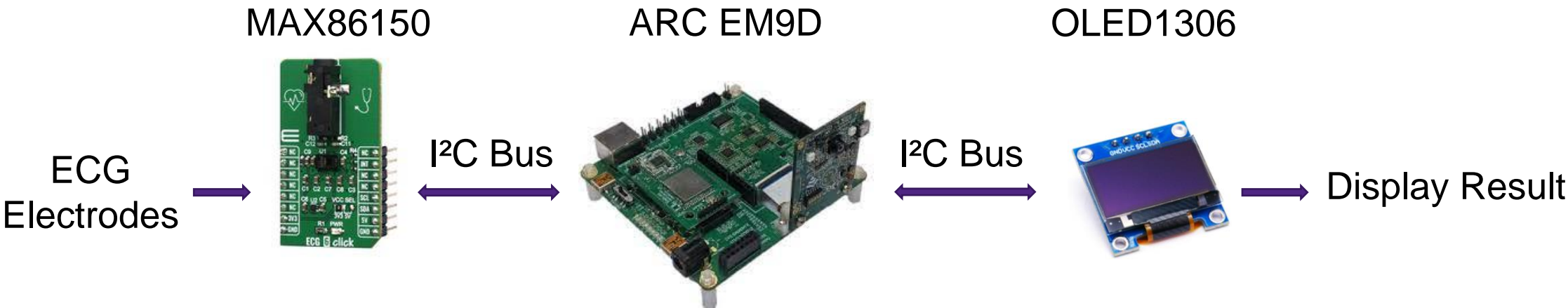
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

－設計與實現

- 本作品預期的使用流程為：
 1. 使用者將作品本體配戴在身上，並將心電訊號感測貼片分別貼在左、右胸部及左腹後，臥躺進行睡眠。
 2. 使用者進入睡眠狀態後，感測器擷取即時心電訊號輸入開發板。
 3. 由開發板內的模型分析使用者睡眠中的心電訊號，並透過**OLED**顯示器，每一分鐘輸出一一次檢測結果，且在睡眠結束後輸出平均**AI(Apnea Index)**指數(每小時所發生的呼吸中止次數平均)作為診斷指標。

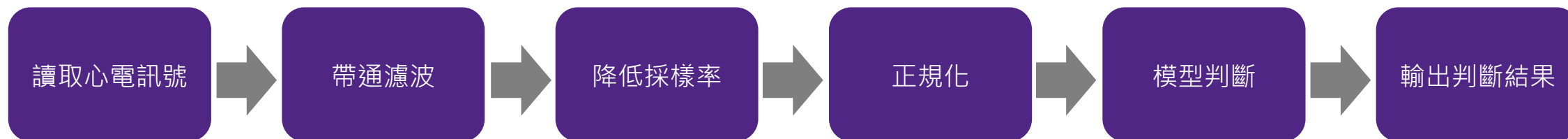
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

—硬體架構圖



基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

－軟體流程圖



基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

– 訓練資料來源

- 本作品用以訓練模型的資料來自麻省理工學院(MIT)開源資料庫PhysioNet中提供的開源資料集：
- Department of Internal Medicine, Philipps-University/Harvard-M.I.T. Division of Health Sciences and Technology/Beth Israel Deaconess Medical Center

Apnea-ECG Database

George Moody , Roger Mark 

Published: Feb. 10, 2000. Version: 1.0.0

When using this resource, please cite the original publication:

[T Penzel, GB Moody, RG Mark, AL Goldberger, JH Peter. The Apnea-ECG Database. Computers in Cardiology 2000;27:255-258.](#)

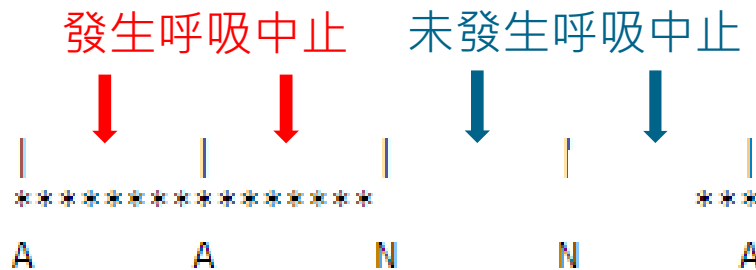
Please include the standard citation for PhysioNet: [\(show more options\)](#)

Goldberger, A., Amaral, L., Glass, L., Hausdorff, J., Ivanov, P. C., Mark, R., ... & Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. Circulation [Online]. 101 (23), pp. e215–e220.

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

– 資料集資訊

- 此資料集為PhysioNet和Computer in Cardiology(CINC)在2000年舉辦的以ECG為基礎，來偵測呼吸中止的挑戰比賽所提供的資料集。
- 資料由專家(Thomas Penzel)嚴格審視後，將每筆資料以每一分鐘為單位標明哪些片段發生了呼吸中止症狀。
- 如下圖，標記 'A' 為發生呼吸中止，'N' 為正常呼吸。



人工標記片段示意圖

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

－資料集資訊

- 該資料集提供了**70**個人的夜間連續記錄，每人長度約**8**小時的**ECG**訊號，做為訓練資料以及測試資料使用。
- 採樣頻率為**100Hz**，每一分鐘得到的資料量為 $60 \times 100 = 6000$ 個採樣，**70**個人錄製的總時間長度為**33778**分鐘。
- 總資料量為 $33778 \times 6000 = 202,668,000$ 個採樣。

| 總錄製時長(分鐘) | 每分鐘資料量(採樣) | 總資料量(採樣) |
|-----------|------------|-------------|
| 33778 | 6000 | 202,668,000 |

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

– 70位受試者夜間ECG訊號

- AHI(Apnea Hypopnea Index)指數為：一小時內發生的呼吸中止次數(AI)+呼吸障礙次數(HI)。
- 醫學上的睡眠呼吸中止症嚴重程度會依此指數判定。

- 正常：AHI<5
- 輕度睡眠呼吸暫停：5≤AHI<15
- 中度睡眠呼吸暫停：15≤AHI<30
- 重度睡眠呼吸暫停：AHI≥30

| Record | Length minutes | non-apn minutes | apnea minutes | hours w/apnea | AI | HI | AHI | Age | Sex | height (cm) | weight (kg) |
|--------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------|------|------|-----|-----|----------------|----------------|
| a01 | 490 | 20 | 470 | 9 | 12.5 | 57.1 | 69.6 | 51 | M | 175 | 102 |
| a02 | 529 | 109 | 420 | 9 | 57.2 | 12.3 | 69.5 | 38 | M | 180 | 120 |
| a03 | 520 | 274 | 246 | 9 | 38.4 | 0.7 | 39.1 | 54 | M | 168 | 80 |
| a04 | 493 | 40 | 453 | 9 | 73.4 | 4 | 77.4 | 52 | M | 173 | 121 |
| a05 | 455 | 179 | 276 | 8 | 35 | 6 | 41 | 58 | M | 176 | 78 |
| a06 | 511 | 305 | 206 | 8 | 16.6 | 8.1 | 24.7 | 63 | M | 179 | 104 |
| a07 | 512 | 190 | 322 | 9 | 46 | 17 | 63 | 44 | M | 177 | 105 |
| a08 | 502 | 313 | 189 | 7 | 32 | 10 | 42 | 51 | M | 179 | 88 |
| a09 | 496 | 115 | 381 | 9 | 23.1 | 8.6 | 31.7 | 52 | M | 178 | 82 |
| a10 | 518 | 418 | 100 | 6 | 11 | 10 | 21 | 58 | M | 176 | 78 |
| a11 | 467 | 245 | 222 | 8 | 11 | 3 | 14 | 58 | M | 168 | 103 |
| a12 | 578 | 44 | 534 | 10 | 70 | 10.2 | 80.2 | 52 | M | 173 | 121 |
| a13 | 496 | 252 | 244 | 9 | 32 | 10 | 42 | 51 | M | 179 | 88 |
| a14 | 510 | 127 | 383 | 8 | 17.3 | 37.4 | 54.7 | 51 | M | 175 | 102 |
| a15 | 511 | 143 | 368 | 9 | 46 | 6 | 52 | 60 | M | 176 | 113 |
| a16 | 483 | 163 | 320 | 7 | 17 | 24 | 41 | 44 | M | 177 | 105 |
| a17 | 486 | 328 | 158 | 5 | 21 | 12 | 33 | 40 | M | 179 | 96 |
| a18 | 490 | 52 | 438 | 9 | 75.5 | 6.9 | 82.4 | 52 | M | 178 | 82 |
| a19 | 503 | 298 | 205 | 9 | 34 | 0 | 34 | 55 | M | 178 | 90 |
| a20 | 511 | 196 | 315 | 9 | 35 | 6 | 41 | 58 | M | 176 | 78 |
| b01 | 488 | 469 | 19 | 2 | 0.12 | 0.12 | 0.24 | 44 | F | 170 | 63 |
| b02 | 518 | 425 | 93 | 5 | 14 | 5 | 19 | 53 | M | 176 | 85 |
| b03 | 442 | 369 | 73 | 4 | 22 | 2 | 24 | 53 | M | 176 | 85 |
| b04 | 430 | 420 | 10 | 1 | 0.7 | 0 | 0.7 | 42 | M | 180 | 64 |
| b05 | 434 | 377 | 57 | 3 | 2 | 3 | 5 | 52 | M | 180 | 135 |
| c01 | 485 | 485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | M | 184 | 74 |
| c02 | 503 | 502 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | M | 180 | 83 |
| c03 | 455 | 455 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | M | 184 | 65 |
| c04 | 483 | 483 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 | F | 180 | 65 |
| c05 | 467 | 464 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | F | 169 | 57 |
| c06 | 469 | 468 | 1 | 0 | 0 | 0.25 | 0.25 | 28 | F | 171 | 65 |
| c07 | 454 | 450 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | F | 168 | 56 |
| c08 | 535 | 535 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 | M | 180 | 64 |
| c09 | 469 | 467 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | M | 180 | 83 |
| c10 | 432 | 431 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | M | 184 | 72 |

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-設計與實現

– AI(Apnea Index)

- 呼吸障礙(Hypopnea)是呼吸氣通量不足導致，並不會造成心電訊號的變化，因此我們只能辨別呼吸中止(Apnea)的事件。
- 在檢測結束後，會提供患者睡眠期間，每小時平均發生的呼吸中止次數，也就是AI(Apnea Index)指數。

Agenda

- 作品概述
- 難點與創新
- 設計與實現
- **作品進度**
- 測試結果
- 總結展望

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

– 作品進度

- 使用開源資料庫的**ECG**訊號來訓練模型，資料庫總共有**33778**筆資料，我們將全部的資料分割為**30400**筆訓練資料及**3378**筆測試資料。分割後的資料會分別拿去訓練與測試，如下表所示。

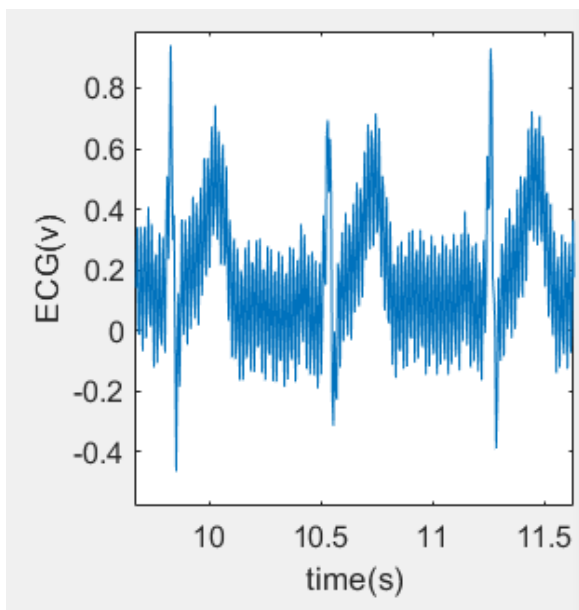
| 分類 | 錄製時長(分鐘) | 呼吸中止(分鐘) | 非呼吸中止(分鐘) |
|-----|----------|----------|-----------|
| 訓練集 | 30400 | 11734 | 18666 |
| 測試集 | 3378 | 1305 | 2073 |

資料分割資訊表

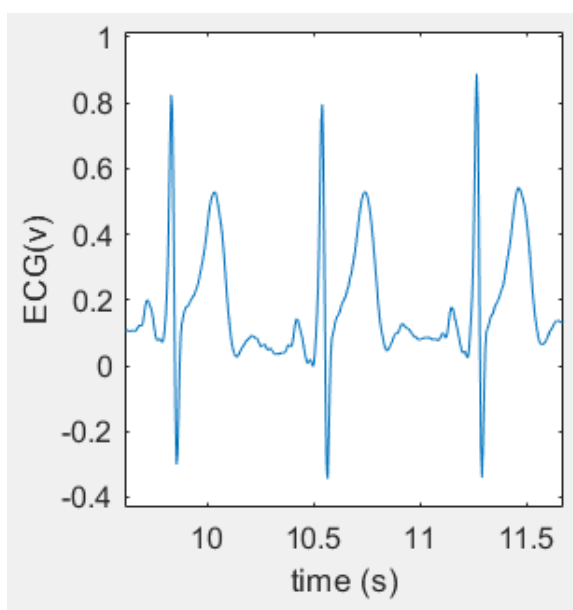
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

— 濾波處理

- 心電訊號容易受到肌電訊號等雜訊干擾，因此在開發板上對心電訊號進行 0.5Hz~40Hz 帶通濾波處理。



原始資料



濾波處理資料

有限脈衝濾波器FIR

- 轉換函數 $H(z) = \sum_{k=0}^K b_k z^{-k}$

- 輸入輸出函式

$$\text{Z domain: } Y(z) = X(z) \sum_{k=0}^K b_k z^{-k}$$

$$\text{Time domain: } y(n) = \sum_{k=0}^K b_k x(n-k)$$

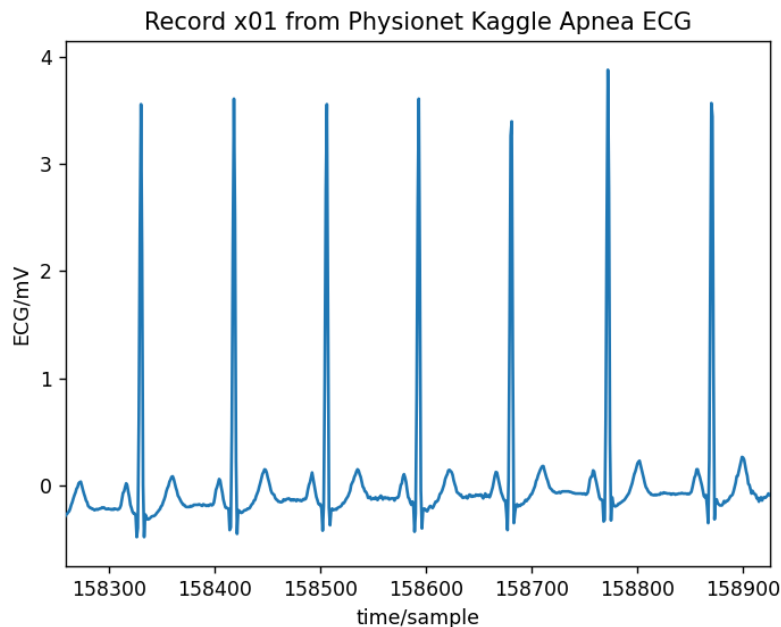
numerator
(moving average)

- | |
|------------------------------|
| 【優點】 |
| • 穩定(stable) |
| • 線性相位變化(linear phase shift) |
| 【缺點】 |
| • 需要較高階數來滿足濾波條件 |
| • 計算效率較低 |

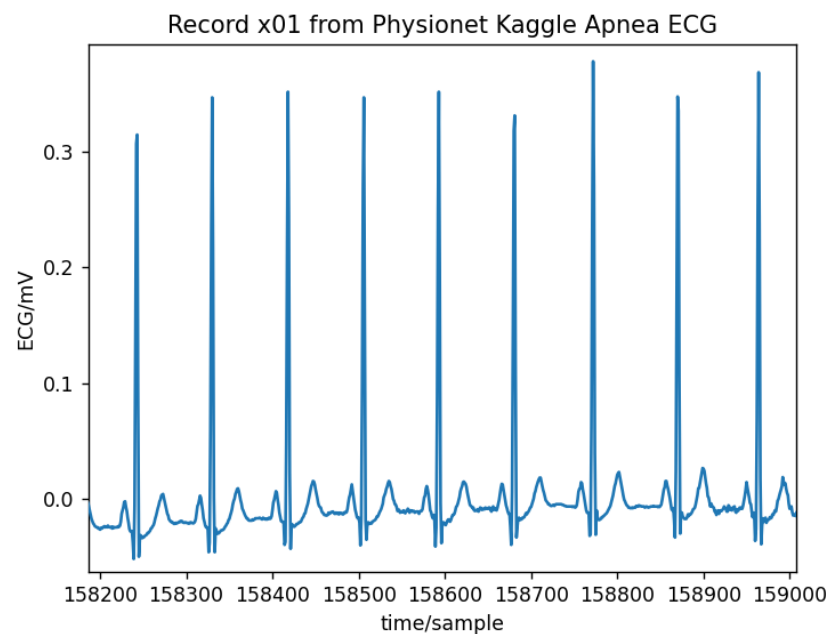
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

— 資料正規化

- 為了提升模型的準確率，以及避免兩個不同的感測器間解析度和基準點不同，因此我們將資料進行正規化，讓資料的範圍落在 $[-1, 1]$ 的區間內。



原始資料



正規化資料

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

— 經優化的神經網路模型

- 模型架構如右圖所示。
- 由於MLI指令集不支援Conv1D，因此使用Conv2D來進行模擬。
- 模型總參數為12726，測試準確度(Test accuracy)可達92.11%，如下圖所示。

```
Total params: 12,726
Trainable params: 12,660
Non-trainable params: 66
0.9211605171870072
```

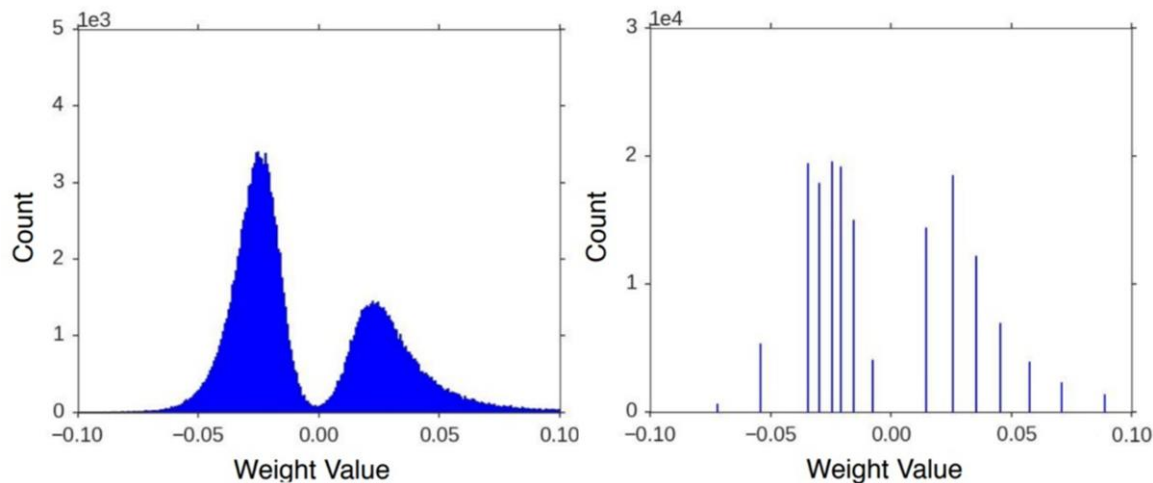
0.9211605171870072

| Model: "sequential_1" | | |
|--|--------------------|---------|
| Layer (type) | Output Shape | Param # |
| batch_normalization_2 (Batch Normalization) | (None, 6000, 1, 1) | 4 |
| conv2d_6 (Conv2D) | (None, 3000, 1, 8) | 40 |
| conv2d_7 (Conv2D) | (None, 1500, 1, 8) | 264 |
| depthwise_conv2d_3 (Depthwise Conv2D) | (None, 750, 1, 8) | 32 |
| average_pooling2d_3 (Average Pooling2D) | (None, 375, 1, 8) | 0 |
| dropout_3 (Dropout) | (None, 375, 1, 8) | 0 |
| conv2d_8 (Conv2D) | (None, 188, 1, 16) | 528 |
| conv2d_9 (Conv2D) | (None, 94, 1, 16) | 1040 |
| depthwise_conv2d_4 (Depthwise Conv2D) | (None, 47, 1, 16) | 64 |
| average_pooling2d_4 (Average Pooling2D) | (None, 24, 1, 16) | 0 |
| dropout_4 (Dropout) | (None, 24, 1, 16) | 0 |
| conv2d_10 (Conv2D) | (None, 12, 1, 32) | 2080 |
| conv2d_11 (Conv2D) | (None, 6, 1, 32) | 4128 |
| depthwise_conv2d_5 (Depthwise Conv2D) | (None, 3, 1, 32) | 128 |
| average_pooling2d_5 (Average Pooling2D) | (None, 2, 1, 32) | 0 |
| dropout_5 (Dropout) | (None, 2, 1, 32) | 0 |
| batch_normalization_3 (Batch Normalization) | (None, 2, 1, 32) | 128 |
| flatten_1 (Flatten) | (None, 64) | 0 |
| dense_2 (Dense) | (None, 64) | 4160 |
| dense_3 (Dense) | (None, 2) | 130 |
| Total params: 12,726 Trainable params: 12,660 Non-trainable params: 66 | | |

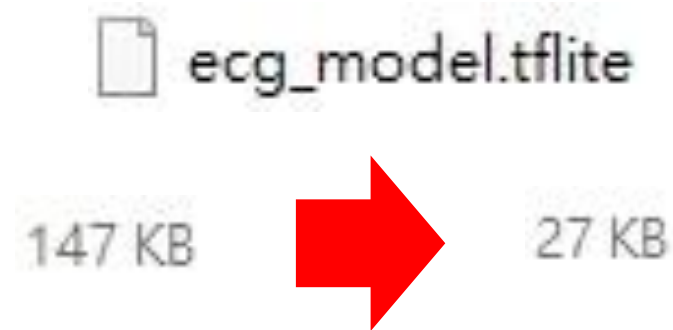
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

—作品進度

- 可以成功將TFLite形式的模型進行量化，將權重原本float32形式轉換為int8，使模型的大小減少**81.63%**。



將高精度連續值近似為離散值



模型大小降低了**81.63%**

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

– 作品進度

- 使用自製支架，將MAX86150 ECG感測模組以及OLED顯示器，安裝在開發板上，並可以配戴於使用者身上。



作品完成圖



MAX86150模組

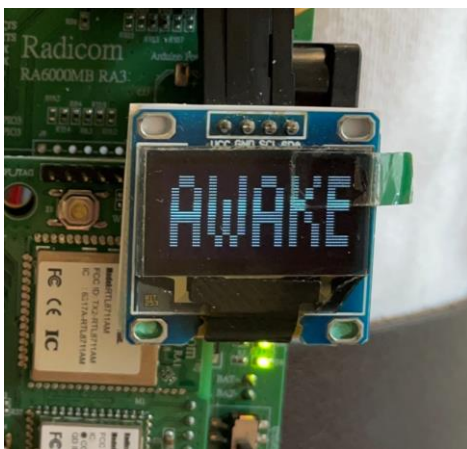


OLED顯示器

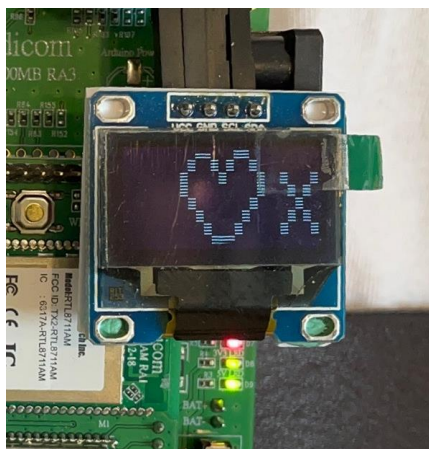
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-作品進度

—作品進度

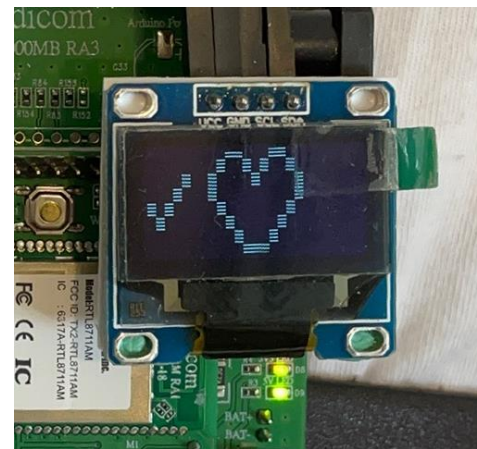
- **OLED**的顯示畫面共有四個狀態，分別為待機畫面、檢測結果為呼吸中止(打叉)、呼吸正常(打勾)、以及使用者醒來後，會顯示在這睡眠時間內，每小時平均的呼吸中止次數(**AI指數**)，讓使用者作為診斷的參考指數。



待機畫面



檢測為呼吸中止



檢測為呼吸正常



AI指數

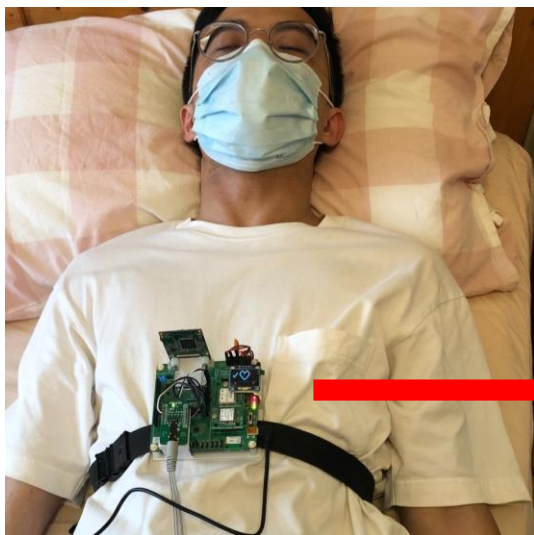
Agenda

- 作品概述
- 難點與創新
- 設計與實現
- 作品進度
- **測試結果**
- 總結展望

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-測試結果

－測試結果

- 本作品能正確判別睡眠時的正常呼吸狀態，以及檢測完成後輸出使用者的AI(Apnea Index)指數，也就是睡眠時間內平均每小時發生的呼吸中止次數。



臥躺睡眠狀態



正常呼吸檢出畫面

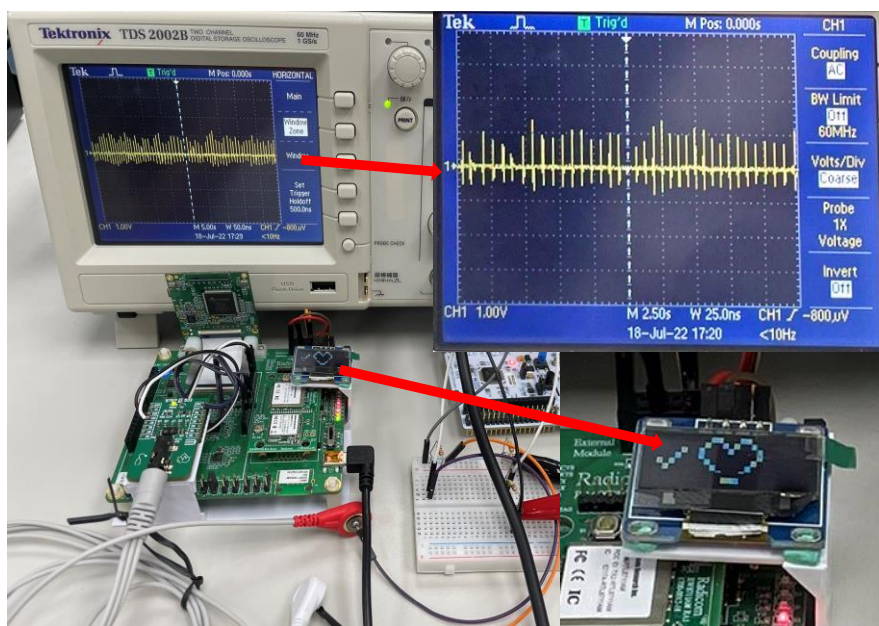


AI指數畫面

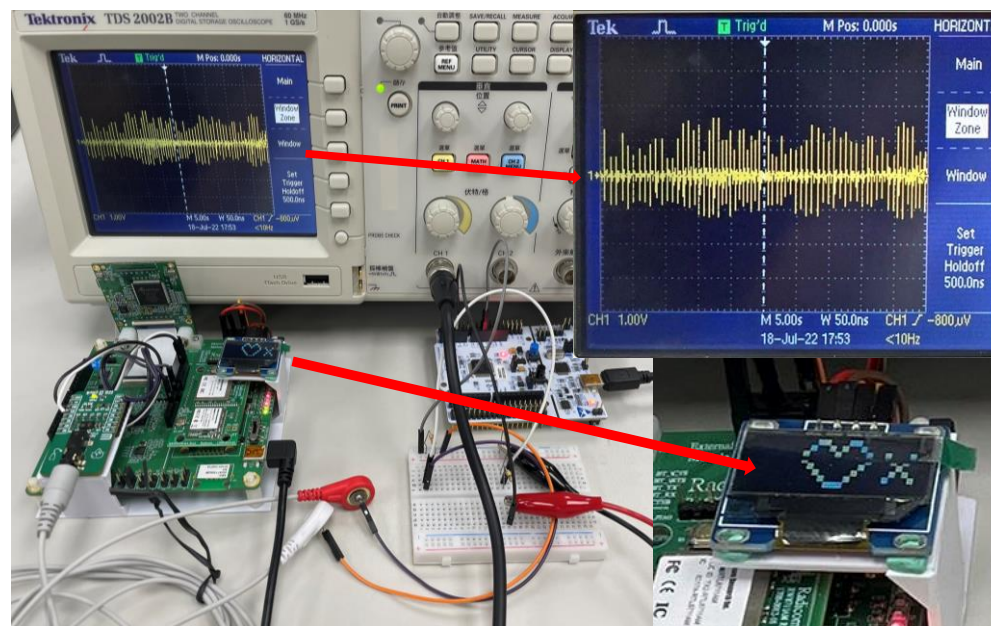
基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-測試結果

－測試結果

- 將呼吸中止症患者的心電訊號資料，透過DAC訊號產生器轉換為類比訊號，模擬真實使用者的即時心電訊號，輸入開發板測試。



無呼吸中止波形判斷結果



呼吸中止波形判斷結果

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-測試結果

－測試結果

- 從先前分割好的測試資料集中，隨機取出100筆波形，透過DAC訊號產生器轉換為類比訊號，輸入開發板測試，模擬真實使用者，準確率為**91%**。

| 輸入資料 | 數量 | 判斷正確數量 | 準確率 |
|-------|----|--------|--------------------|
| 無呼吸中止 | 64 | 58 | 91/100= 91% |
| 有呼吸中止 | 36 | 33 | |

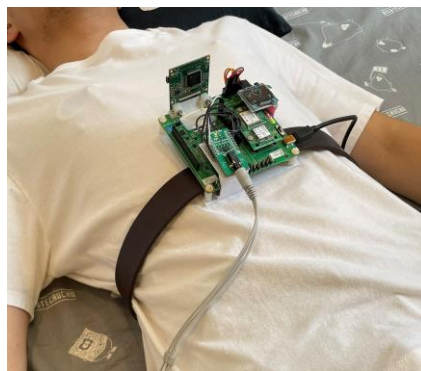
Agenda

- 作品概述
- 難點與創新
- 設計與實現
- 作品進度
- 測試結果
- 總結展望

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-總結展望

— 結論

- 我們完成了一個基於嵌入式系統的睡眠呼吸中止症檢測裝置，成功使用ECG心電訊號來檢測睡眠呼吸中止症。
- 準確率可達91%，且可以提供Apnea Index做為檢測指標。
- 成功達到輕量化，低功耗且高效率之訴求，且大幅減少檢測需要配戴之感測器與線材，讓使用者能夠舒適的睡眠，在家就能夠輕鬆的檢測。



基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-總結展望

－未來展望

- 未來我們希望能再縮小裝置的體積，讓使用上更方便。
- 推廣此產品，讓更多人能試著在家自行檢測。
- 能夠與相關的睡眠中心合作，實際配戴在患者身上測試並得到更多測試結果與回饋。

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-參考資料

– 參考文獻

- Nguyen Thi Hoang Trang, "Development of a SMOTE-based Sleep Apnea/Hypopnea Event Classification Algorithm using Electrocardiogram Spectrogram and DWT coefficients with Machine Learning/Deep Learning Approaches", 2021.
- 王元宏, "Electrocardiogram Signal for the Detection of Obstructive Sleep Apnoea Via Artificial Neural Networks", 2021.

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-參考資料

— 圖片來源

- <https://cpapsupplies.com/blog/treating-sleep-apnea-without-the-mask>
CPAP Alternatives: How to Treat Sleep Apnea without CPAP。
- <https://beautifulsmiles.com.tw/keyproject.php?id=39> 何謂睡眠呼吸中止症？
- <https://tw.element14.com/mikroelektronika/mikroe-4061/ecg-6-click-board/dp/3528537>
- <https://nettigo.eu/products/oled-display-0-96-i2c-128x64-ssd1306-white>
- <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%91%BC%E5%90%B8%E6%9A%82%E5%81%9C%E4%BD%8E%E9%80%9A%E6%B0%94%E6%8C%87%E6%95%B0>

基於深度學習之睡眠呼吸中止症檢測-參考資料

— 圖片來源

- <https://www.transfer.org.cn/210.html/zh-tw>
- <https://medebm.blogspot.com/2017/12/electrocardiogram-ekgecg.html>
- <https://zhuanlan.zhihu.com/p/42281380>
- https://www.researchgate.net/figure/EMG-signal-process-recommended-Green-The-raw-signal-no-treatment-was-applied-until_fig2_258344784
- <https://thorax.bmj.com/content/67/6/546>
- <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-4-34>
- <https://m.mcpcourse.com/difference-between-pao2-and-vs-sao2/>

Thank You

