

# 居家安全智慧地震盒

## 摘要

地震頻繁的台灣，即使有政府提供的即時地震防治廣播訊息系統，地震來臨時，居民們不一定能第一時間獲得通知並迅速反應，導致生命財產受到威脅。本文提及之居家安全智慧地震盒其設計包含「地震震度量測」、「模擬電器關閉」，由架設於地震盒中的簡易型加速度感測器，偵測指定場域空間的搖晃，透過機器學習協助判斷震度。隨後依照震度等級，分級控制模擬屋中的電器。本專題模擬地震來臨時，地震盒與模型屋的運作情形，控制屋中可能發生危險的電器，且展示實作。本裝置有安裝簡易且價格親民的特色，期望能和即時地震防治廣播訊息系統搭配，保護民眾安全。

## 1. 前言

台灣位於環太平洋地震帶上，目前最先進的儀器仍無法精準預測地震會在何時何地發生。在現實情況中，地震來臨時，居民們不一定能夠第一時間做出反應，且地震防治廣播訊息系統的範圍差異和訊息接收的延遲或遺失等情形也伴隨發生。地震災難的偵測與災害預防本是一件很艱難的任務，透過在用戶端也投入防災系統，相信在地震災害防治上，能收穫更多的成效。

## 2. 系統說明

此部分為討論並簡單介紹關於測量地震之觀念，來傳達本專題相關的資訊及概念。

### 2.1 地震儀的介紹和原理

當地震發生時，大地、房屋，乃至於空氣都會因此而晃動，任何儀器也不例外。在這種場合，如果能夠設計實現一個不會隨地震運動、保持平穩的參考點，再實現一個能夠紀錄參考點與其他搖晃物件相對位置的設備，就可以藉此知曉地震造成的具體搖晃過程。因此要藉科學瞭解地震波具體的震動方式、震動方向、振動週期，就得利用地震儀記錄地震波。

### 2.2 測量出地震能量大小之方法

一般來說，地震的震級是通過測量地震波中的某個震相(如 P 波、S 波、面波)的振幅來衡量地震相對大小的量，基本上有四種震級測量的方式：

- 近震震級 ML，(M 的意思是 Magnitude，即能量，L 代表 local)
- 體波震級 mb，(body wave magnitude，b 代表體波 body wave)
- 面波震級 Ms，(s 代表面波，surface wave)
- 矩震級 Mw，(Moment Magnitude)

而地震震級 ML 是經過大量震例的試驗，才得出任一地震的地方性震級 ML 的計算公式為：

$$ML = \log A(\Delta) - \log(A_0)(\Delta) \quad (1)$$
$$(30km \leq \Delta \leq 600km)$$

其中 ML 為近震震級，為任意一個地震的最大振動幅度，把它定義為地方性震級的量規函數，也是現今常被稱作的「芮氏規模」，代表著地震所釋放的能量。

### 2.3 關於震度的大小

地震震度 (earthquake intensity)，用以表述一地區受地震的影響程度，分成數級，級數愈高表示愈強烈，造成的災情也愈重。通常以地震晃動的加速度作為分級定義，是一種常用的地震度量。一次地震的規模只會有一個數值，但震度代表的是能量傳到地表後造成的影響，與地震深度、震央距離都有關係，一次地震在不同地方的震度會不同，同規模的地震也不一定會出現同樣的震度。

### 2.4 sktime

sktime 是一個專門用於處理時間序列問題的機器學習套件，與 scikit-learn 兼容，其特點為

- 擁有針對時間序列問題最先進的演算法
- 擁有各式各樣的時間序列特徵轉換器
- 可以整合各類不同的演算法，進行機器學習模型的訓練

這些特點可以有效解決各種時間序列問題。

#### 2.4.1 Time Series Classification

訓練實例 (training instances) 中，對於特徵標籤對 (feature-label pairs)

$$(x_i, y_i), i = 1 \dots N \quad (2)$$

$y_i$  takes a value from a finite set of class values

每個實例的特徵是一個時間序列 (Time Series)，

$$x_i = (x_i(t_1) \dots x_i(t_T)) \quad (3)$$

透過訓練資料找出一個  $\hat{f}$ ，輸入一段新的時間序  $x_*$  去準確地預測出新的目標值，即  $\hat{y} = \hat{f}(x_*)$ 。

#### 2.4.2 Reductions with time series

雖然時間序列上的各項任務定義了不同的學習方式，但彼此之間是有一定關聯的。我們可以透過 reduction 將任務轉化為較簡單的任務，透過組合簡易的解決方案來完成原始任務。時間序列問題可以透過特徵提取 (feature extraction) 將其轉化為表格數據，進而分析這些特徵來達成目標任務。

## 2.5 K-Fold cross validation

交叉驗證 (cross validation)，是將資料集切割成較小子集。先在一個子集上做分析，其餘子集則用來做後續驗證。透過資料間的重複採樣過程，是一種用於評估統計分系、機器學習模型對獨立測試數據集的泛化能力。

常使用的 K-Fold Cross Validation 透過將資料集分為 K 個子集。進行 K 次交叉驗證，每次選擇一個子集做為測試集，並將 K 次交叉驗證出的正確率取平均做為結果(圖 2.1)。

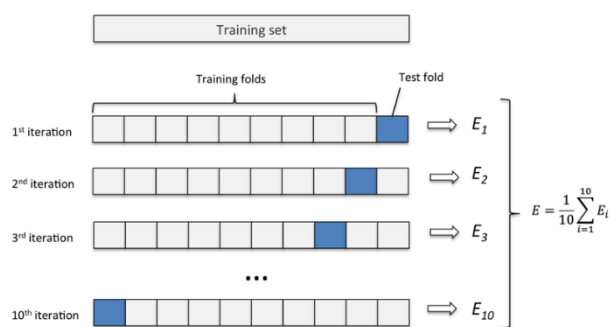


圖 2.1 K-Fold Cross Validation

## 3. 方法與設計

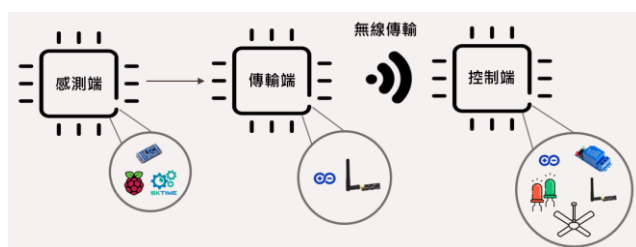


圖 3.1 地震盒與模型屋整體架構

### 3.1 感測端

利用 ADXL345 三軸加速度感測器做為偵測地震的感測器，此款感測器優點為經濟實惠且原理與造價昂貴的地震儀器相近，並且 ADXL345 是一款採用 I2C 和 SPI 串行接口的低功耗、3 軸 (可追蹤 X、Y 和 Z 軸上的加速度) 為電子機械系統的加速度傳感器，分辨率高(13 位)，在傾斜檢測應用中測量靜態重力加速度。本專題透過杜邦線連接樹莓派，運用 python 程式碼讀取三維方向上的加速度數值。由於精確度無法與高級儀器相比，本專題透過機器學習提升準確度並進行震度分級。

表 3.1-1 震度對應數值之單位為  $PGA (cm/sec^2)$  最大地表加速度

$$I(\leq 4) = 2.00 \times \log_{10}(PGA) + 0.70 \quad (4)$$

0 級	1 級	2 級	3 級	4 級	5 弱	5 強	6 弱	6 強	7 級
<0.8	0.8-2.5	2.5-8.0	8.0-25	25-80	80-140	140-250	250-440	400-800	>800

表 3.1-2 震度對應數值之單位為  $PGV (cm/sec)$  最大地表速度

$$I(\geq 5) = 2.14 \times \log_{10}(PGV) + 1.89 \quad (5)$$

0 級	1 級	2 級	3 級	4 級	5 弱	5 強	6 弱	6 強	7 級
<0.2	0.8-2.5	2.5-8.0	8.0-25	25-80	80-140	140-250	250-440	400-800	>800

### 3.2 傳輸端

此時樹莓派上所得的資料，透過傳輸線傳送至 arduino 上從而進行無線傳送進行遠端控制，而本專題採用 NRF24L01，因為其具備價格低廉、省電、程式設計簡單、高頻的資料傳輸率比較高且通訊可靠等優點，廣泛用於無線鍵盤、滑鼠、門禁系統...等無線通訊和控制產品。

### 3.3 控制端

將資料傳送到此遠端 arduino 上後，將寫好的程式碼寫入，利用繼電器的功能來關閉模擬電器。繼電器，電子控制元件，它具有控制系統(又稱輸入迴路)和被控制系統(又稱輸出迴路)，通常應用於自動控制電路中，它實際上是用較小的電流去控制較大電流的一種「自動開關」。故在電路中起著自動調節、安全保護、轉換電路等作用。

### 3.4 地震產生的破壞程度來關閉模擬電器

而關於地震時所帶來的傷害，根據交通部中央氣象局的聲明，4 級地震，基本上睡眠中的人都驚醒，物品可能傾倒，山區土石掉落，已有輕微災害產生，5 級以上至 7 級搖晃更劇烈，大量家具移動翻倒，耐震能力差的房屋損毀或倒塌，同時電器可能損毀造成爆炸等情況，因此需要及時做好防震措施，以減少震災威脅。

本專題將可能發生危險之電器，按照表 3.2 來關閉相應的電器，來降低生命財產損失的機會。

表 3.2 震度對應關閉電器之對照表

震度 \ 電器	0-3 級	4 級	5 級	6 級	7 級
吊扇	×	○	○	○	○
瓦斯	×	×	○	○	○
總電開關	×	×	×	○	○

× 表示維持電器運作 ○ 表示執行關閉電器的動作

### 3.5 模擬運作流程

本專題整體運作的流程如圖 3.2，感測端判斷出震度等級後，透過傳輸端傳送至控制端，依照對應級數關閉模擬電器。



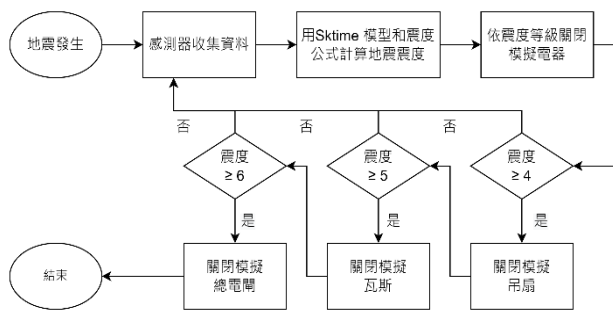


圖 3.2 整體運作流程圖

## 4. 模擬與實作成果及討論

### 4.1 資料蒐集

#### 4.1.1 資料來源

本專題透過桃園防災教育館內部的地震平台，進行原始數據的蒐集。由於防災教育館建立之時，早於中央氣象局採用新制震度分級的時間點，使用的是舊有震度分級制度。因此本專題所採用之分級依照 7 級震度分級來進行。

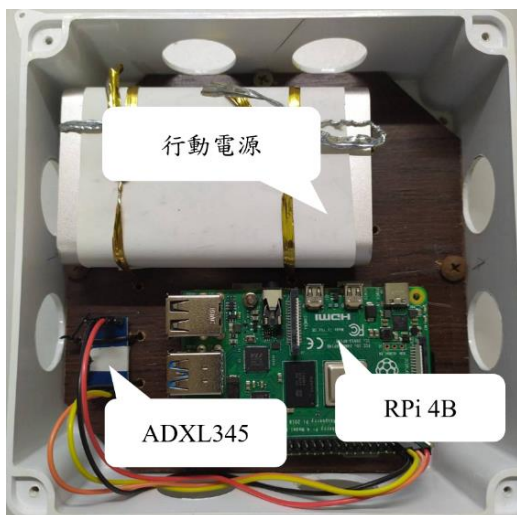


圖 4.1-1 蒐集資料地震盒之內部構造



圖 4.1-2 架設在地震平台上的地震盒

### 4.1.2 蒐集資料方式

#### a. 使用本地資料庫存取資料 (MariaDB)

MariaDB 是由一些 MySQL 原作者成立的 MySQL 開發社群發展的資料庫，在相容 MySQL 語法的同時，也新增了許多功能。藉由程式輸入指令的方式，我們可以將 ADXL345 讀取之數值存入本地資料庫中。

id	x	y	z	ts
1	0.980665	10.395049	2.0397832	2022-03-25 09:35:52
2	0.9414384	10.4342756	2.0005566	2022-03-25 09:35:52
3	0.980665	10.395049	2.0005566	2022-03-25 09:35:52
4	0.980665	10.4342756	1.96133	2022-03-25 09:35:52
5	0.980665	10.395049	2.0397832	2022-03-25 09:35:52
6	0.980665	10.395049	1.96133	2022-03-25 09:35:52
7	0.980665	10.4342756	1.9221034	2022-03-25 09:35:52
8	0.980665	10.395049	1.96133	2022-03-25 09:35:53
9	0.9414384	10.395049	1.96133	2022-03-25 09:35:53

圖 4.2 資料庫中所存取的資料

#### b. 透過 Integromat 存取 google sheet

Integromat 是一個先進的在線自動化平台，能夠整合各式各樣的物聯網服務，搭配其簡潔的圖形化編輯器，讓使用者能夠直觀的創建自動化工作流程。

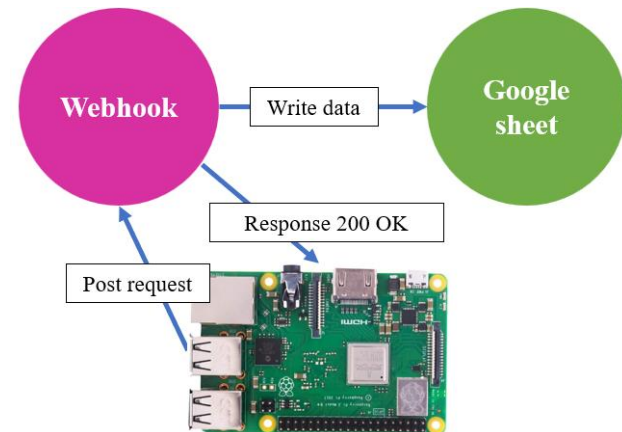


圖 4.3 使用 Integromat 建立自動化工作流程，將接收到的資料寫入 google sheet

透過發送 request 將 ADXL345 讀取之數值傳送至建立好的工作流程，即可將資料儲存至對應的 google sheet 中。

x	y	z	timestamp	class		
1.0198916	1.0198916	9.610517	9.6497-2.0005566	-2.039	2022-03-24 23:43:52	1
0.980665	0.980665	9.610517	9.6497-2.0397832	-2.000	2022-03-24 23:44:19	1
1.0198916	1.0198916	9.610517	9.5712-2.0397832	-2.039	2022-03-24 23:44:22	1
1.0198916	1.0198916	9.649743599999	-1.96133	-2.00055	2022-03-24 23:51:35	1
1.0198916	1.0983	9.649743599999	-2.0005566	-2.079	2022-03-24 23:51:53	1

圖 4.4 google sheets 存入的資料

### 4.2 機器學習

由於 ADXL345 這類簡易型加速度感測器，其精度相較於專業儀器來說相差甚遠，並不適合直接透過中央氣象局提供之震度計算公式進行計算。為此本專題使用機器學習的方式，藉由偵測加速度量值在時間上的變化，來進行震度的判斷。這方面可以將其視為一個時間序列上的分類問題 (Time Series Classification)。為此，本專題選擇 sktime 這個機器學習套件來進行實作。

### 4.2.1 資料前處理

透過對 ADXL345 所蒐集到三維方向上的加速度，公式(6)計算出各個時間點上加速度的相對量值並透過單一變量時間序列 (Univariate Time Series)的形式進行模型訓練。

$$acc_{relative} = \sqrt{(x_{acc} - x_{pre})^2 + (y_{acc} - y_{pre})^2 + (z_{acc} - z_{pre})^2} \quad (6)$$

### 4.2.2 模型訓練

圖 4.6 為整體訓練流程，透過對時間序列數據進行特徵提取，並將提取出的特徵傳入時間序列分類器進行訓練。

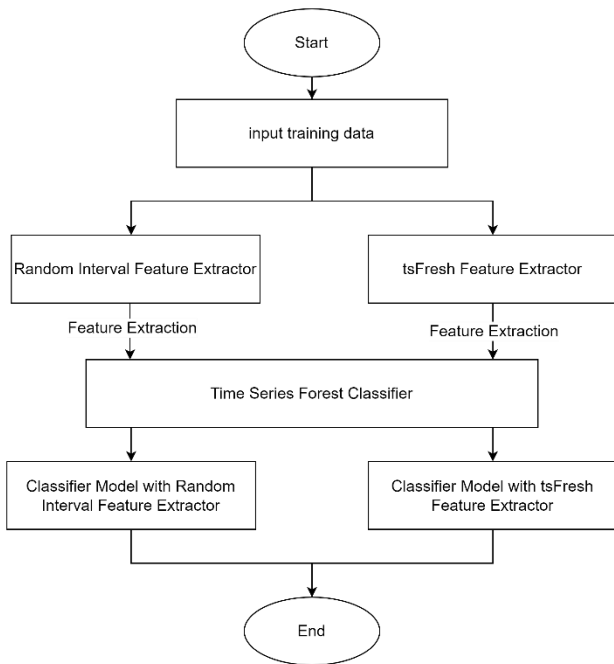


圖 4.5 模型訓練流程

#### a. 特徵提取

- Random Interval Feature Extractor：將一段時間序列隨機切成多個時間片段並從中提取出特徵，例如最大值 (Max)，最小值 (Min)，數值變化幅度。
- tsFresh Feature Extractor：基於 transformer 架構出的模型，透過深度學習的方式提取時間序列中的各項基本特徵，例如峰值數量 (Number Peaks)，平均值 (Mean)甚至是更為複雜的特徵，例如時間反轉對稱統計量 (time reversal symmetry statistic)。

#### b. 時間序列分類

- 時間序列森林分類器 (Time Series Forest Classifier)：基於時間間隔特徵樣式的分類模型，藉由分析各時間片段中包含的資訊，找出較為顯著的特徵並進行分類。

### 4.2.3 實作成果

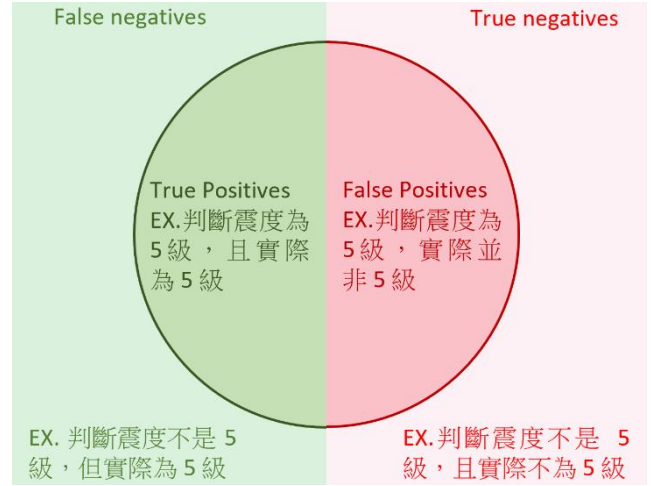


圖 4.6 進行震度分類時，會遇到的四種狀況

#### a. 整體準確率 (Accuracy)

準確率代表的是模型分類正確數量占整體的比例，其可以表示為：

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (7)$$

我們可以從圖 4.7 中，觀察出通過 tsFresh 提取的特徵資訊，相較於隨機切分時間片段的方式，訓練出的模型其準確率均略高於後者。能夠判定透過 tsFresh 提取的特徵訊息使分類器對於時間序列分類問題的表現較佳。

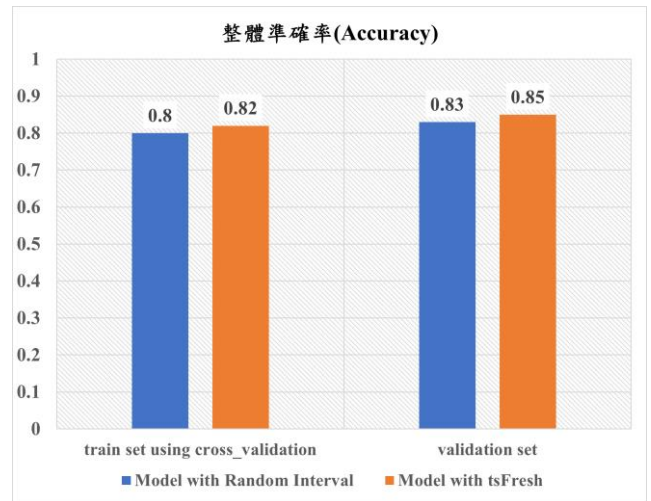


圖 4.7

#### b. 模型評估報告 (classification report)

在模型評估報告中，衡量模型好壞的評價指標如下：

- 精確率 (Precision)：公式(8)，該指標表示的是模型分類為 positive 的結果中，有多少是正確的。

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$



- 召回率 (Recall): 公式(9), 該指標表示了實際為 positive 的資料, 有多少經模型分類為 positive。

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

- F1-score: 公式(10), 該指標是精確率和召回率的調和平均數, 作為概略的指標兼顧兩者來表示模型的表現。

$$F_1 = \frac{2PR}{P + R} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (10)$$

$P$ : Precision,  $R$ : Recall

圖 4.8-1 及圖 4.8-2 分別代表運用兩種不同方式訓練出的模型, 呈現的模型評估報告。

	precision	recall	f1-score	support
0~2	0.81	0.88	0.85	25
3	0.76	0.76	0.76	25
4	0.95	0.84	0.89	25
5	0.81	0.84	0.82	25
6	0.76	0.76	0.76	25
7	0.88	0.88	0.88	25
accuracy			0.83	150
macro avg	0.83	0.83	0.83	150
weighted avg	0.83	0.83	0.83	150

圖 4.8-1 使用 Random Interval Feature Extractor

	precision	recall	f1-score	support
0~2	0.85	0.88	0.86	25
3	0.79	0.76	0.78	25
4	0.92	0.92	0.92	25
5	0.85	0.92	0.88	25
6	0.82	0.72	0.77	25
7	0.85	0.88	0.86	25
accuracy			0.85	150
macro avg	0.85	0.85	0.85	150
weighted avg	0.85	0.85	0.85	150

圖 4.8-2 使用 tsFresh Feature Extractor

透過圖 4.9, 可以更直觀的看出在整體表現上, 運用 tsFresh 的模型優於另一模型。

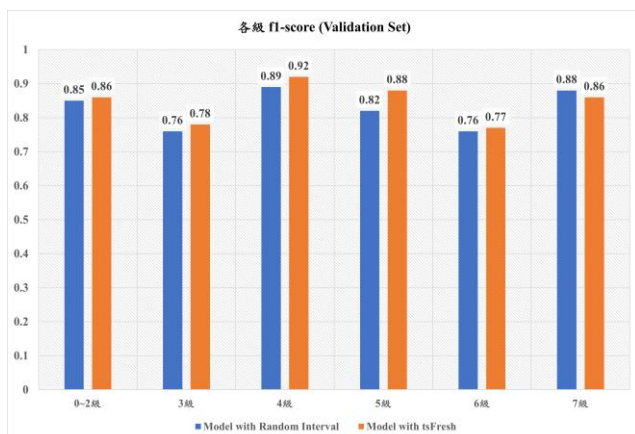


圖 4.9 兩種模型 f1-score 的對比

### c. 執行時間比較

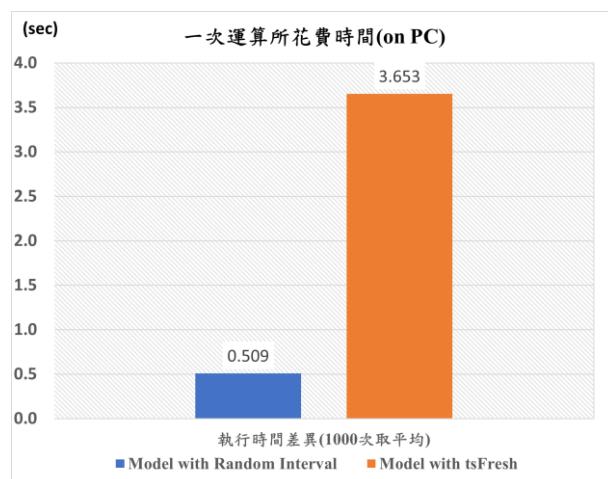


圖 4.10 花費時間比較

考量到地震感測並進行關閉電器, 需要準確、即時性的回應, 因此我們採用了準確率有一定水平且能夠快速做出回應的時間序列森林分類器搭配 Random Interval Feature Extractor 所訓練出的模型用於居家安全智慧地震盒判斷地震震度。

### 4.3 居家安全智慧地震盒與模型屋

圖 4.11 及圖 4.12 為本專題成果之展示, 將感測端之智慧地震盒所接收的地震資訊, 經由機器學習的模組判斷震度後, 以無線傳輸的方式將所得之級數, 輸送至模型屋內部控制端, 並以此來關閉何種模擬電器運作, 達到目標效果。

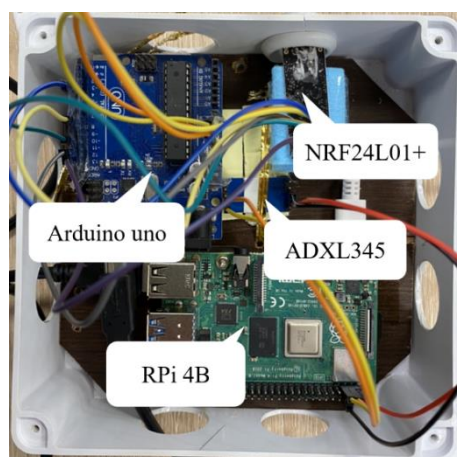


圖 4.11 居家安全智慧地震盒



圖 4.12 模型屋

## 5. 結論

本專題對地震災害防治應用，提出一套具智慧感測的居家安全模擬屋，模擬居家地震反應的功能，即當地震發生時，使用者可以使用該系統進行即時地震感測，透過訓練好的機器學習模型，分析地震震度，對模擬電器進行自動化的分級關閉控制，以此減少地震對民眾的生命財產傷害。

未來希望將模擬的電器實體化。透過將實體電器連接 arduino 和繼電器並接到家用插座，由 arduino 依地震級數分級去控制繼電器的導通，達到開關實體電器的效果。

## 參考資料

- [1] Löning, Markus, et al. "sktime: A unified interface for machine learning with time series." arXiv preprint arXiv:1909.07872 (2019)
- [2] SKtime Documentation  
<https://www.sktime.org/en/stable/>
- [3] tsFresh  
<https://github.com/blue-yonder/tsfresh>
- [4] A Brief Survey of Time Series Classification Algorithms  
<https://towardsdatascience.com/a-brief-introduction-to-time-series-classification-algorithms-7b4284d31b97>
- [5] 機器學習中的交叉驗證 (cross validation)  
<https://blog.csdn.net/lhx878619717/article/details/49079785>
- [6] cross-validation：從 holdout validation 到 k-fold validation  
<https://blog.csdn.net/lanchunhui/article/details/50522424>
- [7] K-fold Classification  
<http://karlrosaen.com/ml/learning-log/2016-06-20/>
- [8] MariaDB tutorial  
<https://www.mariadbtutorial.com/>
- [9] Send data from RPi to google sheets using Integromat  
<https://youtu.be/JjytGtMsePw>
- [10] Arduino 入門教學：讀取 ADXL345 三軸加速度計  
<https://lolikitty.pixnet.net/blog/post/165475299>
- [11] 地震儀  
<https://www.wikiwand.com/zh-hk/地震儀>
- [12] 地牛翻身新指標—震度分級知多少  
<https://reurl.cc/A78RnQ>
- [13] 震度新分級 應變更實用—交通部中央氣象局新聞稿  
<https://www.cwb.gov.tw/Data/service/Newsbb/CH/1081218earthquakepress.pdf>
- [14] 樹莓派如何測量加速度，使用 ADXL345 加速度傳感器  
<https://www.labno3.com/2021/03/20/raspberry-pi-accelerometer-using-the-adxl345/>
- [15] nRF24L01 無線收發器模組與 Arduino 通訊實驗  
<https://swf.com.tw/?p=1044>
- [16] [Arduino 範例] 繼電器 (Relay) 的使用  
<https://blog.jmaker.com.tw/arduino-relay/>
- [17] 無線資料傳輸：NRF24L01  
<http://pizgchen.blogspot.com/2020/01/nrf24l01-1100.html>
- [18] A Look at Precision, Recall, and F1-Score  
<https://towardsdatascience.com/a-look-at-precision-recall-and-f1-score-36b5fd0dd3ec>
- [19] Evaluation Metrics：分類模型  
<https://medium.com/ai-反斗城/evaluation-metrics-分類模型-ba17ad826599>