tinyML 微型機器學習

進一步理解資料

2022 全國大專校院智慧創新暨跨域整合創作競賽

曾吉弘博士

CAVEDU Education 負責人
MIT CSAIL 訪問學者 (2017 – 2018)
台科大 資訊工程學系助理教授(兼任)
NVIDIA Jetson AI 大使

nissin@cavedu.com
chtseng@mit.edu

分享主題

講者將分享如何**將機器學習概念搭配 Wio Terminal與常見感測器帶入K12教學現場**。

以動手做課程為主軸，學生將**獲得對於傳統感測器資料的全新觀點**，完成更有趣的專題應用

教師研習、學期課程

物聯網空間／功能規劃

專題設計／製作

IOT

雲服務應用

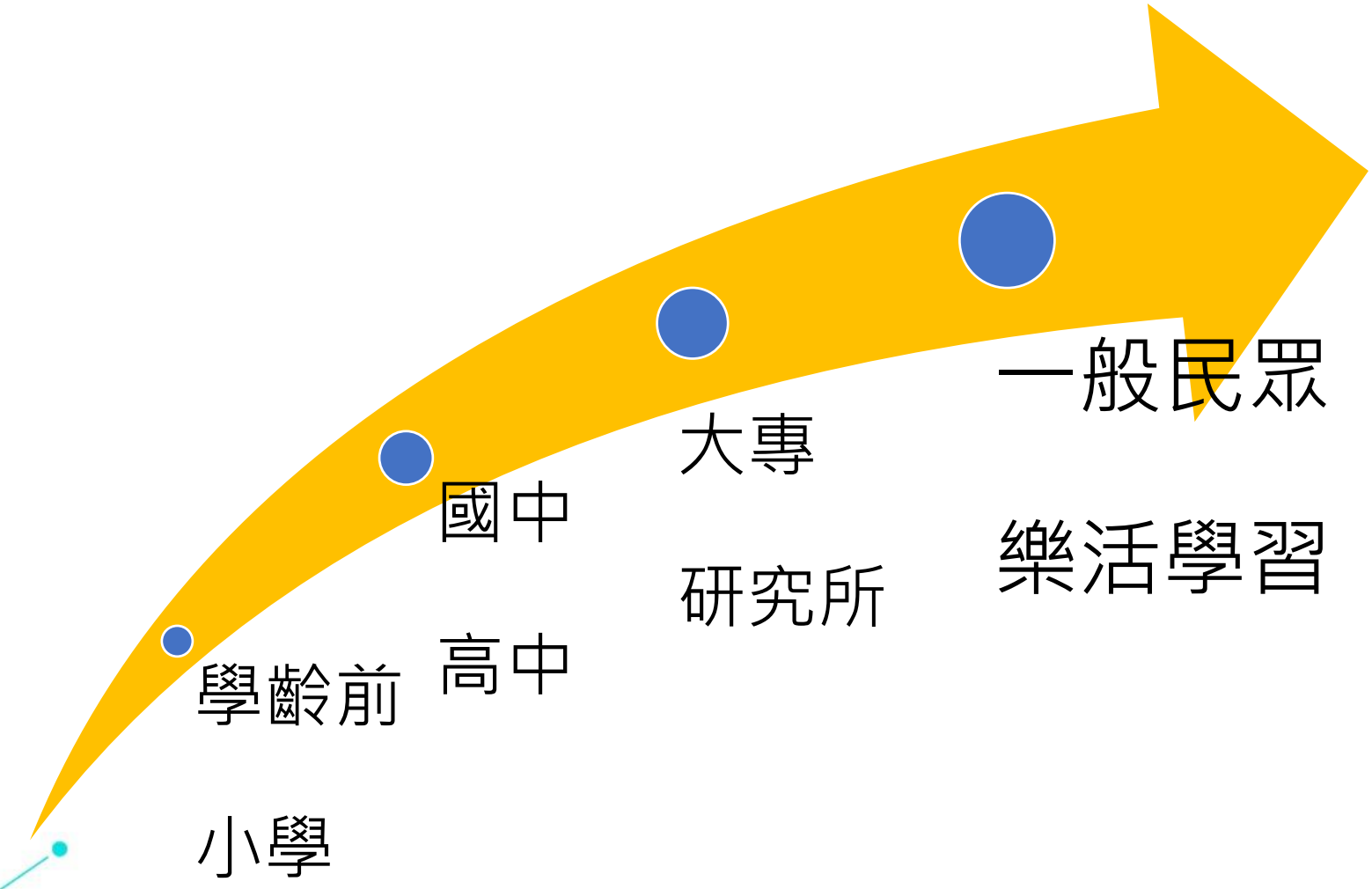
CAVEDU 教育團隊
CAVEDU Education

書籍撰寫／出版

開發板與周邊商品

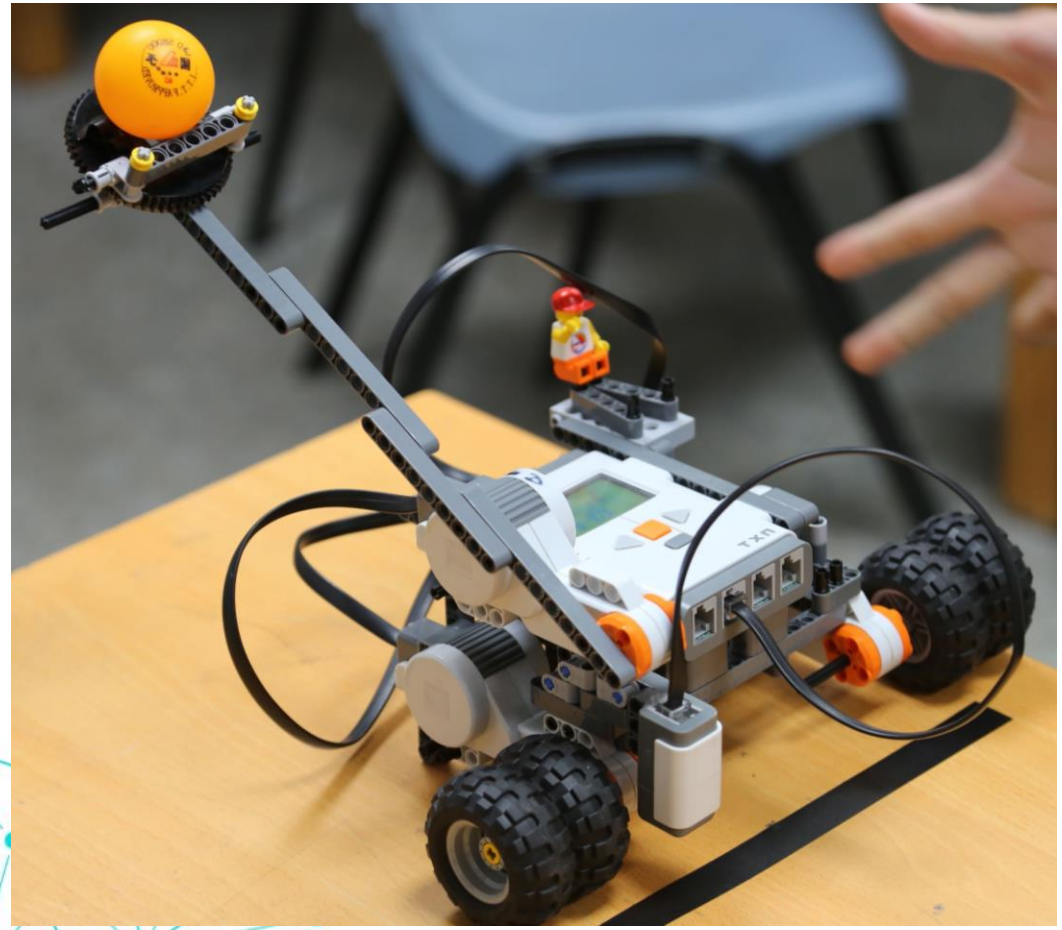
AI人工智慧開發

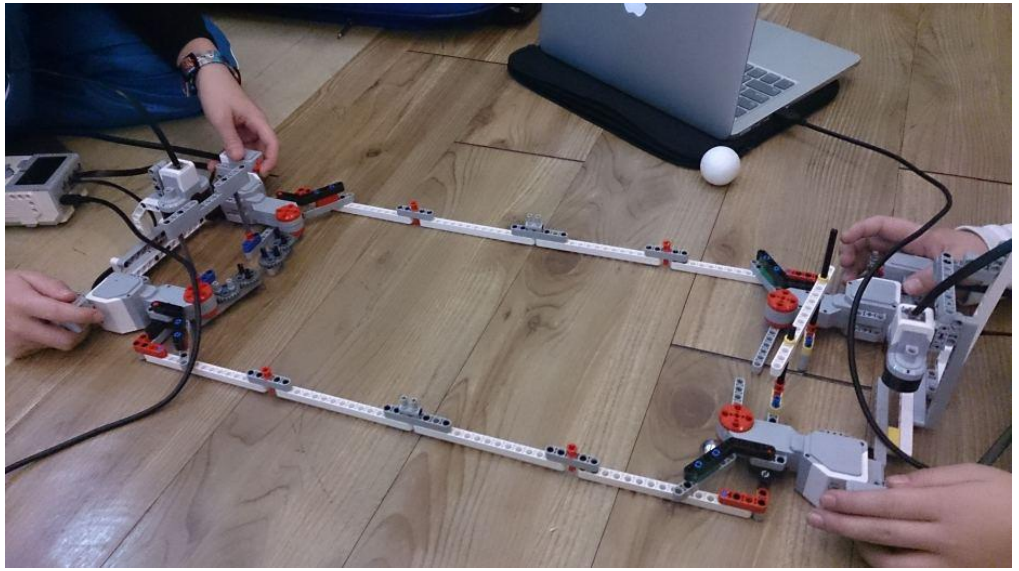
針對各年齡

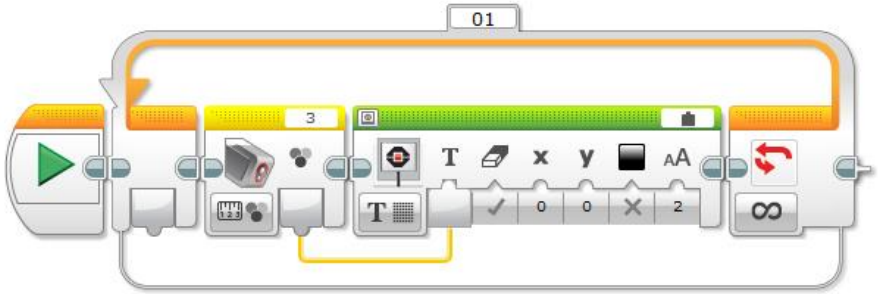


學齡前 / 小學低年級
創意積木與動力機械

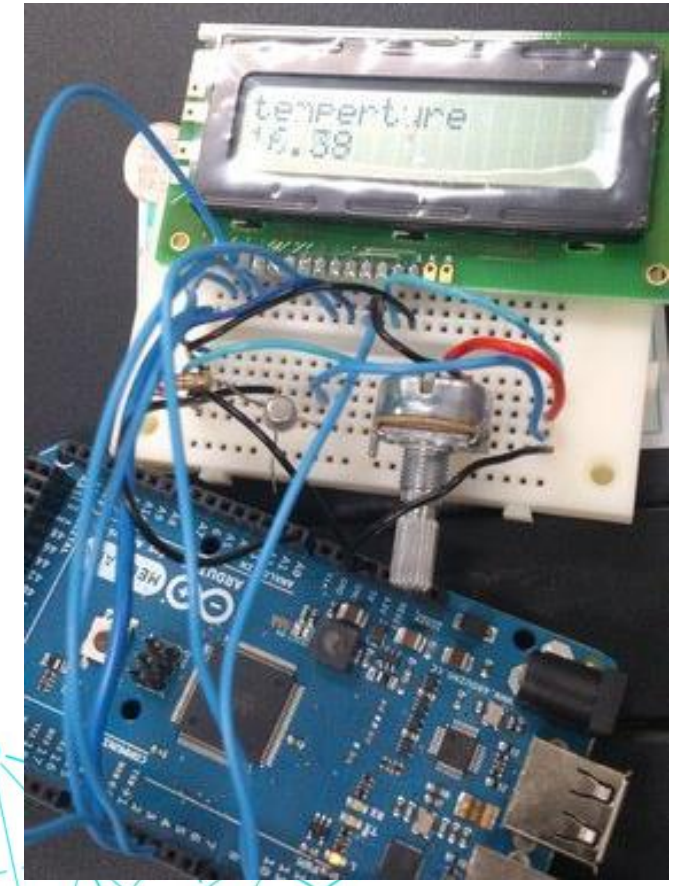
小學中高年級 – 模組化機器人套件

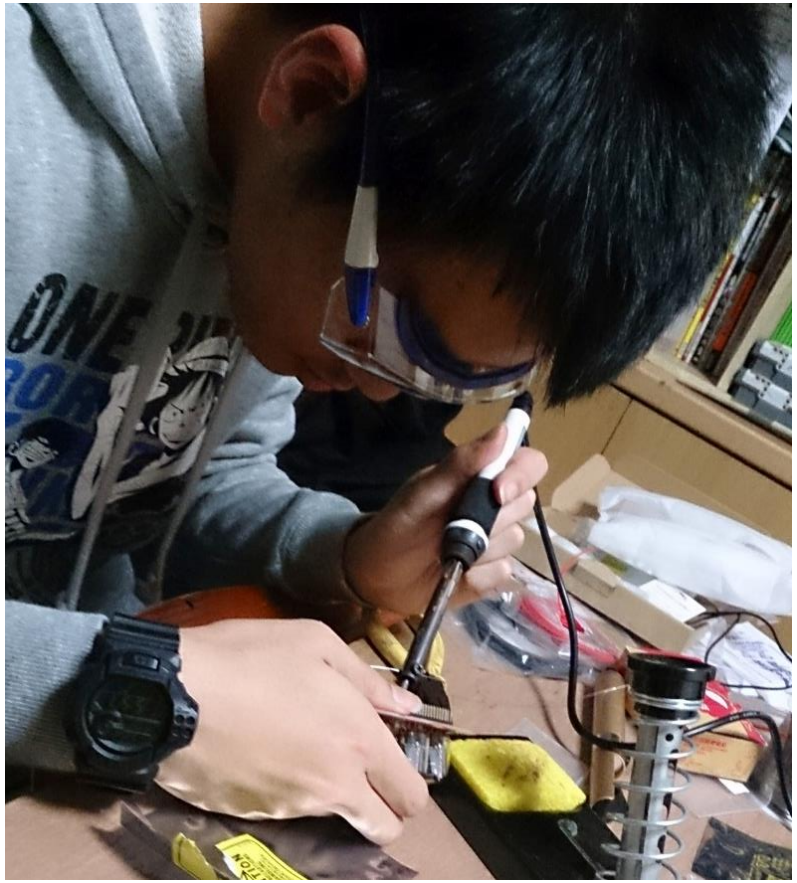


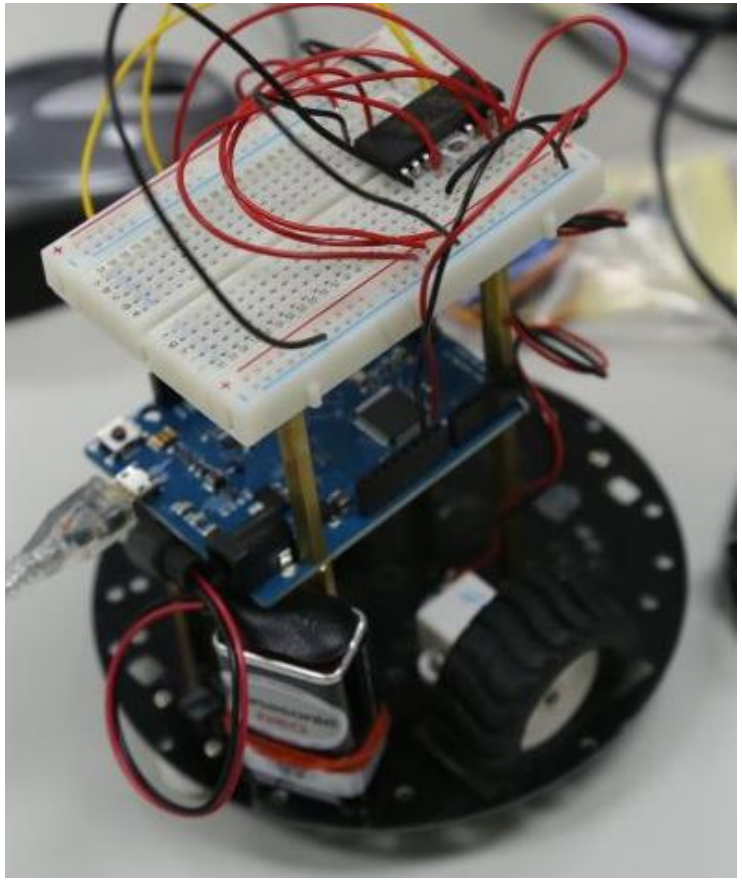




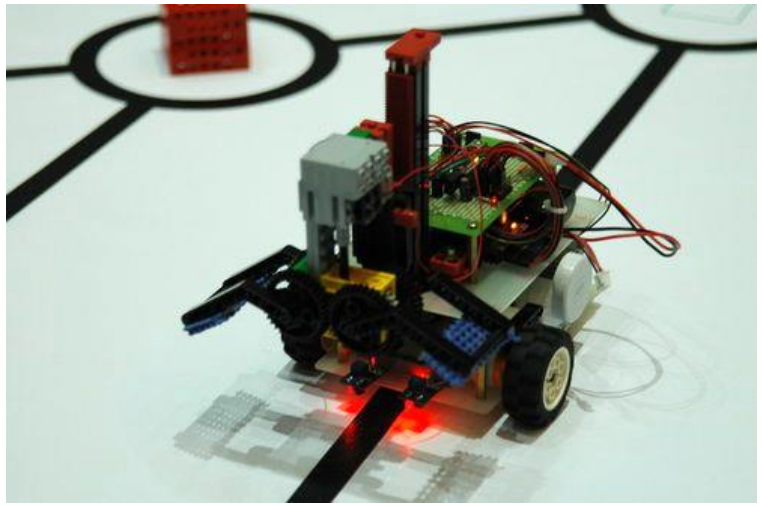
國中/高中
電子電路、文字式程式語言、手機程式設計

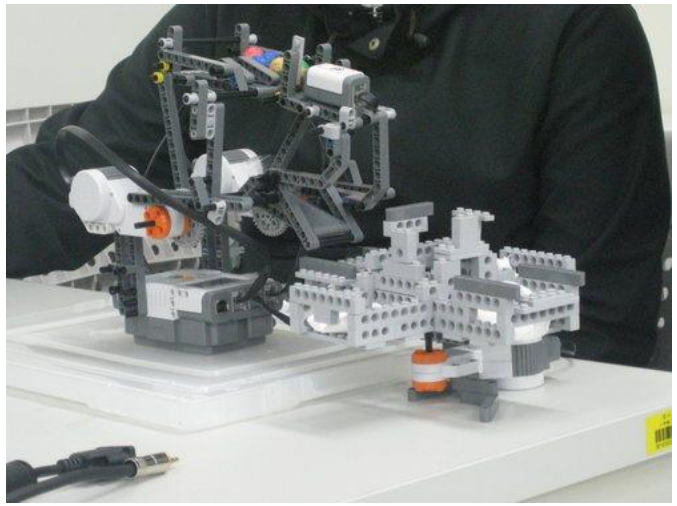


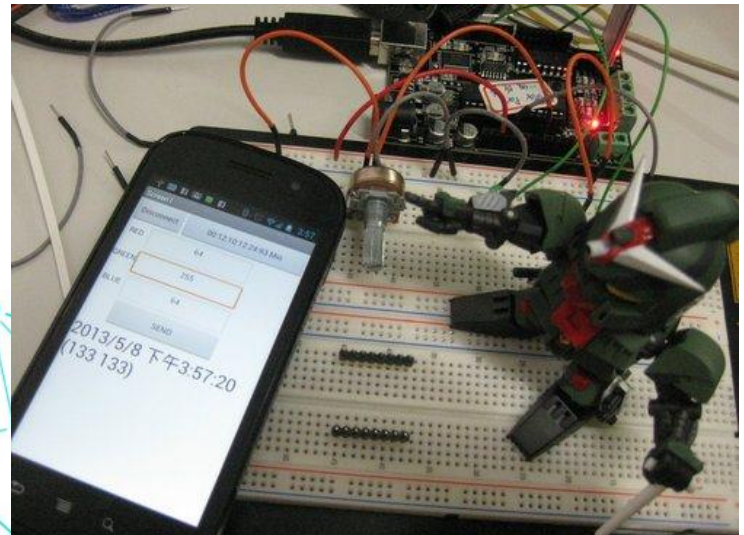




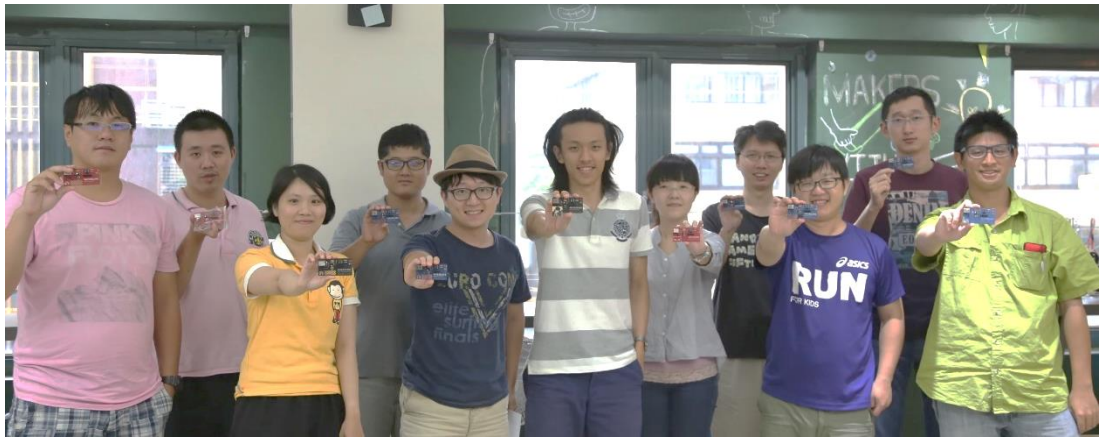
大專/研究所
機器人、物聯網、邊緣運算、深度學習等

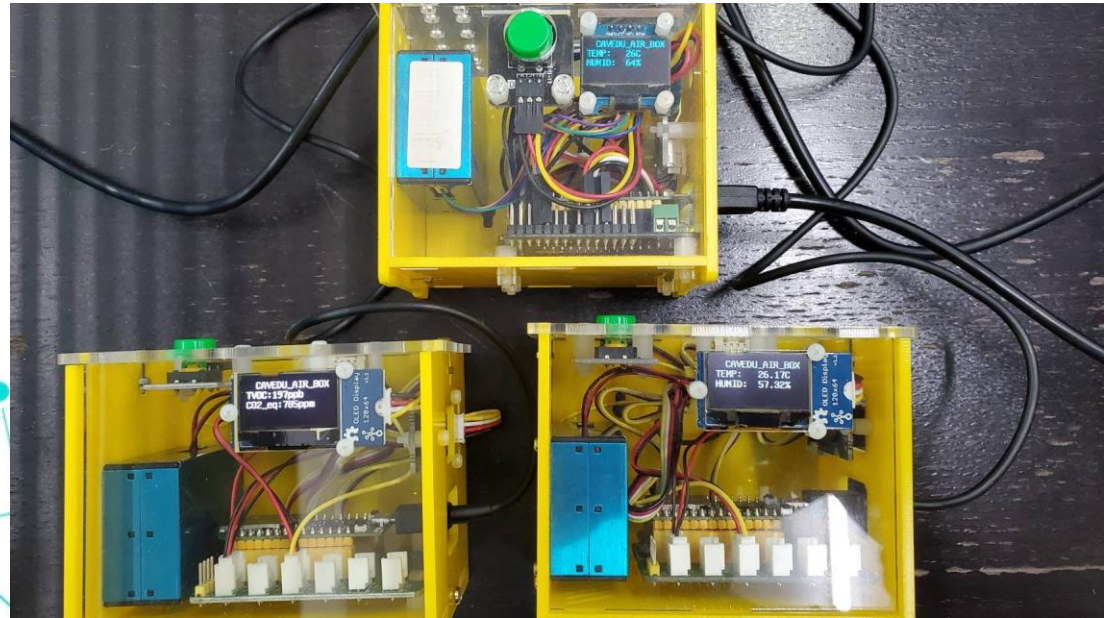






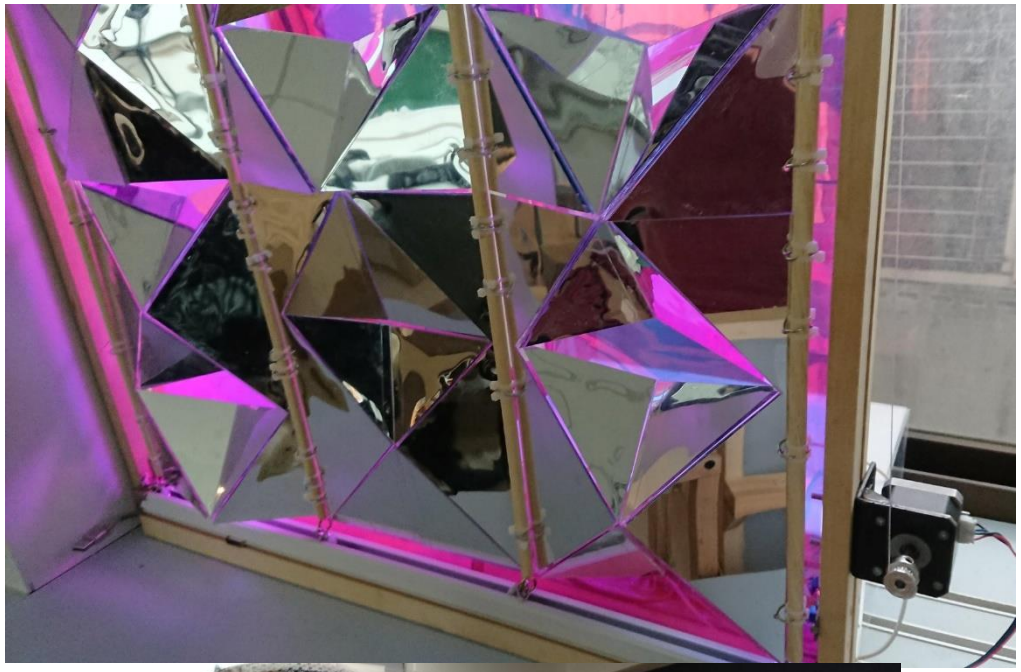
一般民眾、職業訓練課程

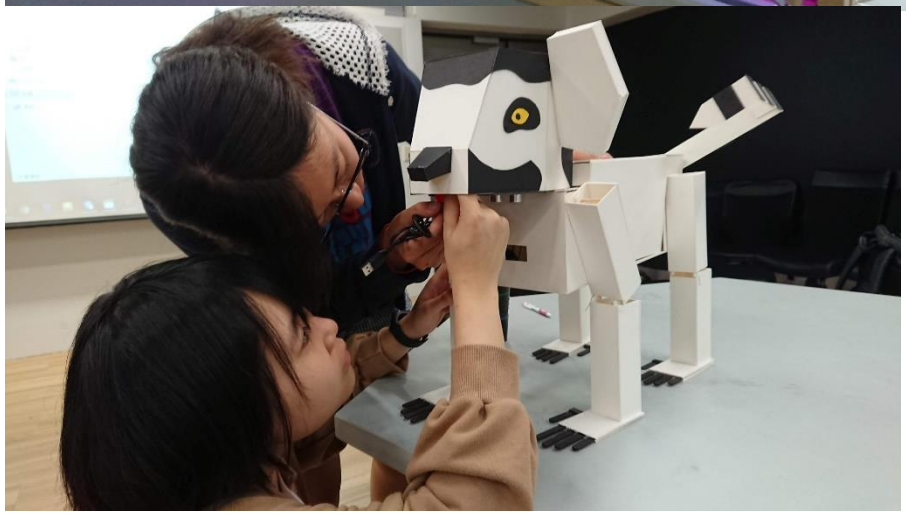

MAKERS
RUN

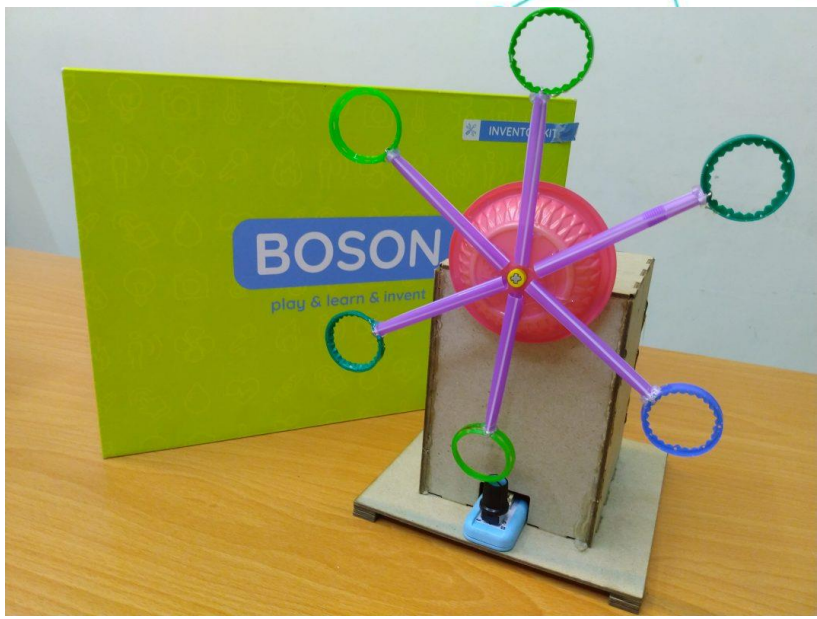

CAVEDU_AIR_BOX
TEMP: 26C
HUMID: 64%
CAVEDU_AIR_BOX
TVOC:157ppb
CO2_eq:705ppm
CAVEDU_AIR_BOX
TEMP: 26.17C
HUMID: 57.32%


Base shield
茂碩國際
LinkIt

STEAM / 藝術與人文素養







專攻邊緣運算裝置

Raspberry Pi, RS components (2014)

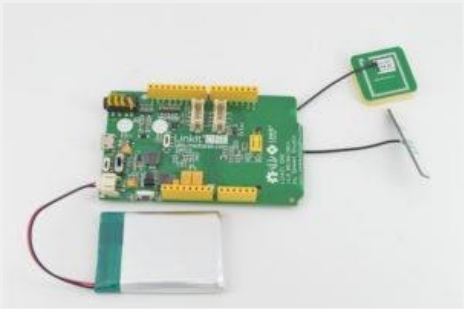
LinkIt series, MediaTek (2015)

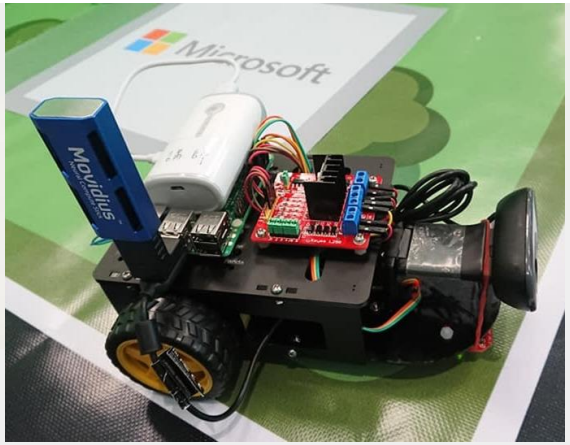
Tinker SBC, ASUS (2017)

Movidius NCS, Intel Taiwan (2018)

Azure AI-AGV, Microsoft Taiwan (2018)

Jetson platform, NVIDIA Taiwan (2019 ~ now)



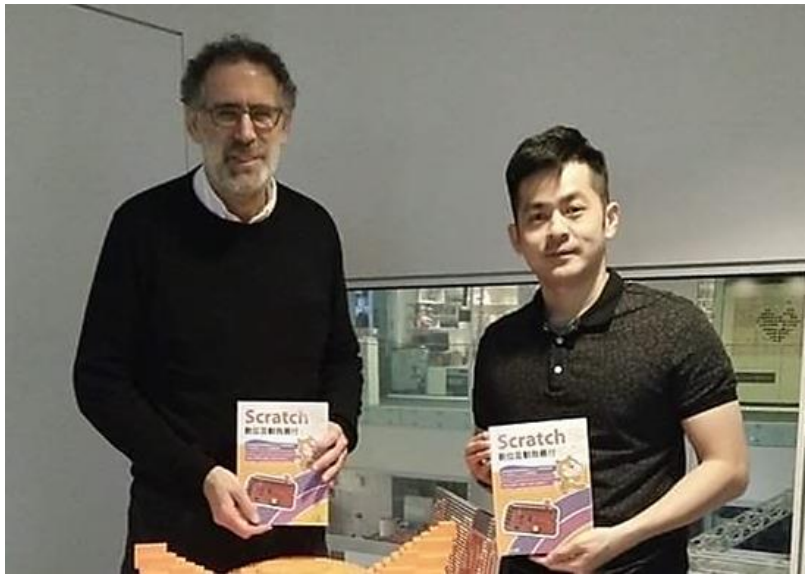


MIT x CAVEDU 緊密連結

MIT CSAIL x App Inventor
Dr. Hal Ableson

開發物聯網、機器人相關元件
受邀擔任訪問學者
新一代 iOS平台 與 AI 元件開發

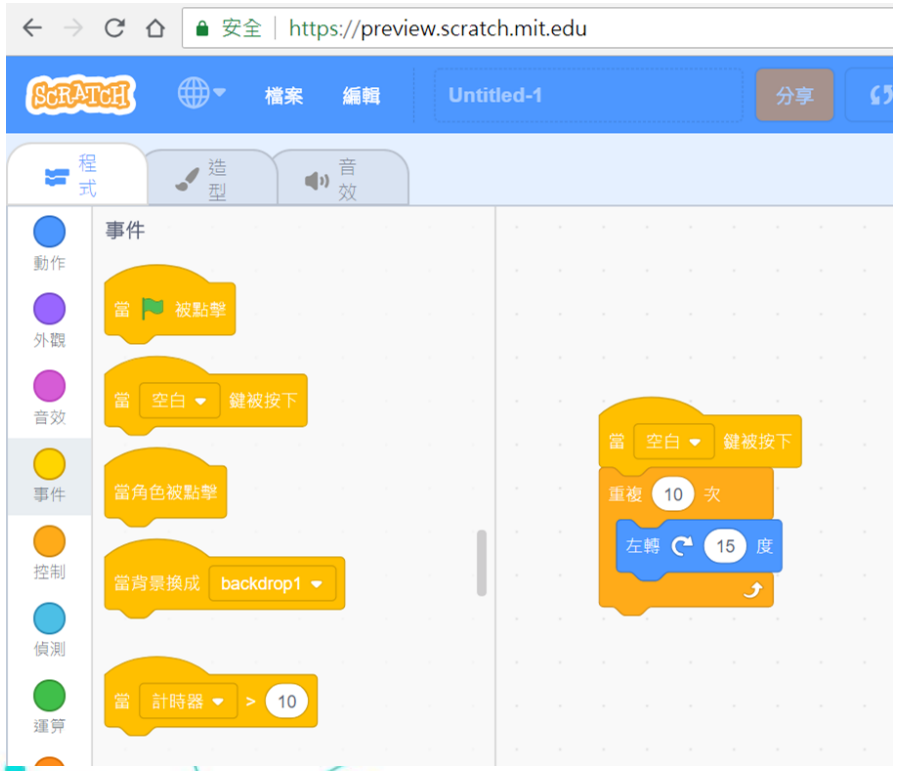
MIT Media Lab Lifelong Kindergarten (Scratch)
Dr. Mitchel Resnick
LCL課程中文化
Scratch 3.0 中文化
Scratch 3.0 元件測試



MIT App Inventor

www.appinventor.mit.edu
iot.appinventor.mit.edu

Scratch 3.0 開發測試與LCL網站繁體中文內容



2019 – 2022 高中職生AI扎根計畫

2022 NVIDIA Jetson AI 大使白金獎

developer.nvidia.com/dli/cip/member-homepage

NVIDIA. DEVELOPER HOME BLOG FORUMS DOCS DOWNLOADS TRAINING

SOLUTIONS PLATFORMS INDUSTRIES RESOURCES

NVIDIA DLI CERTIFIED INSTRUCTOR PROGRAM

Welcome! Explore this page for everything you need to succeed as an NVIDIA DLI Instructor.

Current Ambassador Achievements

Platinum Tier | Gold Tier | Silver Tier | Specializations

Name	Organization	Region	Deliveries	Students Trained	Students Certified
David Tseng	National Taiwan University of Science and Technology	APAC	8	416	164

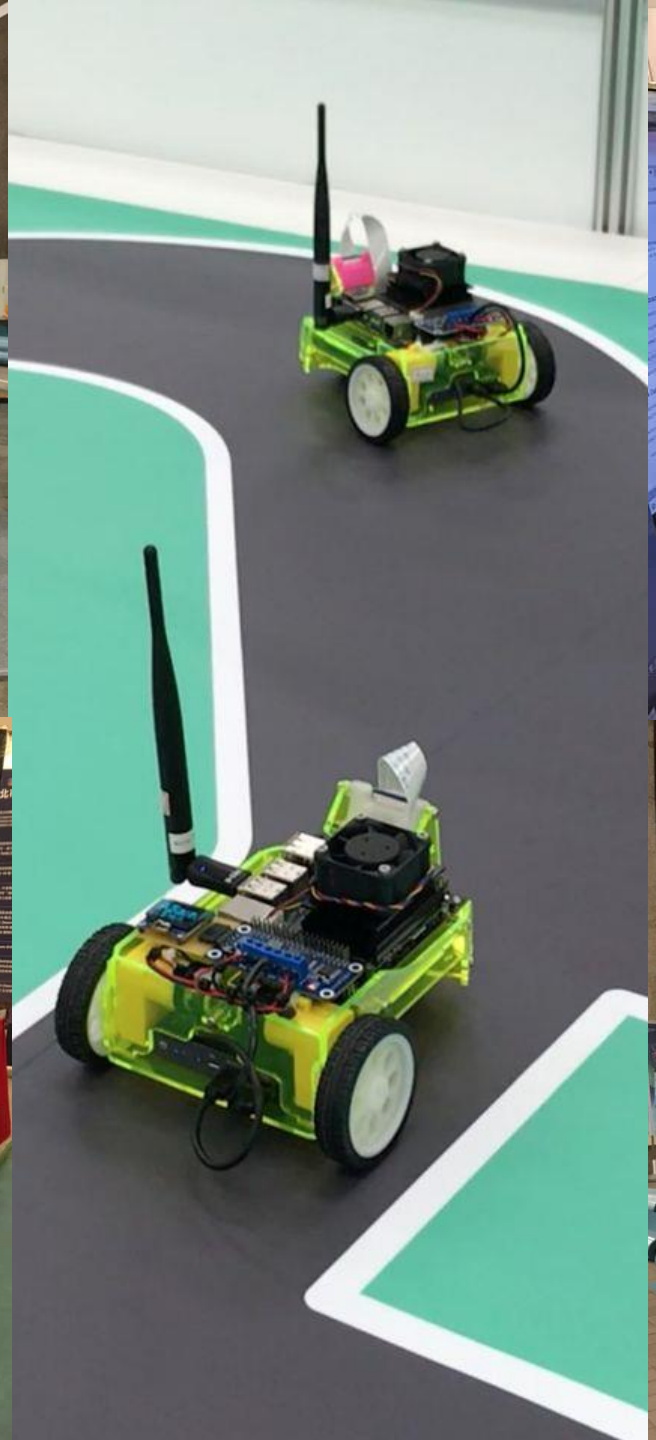
Jetson series in campus

- **高中 / 國中**
- Jetson nano 2G(cost)
  - **Jetbot** – 機器人控制
  - 基礎 Python 程式設計
  - 影像分類 / 物件偵測
  - 感測器訊號處理

- **大學**
- Jetson Nano / NX / ORIN
  - **JetRacer** – 進階機器人控制
  - ROS2
  - 整合景深攝影機 (Intel RealSense / ZED)
  - 影像監控應用

Education expo Taipei
“RK-Jetbot ML-vision competition”


NVIDIA
機器人王國
RK-Jetbot機器學習
道路識別競賽
第一名




臺北市立大理高中


#4 SLAM
No Image
用ROS (Robot Operating System)
NVIDIA
Jetson™ AI
專家認證
免費實作課程助
你取得專業認證
NVIDIA Jetson Nano
開發套件
操作手冊
RK AI競速車套件

邊緣裝置與AIoT

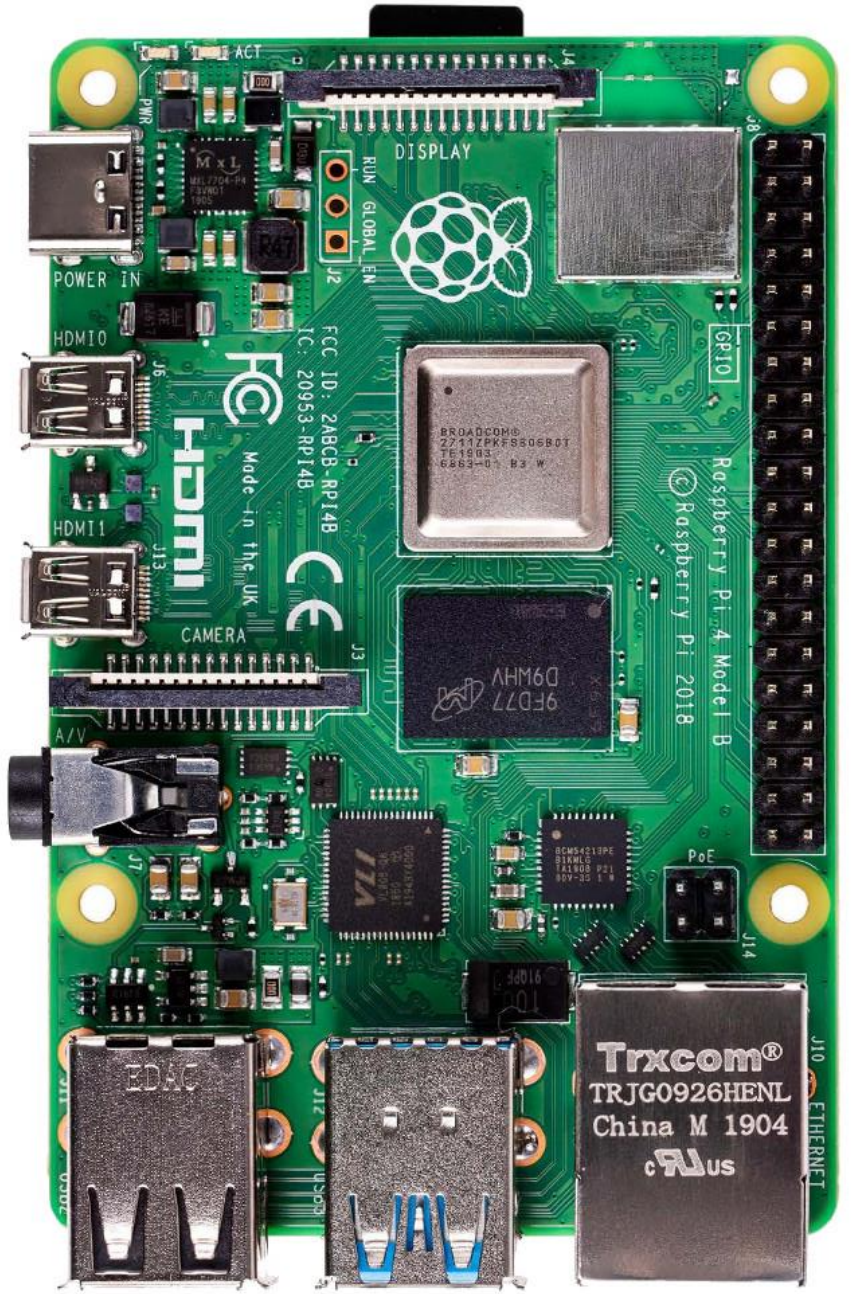
IoT 裝置產生資料 / AI 需要資料

前言

- $300 USD以下的單板電腦，約2014年開始以 Raspberry Pi為主流
- 2014~2016曾經流行過非常多相容板，但業餘 / 教學領域最終的選擇依然是 Rpi (資源 / 易取得 / 產品壽命)
- Rpi 3 的運算速度達到了 1.4 GHz / 1GB ram，已可執行部分小型的神經網路推論
- 2019，Google 推出了 Google TPU Edge，NVIDIA也推出了 NVIDIA Jetson nano 進入了這個價格區間帶。

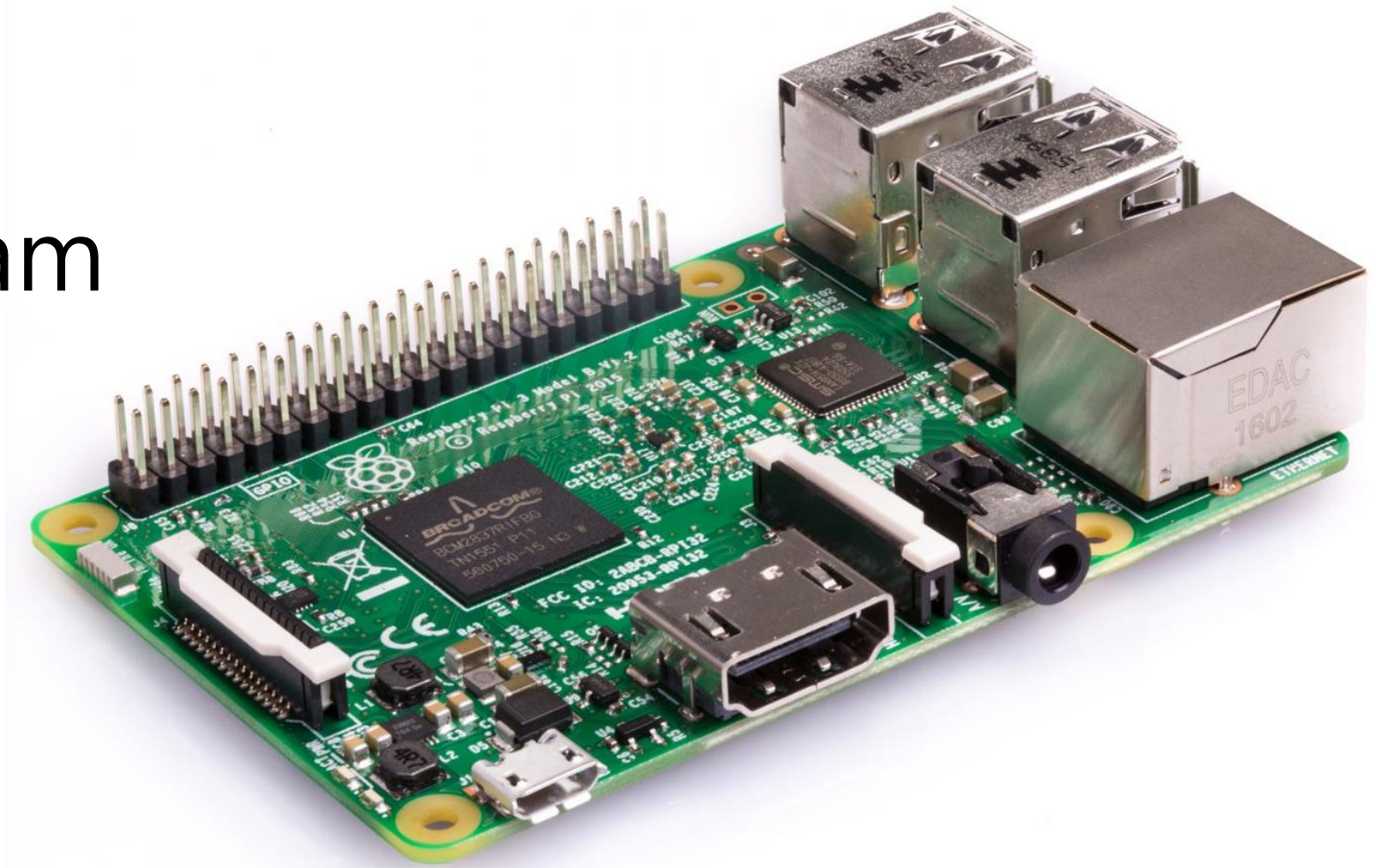
Raspberry Pi 單板電腦

- 具備作業系統可安裝各種套件
- Python程式語言現在非常熱門
- 有機會用Python完成專案，不需要兩種語言
- 各種AI框架都有Python SDK
- Pi 3已足以執行基本的AI運算



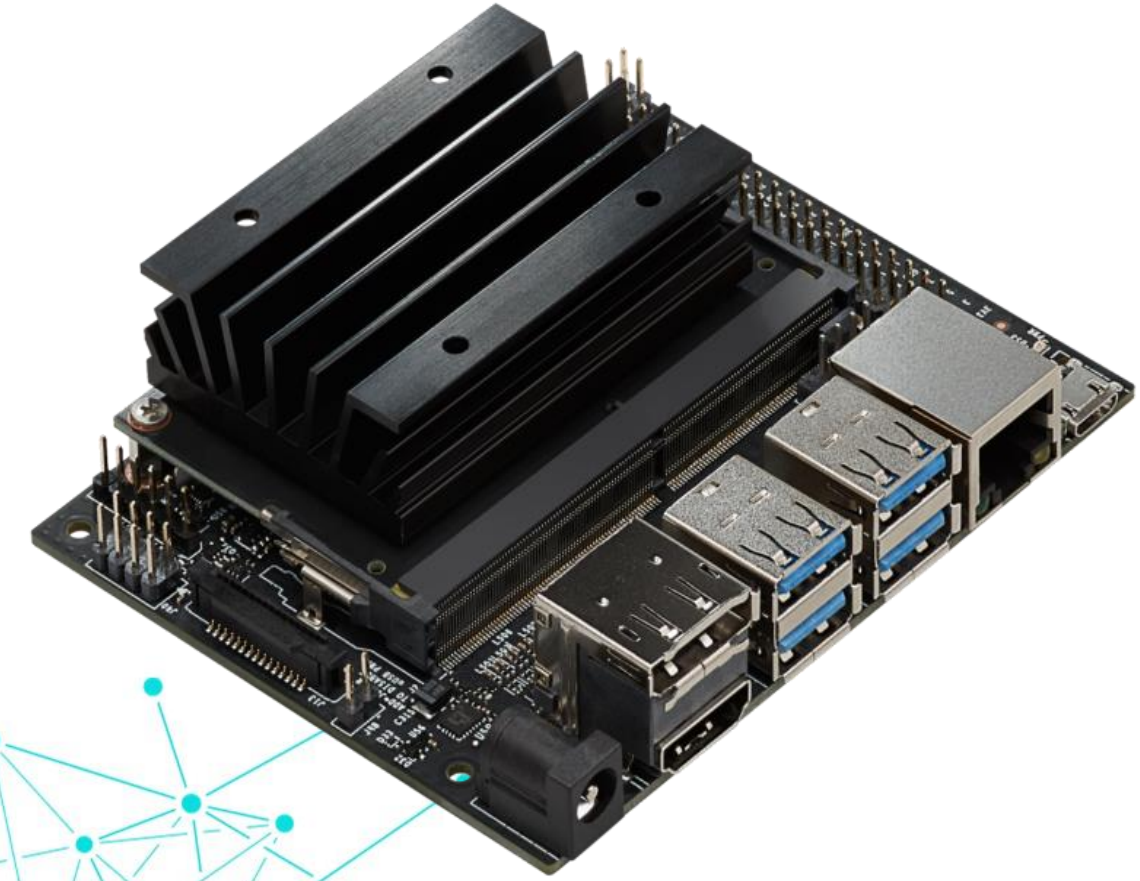
Raspberry Pi 4 B+ ($35-55USD)

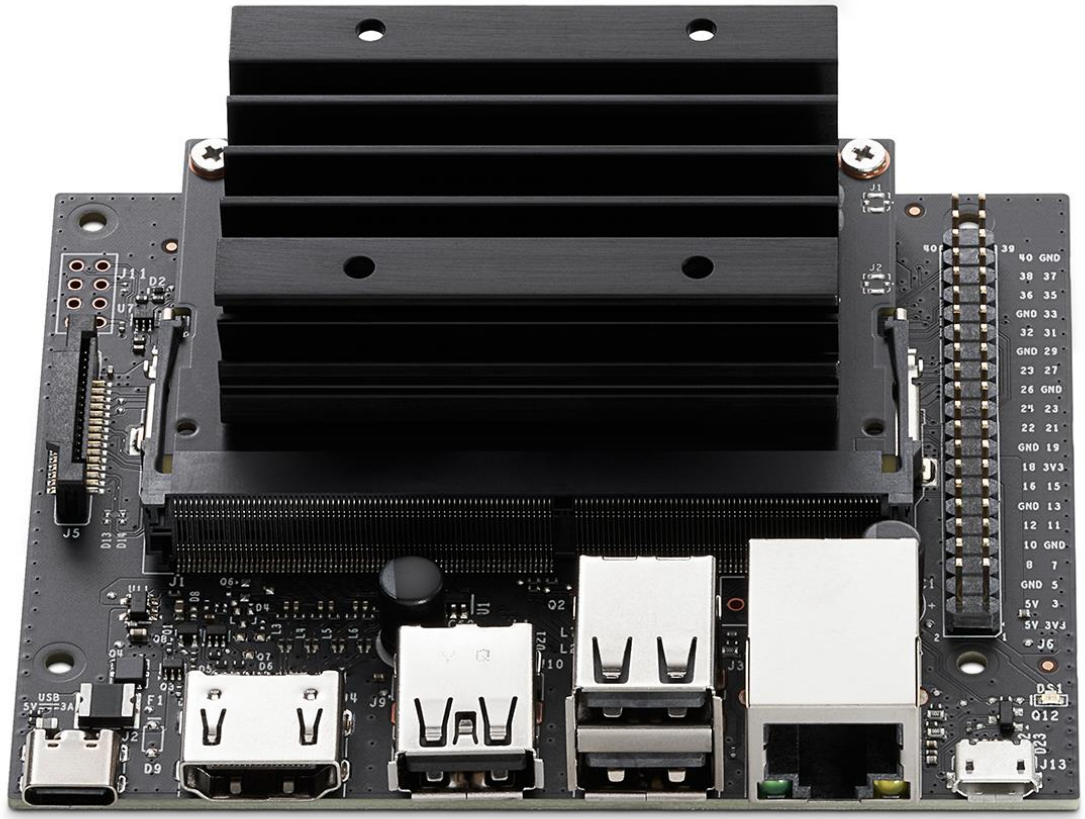
- 1.5 GHz
- 1, 2, 4, 8GB ram
- Wi-Fi / BLE



NVIDIA Jetson nano

4GB($99) 2GB($59)

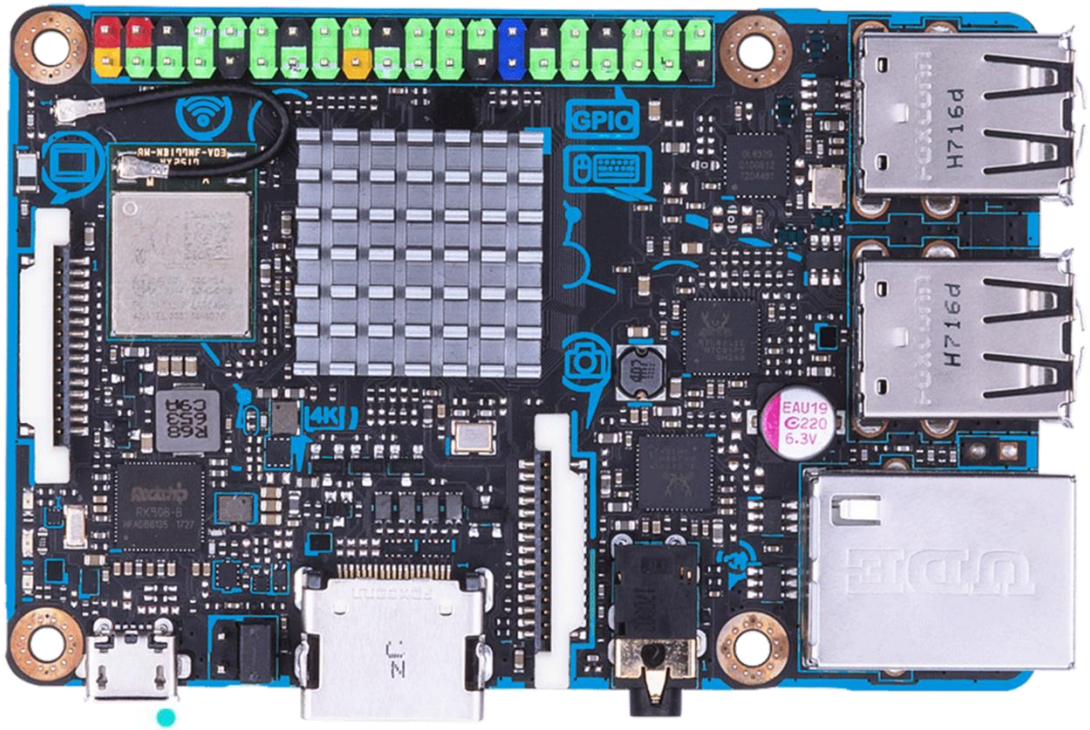




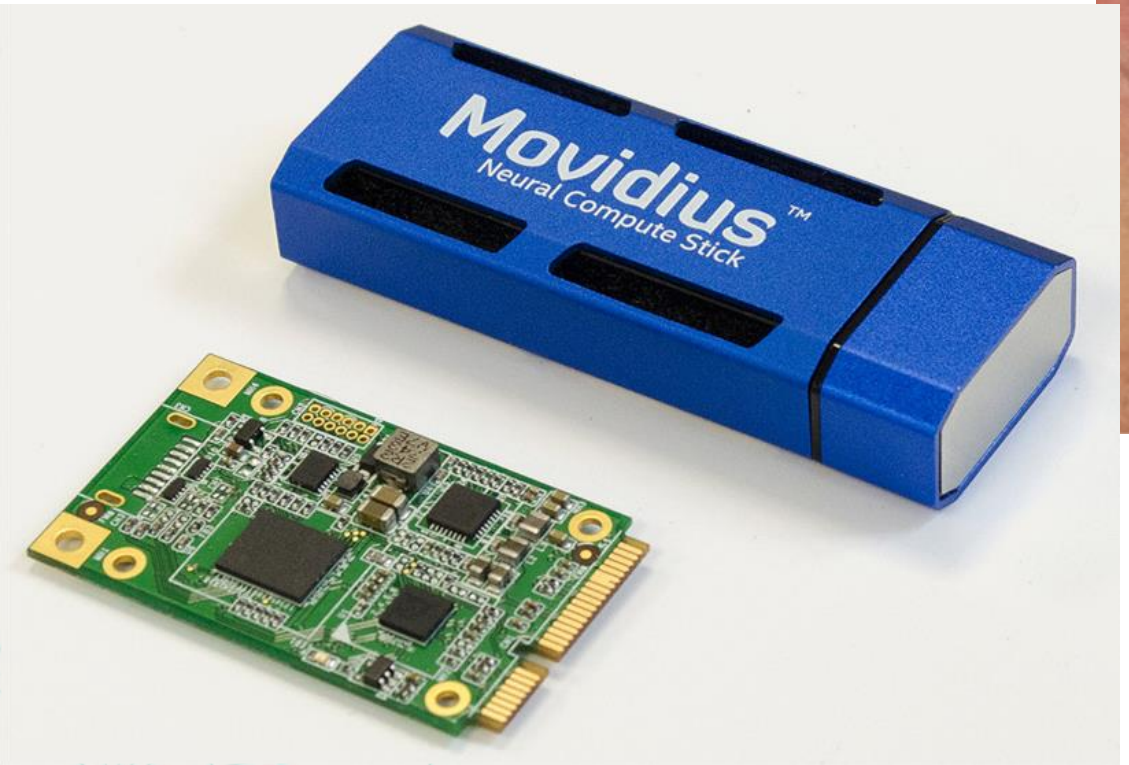
Google TPU Edge Coral AI ($149)USD

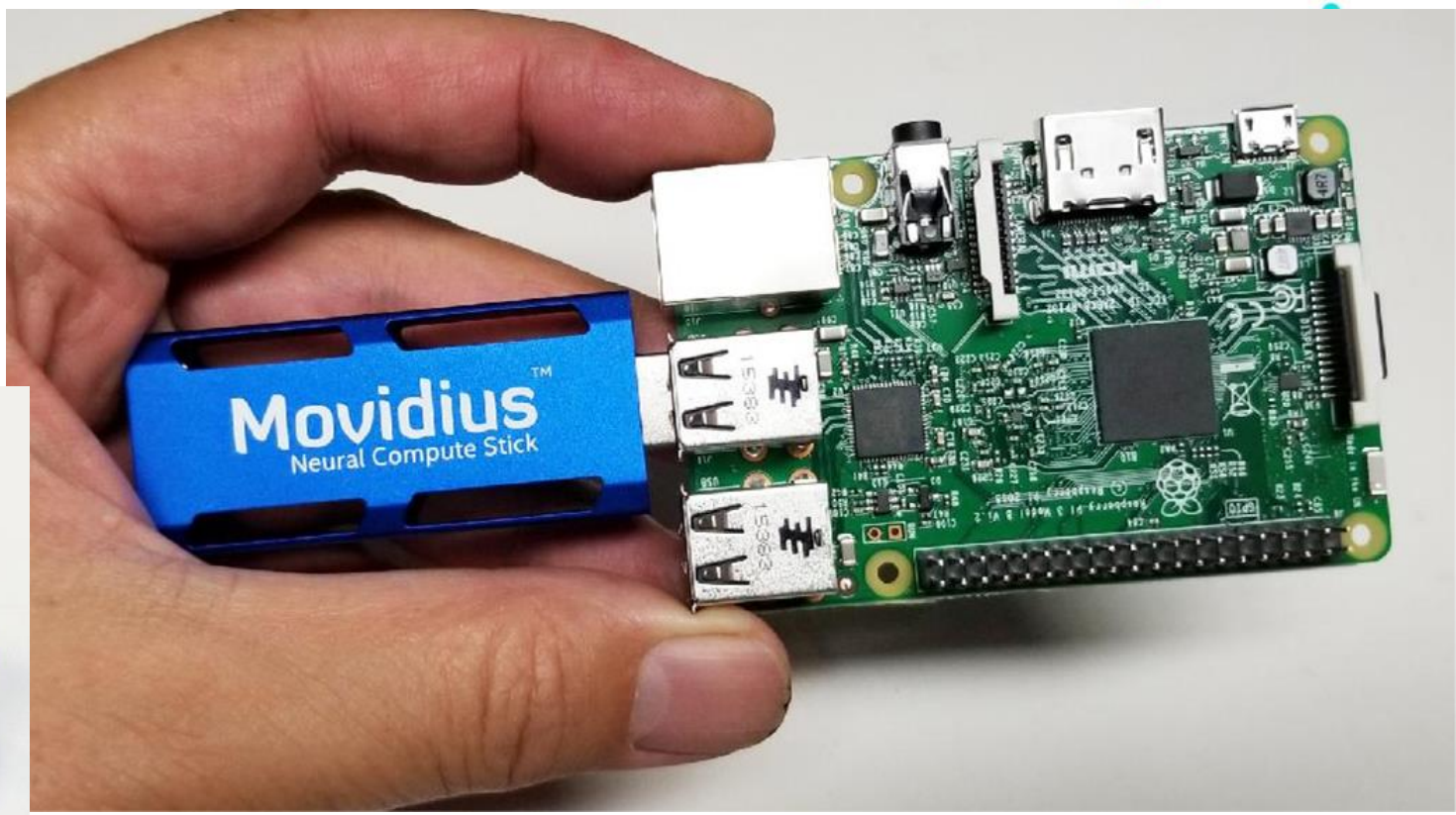
USB Accelerator ($75 USD)

ASUS Tinker board



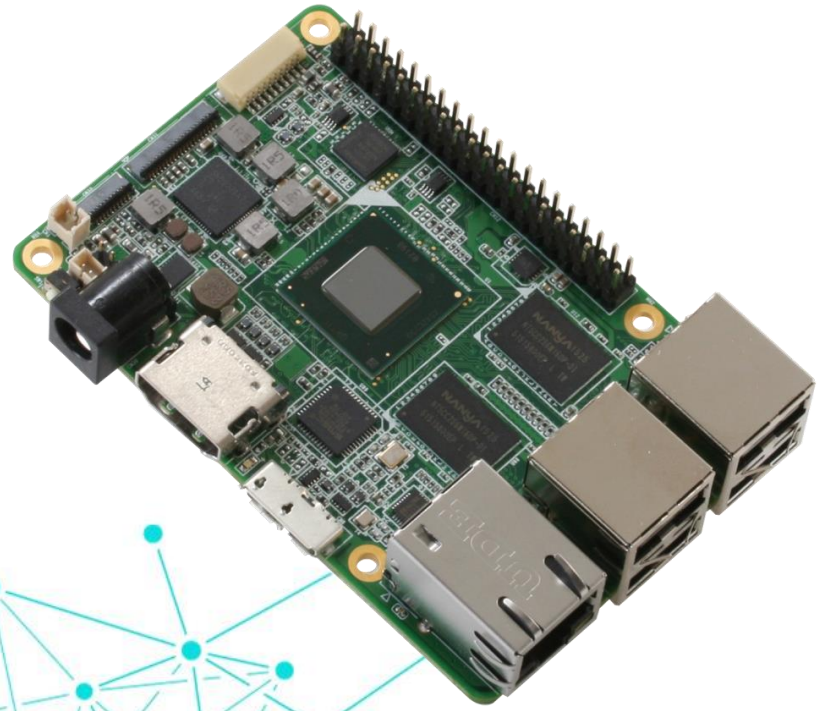
Intel Movidius NCS / NCS2

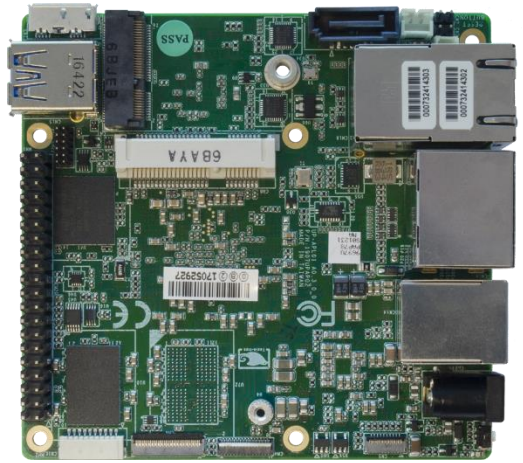


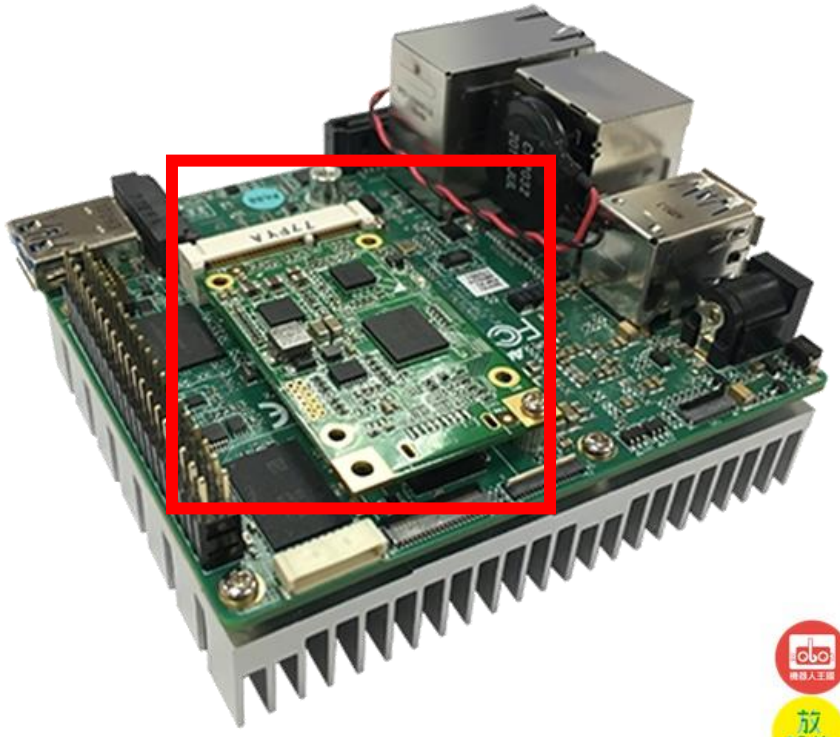


AAEON UpBoard 系列

UP board / UP squared /UP AI core (Intel NCS)

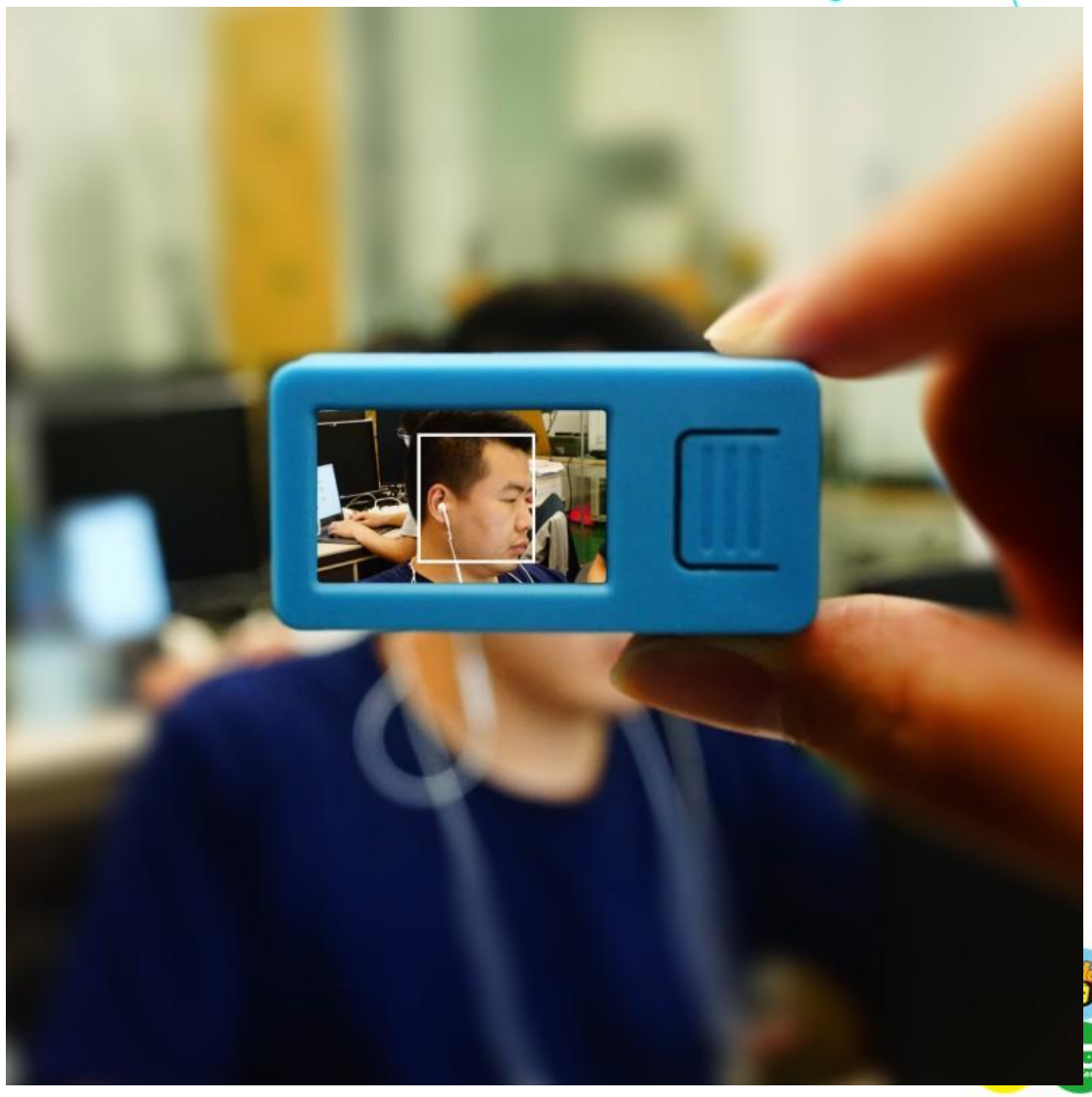




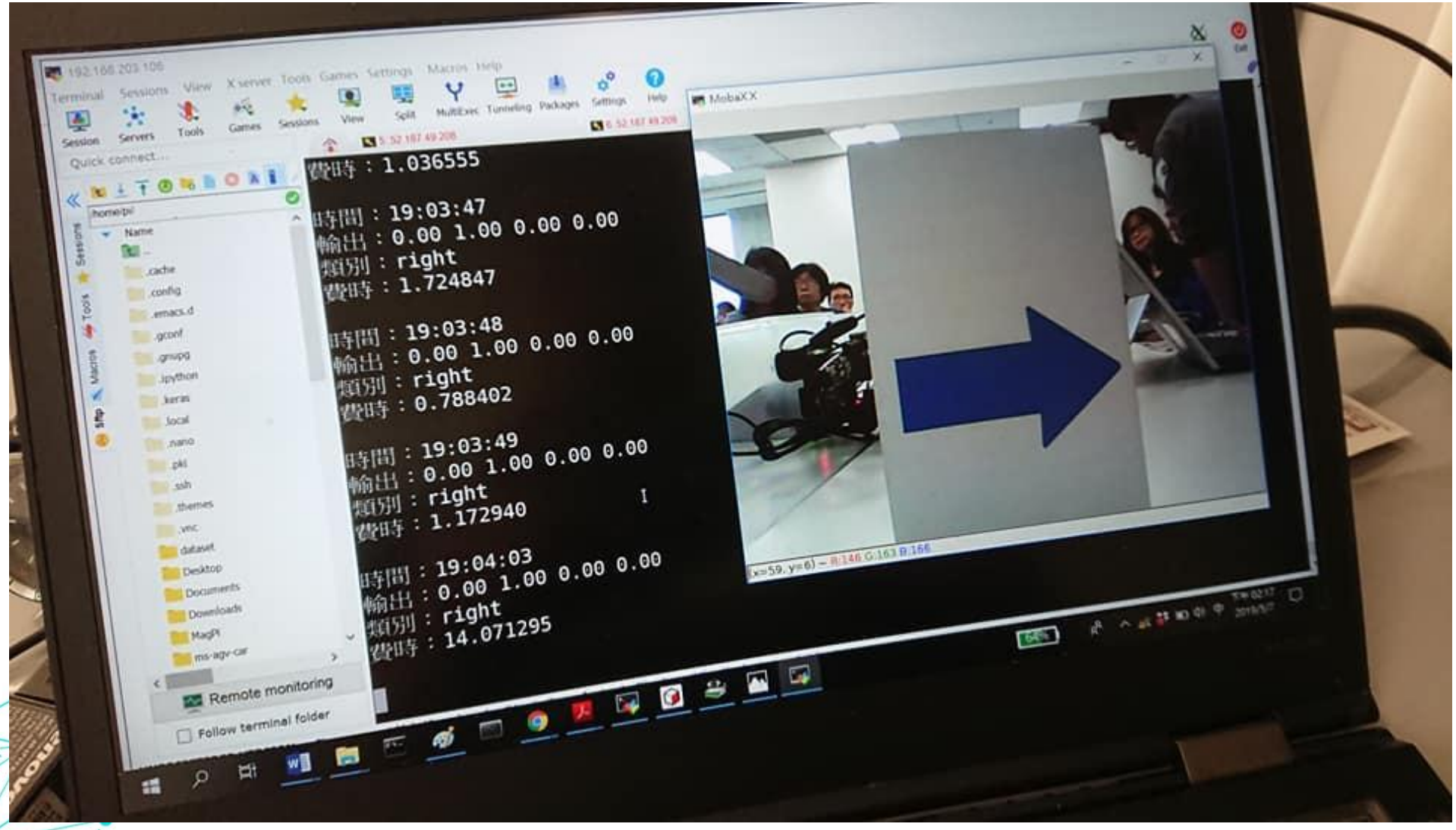


M5StackV

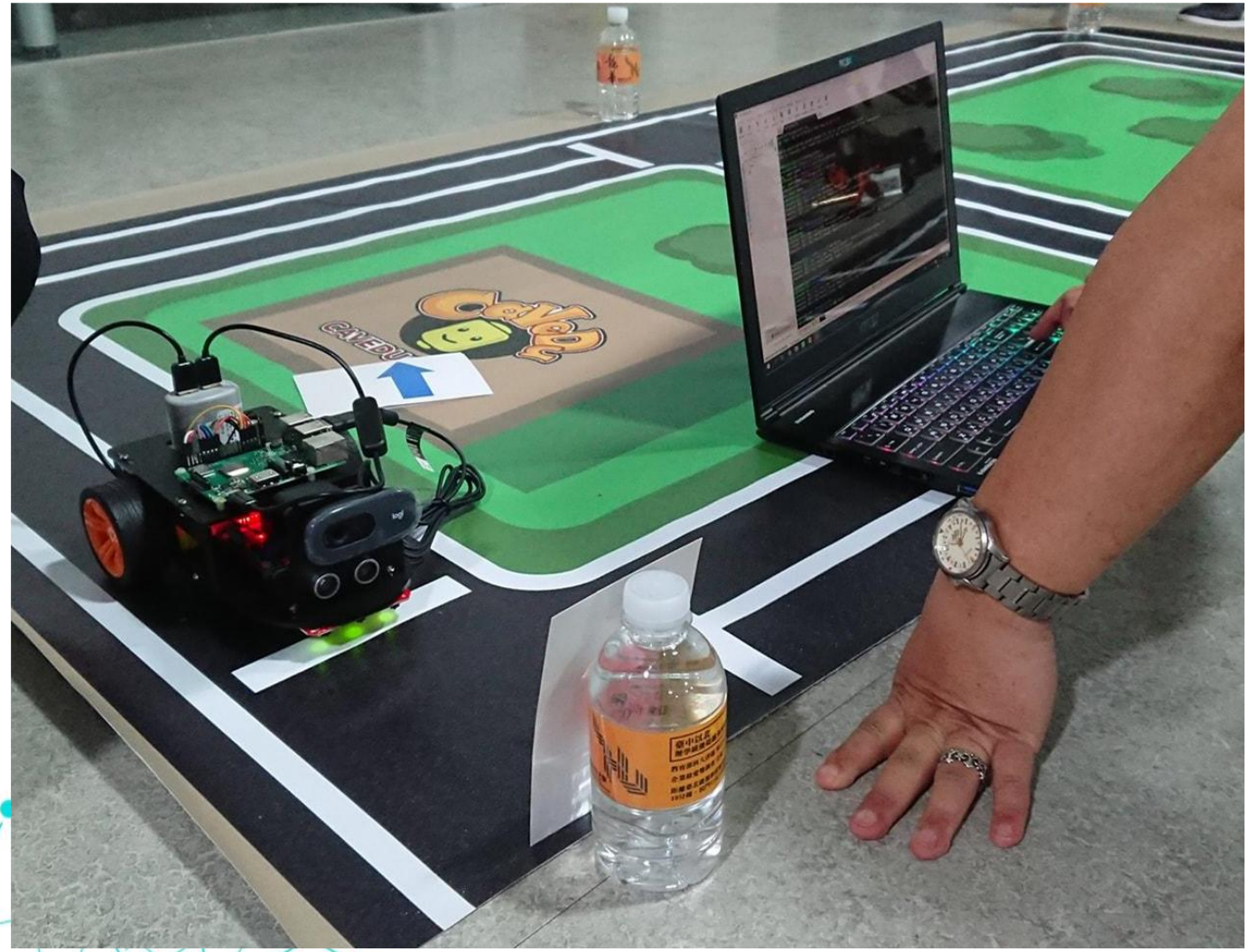

OV7740
640X480
R G B W
SPK
MIC
I2S
BUTTON B
135x240
M5STICK
TF
BUTTON A
M3
HOLE
USB-C
POWER
SWITCH
2S=ON
6S=OFF

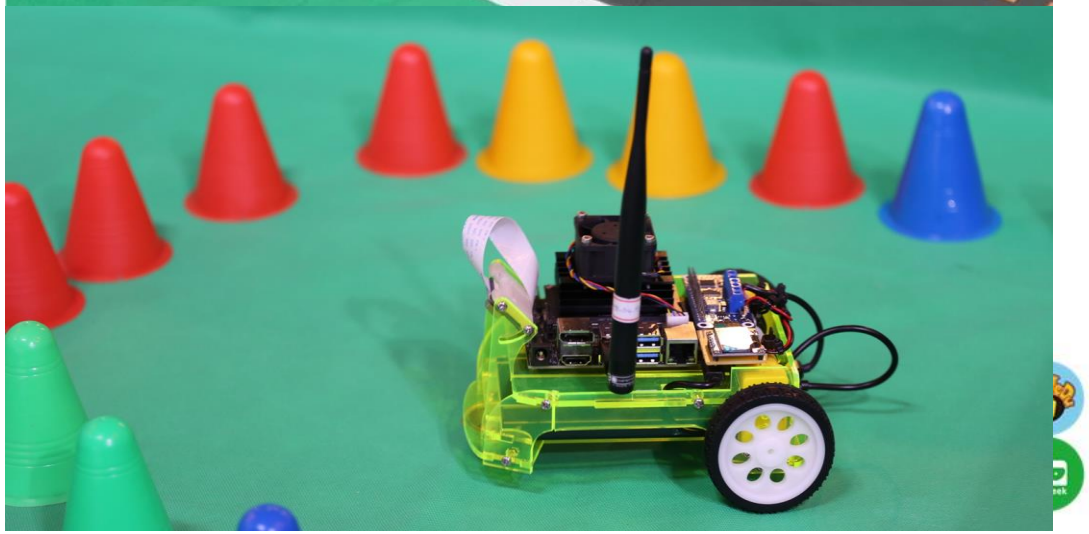


理解影像中的“涵義”


費時：1.036555
時間：19:03:47
輸出：0.00 1.00 0.00 0.00
類別：right
費時：1.724847
時間：19:03:48
輸出：0.00 1.00 0.00 0.00
類別：right
費時：0.788402
時間：19:03:49
輸出：0.00 1.00 0.00 0.00
類別：right
費時：1.172940
時間：19:04:03
輸出：0.00 1.00 0.00 0.00
類別：right
費時：14.071295
Remote monitoring
Follow terminal folder

以自駕車情境為例






社群
規格
售價
生態

TinyML

TinyML 的 **tiny** 代表 ML 模型已針對低功耗的微型裝置進行最佳化，例如 Arduino 為首的各種 MCU，各種應用紛紛出籠，但依然受限於 MCU 的算力。

常見應用：聲音場景、熱詞偵測、影像辨識、氣味分析

tinyML 這個主題真的很酷

為何要在本地端執行ML？

- ***降低延遲***：資料在雲端伺服器之間來回傳送需要時間，無法做到即時，也無法滿足必須在指定時間內回應的應用。
- ***降低功耗***：資料在雲端伺服器之間來回傳送，耗能效應必定較低，即便使用藍牙這類低功耗通訊協定也一樣。
- ***保護隱私***：本地端ML代表可保護使用者隱私，並避免分享敏感資訊。

我們怎麼由教育觀點看tinyML

- TinyML 是一系列機器學習技術與嵌入式系統，可在低功耗裝置上執行各類智能應用。
- 一般而言，這類裝置的規格有限，但它們可透過各類感測器來感知實體環境，並可根據ML演算法的結果來做出各種決策。
- **為傳統感測器賦予新意義**

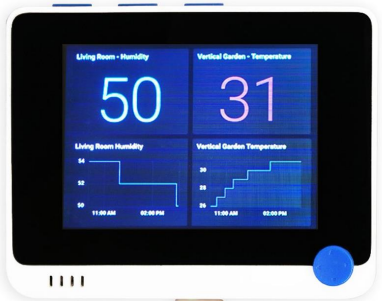
機會與挑戰

- TinyML 適用情境在於無法從外部環境取得電力，且相關應用必須能**以電池來供電愈久愈好**。
- **我們身邊已經充滿了各種電池供電，並可運用ML算法的裝置了**。例如智慧手錶或健身帶這類穿戴式裝置就可以分辨人體活動來追蹤健康目標，或偵測跌倒等危險。
- **TinyML 應用已全面見於各種情境與目的**，因為它們都可由電池供電，也需要離線執行ML算法來賦予感測器資料更多意義。

如何把 ML 概念帶入K12教學現場

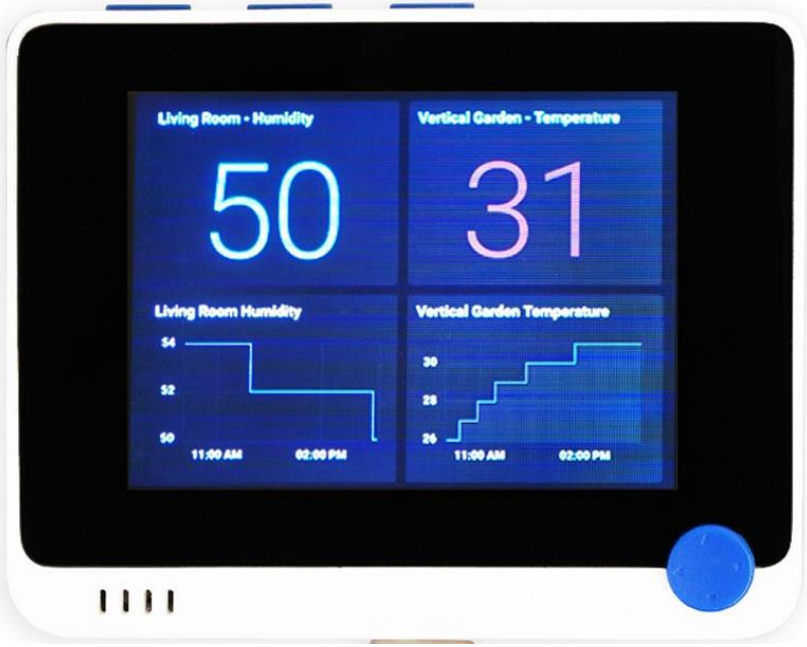
硬體：Wio Terminal (包括但不限於)

軟體：Arduino IDE + Edge Impulse



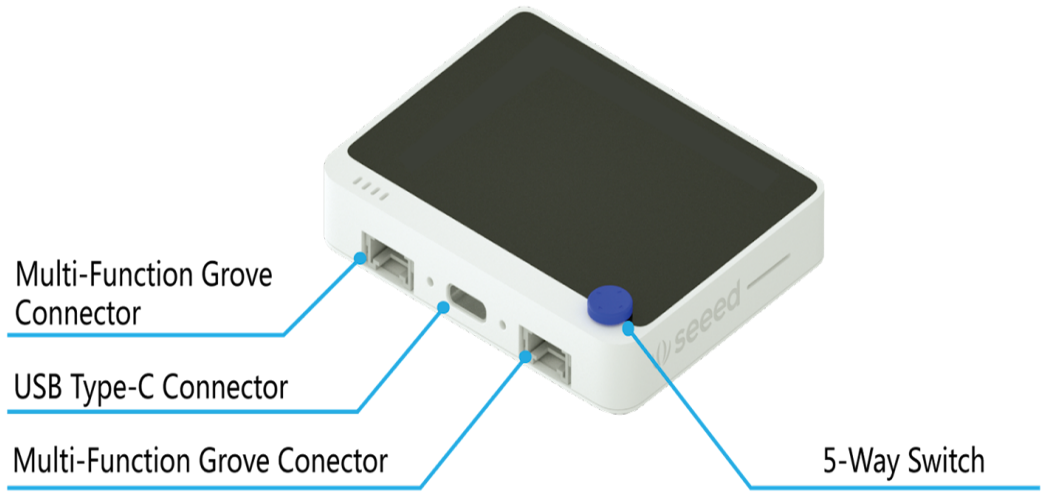
Wio Terminal

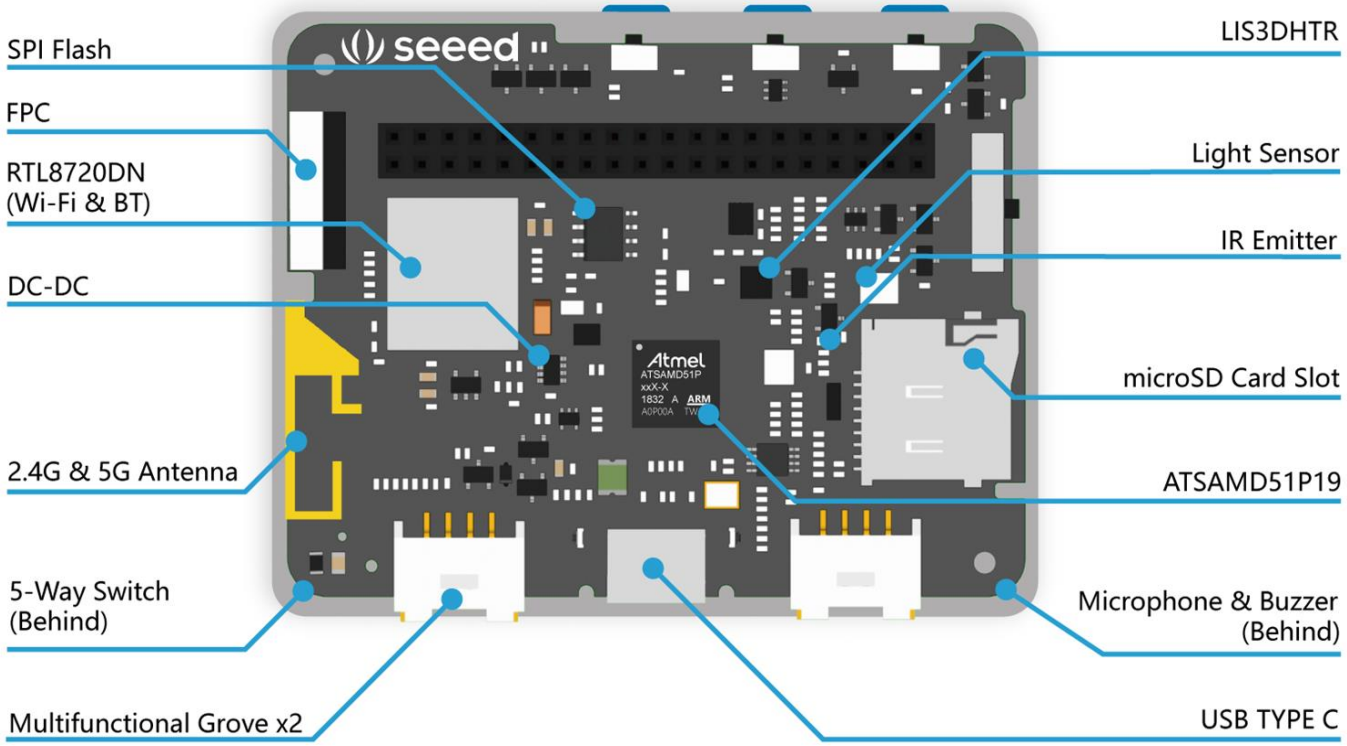
Wio Terminal 是一款專門用於 IoT 與 TinyML 的多功能開發板 – 包含了 ATSAMD51P19 晶片並以 ARM Cortex-M4F 為核心 (20MHz)，支援多種針對微控制器的 ML推論框架。

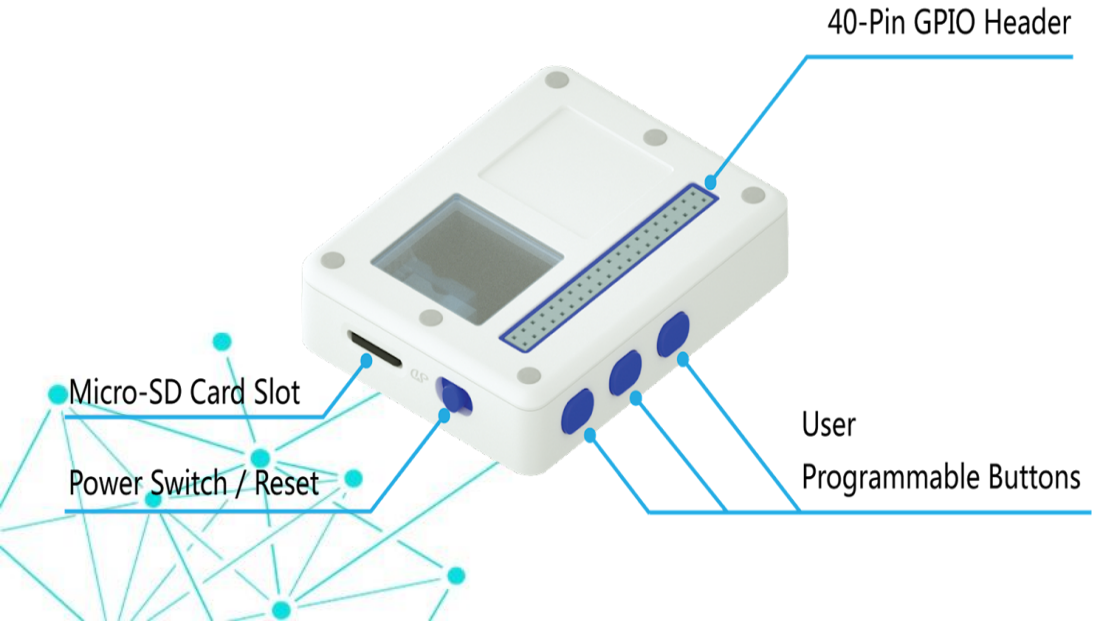


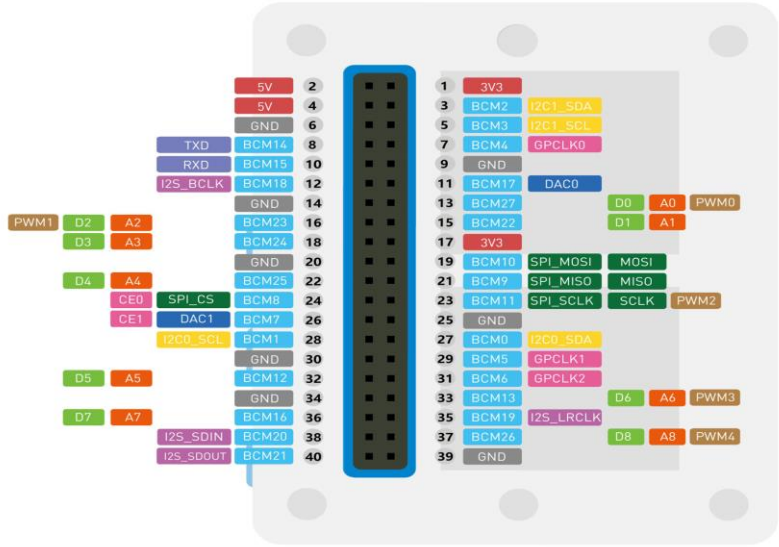
本開發板已包含：

- Wi-Fi / BLE 連線能力
- 光感測器(類比)
- 麥克風
- 可自訂按鈕 x 3
- 4 英吋彩色LCD
- 加速度感測器
- Grove 接頭 x 2，可連接多達300種 Grove 感測器


Multi-Function Grove Connector
USB Type-C Connector
Multi-Function Grove Conector
5-Way Switch


SPI Flash
FPC
RTL8720DN (Wi-Fi & BT)
DC-DC
2.4G & 5G Antenna
5-Way Switch (Behind)
Multifunctional Grove x2
LIS3DHTR
Light Sensor
IR Emitter
microSD Card Slot
ATSAMD51P19
Microphone & Buzzer (Behind)
USB TYPE C


40-Pin GPIO Header
Micro-SD Card Slot
Power Switch / Reset
User Programmable Buttons

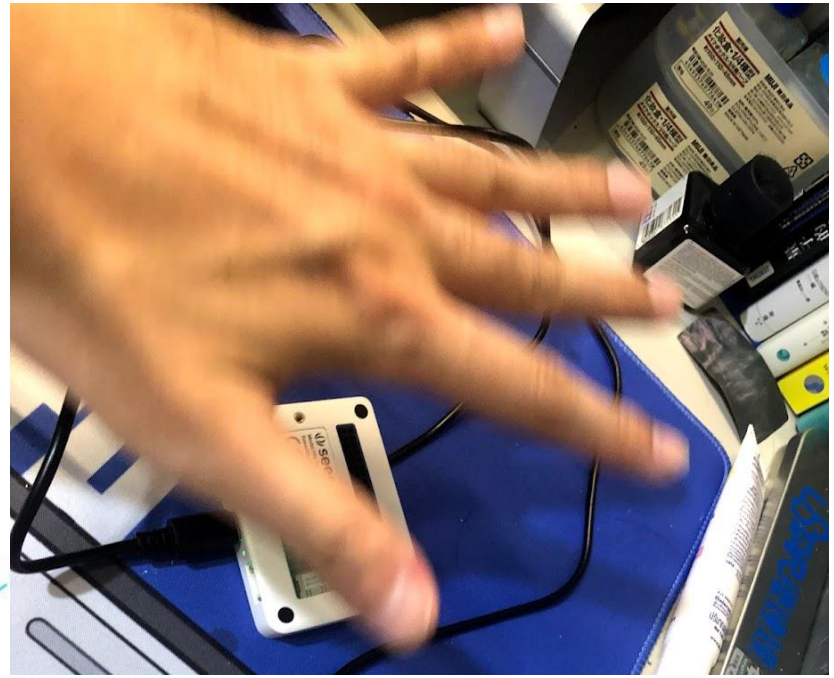

5V 2
5V 4
GND 6
TXD BCM14 8
RXD BCM15 10
I2S_BCLK BCM18 12
GND 14
PWM1 D2 A2 BCM23 16
D3 A3 BCM24 18
GND 20
D4 A4 BCM25 22
CE0 SPI_CS BCM8 24
CE1 DAC1 BCM7 26
I2C0_SCL BCM1 28
GND 30
D5 A5 BCM12 32
GND 34
D7 A7 BCM16 36
I2S_SDIN BCM20 38
I2S_SDOUT BCM21 40
1 3V3
3 BCM2 I2C1_SDA
5 BCM3 I2C1_SCL
7 BCM4 GPCLK0
9 GND
11 BCM17 DAC0
13 BCM27 D0 A0 PWM0
15 BCM22 D1 A1
17 3V3
19 BCM10 SPI_MOSI MOSI
21 BCM9 SPI_MISO MISO
23 BCM11 SPI_SCLK SCLK PWM2
25 GND
27 BCM0 I2C0_SDA
29 BCM5 GPCLK1
31 BCM6 GPCLK2
33 BCM13 D6 A6 PWM3
35 BCM19 I2S_LRCLK
37 BCM26 D8 A8 PWM4
39 GND

賦予傳統感測器全新意義

New insights with legacy sensors

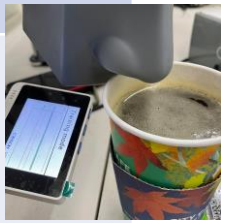
使用光感測器來偵測手勢 – 舉例

- 根據剪刀、石頭、布的光線遮斷樣式不同來區分
- 但：不同光線狀況，資料結果大不同
- if else 很難成功，**需要 ML 方案**來找出資料中的隱含關係與資訊



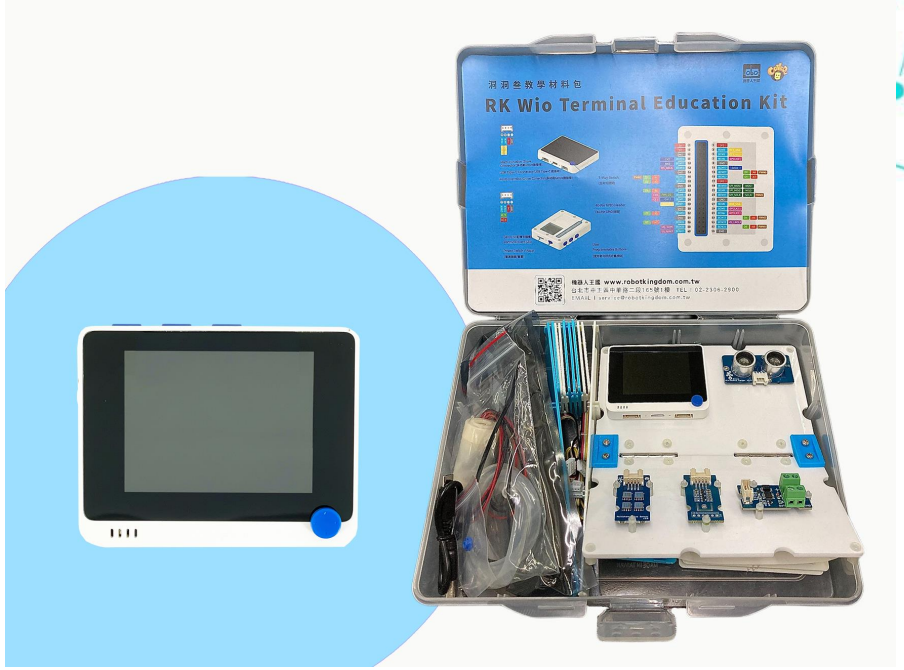
傳統的 if /else 到 ML
maker 到小小資料分析師？

感測器	傳統 maker 課程	導入 ML 概念
光感測器	小夜燈	手勢辨識
聲音感測器	拍手開門	室內室外偵測
加速度	傾斜警告裝置	運動姿態分析
氣體濃度感測器	瓦斯警報器	分辨不同種類的酒
溫溼度感測器	物聯網空調	智慧植栽



考量

設計課程理念



- 發揮設備套件最佳效益
- 發想出更多有趣題目與前期測試
- 回頭詢問學生　問卷訪談
- **對於感測器操作、物理量意涵，熟悉度都顯著上升**

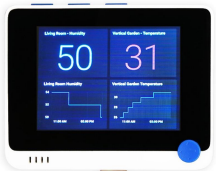
Edge Impulse

ML pipeline

EI支援硬體 / tflite model 轉 C array

操作步驟

開發板



1. Wio terminal 上傳單筆資料到 Edge Impulse

Edge Impulse

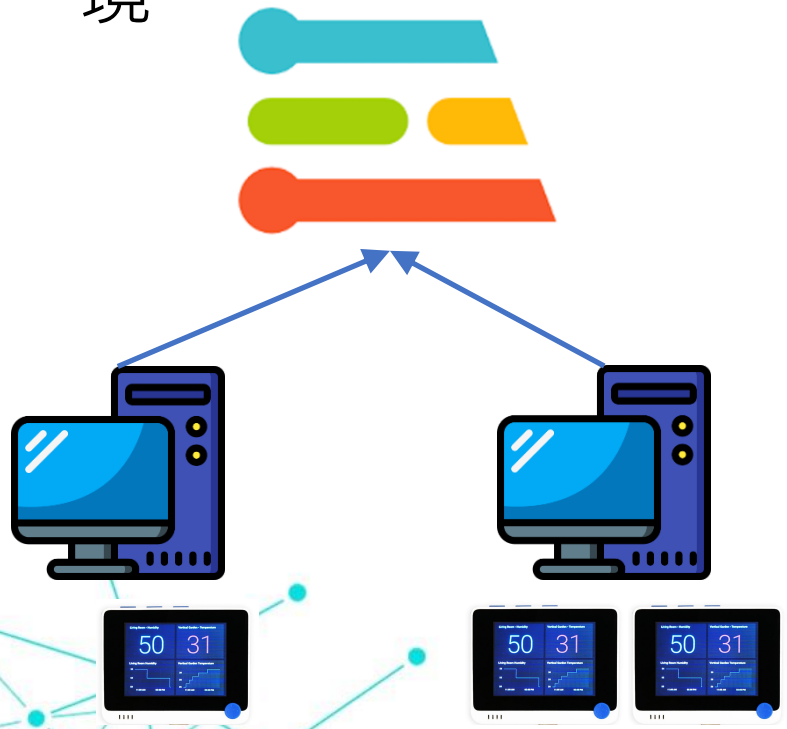
2. 把資料整理到不同類別，反覆操作
3. 設計 Impulse：資料處理、定義模型
4. **測試神經網路效能、修改、重複**
5. 匯出神經網路檔案

6. 透過 Arduino IDE 燒錄至 Wio
7. Wio 執行離線推論，完成！

1. Wio terminal 上傳單筆資料到 Edge Impulse

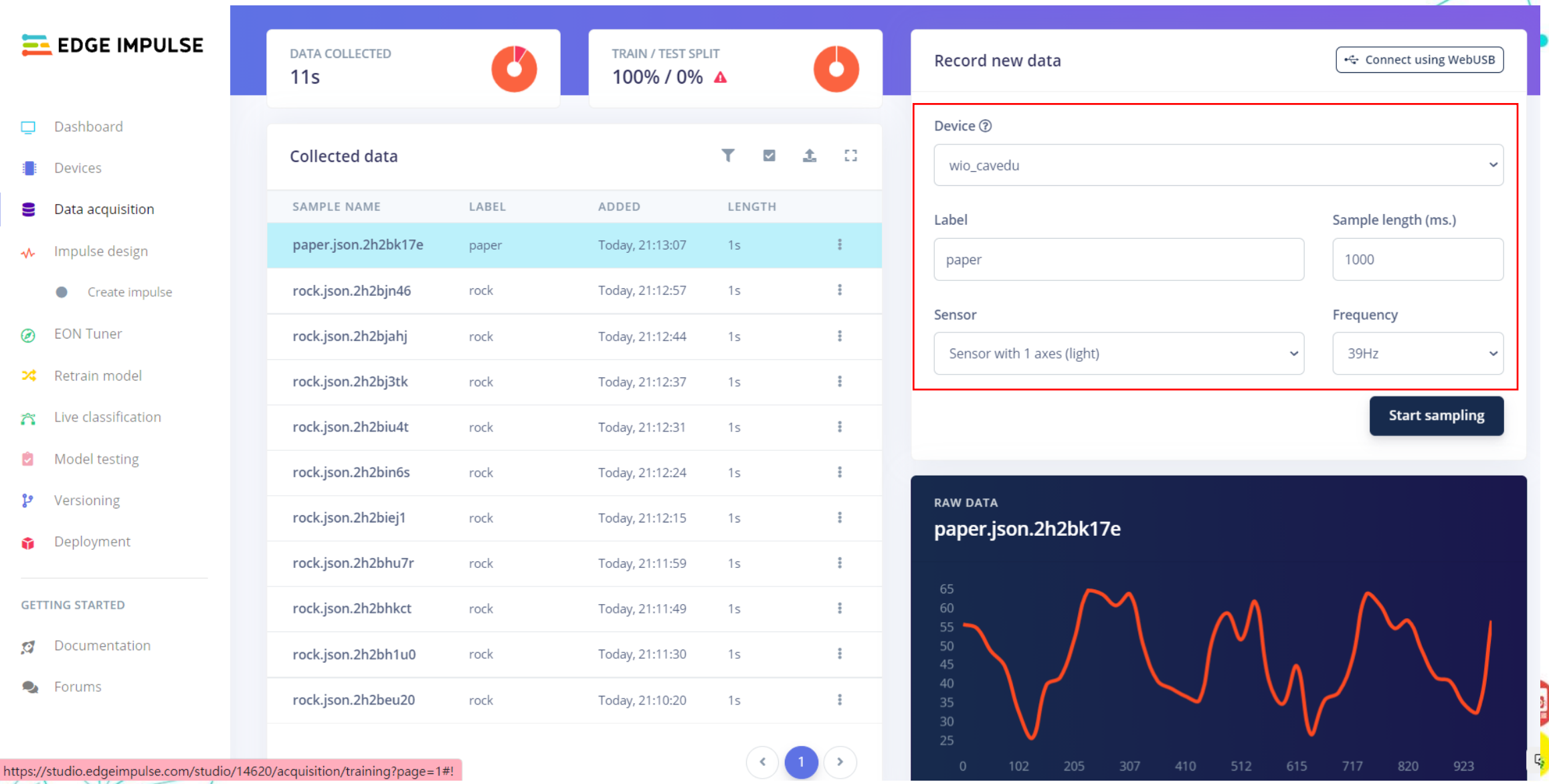
Wio – PC – Edge Impulse

Edge Impulse 可接收來自多片不同板子的資料 --- 符合物聯網情境



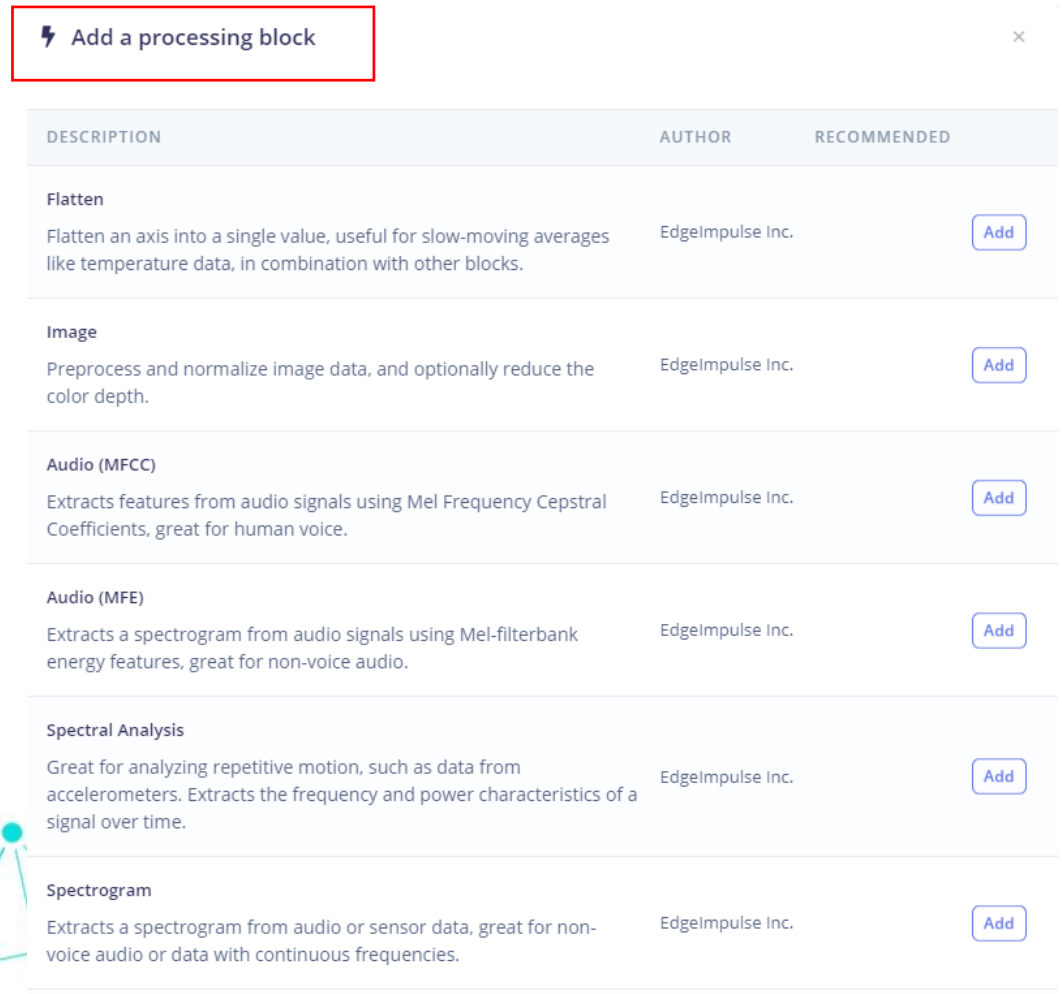

```
(testAI) C:\Users\nissi>edge-impulse-data-forwarder
Edge Impulse data forwarder v1.13.15
? What is your user name or e-mail address (edgeimpulse.com)? nissin@cavedu.com
? What is your password? [hidden]
Endpoints:
    Websocket: wss://remote-mgmt.edgeimpulse.com
    API:       https://studio.edgeimpulse.com/v1
    Ingestion: https://ingestion.edgeimpulse.com

? Which device do you want to connect to? COM4 (Microsoft)
[SER] Connecting to COM4
[SER] Serial is connected (01:DF:FE:43:53:36:46:4E:4D:20:20:20:FF:19:22:4A)
[WS ] Connecting to wss://remote-mgmt.edgeimpulse.com
[WS ] Connected to wss://remote-mgmt.edgeimpulse.com

[SER] Detecting data frequency...
[SER] Detected data frequency: 39Hz
? 1 sensor axes detected (example values: [137]). What do you want to call them? Separate the names with ',': light
```

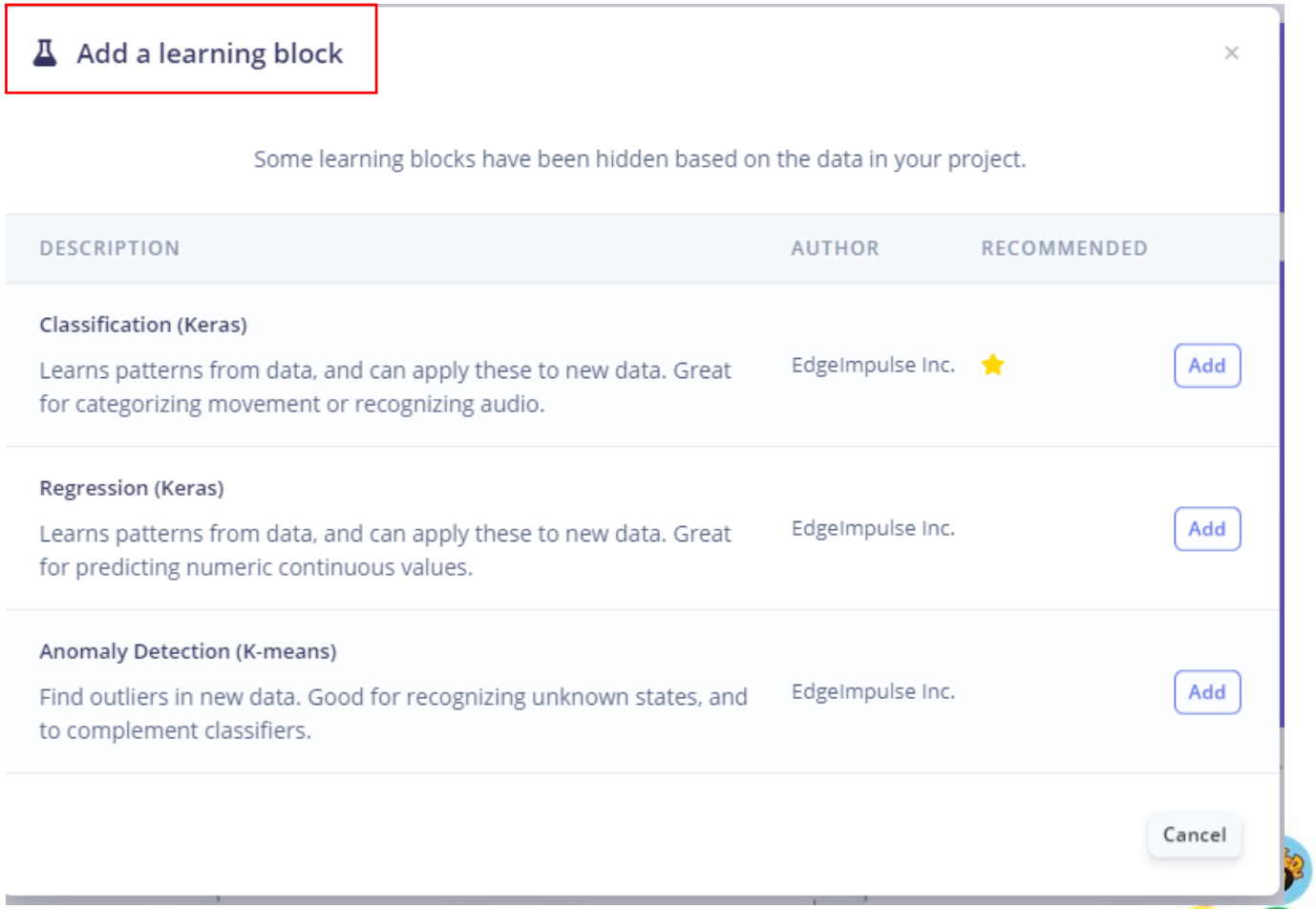
2. 管理資料與定義類別


EDGE IMPULSE
Dashboard
Devices
Data acquisition
Impulse design
Create impulse
EON Tuner
Retrain model
Live classification
Model testing
Versioning
Deployment
GETTING STARTED
Documentation
Forums
DATA COLLECTED
11s
TRAIN / TEST SPLIT
100% / 0%
Collected data
SAMPLE NAME
LABEL
ADDED
LENGTH
paper.json.2h2bk17e paper Today, 21:13:07 1s
rock.json.2h2bjn46 rock Today, 21:12:57 1s
rock.json.2h2bjahj rock Today, 21:12:44 1s
rock.json.2h2bj3tk rock Today, 21:12:37 1s
rock.json.2h2biu4t rock Today, 21:12:31 1s
rock.json.2h2bin6s rock Today, 21:12:24 1s
rock.json.2h2biej1 rock Today, 21:12:15 1s
rock.json.2h2bhu7r rock Today, 21:11:59 1s
rock.json.2h2bhkct rock Today, 21:11:49 1s
rock.json.2h2bh1u0 rock Today, 21:11:30 1s
rock.json.2h2beu20 rock Today, 21:10:20 1s
1
Record new data
Connect using WebUSB
Device
wio_cavedu
Label
paper
Sample length (ms.)
1000
Sensor
Sensor with 1 axes (light)
Frequency
39Hz
Start sampling
RAW DATA
paper.json.2h2bk17e
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0
102
205
307
410
512
615
717
820
923
https://studio.edgeimpulse.com/studio/14620/acquisition/training?page=1#!

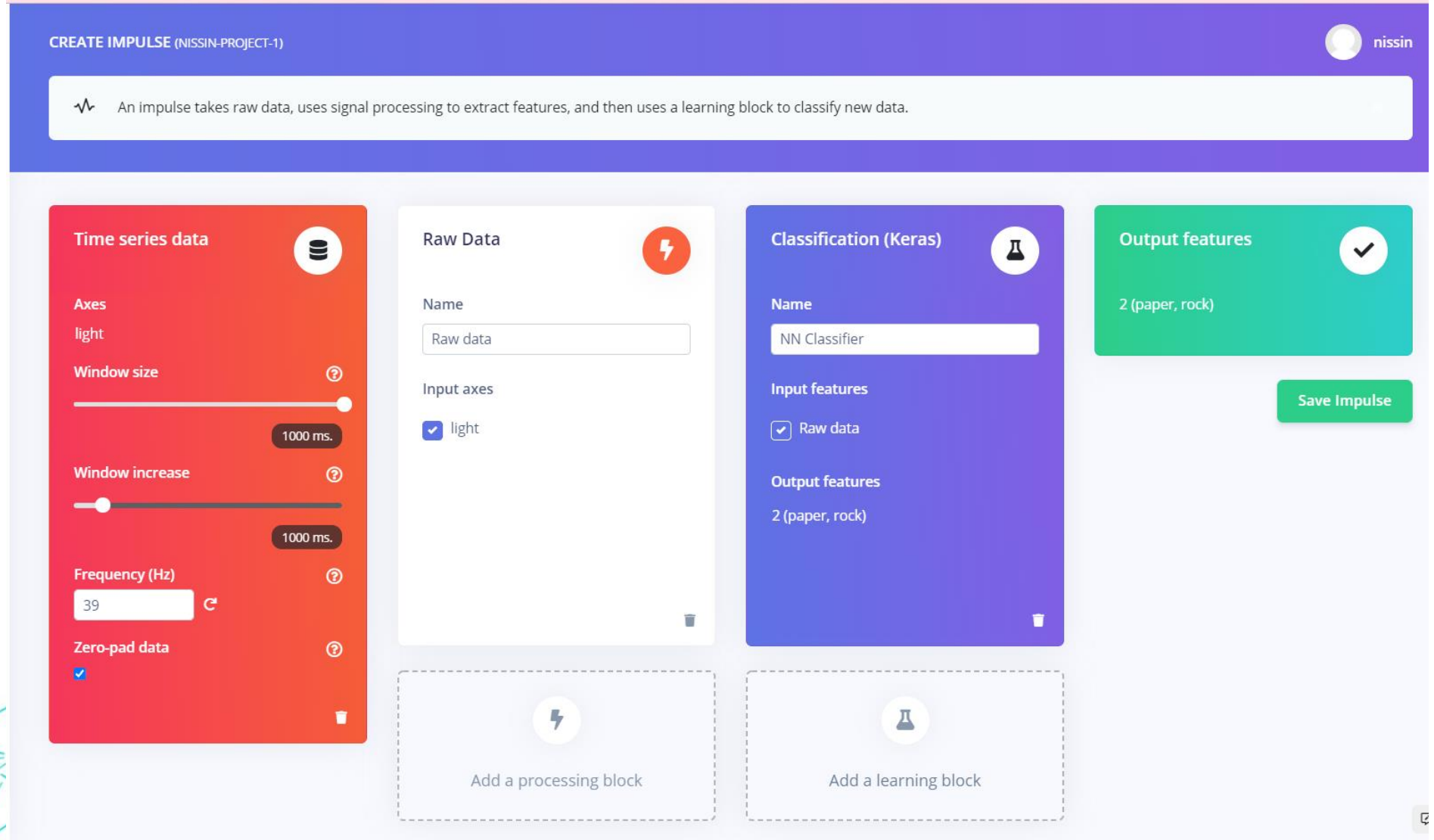
3. 設計Impulse – ML運算方式

已內建許多資料處理 / 機器學習指令
Rich built-in blocks

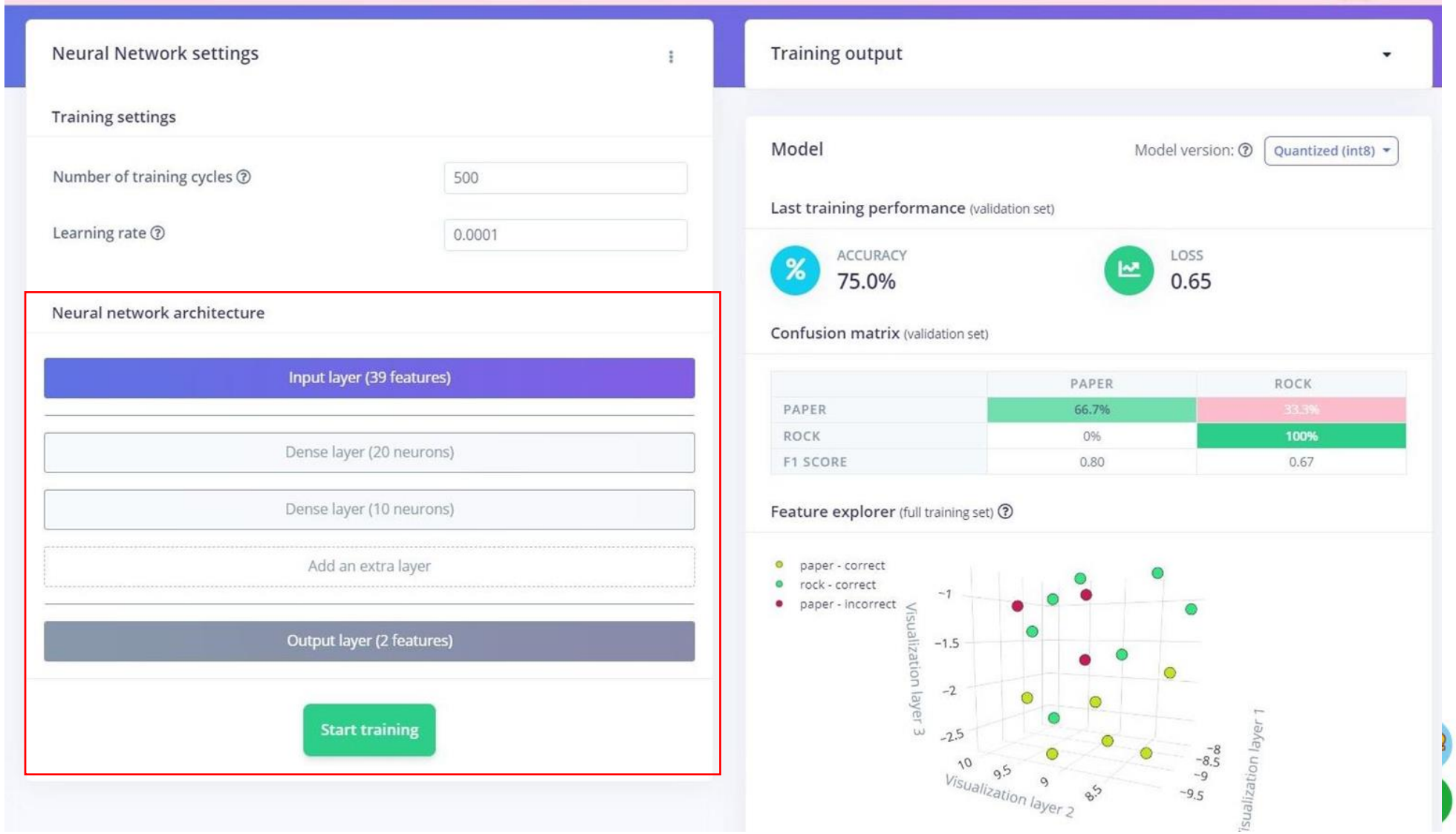




範例 Impulse / Example impulse

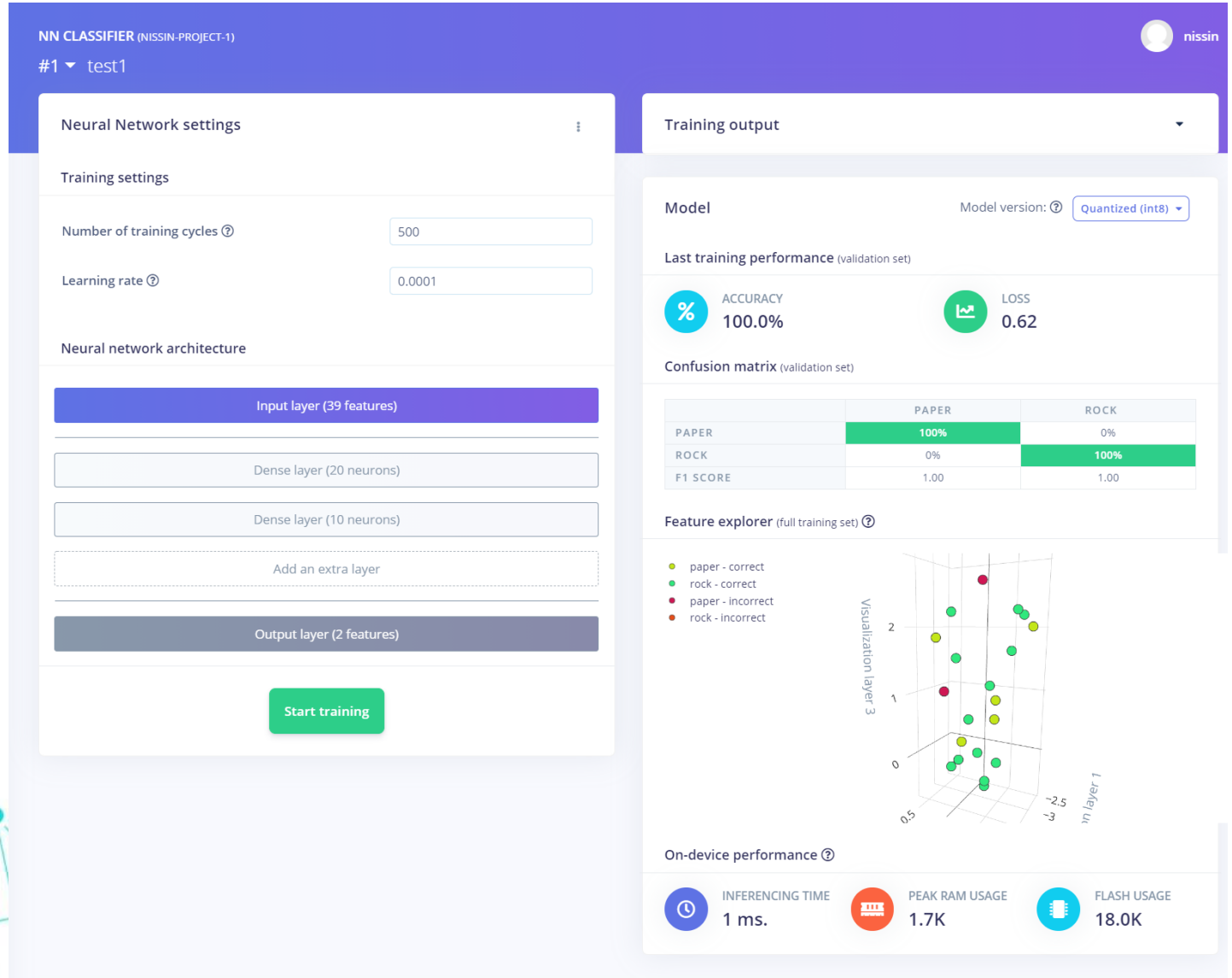


方便好用的神經網路設定



一鍵訓練！

4. 不斷修改讓模型更好！



更多資料

調整NN架構

重新訓練！

Edge Impulse
讓課堂中**多次修改/重新訓練/測試**成為可能

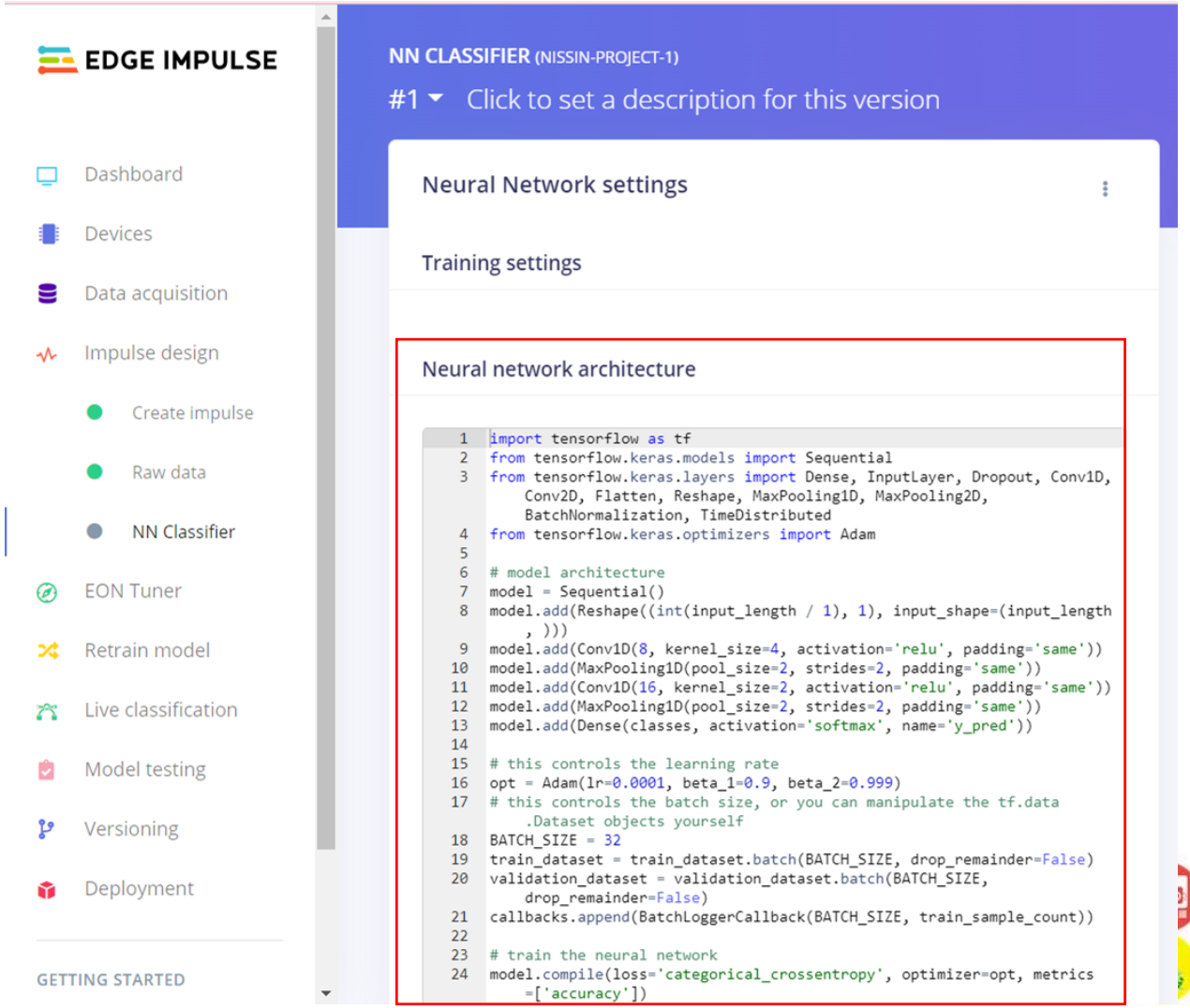
Edge Impulse makes it possible to **repeatedly modify / retrain and test** your solution

4a 進階使用者可以直接改程式碼

Neural Network settings

點選 [...] 切換到

就可以直接編輯程式碼
(tf.keras)



4b 檢視NN訓練結果

模型效能

特徵探索

混淆矩陣

Training output

Model

Model version: Quantized (int8)

Last training performance (validation set)

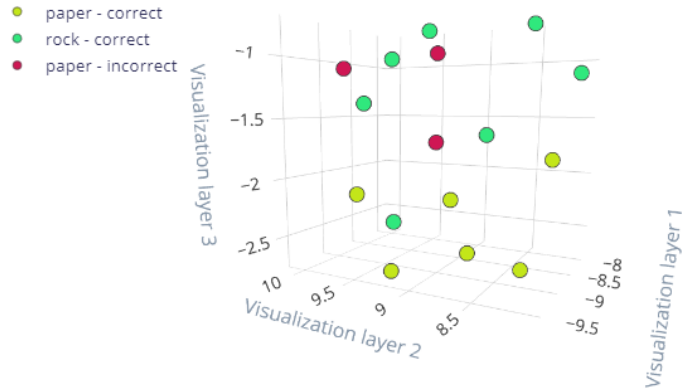
ACCURACY
75.0%

LOSS
0.65

Confusion matrix (validation set)

	PAPER	ROCK
PAPER	66.7%	33.3%
ROCK	0%	100%
F1 SCORE	0.80	0.67

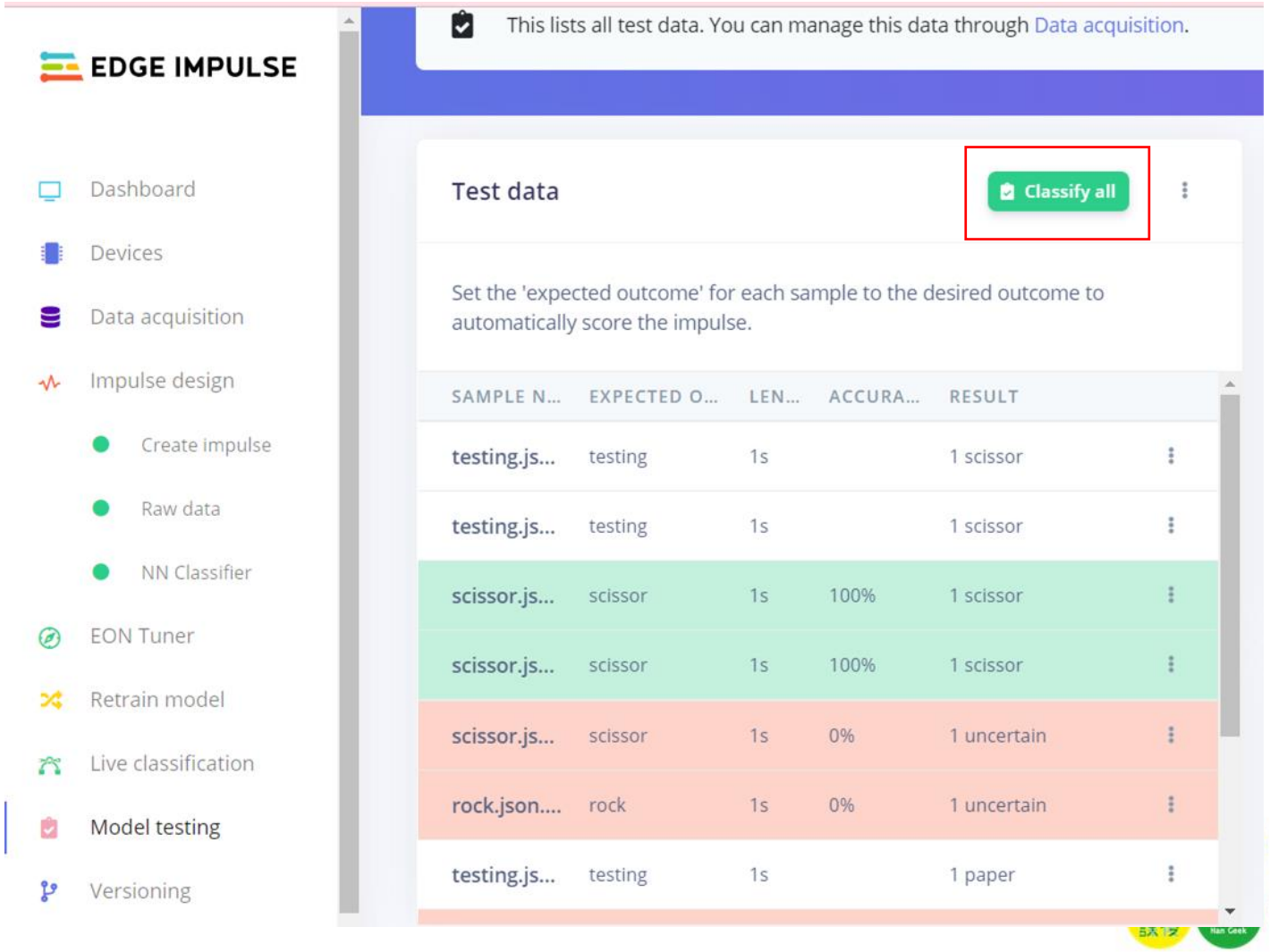
Feature explorer (full training set)



4c 在 Model testing檢視模型成效

test data 的每一筆結果

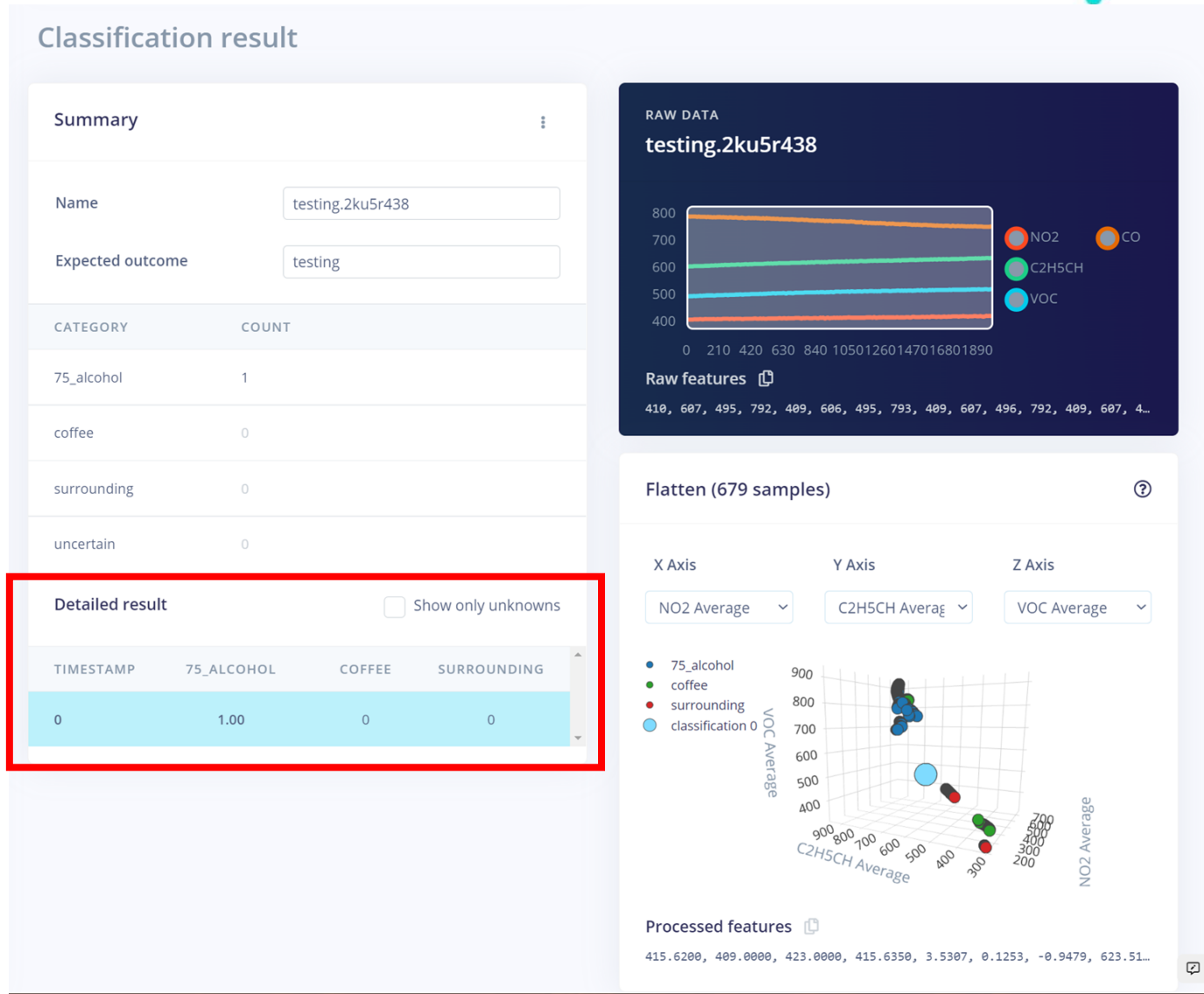
可以搬到 train dataset
再次重新訓練



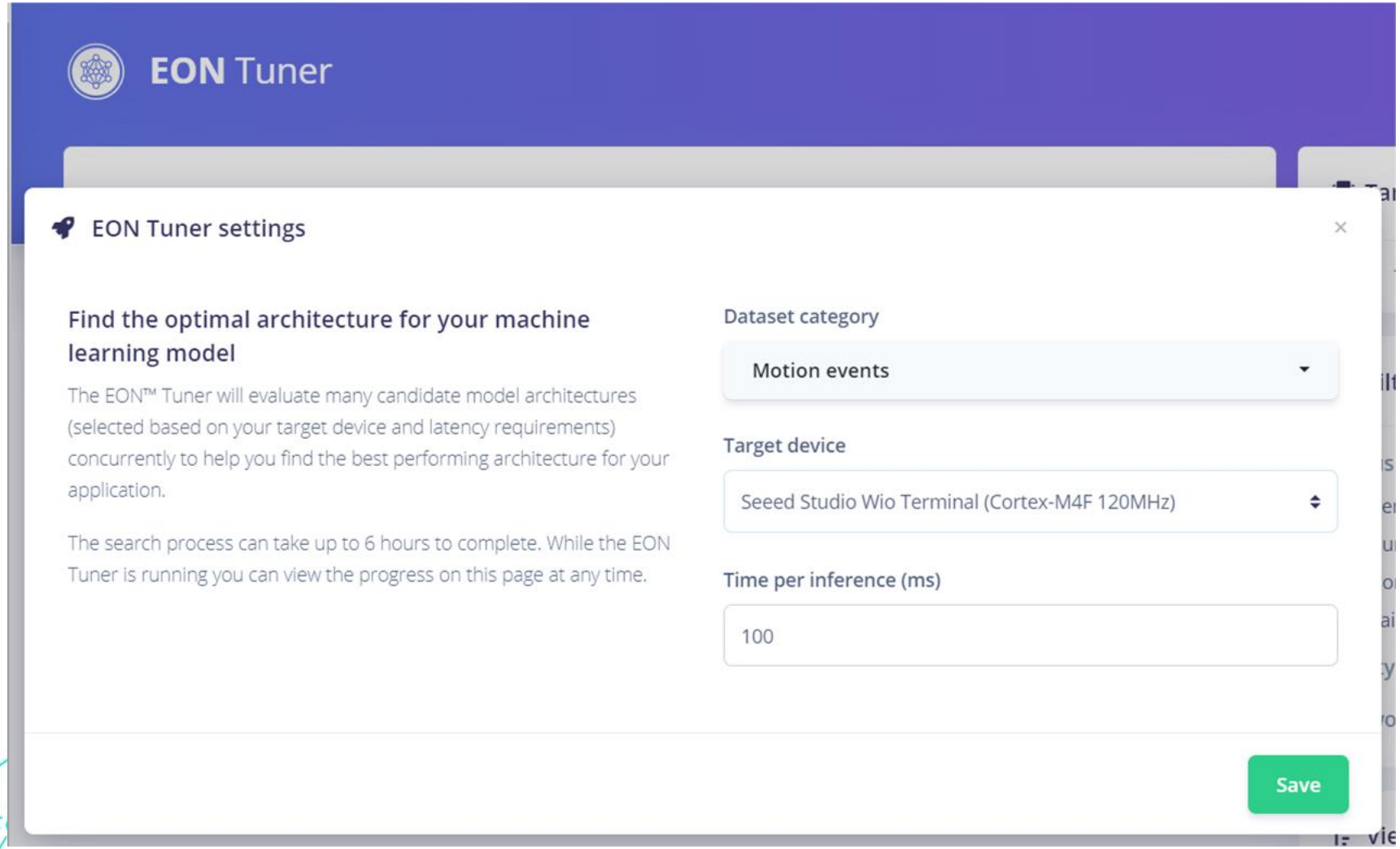
4e 即時測試

上傳感測器資料來即時測試

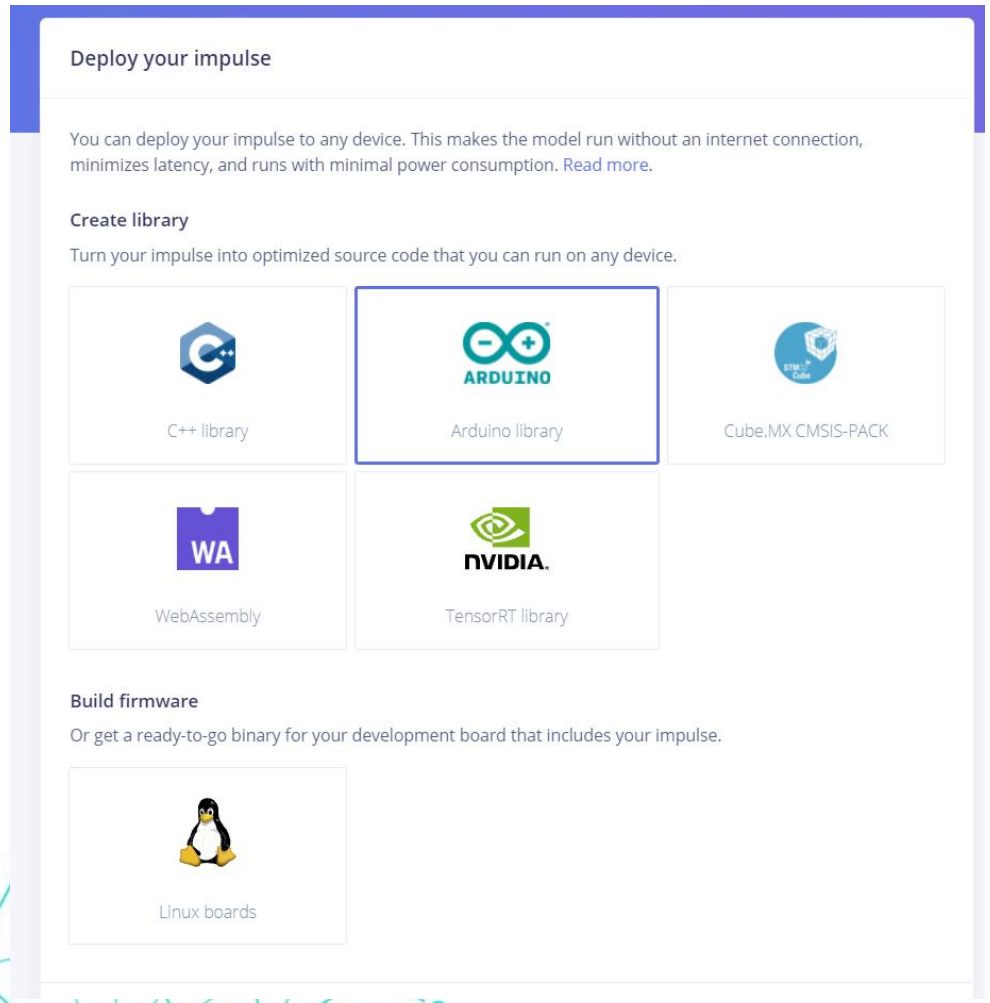
測試資料也可納入訓練資料集
來重新訓練

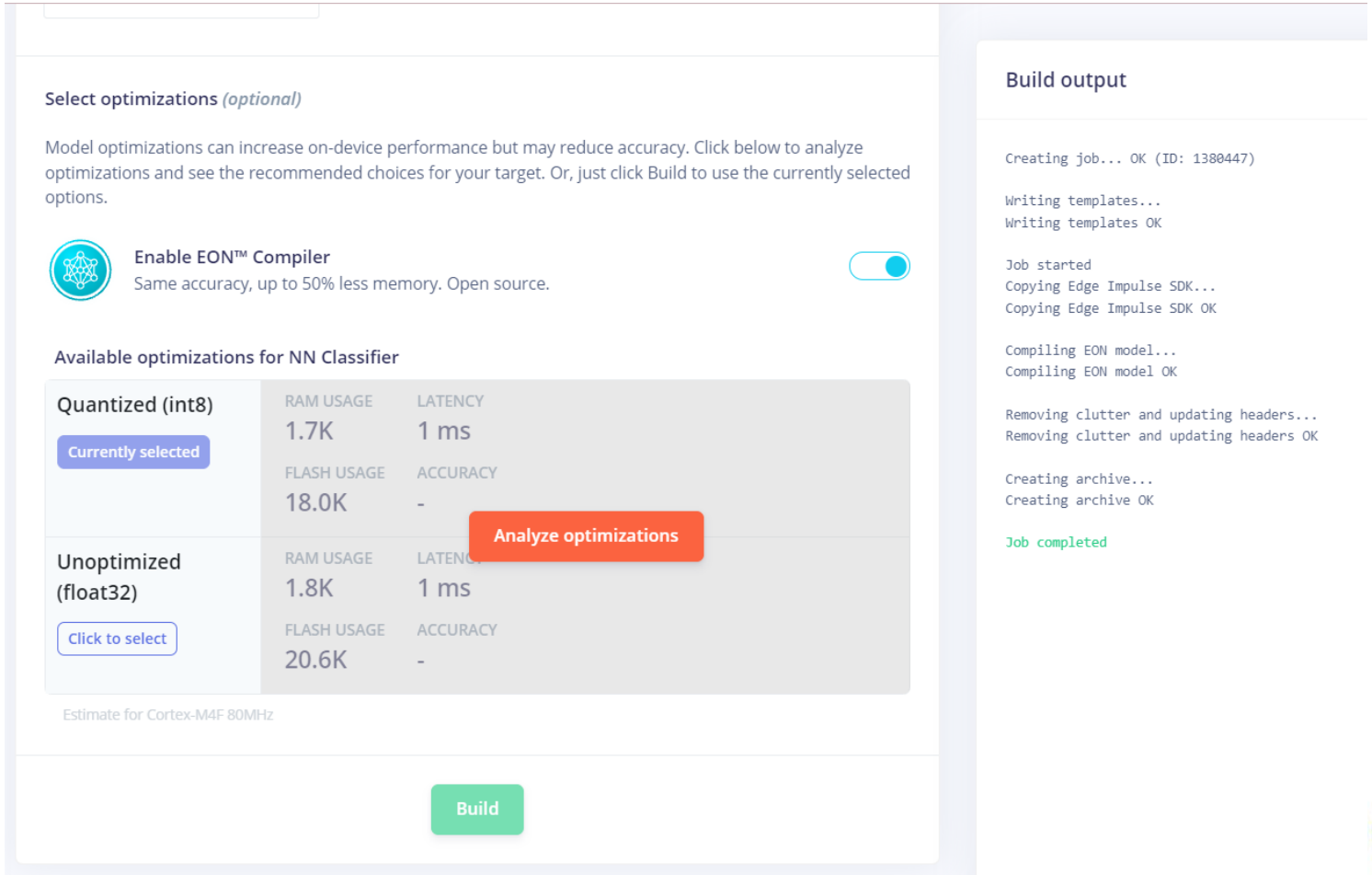


4f EON tuner - 針對開發板最佳化
Performance optimizer for your dev board

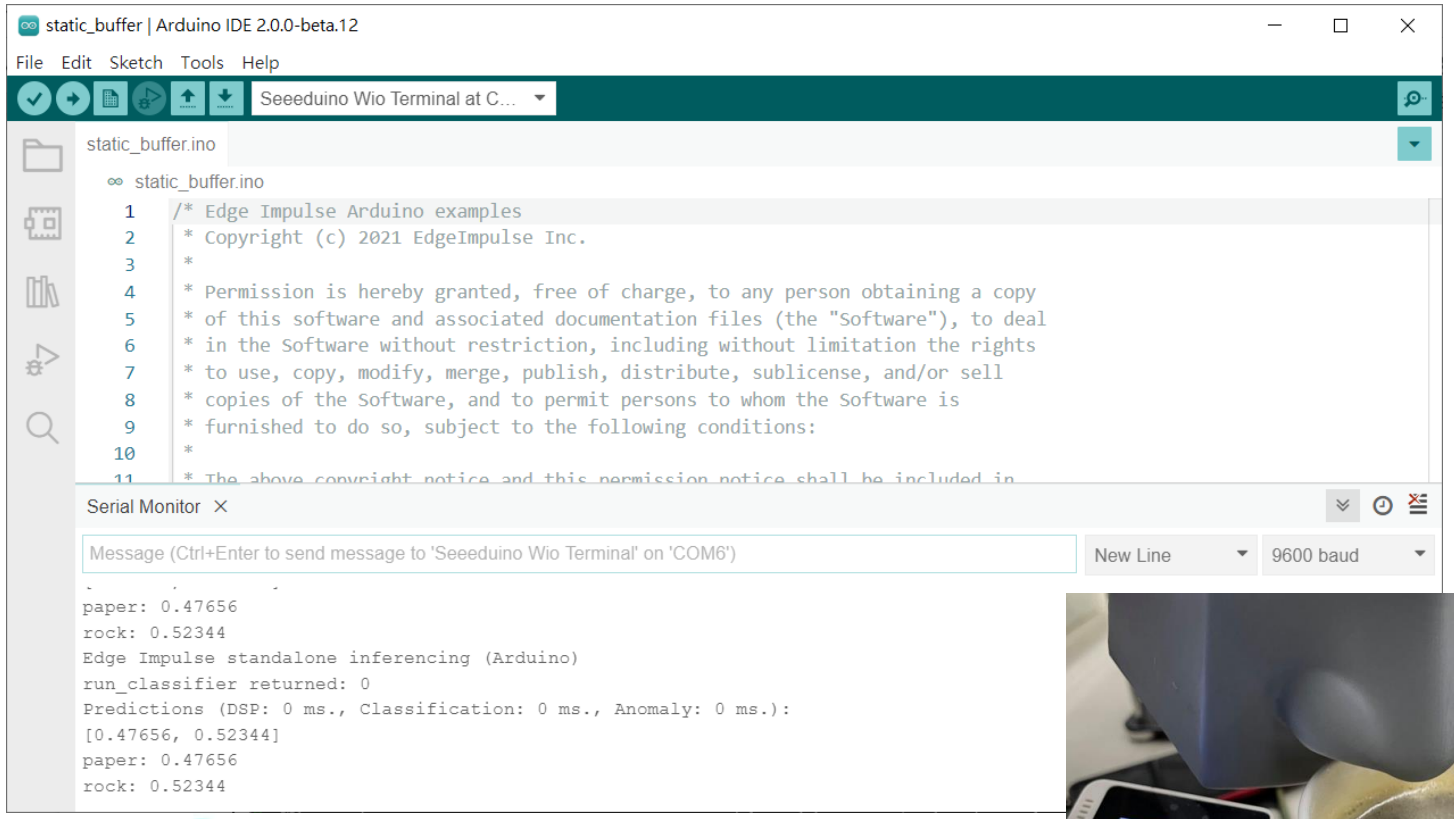


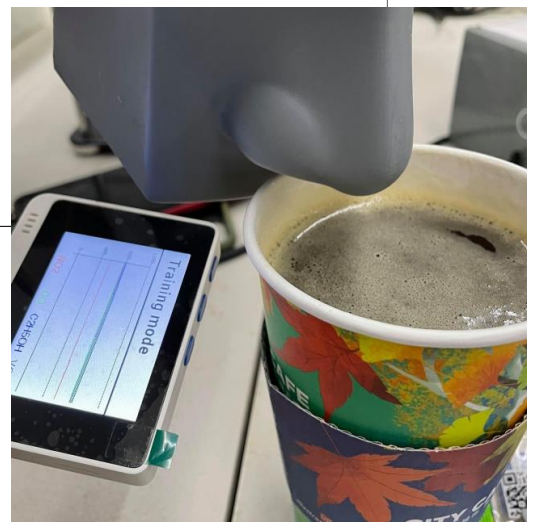
5. 根據硬體平台匯出神經網路模型
5. Export NN model for various HW platforms





6. 透過 Arduino IDE 上傳至開發板
7. 離線執行ML應用！





針對教學現場所設計之tinyML課表與套件包

tinyML education kit

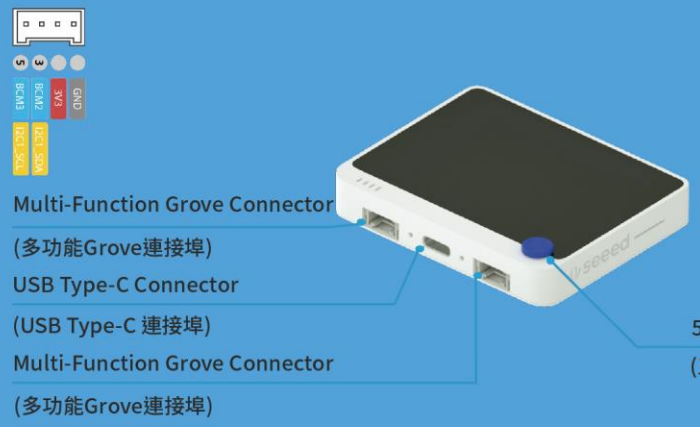
智慧植栽套件包 / Smart plant kit

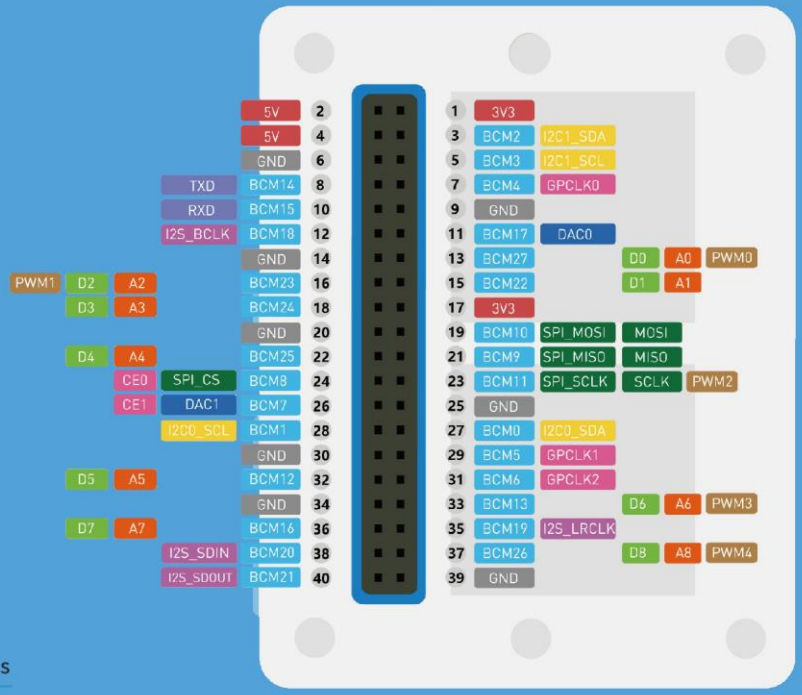
RK Wio Terminal Education Kit – 20 projects!

- Wio Terminal開發板
- Grove -多通道氣體感測器 V2
- Grove – MOSFET模組
- Grove -氣壓感測器(BME280)
- Grove -超音波測距模組
- Gravity: 類比式防水電容式土壤濕度感測器
- 直流沉水式抽水馬達
- 含收納與配件

洞洞叁教學材料包

RK Wio Terminal Education Kit





機器人王國 www.robotkingdom.com.tw
台北市中正區中華路二段165號1樓 TEL | 02-2306-2900
EMAIL | service@robotkingdom.com.tw

Any question is welcomed!

Or contact me:

nissin@cavedu.com

Facebook: 曾吉弘

Wechat: cavedu_nissin

** as of March 28, 2022; several more under final reviews*