

2024 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱： 國家級邊緣人

作品名稱： 利用 ESP32+MPU6050 建立地震儀觀測網進行地震預警

科學概念 1： 壓電效應

加速度計量測加速度即為透過壓電效應的原理，當物體運動時，內部材料會因擠壓，將機械能轉換為電能輸出。我們會使用加速度計用於量測地震造成的地動加速度

科學概念 2： 使用內插法估計各地震度

內插法即為透過已知的數據點，在範圍內求出新數據點的方法，我們會利用這個方法，透過兩個區域的已知的震度，來預估其他區域的震度

。

決賽成果報告書內文

(最多 10 頁)

1. 發想動機：

台灣位於環太平洋地震帶，地震頻繁，因此對於地震預警的需求很大，台灣雖然目前有中央氣象署負責全台地震預警，但是中央氣象署的地震預警方式會因為必須算出震源參數(震源地、規模等)導致需要更多時間才能發布警報，距離震央近、災情最慘重的地區會因此來不及收到警報。因此，我們希望可以自行開發不同的地震預警模式，以彌補現行中央氣象署地震預警的不足

2. 作品創意性：

創意性分為硬體與演算法兩個層面

硬體:低成本

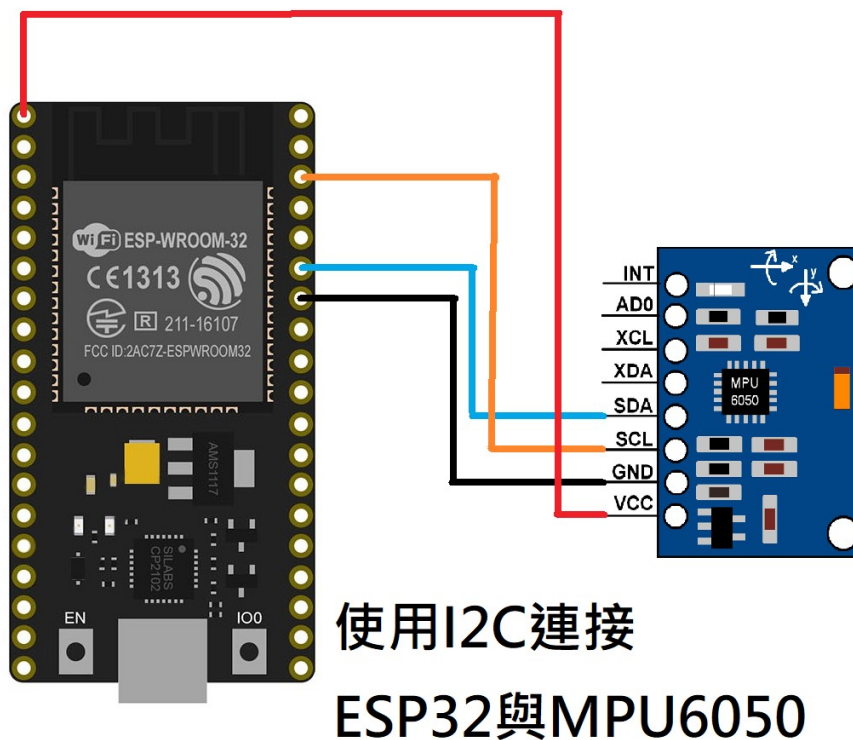
地震預警的速度很大一部分取決於一個地區內地震儀裝設的密度，雖然 MPU6050 加速度感測器精度及雜訊控制皆不如專業的地震儀，但是其造價低廉的優勢可以讓我們用極低的成本達成高密度的地震儀布置

演算法:快速的震度推算

中央氣象署地震預警之所以速度較慢的原因，即是因為必須等候多個地震儀接收到地震波並算出震源參數(定位震央)，再依據震源參數推估各地的震度，而我們的演算法是僅依據地震儀測得的加速度推斷震度，不須定位震央，可以快速對震央周遭的地區發布警報，彌補中央氣象署地震預警的不足

3. 硬體及電路架構圖：

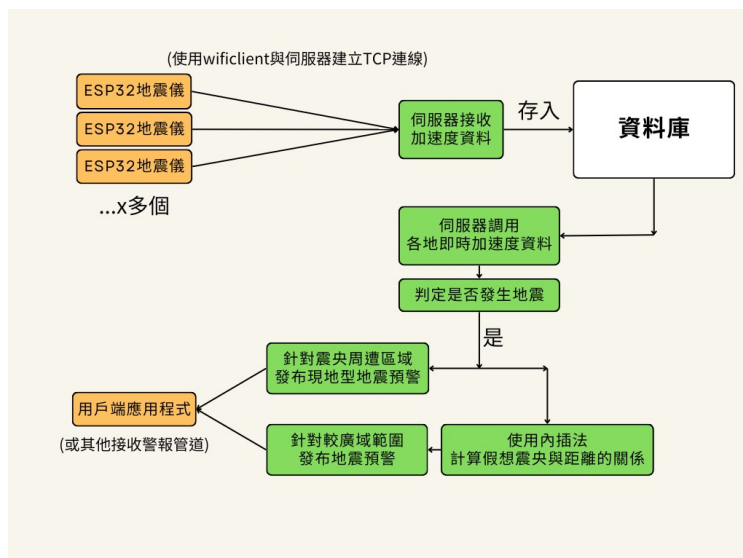
地震儀硬體如下：



地震儀本體即為 ESP32 與 MPU6050 透過 I2C 連接在一起，ESP32 會以 40Hz 的採樣率讀取 MPU6050 的加速度數值，並將讀取到的數值透過 wifi 連上網際網路並傳送到伺服器，伺服器會透過多個地震儀判斷一個區域是否發生地震。

4. 作品成果說明：

我們的地震預警系統架構如下：



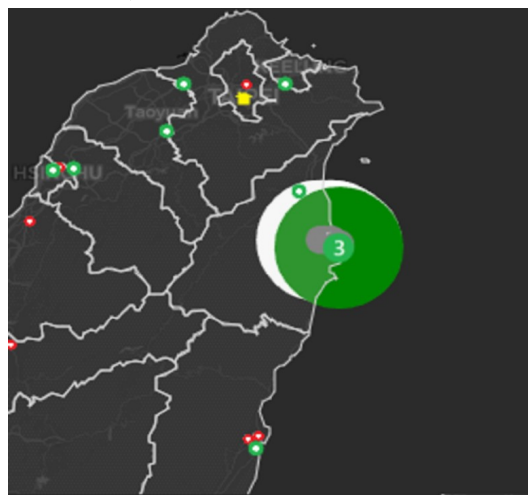
在計算預警之前，需要先判定「有沒有地震」：

我們在伺服器端用 python 的 obspy 函式庫進行地震判斷，obspy 有一個「classic_sta_lta()」函式，我們需要先將地震儀回傳回來的 3 軸加速度波型陣列用 Trace() 建立成 Trace object，再用 classic_sta_lta()，進行 STA/LTA 地震判斷。

STA/LTA 算法是一種利用「短時波型平均 / 長時波型平均」進行地震判斷的算法，其概念是透過比較短時間的波型與長時間的波型差異，判斷是否有明顯的地震波。

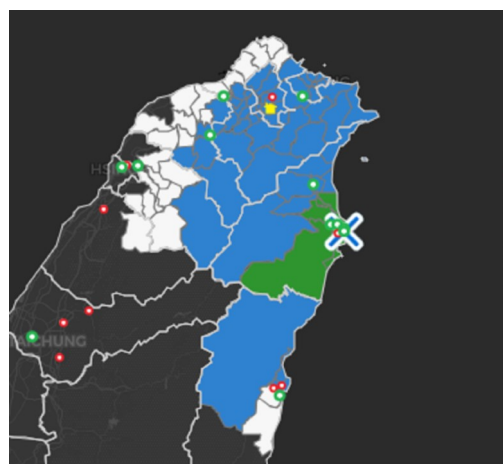
我們利用簡易地震儀組成觀測網，做出以下三種預警模式：

1. 現地型：現地型即為直接根據當地地震儀實際測得的加速度並換算為震度，對當地(以地震儀為中心一定範圍內)發布預警，警報的預計震度即為地震儀測得的震度。



*綠色為震度3級警戒範圍，白色為震度1級

2. 內插法：需要兩台地震儀測得地震，並將先測得地震的地震儀設為假定中心，透過兩台地震儀的加速度差，得到一個特定地區的加速度與假定震央距離的關係(某地預計加速度 = 假定中心的加速度 - 加速度衰減率 * 某地與假定中心的距離)，可以用來預計更廣範圍的各地震度，其優點是計算內插只需要最少兩台地震儀有測到地震就可以實



*綠色為震度3級警戒範圍，藍色為震度2級、白色為震度1級
綠點、紅點為地震儀

現，因此預警速度會比最少需要 6 台地震儀測到地震才能計算的中央氣

象署地震預警來得快，但缺點是因為沒有計算震源參數，因此精準度會較中央氣象署地震預警來得低

3. 內插法的再改良 -> 公式求解:由於內插法雖然可以計算更廣區域的預計震度，但是透過觀察歷年地震的地震報告發現，真實的「距離→加速度關係」更接近一指數函數圖形，而非內插法算出來的一次函數圖形；中央氣象署有提供一個經驗公式，在中央氣象署地震速報發布時，供各單位計算所在地的預計震度：

$$A = 1.657 \cdot e^{(1.533M)} \cdot D^{-1.607}$$

A = 當地地動加速度

M = 地震規模

D = 與震央的距離

(此公式為經驗公式，不具物理意義)

我們可以利用利用這個公式，在已知加速度(地震儀測得)和與假定中心距離的前提下，推算出假想規模

為了簡化計算，我們將公式進行簡化：

$$A = R \cdot D^{-1.607} \quad \text{其中 } R = 1.657 \cdot e^{(1.533M)}$$

由於已知加速度 A(由地震儀測得)以及與假定中心的距離 D，我們就可以算出 R：

$$R = A / D^{-1.607}$$

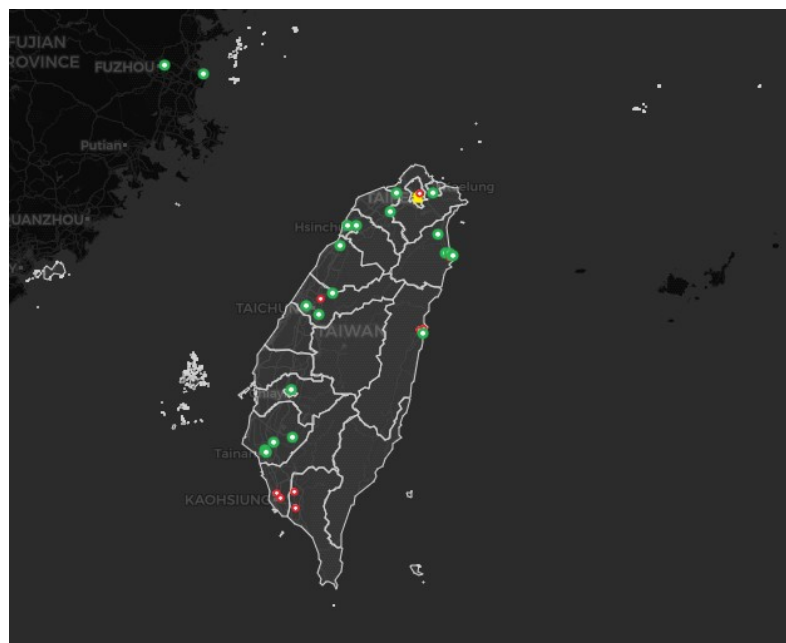
我們會將所有地震儀的位置(也就是與假定中心的距離)以及該地震儀測得的加速度代入這個公式，得到每個地震儀的R值，再把每個R值取平均得到最終的Rfinal值

算出Rfinal後，將Rfinal的值以及假定中心的位置傳給用戶端應用程式，用戶端應用程式會再將Rfinal及與假定中心的距離與代入原公式，得到最終的「當地預計加速度(震度)」，並且以畫面及音效等方式通知使用者發生地震。

實際地震警報成果：

如果要實際投入地震預警，我們必須在全台灣各地都設置地震儀，為此，我們透過在網路上一些較大規模的地震相關論壇(地牛記錄小組)尋找志願者，在他們的住家中安裝地震儀。

目前投入觀測的地震儀分布如圖：



(此為使用者應用程式所顯示之真實畫面)

註1:圖中綠點表示該地震儀正常運作中，紅點表示該地震儀可能遭地震儀持有者暫時斷電。

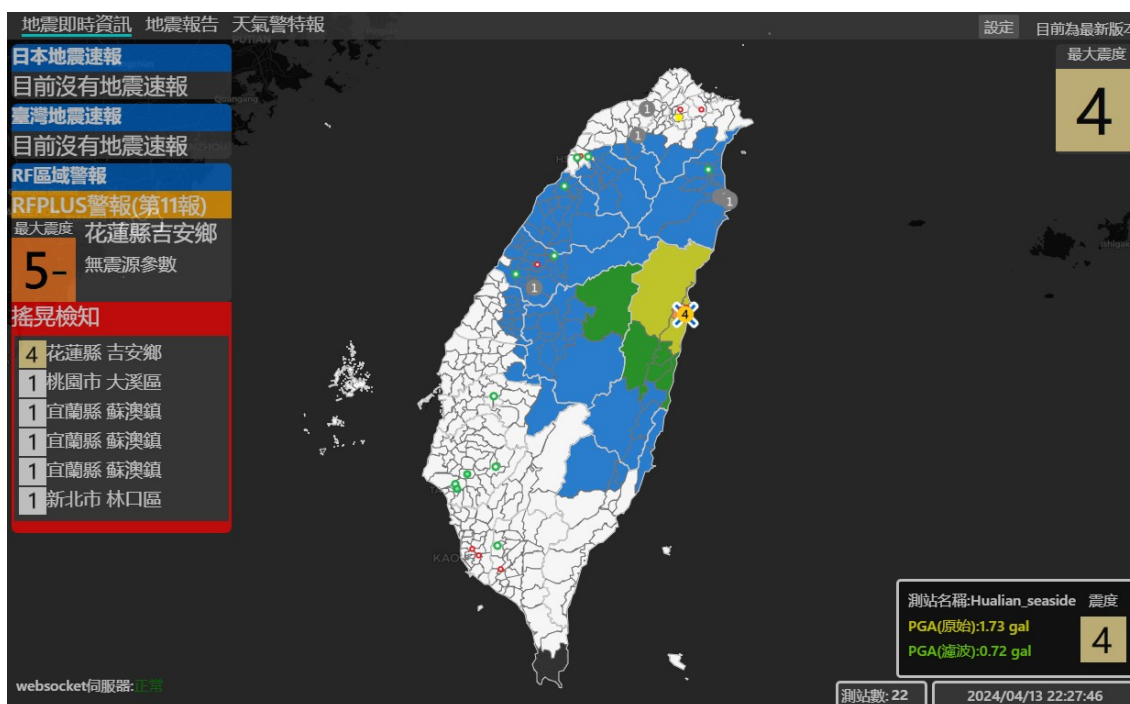
註2:我們在中國福州市及日本名古屋市均有設置地震儀，上述國外地震儀「不」當作警報發布的依據，純粹收集當地的地震資料供參考。

由於0403主震發生時，我們沒有將「內插法」及「公式求解」的計算程式打開，因此此處警報成果僅展示某些有紀錄到的餘震：

(以下警報效果均以「公式求解」的警報模式為主，並展示警報發生當下，使用者應用程式所顯示的畫面；另附上之「中央氣象署等震度圖」用於比較預警的預估震度與實際震度的差異，差異越小則越準確)

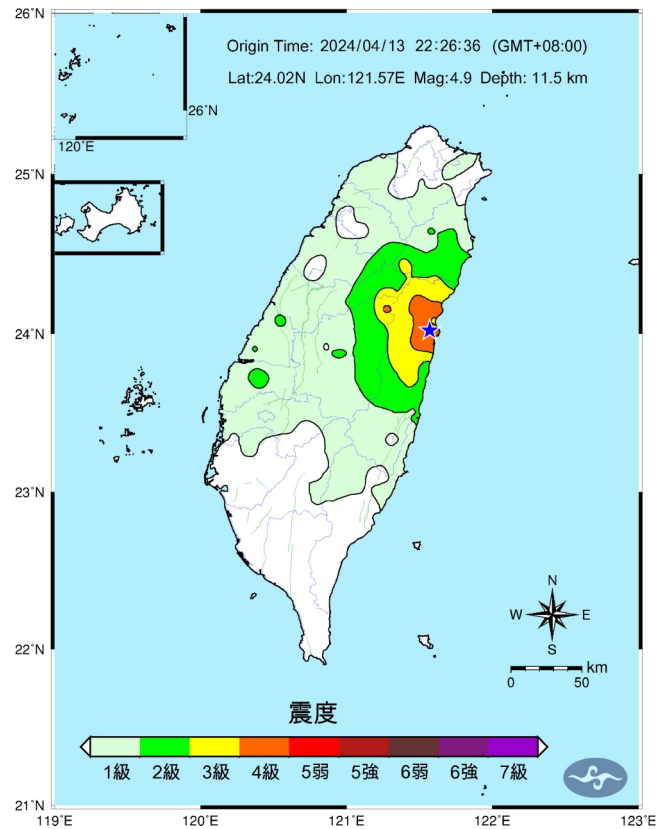
地震1 2024/04/13 22:26:36 震央:花蓮縣秀林鄉 ML4.9

假定中心位置:花蓮縣吉安鄉 於發震後 24 秒發布預警



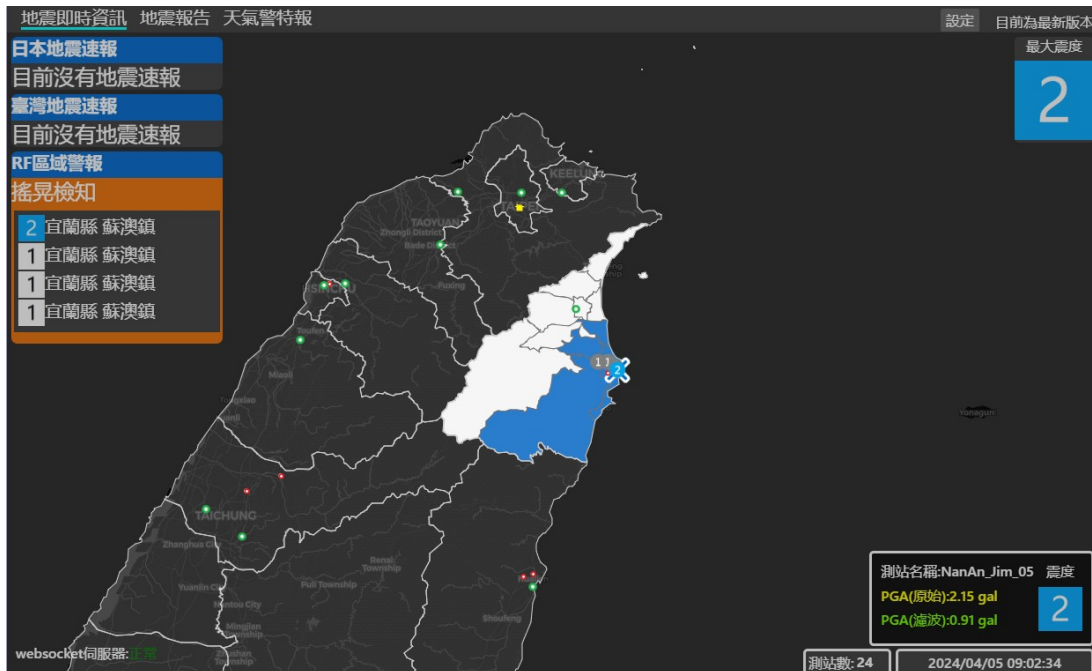
預計震度色塊說明：黃4級 / 綠3級 / 藍2級 / 白1級

該次地震之中央氣象署等震度圖：



地震 2 2024/04/05 09:02:03 震央:宜蘭縣近海 ML3.6

假定中心位置:宜蘭縣蘇澳鎮 於發震後 11 秒發布預警

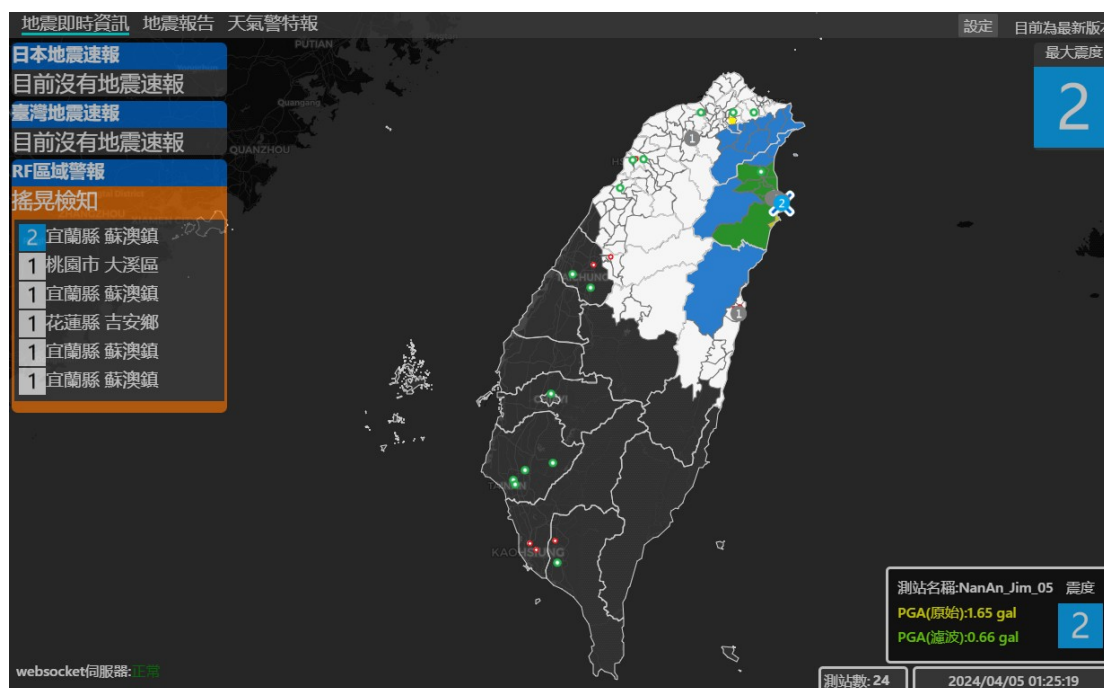


預計震度色塊說明：藍 2 級 / 白 1 級

(本次地震為小區域有感地震，氣象署未公布等震度圖)

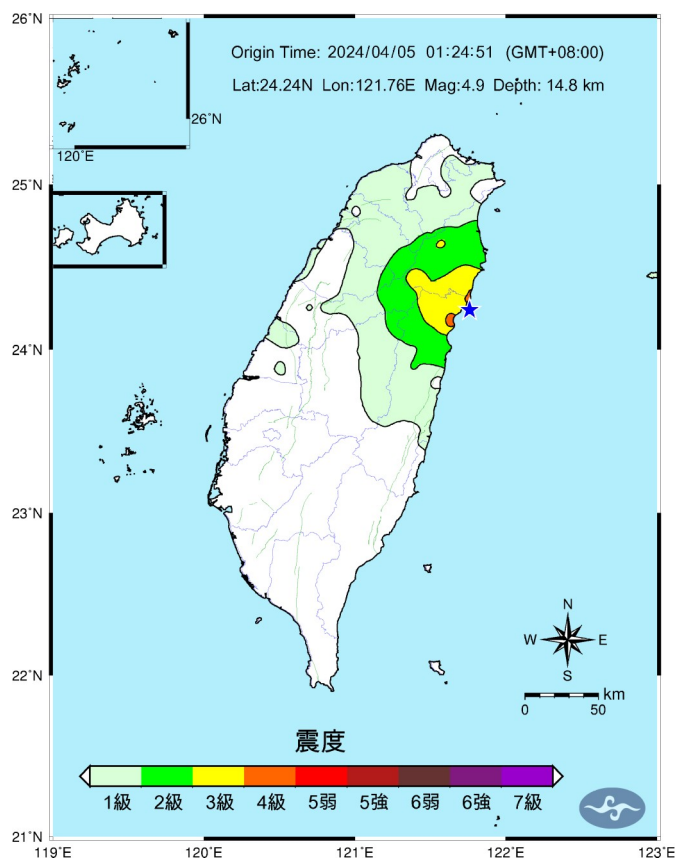
地震3 2024/04/05 01:24:51 震央:花蓮縣近海 ML4.9

假定中心位置:宜蘭縣蘇澳鎮 於發震後 14 秒發布預警



預計震度色塊說明: 綠 3 級 / 藍 2 級 / 白 1 級

該次地震之中央氣象署等震度圖:



由於如果要實現快速的地震預警，需要在一個小區域內有複數個地震儀，我們在宜蘭蘇澳設有較多地震儀，因此如果震央靠近宜蘭，預警速度就會較快。

另外，由於 MPU6050 於靜止時有約 $1\sim 3\text{cm/s}^2$ 的雜訊，我們發現當震波傳遞到較遠的地區時，地震儀測得的數值會大於實際值(地震波較小，可能會被埋在雜訊內，但是仍然可以被伺服器的 STA/LTA 算法判定為地震)，導致預警會隨著時間，有偏大的趨勢，為了解決這個問題，我們會考慮在未來將每個地震儀的 R 值改為進行加權平均計算(距離中心越遠的地震儀，權重越低)以得到更準確的 Rfinal 值。

未來應用：

由於 ESP32+MPU6050 組成地震儀有成本極低的特性，因此可以以低成本達到高密度的地震儀布置。

舉例來說，台灣的街道上有很多如台電或中華電信的電箱，如果有機會與上述相關單位合作，在每個電箱內設置地震儀，即可以達到比現有中央氣象署地震觀測網高數倍的地震儀裝置密度，可以加快地震預警的速度。

5. 參考文獻：

- 一、泛科學- 分秒必爭 強震即時警報系統：<https://pansci.asia/archives/60067>
- 二、中央氣象局強震即時警報原理：<https://scweb.cwa.gov.tw/zh-tw/guidance/eew/3>
- 三、P2P 地震情報 ラズパイ震度計：https://www.p2quake.net/rpi_seismometer/
- 四、台灣即時強地動觀測於地震預警之應用：<https://hdl.handle.net/11296/7v9j7d>
- 五、中央氣象局 103 年 8 月強震即時警報作業專刊(存檔)(公式求解使用的公式來源):
<https://web.archive.org/web/20160418141100/http://pweb.cwb.gov.tw/NEWSLETTER/Files/103Y/CWB10308.pdf>