

2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

複賽作品說明書

隊伍名稱： 麥克森的魔法

作品名稱： 使用小型麥克森干涉儀辨識手寫字母

隊 員： 蔡昕翰、葉安之

指導老師： 李柏翰

科學概念1： 麥克森干涉是光的同調光雙向波動在遇到干涉物時會產生相位差產生干涉現象。這現象是由於光波的波長與物體之間的光程的相位差有關，可以透過對光的波長進行測量來研究物質的結構和性質。麥克森干涉是用來研究物質的結構和性質的重要工具，也因其對振動敏感的特性，可以手寫字母時所產生的振動所產生的干涉圖形辨識手寫字母。

科學概念2： 製作電路板時，需要進行製版、蝕刻等步驟。其科學原理就是簡單的化學反應。製版有很多方法，可以用顯像的，也可以用熱轉印等方法，其核心想法就是將電腦上的電路圖以油墨或碳粉等物質放到電路板上。接著將製版後的銅箔板放入蝕刻液中，成分可以是雙氧水-鹽酸溶液或氯化鐵蝕刻液等。

註：複賽作品說明書內文總頁數最多10頁(不含本封面)

複賽作品說明書內文

(最多10頁)

1. 發想動機：

最近在物理課上到近代物理，上到乙太風的時候，提到了麥克森干涉儀，也講到其對振動敏感的特性。剛好學校的實驗室有一台麥克森干涉儀，便想到說不定能將整套系統縮小，變成一個小型裝置，並即時錄製干涉圖形，在寫字時可以用 Arduino 結合 AI 偵測出所寫字母。

2. 硬體及電路架構圖：

麥克森干涉的圖形若投影到紙上為一個同心圓，因此偵測此同心圓的一條半徑就可以推論出整個圖形，所以我們找到一個叫做線性 CCD 的電子元件可以偵測一條線上的光，我們使用 Toshiba TCD1304，他的資料表[1]內有畫出典型驅動電路原理圖：

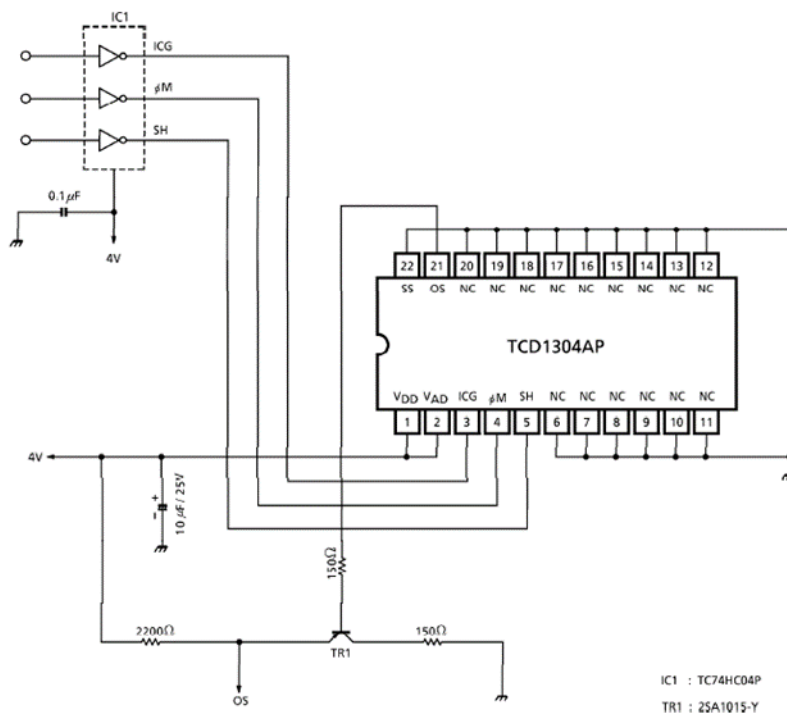


圖1 TCD1304驅動電路原理圖[1]

將原理圖畫到電路設計軟體 KiCad 上，可以設計出 pcb layout，並使用3D 模擬

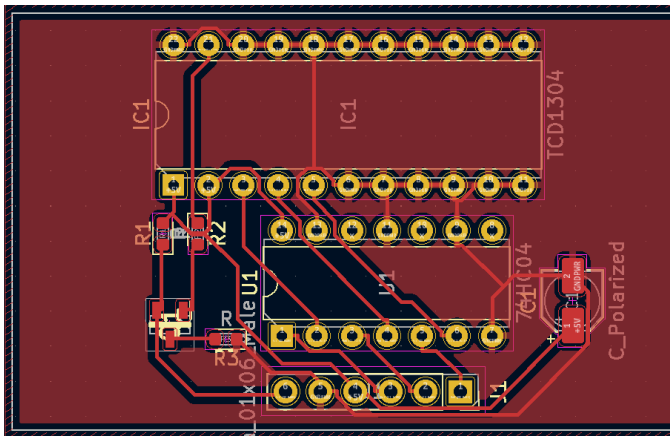


圖2 TCD1304驅動電路圖

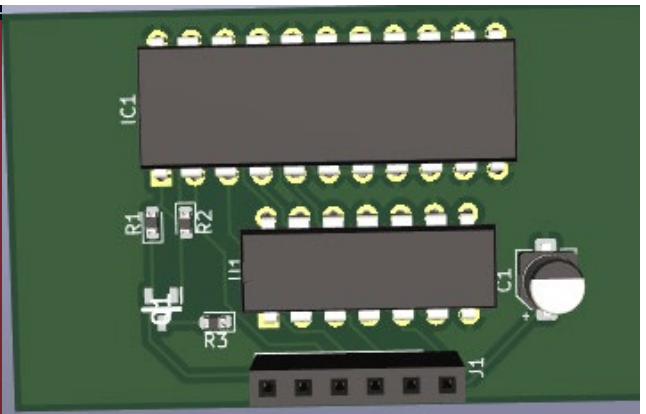


圖3 TCD1304驅動電路板3D圖

電路板下方的 J1 是連接到 Arduino 開發版上的孔，由右到左分別為 SH(曝光訊號)、fM(主時鐘)、ICG(開始輸出訊號)、VCC(電源高)、GND(電源低)、OS(輸出類比訊號)。

基於效能與 IO 控制速度等原因，我們的開發板使用 Arduino Nano RP2040 Connect，其中央處理器(Central Processing Unit, CPU)運作時脈為133MHz，其類比數位轉換器(Analog-to-digital converter, ADC)獨立運作於48MHz，能有足夠的效能讀取並處理資料。

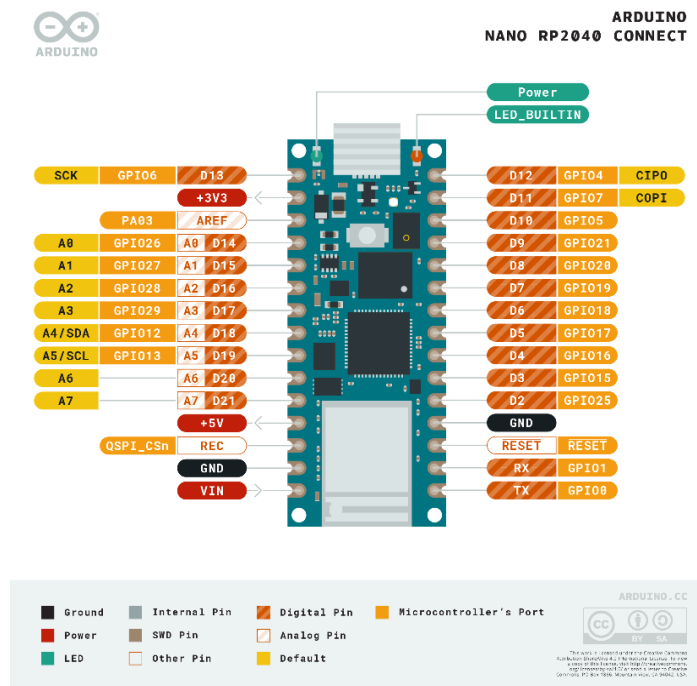


圖4 Arduino Nano RP2040 Connect 腳位圖[2]

麥克森干涉儀是利用光有波的特性，在光程差較接近波長整數倍，則能產生亮紋

(建設性干涉)；若較接近半波長的奇數倍，則產生暗紋(破壞性干涉)。在半鍍銀鏡到光檢測器這段會產生干涉。

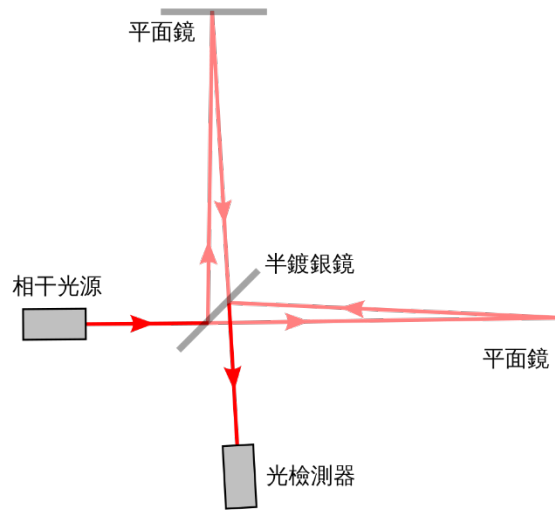


圖5 麥克森干涉儀光路圖[3]

我們的3D模型長得像這樣

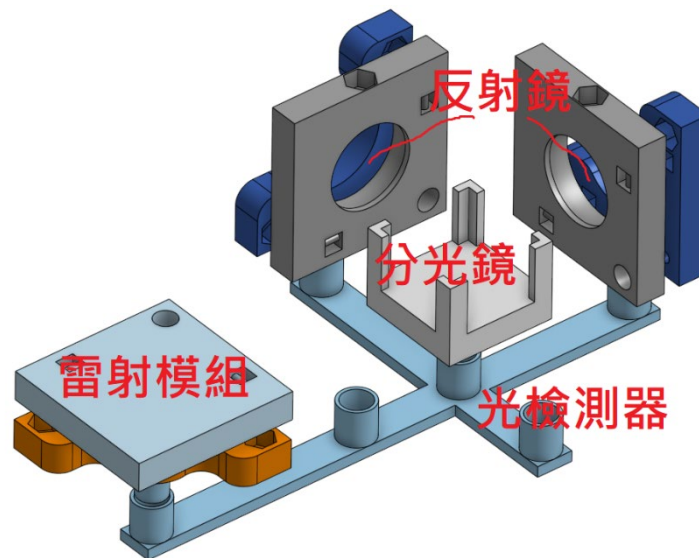


圖6 小型麥克森干涉儀3D模型

不過，光有模型是不夠的，實體做出來後才有用，因此特別感謝附製工坊讓我們免費使用3D列印，完成作品開發。

3. 作品使用說明及應用：(可透過圖表或照片說明之)

首先，將各個零件安裝到小型麥克森干涉儀上，並將固定螺絲鎖緊。

接著把雷射模組與其正對面的反射鏡調整器安裝上去，並將固定螺絲鎖緊。調整微調螺絲直到雷射模組射出的光與反射鏡反射的光重合。

將分光鏡與另一個反射鏡調整器安裝，並鎖緊固定螺絲。調整反射鏡到與牆上的光點重合，此時應有非常小的麥克森干涉圖形。

將凸透鏡安裝好，並調整到牆上有清楚干涉圖形。

將光檢測器(TCD1304)模組安裝好，並連接到 Arduino 上。

將 Arduino 接上電腦，用於供電並接收 Arduino 計算結果。按按鈕會開始錄製，再按一次會停止錄製。錄製完成後會有序列資料用 USB 回傳給電腦，在 Serial Monitor 上可以看到回傳的結果。

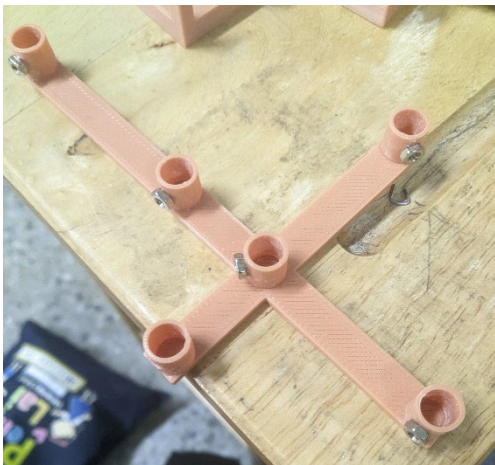


圖7(a) 基底支架

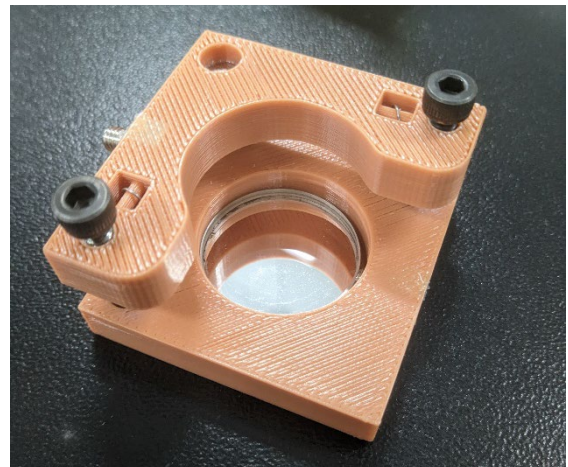


圖7(b) 鏡片微調器

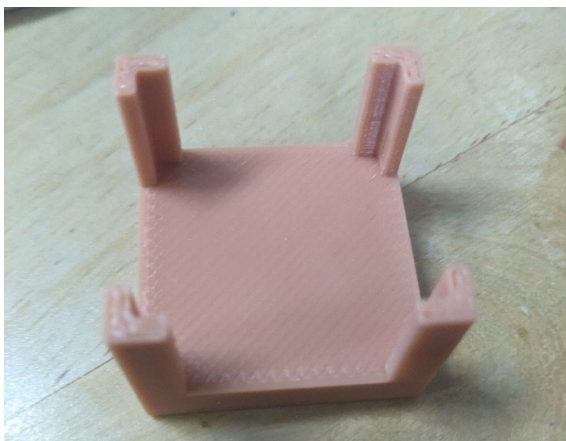


圖7(c) 分光鏡架

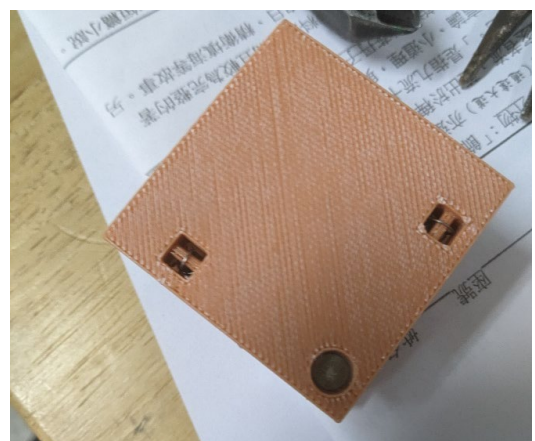


圖7(d) 雷射模組微調器

4. 作品創意性：(最多300字)

本作品是結合了 AI 與 Arduino 運行 Tensorflow lite micro 的應用，並由物理課上學到的麥克森干涉進行手寫字母振動辨識，不僅可以用於現場教學，還可以應用於現實生活中需要偵測手寫的環境，例如英文筆記辨識，光學的干涉系統，結合 Arduino 線路，再加上 AI 的深度學習，是一個結合創意發想的新嘗試。

而且，這可能會讓我們對材料科學可能會有近一步的認識。若我們在光檢測器對面的反射鏡前面放置一個待測物體，再將反射鏡往後慢慢推進，光檢測器的每一幀或許都會有不同的圖形出現，若我們將其圖形記錄下來，是不是就可以想成一個類似拉曼光譜儀的 FFT 裝置？因此，這個主題是非常具有發展潛力的。

5. 作品成果報告

要製作一個電路板[4]，首先要做的是將銅箔板印上電路，可以是碳粉或油墨等。而印上去最簡單的方法就是熱轉印。首先要將一張光滑的紙(用廣告紙就行了)印上電路，接著將紙的印墨面與銅箔面接觸，拿去加熱，並在加熱時加壓。此處攝氏溫度130度左右就行了(過高也不會怎麼樣)，不過要大力的壓。

接著將紙與銅箔板一起泡水約兩分鐘，之後將表面的紙輕輕的剝掉就行了。

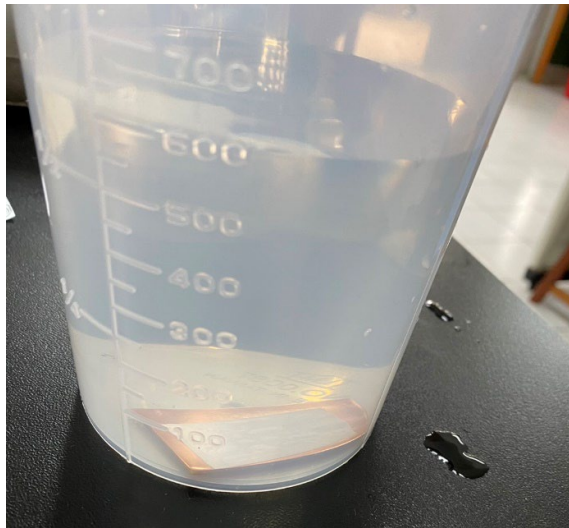


圖8 泡水 pcb

現在需要有銅的地方都敷上一層墨了，就可以進行蝕刻了。調配體積比例3:1:4的12M 鹽酸:9.8M 雙氧水:水。依據我們的實驗，鹽酸越多，他會蝕刻的越快。隨著丟進去泡的時間越久，他會變得越來越綠。

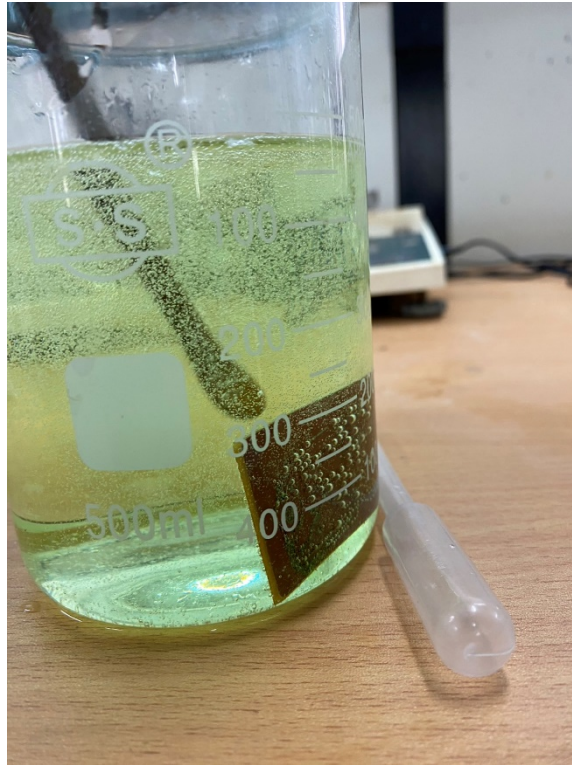


圖9 泡在鹽酸雙氧水混和液裡的 pcb

要讀取 TCD1304的輸出，若只使用一般的 `analogRead()` 絕對沒辦法，因為 `analogRead` 很慢。所以我們使用的方法是用直接讀取記憶體(Direct Memory Access, DMA)控制 `ADC[5]`，這樣就能跳過 `analogRead` 需要通過 CPU 所浪費的時間，因為 ADC 每次跑要96個 cycle，所以可達到理論最高速0.5MHz(48MHz/96)。依據[1]，所需資料速率最低是0.2MHz，一般情況下是0.5MHz。

我們的辨識模型是一個基於 CNN 和 LSTM 的模型，模型如下圖

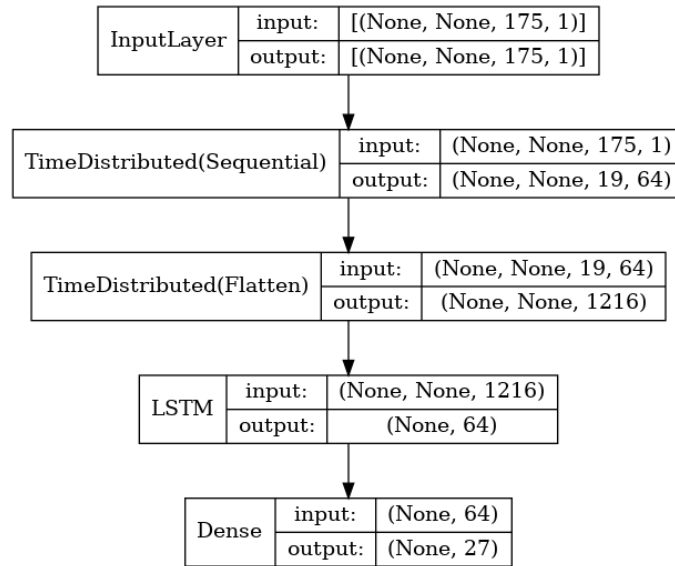


圖10(a) 模型架構圖

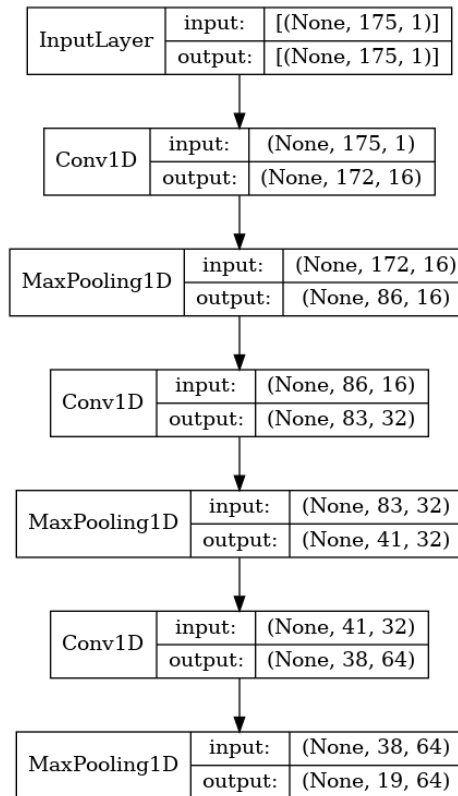


圖10(b) 上面圖 a 的 Sequential(第二層)模型架構圖

卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)是專門用於影像處理等問題的絕佳利器，能找出一張圖(矩陣)的重點。而長短期記憶模型(Long Short-Term Memory, LSTM)是遞歸神經網路(Recurrent Neural Networks, RNN)結合長期記憶的模型。在處理序列資料時，常常會拿他來解決問題，如 NLP 問題、影片

辨識等方面。而我們的資料也算是一維的圖片，又是序列資料，因此就產生出了這種叫做 LRCN[6]的架構。

卷積神經網路會對一個圖片進行多次卷積，既然要有卷積就會有 kernel。我們設定第一層 Conv1D 的 kernel 取16個，第二層取32個，第三層取64個，並且在每一層 Conv1D 後面接上一個 MaxPooling 減少資料量。

接著我們把所有 feature 攤平成一維的，並把它們放入 LSTM 中。LSTM 有長期記憶與短期記憶，每次讀入資料前，會有一個 forget gate 控制要把多少短期記憶放入長期記憶內，接著會讀入資料進去短期記憶，並且有一部份會被 input gate 放入長期記憶中，最後由 output gate 計算出下一個短期記憶。而最後一個 cell 輸出的短期記憶會被輸入全連接層，最後輸出每個 label 的機率。

我們的資料集使用 RaggedTensor 作為儲存容器，形狀為(batch_size, frame, pixel, channels)=(?, ?, 175, 1)

這個模型在測試資料集得到了約92.5%的正確率，以下為我們的訓練歷程圖

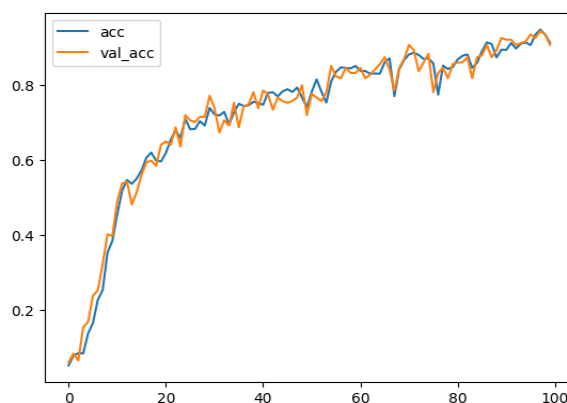


圖11 模型正確率圖

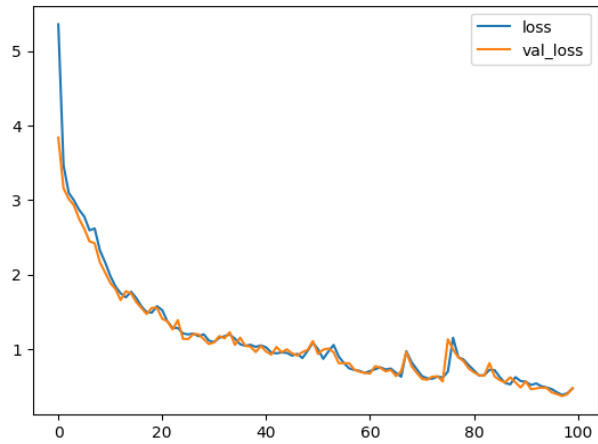


圖12 模型 loss 圖

以下為我們的模型在測試資料集的混淆矩陣

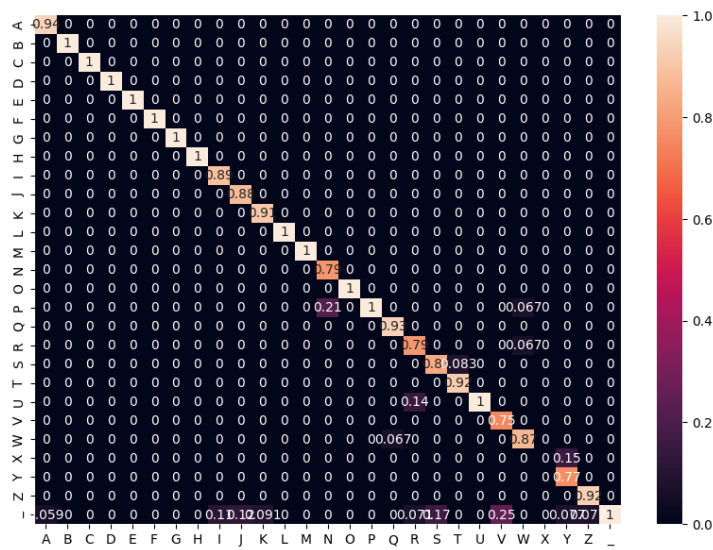


圖13 模型混淆矩陣

這個模型參數量僅約34萬，非常輕量，可部署至 Arduino Nano RP2040 Connect 上，並且能達到高水準辨識正確率。

6. 參考文獻：

- [1] Toshiba, “TOSHIBA CCD LINEAR IMAGE SENSOR CCD(Charged Coupled Device)”, TCD1304AP datasheet, Jun. 1997
- [2] Arduino Nano RP2040 Connect Pinout by Arduino, retrieved from <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-rp2040-connect>. Licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International

License.

- [3] Stannered, “File:interferometer zh hant.svg,” Wikimedia Commons, 31-Aug-2010. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interferometer_zh_hant.svg. [Accessed: 17-Apr-2023].
- [4] Suraj Gehlot, 20-Mar-2018 How to Make a Printed Circuit Board (PCB) <https://maker.pro/pcb/tutorial/how-to-make-a-printed-circuit-board-pcb>
- [5] V. Hunter Adams, 17-Jan-2023 Synthesizing and Synchronizing Snowy Tree Crickets [Source code] https://github.com/vha3/Hunter-Adams-RP2040-Demos/tree/master/Lab_1#synthesizing-and-synchronizing-snowy-tree-crickets
- [6] J. Donahue et al., “Long-Term Recurrent Convolutional Networks for Visual Recognition and Description,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 39, no. 4. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 677 – 691, Apr. 01, 2017. doi: 10.1109/tpami.2016.2599174.

