

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 工程學(一)科

探究精神獎

052311

結合熱感應的寵物訓練機

學校名稱：臺北市立內湖高級工業職業學校

作者： 職二 王柏鈞 職二 張仁澈 職二 澹臺令程	指導老師： 陳永華 王宛琦
--	-----------------------------

關鍵詞：熱影像、行為辨識、物件追蹤

摘要

在多數有毛小孩陪伴的家庭，訓練寵物大小便的問題至為重要，足以影響主人的生活品質。本研究的寵物訓練機以操作制約為理論基礎，透過監測寵物可否在正確位置如廁，再以語音及食物獎勵，強化在正確位置如廁的行為，讓主人可以在機器的輔助下，順利完成寵物的訓練。為辨識排泄物是否在正確的位置，採用熱影像攝影機辨識環境熱源，擷取前後兩張熱影像的差，找出有降溫特性的物體，藉以確定寵物排泄物的位置，準確率將大幅提高。當寵物成功在正確位置如廁時，訓練機立刻啟動獎勵，以樹莓派啟用語音獎勵及藍芽控制零食桶給予獎勵，寵物便可以不用主人親自訓練，便可以達到訓練寵物在正確位置排便的目標。

壹、研究動機

在一次專題課程中老師提到訓練寵物在家中正確位置如廁的經驗，由於老師上班沒辦法好好訓練，雖然最後還是訓練成功，但訓練過程困難重重讓他吃足苦頭。雖然家中沒有養寵物，卻引發我們思考如果可以利用一部機器協助寵物飼主訓練家中的寵物進行定點如廁，因為在寵物年幼階段常常沒有辦法在正確位置上廁所，有可能在家中隨地的大小便。對於那些新手飼主來說，除了時間問題外，缺乏訓練寵物的經驗和技能也是許多飼主會遇到的問題，也常常苦惱於如何進行訓練寵物如廁的問題。在選修課程「機械學習實務」曾修過利用人工智慧技術進行影像分類的實務操作，若能使用這個技術從影像中辨識出寵物排泄物，再藉由影像的位置確定寵物是否在正確位置如廁，再給予獎勵強化正確的行為，是否可以讓寵物在沒有主人介入的情況下，完成訓練寵物如廁，從而減輕主人的負擔，同時也提高了主人及寵物的生活質量。因此，我們設計了一款機器來輔佐飼主們對家中寵物進行定點如廁的訓練。

貳、研究目的

一、文獻探討

- 古典制約

古典制約最著名的是巴夫洛夫在 1890 年代進行的狗唾液實驗，實驗中狗一開始看到食物會流口水，而聽到音叉聲音並不會。但之後多次執行給食物同時給音叉聲的動作後，過不久狗狗只要聽到那個音叉聲音就會開始流口水，狗狗對食物與音叉聲產生連結，最後狗聽到特定聲音就會不自主的流下唾液，實驗過程如圖 2-1。

實驗步驟		實驗操作	實驗反應	示意圖
1	制約前	給予狗零食 (非制約刺激)	流口水 (非制約反應)	
2	制約前	讓狗聽到音叉聲 (中性刺激)	不會有反應 (無制約反應)	
3	施給制約	反覆多次讓狗聽到音叉聲，再給他零食	流口水 (非制約反應)	
4	制約後	經過多次步驟 3 後，最後只讓狗聽到音叉聲 (制約刺激)	流口水 (制約反應)	

圖 2-1 古典制約實驗示意圖

古典制約在訓練寵物上，可讓狗狗對一些事物連結美好的感覺，進而樂意去配合飼主進行。例如：狗主人為狗狗套上繩子，就是帶出去玩，久而久之當狗看到主人拿出繩子的時候就會知道要出去玩了，而表現出興奮的動作。

- 操作制約

操作制約會用食物獎勵或是用逞罰的方式對動物進行指定動作的訓練，並讓動物執行指定的行為，有關操作制約兩個最有名的實驗，說明如下：

- 史金納的操作制約實驗：將老鼠放進一個盒子，盒子內有一個裝置當壓下槓桿便會有零食掉下來，另外設一個電網如果不按槓桿就會通電，使用這個盒子做了兩種實驗，分別是實驗獎勵和逞罰的功效和給予獎勵的方式：

- (1) 只要老鼠按下按鈕就會有零食，因此老鼠就變成只要肚子餓，就會跑去壓槓桿
- (2) 只要老鼠不按按鈕，就會通電。老鼠為了不要被電就會跑去壓槓桿，但如果把電極的裝置關掉，老鼠就不按了。
- (3) 固定比率：只要老鼠按下按鈕就會給予零食。因此老鼠會學成固定壓槓桿的頻率。
- (4) 變動比率：在老鼠壓槓桿後變成不固定的給予零食，但即使給予零食的機率不一樣，老鼠還是會一直壓槓桿。
- (5) 固定時距：在老鼠壓下槓桿後過了 1 分鐘才會有零食。因此老鼠學會了要 1 分鐘壓一次。但如果之後都不給予零食，老鼠就不會再壓槓桿。
- (6) 變動時距：在老鼠壓槓桿後變成不以固定的時間給予零食。這種方式會讓老鼠表現相對穩定的按壓行為。

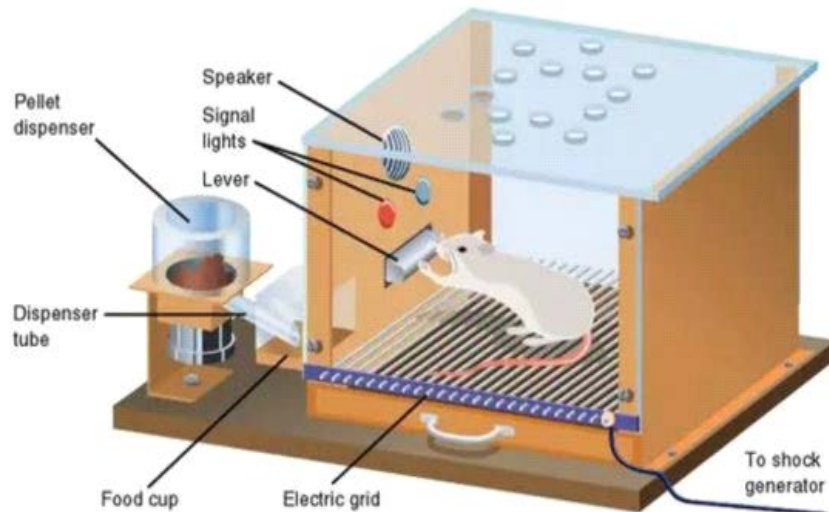


圖 2-2 史金納對老鼠進行實驗圖片來源：【鼠科學】三分鐘帶你看懂兩個經典心理學老鼠實驗！（2020）。旻論。泛科學

史金納在老鼠身上進行了四種操作制約的實驗，實驗結果可以發現

(1) 實驗 1 和 2 證明了獎勵的功效使大於處罰。

(2) 實驗 3、4、5、6 可以知道在訓練寵物時可以使用實驗 4 的方式來給予寵物零食獎勵，來增加訓練的速度。

- 桑代克的貓---迷籠實驗：將一隻貓關進籠子內，在他亂跑的過程中不小心拉到繩子讓籠子打開，之後再把貓關進去，在貓多次嘗試後他就會知道抓繩子，就可以離開籠子。

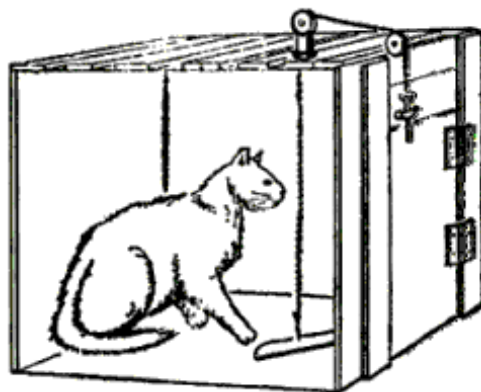


圖 2-3 桑代克對貓進行實驗

圖片來源：發現學習的奧秘（二）：桑代克的貓（2017）。童瓣爸爸。每日頭條

二、研究目的

- （一）、探討制約理論在寵物如廁訓練的應用
- （二）、研究熱影像及普通影像擷取裝置的及影像處理方法
- （三）、研究寵物排泄物與其他環境熱源在熱影像和普通影像的特徵
- （四）、建構可以分辨寵物和排泄物的系統
- （五）、建構對寵物在正確位置如廁的獎勵回饋系統及實驗
- （六）、使用本作品在寵物身上進行實驗

參、研究設備及器材

作品運用「古典制約理論」和「熱影像」來訓練寵物如何在家中地點如廁，運用樹莓派和 ESP32 來控制零食桶和語音功能。以 PYTHON 為基礎自學 OPENCV 的溫度框取和微分的運用，並於「專題實作」課程中完成此一專題。應用的硬體材料如下：

表 3-1、材料表

名稱	規格	數量
Raspberry pi 4	55x45mm	1
ESP32	27x40.5x4.5mm	1
Picam	25x23x9mm	1
MLX90640	28x16mm	1
SG90	23x12.2x29mm	1
Trumpet	40x40mm	1

根據表 3-1 材料表的內容，在更具體的介紹各項材料的功能及樣貌，以及在本作品內的使用方式，如表 3-2 研究器材功能說明。

表 3-2、研究器材功能說明

名稱	Raspberry pi 4	ESP32
材料 圖片		
工能 介紹	Raspberry pi4，是我們的主要核心，因為有強大的運算能力，所以作為熱感應行為辨識的工具再適合不過了。	利用樹莓派上的藍芽模組與 ESP32 進行通訊，透過藍芽通訊協定控制伺服馬達的選轉。
名稱	Picam	MLX90640
材料 圖片		
工能 介紹	使用 Picam 框出指定位置並結合 MLX90640 進行辨識。	使用 MLX90640 辨識出寵物與排泄物。
名稱	Servo SG90	Trumpet
材料 圖片		
工能 介紹	伺服馬達來控制零食和門閥的控制	給予寵物語音上的回饋

肆、研究過程或方法

本作品以樹莓派為主體，加上攝像儀(Picam)和熱影像儀(MLX90640)來分辨出寵物是否有在正確的位置上進行如廁，也可以分辨出寵物和排泄物在畫面中的差別，如果機器辨識出寵物做出正確的動作時，會立即啟動喇叭給予語音回饋，也會讓樹莓派藍芽控制 ESP32 讓零食可以掉出來，來給予寵物獎勵回饋。

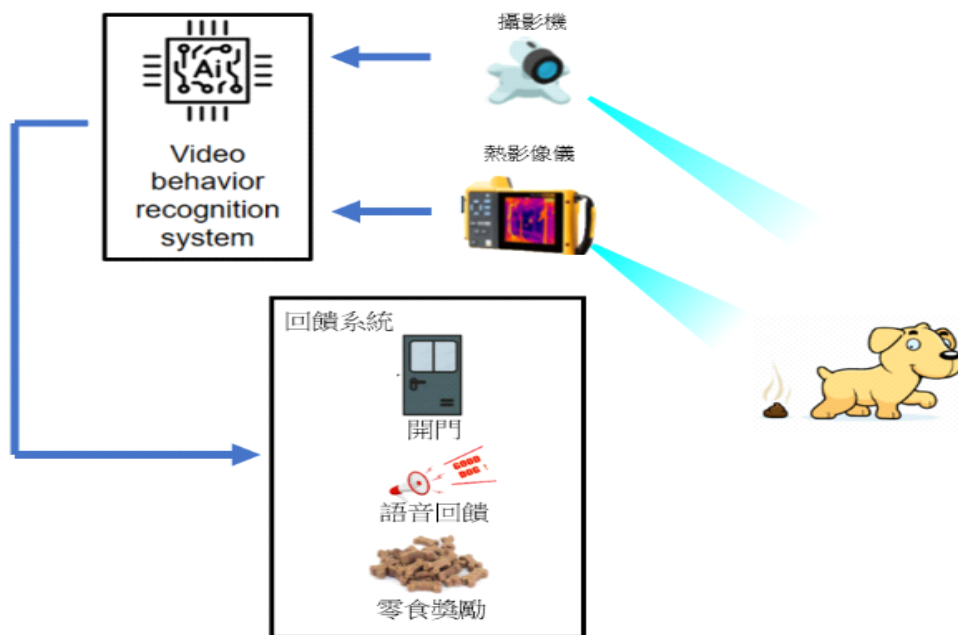


圖 4-1、系統架構圖

- 樹莓派與 MLX90640 接腳圖

作品的核心選用樹莓派作為主體，在使用紅外線熱像儀 MLX90640 蒐集熱影像的訊號，熱像儀總共有四隻接腳，VIN 要接在樹莓派的 3.3V 上、GND 接地、SDA 為 MLX90640 的數據線、SCL 為 MLX90640 的時鐘線，有了熱像儀就可以即時的看到寵物的移動，以及寵物排泄物的熱影像。

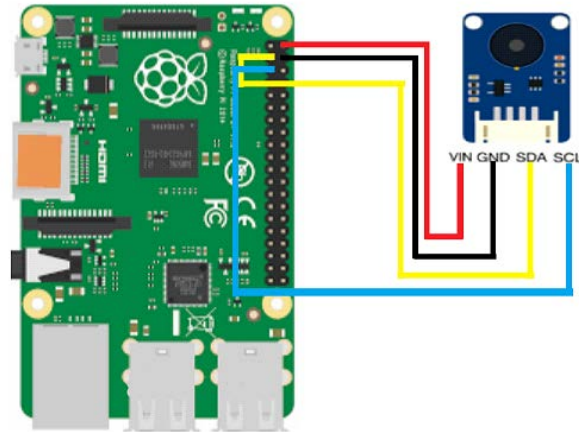


圖 4-2、樹莓派接腳對應圖

- 使用熱影像結合微分

當取得熱影像後，寵物以及排泄物會同時出現，因此需要分辨出寵物和排泄物的差別，先透過檢測物體的熱量來區分寵物和排泄物的溫度差異。在使用微分分析，我們可以快速、準確地識別出這種差異，從而進行訓練。

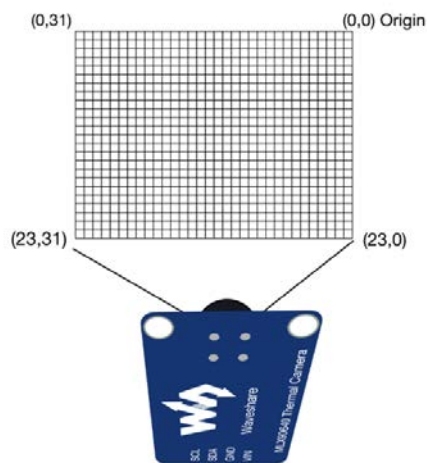


圖 4-3、MLX90640 視圖配置圖片來源：High Resolution Thermal

Camera with Raspberry Pi and MLX90640 (2020)。Joshua Hrisiko。Marker Portal

如圖 4-3 為熱像儀 MLX90640 所傳出的畫面大小，這對於在 Python 中繪製輸出非常重要，它將幫助我們在熱像儀的可視化中獲得正確的映射。在 Python 中，可以使用不同的方法來可視化 MLX90640 的輸出。當我們繪製 MLX90640 點時，這些點需要從左向右移動，以便遵循上面所示的紅外

感測器的正確映射。

而在微分古典制約理論中，系統的運動狀態和約束條件都用微分方程表示，並利用拉格朗日乘數法將約束條件轉化為系統的運動方程。通過這種方法，可以得到系統的運動軌跡和動力學特性。

- **OPENCV 熱影像分析**

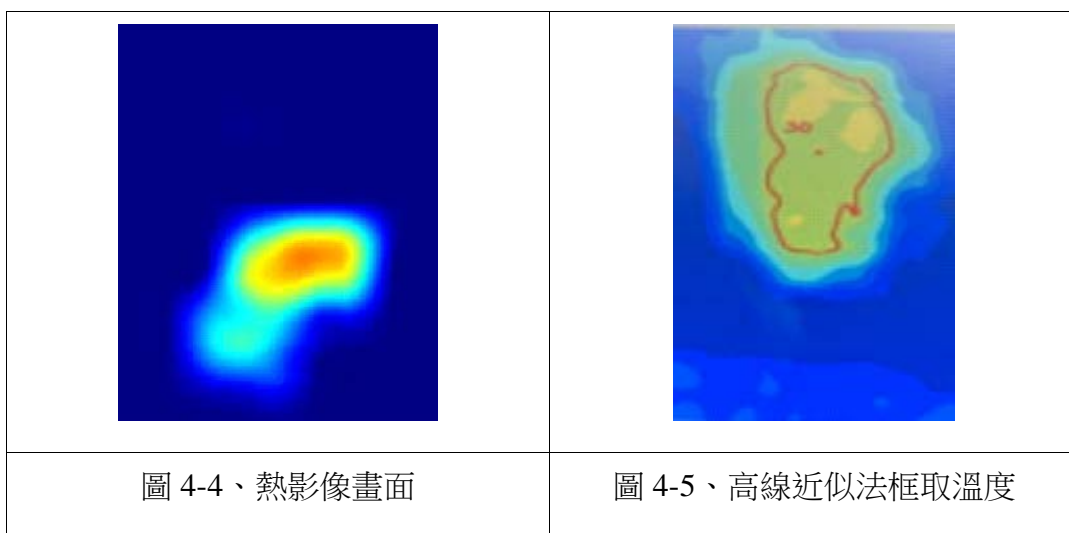
為了辨識寵物和排泄物我們使用了 `Opencv` 的影像分析，先將熱影像畫面使用 `InRange` 的方法將溫熱色系的物體留下再將它框取，並使用 `numpy` 的方法算出框取區塊內的平均溫度。

- (一)、等高線近似法

- 我們告訴輪廓是具有相同強度的形狀的邊界。它存儲形狀邊界的 (x, y) 座標。但它存儲所有座標是由此等高線近似方法指定的。

- 如果傳遞 `cv.CHAIN_APPROX_NONE`，則會存儲所有邊界點。但實際上我們不需要所有的點，例如，找到了直線的輪廓。是否需要線上的所有點來表示該線。不，我們只需要這條線的兩個端點。這就是 `cv.CHAIN_APPROX_SIMPLE` 所做的。它刪除所有冗餘點並壓縮輪廓，從而節省記憶體。

- 以等高線近似法來框取出在熱影像畫面中有溫度的部分，以利後續辨識寵物及排泄物的高溫範圍。



- 熱影像結合 Picam 的畫面

在樹莓派上讀取 MLX90640 紅外線攝像頭和 Picam 攝像頭的畫面可以幫助我們進行不同種類的應用，例如溫度感應、監控、物體識別等等。透過安裝相應的驅動程式和開啟接口，我們可以使用 Python 程式來控制攝像頭的操作，並進一步進行數據處理和應用。在實現這些應用的過程中，我們需要注意硬體의插入方向和軟體的配置，以確保攝像頭正常工作，下圖 4-6(左)為 MLX90640 在樹莓派中的熱影像畫面，(右)為 Picam 在樹莓派中的普通影像。

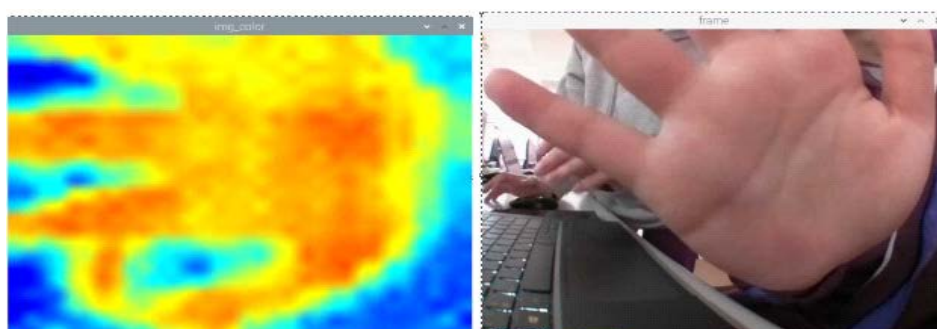
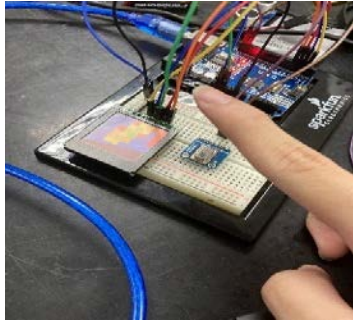


圖 4-6、程式執行後的畫面

- 使用 Arduino 將熱影像鏡頭溫度顯示到螢幕



因為要使用單晶片上傳圖片至雲端做影像分析，所以使用了 Arduino 開發板來讀取 AMG8833 熱像儀的溫度數據並且投放在 LCD 螢幕上，而因為 Arduino 沒有像 OpenCV 的圖片格式，所以在投放到螢幕前須要先將所有溫度對應的色碼先存取到一個陣列內，才能夠正常的顯示在螢幕上，如圖 4-7 所示。

圖 4-7、依照溫度將顏色輸出在螢幕上

- 定時將熱影像和普通影像存成影片檔

因為我們需要取得樣本做辨識，所以我們想到使用錄影的方法存許多熱影像和普通影像的影片可以讓我們進行辨識，而 I2C 的熱像儀會在執行過久後當機，所以我們設定了每 3 分鐘存取一個影片，讓熱像儀在不會當機情況下取得樣本。

- 取得迴圈開始前的時間

```
t0 = time.monotonic()
```

圖 4-8、讀取時間程式碼

- 判斷影片前後時間是否大於等於 180 秒

如影片時間大於等於 180 秒將會存檔，並使用 local time 解決檔名覆蓋的問題

```

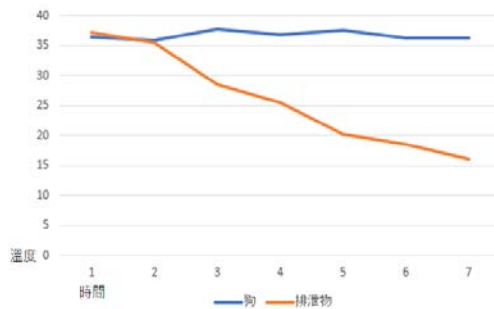
t1 = time.monotonic()
if(t1-t0>=180):
    out_v.release()
    out_t.release()
    localtime = time.localtime()
    result = time.strftime("%Y-%m-%d %I:%M:%S %p", localtime)
    fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'XVID')
    out_v = cv2.VideoWriter(result+'_v.avi', fourcc, 4.0, (640, 480))
    fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'XVID')
    out_t = cv2.VideoWriter(result+'_t.avi', fourcc, 4.0, (640, 480))
    t0=t1

```

圖 4-9、定時存影片程式碼

- 熱影像分析

如下面的圖表所示,我們辨識寵物和排泄物的方法是找到畫面中的單位時間內的溫度變化量。



此數據為寵物本身溫度和排泄物的溫度曲線圖

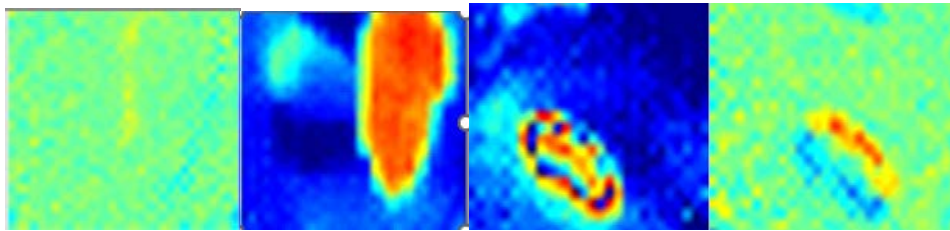
方法(一)使用微分來進行影像分析

為了辨識狗和排泄物我們使用了 Opencv 來做我們的影像分析,先將熱影像畫面使用 inRange 的方法將溫熱色系的物體留下再將它框取,並使用 numpy 的方法算出框取區塊內的平均溫度。因為狗和排泄物都為溫熱物體所以我們想到了使用微分的方法取出溫度得變化量,只要物體禁止不動且溫度一直在變化,畫面則會隨著變化的溫度顯示為紅色或藍色,反之物體的溫度變化量不大時則會與環境顏色相同。



為溫度變化量矩陣
 P_n 為當前影格的溫度矩陣
 為前一個影格的溫度矩陣
 溫度
 t 為取溫度矩陣的時間色表進行畫面顏色的填充

經過左邊的公式運算後使用這個



寵物在熱影像中的畫面 寵物在微分影像中的畫面
 排泄物在熱影像中的畫面 排泄物在微分影像中的畫面

上圖為熱影像畫面中和微分畫面的對比,左邊的上圖為熱影像畫面中和微分畫面的對比,
 熱影像中是一個固定熱源因為溫度變化量很小左邊的熱影像中為一個模擬排泄物因為
 故在右邊微分畫面中顯示為淺色系。溫度一直在變化故在右邊微分畫面中那塊區域顯示為紅色。

方法(二)使用叢集來判斷

- 1.將熱影像的溫度陣列透過設定的閾質將其二質化
- 2.取得二質化畫面中的所有輪廓並取得中心點
- 3.將這個迴圈的所有中心點存入陣列中並存取他屬於哪一次迴圈
- 4.計算這個迴圈中的所有中心點和記錄的所有中心點計算歐式距離
- 5.將計算後的數值去分配它屬於的叢集
- 6.判斷這個叢集的數量,大於一定數值則將溫度記錄下來
- 7.經過 10 次迴圈後計算處存的 10 個溫度的斜率大於一定數值則可以證明物體是排泄物



溫度陣列二質化後的畫面經過運算後顯示在畫面上

兩種方法的優缺點：

方法	微分	叢集
優點	<ul style="list-style-type: none"> • 能夠快速找到溫度在變化的東西。 • 運算量較小較不占記憶體。 	<ul style="list-style-type: none"> • 使用溫度閾質取得物體輪廓能夠避免顏色不一樣的問題。 • 會經過兩層的判斷來確定是否是排泄物,能夠更精準
缺點	<ul style="list-style-type: none"> • 如果物體在畫面中快速進出容易導致誤判。 • 因為使用 InRange,到新環境時往往需要重新校準數值。 	<ul style="list-style-type: none"> • 運算量相較微分更大,會需要占用記憶體來儲存畫面中大量的點和溫度。 • 辨識時間較久。

- YoloV7 實驗

我們使用 Yolo 來追蹤排泄物，但因為原始的權重檔沒有我們想要的模型所以我們自行訓練了一個我們自己的權重檔來追蹤我們需要的物件，先在 Roboflow 上一個一個將樣本框取訓練我們的物件如圖 4-12 所示為訓練物件，圖 4-13 為 Roboflow 執行結果，再將訓練好的權重檔匯入 Colab 並執行 Yolo 進行我們想要的物件追蹤如圖 4-14。

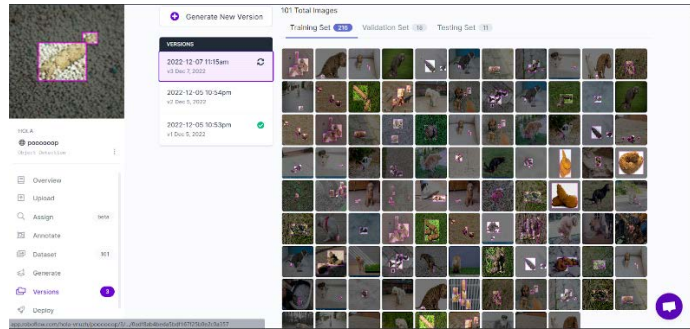


圖 4-12、Roboflow 訓練物件

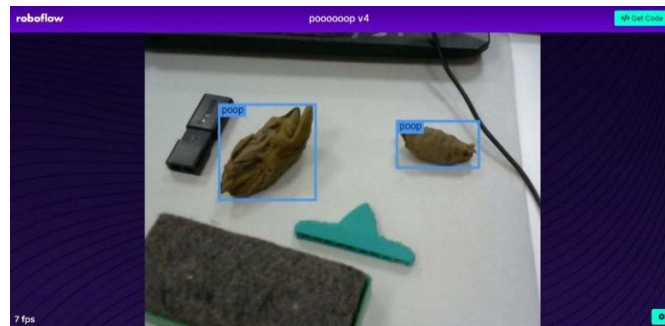


圖 4-13、在 Roboflow 上的執行結果

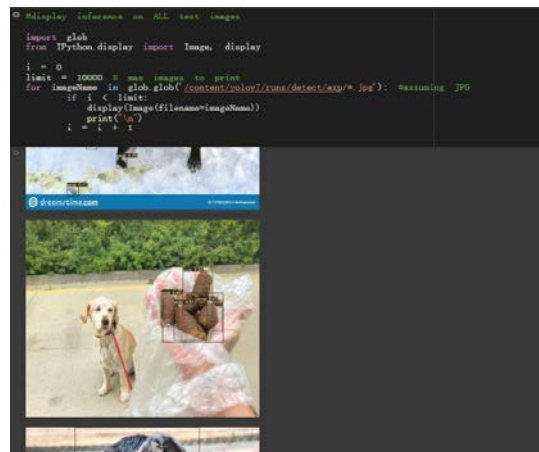


圖 4-14、在 Colab 上執行的結果

- 辨識物品在室溫中的溫度變化

下圖 4-15、4-16、4-17，分別為恆溫物體、排泄物、尿液在室溫中的溫度變化，經過測量可以看到排泄物和尿液的溫度會隨著時間而慢慢變低，而恆溫物體會維持一定的溫度，因此我們可以使用這樣的方式辨識出寵物和排泄物在畫面中的差別。

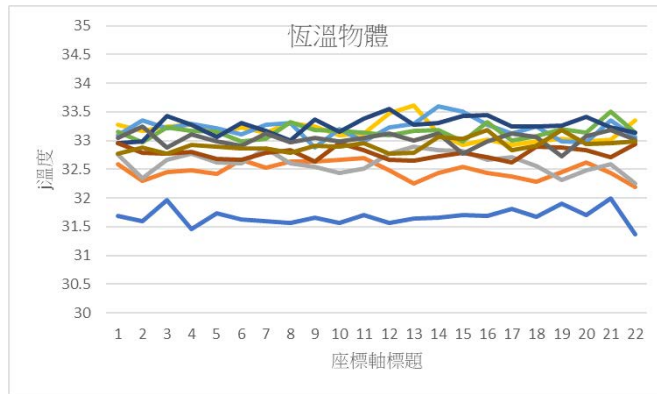


圖 4-15 恆溫物體的溫度變化量

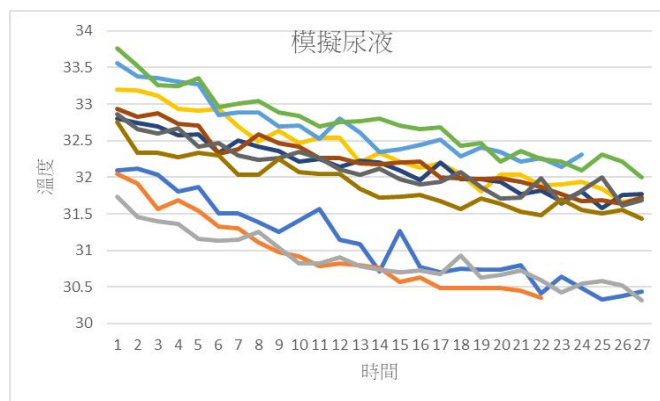


圖 4-16 尿液的溫度變化量

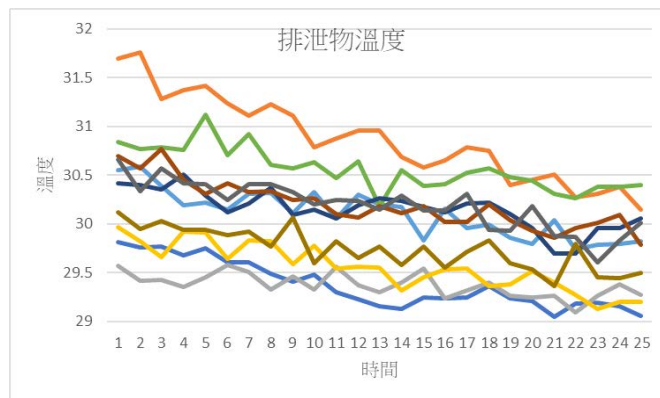


圖 4-17 排泄物的溫度變化量





十、排泄物辨識測試

一、熱影像微分辨識

使用熱影像辨識排泄物的準確率。分別使用：真的狗排泄物、模擬排泄物(正常)、模擬排泄物(稀)、巧克力棒、餅乾。來計算出機器對於辨識

排泄物的準確率。先使用溫度槍測量物品當下的溫度，並經過 10 秒後再測量一次，取得 10 秒內的溫度變化量。將所有畫面中的熱源鎖定後利用中心點來判段物體是否靜止不動，如果判斷為靜止物體則會紀錄溫度在 10 秒內的變化量，如果物體在 10 秒後有明顯的溫度變化，則會判定為排泄物，表 4-1 為辨識結果。

		
真的狗排泄物溫度	經過 10 秒後的溫度變化	在熱影像中的畫面
		
模擬排泄物(正常)	經過 10 秒後的溫度變化	在熱影像中的畫面
		
模擬排泄物(稀)	經過 10 秒後的溫度變化	在熱影像中的畫面

	
巧克力棒	在熱影像中的畫面
	
餅乾	在熱影像中的畫面

二、機器學習辨識

我們使用 TensorFlow 中的 keras 來進行這一個實驗的辨識工具，在第一版訓練時模型時由於樣本數只有 200 多張，導致每一次的訓練都過度擬和，一開始解決辦法使用 L2 正規劃來讓模型的學習曲線趨近平穩，在加完 L2 正規劃後發現模型還是發生了過度擬和，最後版本的訓練模型中在池化層和全連結層中加上了兩個 dropout 層讓模型在學習時較不會依賴於特定的神經元來解決模型過度擬和問題。

```
# 建立模型
model = Sequential()
model.add(Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001), input_shape=(img_width, img_height, 3)))
model.add(MaxPooling2D((2, 2)))
model.add(Dropout(0.1))
model.add(Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001)))
model.add(MaxPooling2D((2, 2)))
model.add(Dropout(0.1))
model.add(Flatten())
model.add(Dense(64, activation='relu', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001)))
model.add(Dropout(0.1))
model.add(Dense(num_classes, activation='softmax'))
```

圖 4-14 機器學習模型結構

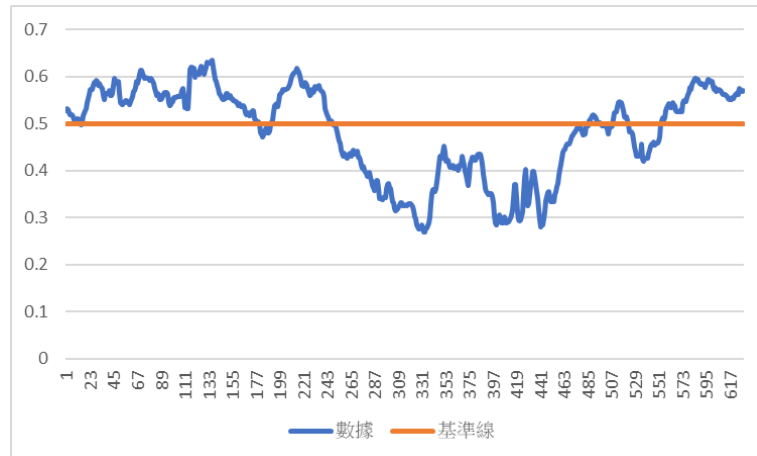


圖 4-15 巧克力棒在機器學習辨識下的數據

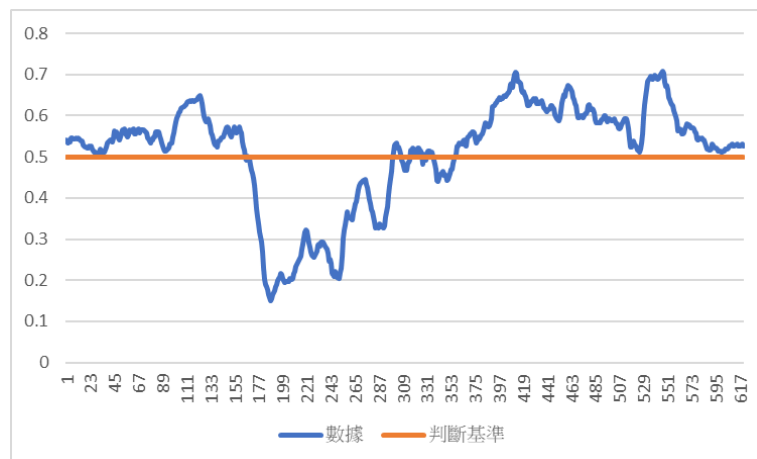


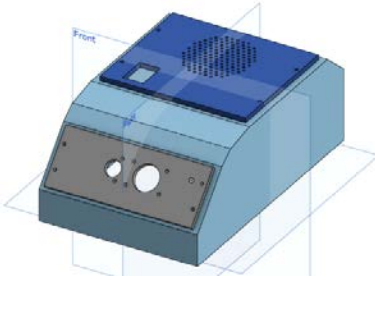
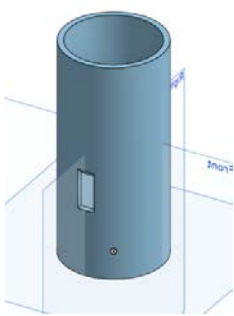
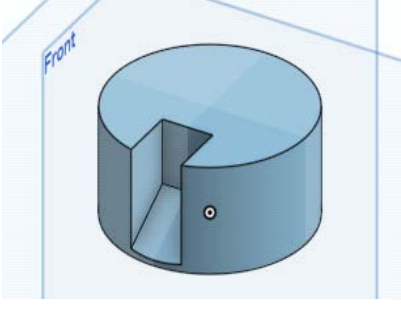



圖 4-15 巧克力餅乾在機器學習辨識下的數據

經過這個實驗可以看到機器學模型的辨識容易將非排泄物的物體判斷為排泄物，也容易因為環境不同，和光線的改變，導致誤判，因此我們選用熱影像機來進行整個作品的排泄物辨識。

十、3D 列印樹莓派盒子和零食投放機

為了整合樹莓派和鏡頭我們使用 3D 列印來固定樹莓派和兩個鏡頭，因為要掛置在牆壁上所以兩個鏡頭固定區域有一個 55 度的俯角可以監測地面，而上面開的孔是為了讓喇叭的聲音被清晰傳出。


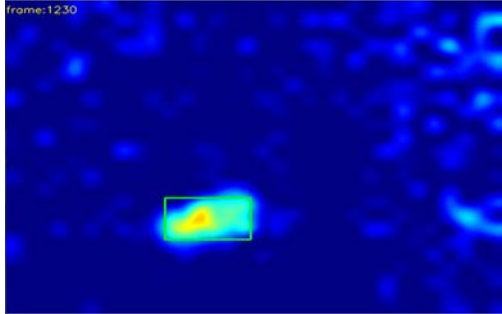
餵食機的部分我們設計了一個直筒來存放零食桶子內畫上伺服馬達鎖孔和支架來固定伺服馬達，並使用伺服馬達帶動中間的轉軸轉到桶子的開口使零食掉出開口。

		
<p>圖 4-15、樹莓派盒子</p>	<p>圖 4-16、零食桶</p>	<p>圖 4-17、零食桶轉軸</p>
		
<p>圖 4-18、樹莓派盒子實體 (俯視圖)</p>	<p>圖 4-19、零食桶實體 (俯視圖)</p>	<p>圖 4-20、零食桶轉軸實體 (俯視圖)</p>


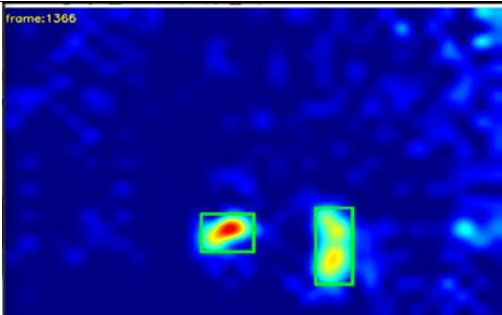
		
<p>圖 4-21、樹梅派盒子實體 (前視圖)</p>	<p>圖 4-22、零食桶實 體 (前視圖)</p>	<p>圖 4-23、零食桶轉軸實 體 (仰視圖)</p>

伍、研究結果

當寵物進入指定區域進行如廁時，將會啟動機器開始辨識。下圖 5-1 為寵物進入指定區域時，Picam 所框取到的畫面。圖 5-2 為寵物在 MLX90640 中所框取到的畫面。

	
<p>圖 5-1、寵物進入指定區域</p>	<p>圖 5-2、在熱影像中的畫面</p>

在寵物如廁完畢後，機器便會辨識出排泄物視在指定地點。圖 5-3 為機器辨識出狗和排泄物，並辨識出排泄物有出現在正確位置。圖 5-4 為 MLX90640 辨識寵物和排泄物的差別並將結果傳回 Picam 的畫面中。

	
<p>圖 5-3、寵物正確如廁</p>	<p>圖 5-4、在熱影像中的畫面</p>

在寵物完成正確的定點如廁後，機器便會立即給予零食和語音回饋。圖 5-5 當寵物做出正確的如廁動作時，樹莓派便會用藍芽發訊號給 ESP32 並控制 SG90 讓零食給予寵物。圖 5-6 在寵物做出指定如廁動作時，樹莓派便會讓機器隨機撥放語音回饋給與寵物。

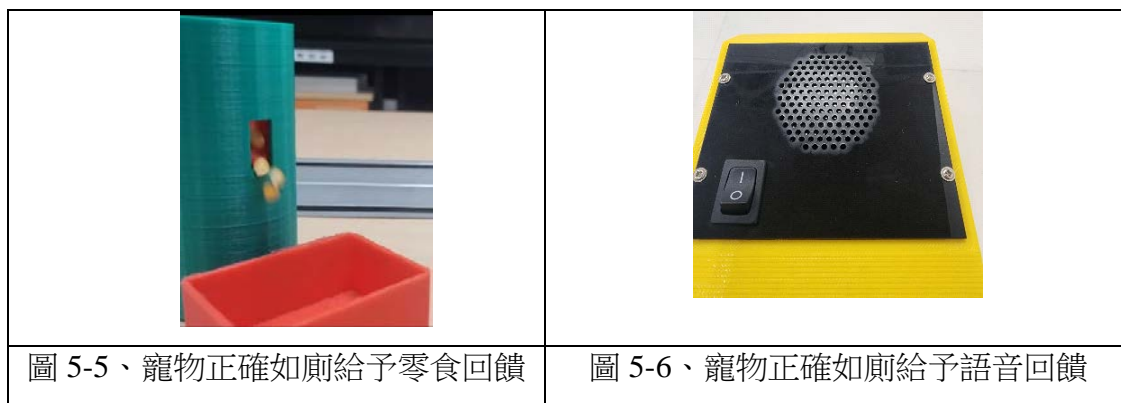
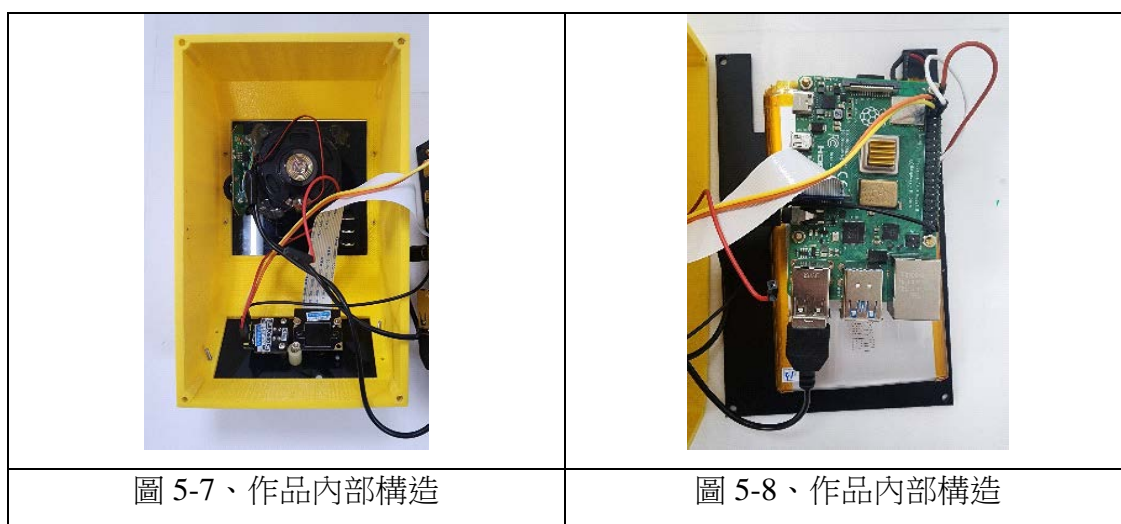


圖 5-7、5-8 為本作品內部構造。圖 5-7 的上方為喇叭模組給予寵物語音回饋，下方為 Picam、MLX90640 以進行寵物及排泄物的辨識。圖 5-8 為樹莓派本體，樹莓派後方為電池，供電給樹莓派使用。



下圖 5-9 為本作品執行時的畫面，當 MLX90640 框取到指定位置有寵物的排泄物，便會立即給予零食和語音回饋



圖 5-9、作品執行畫面

當寵物進入指定地點如廁時，機器便會自動啟動進行辨識。具體來說，當寵物進入指定地點時，機器會使用熱影像技術來捕捉寵物的影像。透過這種技術，寵物的身體溫度會在熱影像畫面中維持一定的區域，而排泄物的溫度會隨著時間逐漸變化，由熱變成常溫。因此，本作品使用微分的方式來區分寵物和排泄物。

在實驗時，排泄物的溫度會維持兩分半鐘，而排泄後的溫度會維持一分鐘。當機器辨識到寵物如廁成功後，便會立即給予獎勵。具體而言，寵物會通過事先設置的方式，例如踩踏某個特定區域或者發出特定的聲音等等，通知機器進行相應的動作。

陸、討論

根據本研究將寵物訓練機，將以熱影像辨識進行討論：

一、單晶片無法使用影片格式改成樹莓派：

一開始想使用單晶片將圖片上傳至雲端進行影像分析，但由於單晶片無圖片格式，所以在上傳時遇到許多問題，因此改成樹莓派來讀取熱影像並在本地端執行影像分析。

二、微分讀取並辨識：

而在微分古典制約理論中，系統的運動狀態和約束條件都用微分方程表示，並利用拉格朗日乘數法將約束條件轉化為系統的運動方程。通過這種方法，可以得到系統的運動軌跡和動力學特性。

三、執行熱影像辨識時樹莓派容易當掉：

MLX90640 使用 I2C 通道來與樹莓派傳輸數據，但樹莓派無法快速接收大量資料，所以容易導致當機。因此未來可以換成 SDA、SCL 的熱影像機來傳輸資料，以解決因大量資料傳輸而導致樹莓派當機的問題。

四、本作品與市面產品比較

市面上也有許多監控寵物的產品，因此我們要知道本作品與市面產品的差異

市面產品：

- 1.自動餵食
- 2.無線監控
- 3.APP 控制

本作品：

- 1.自動餵食
- 2.無線監控

- 3.行為塑造
- 4.自動化
- 5.輔助飼主訓練寵物

柒、結論

為了可以訓練家中寵物在家中定點如廁，本作品設計的方向是在飼主沒有訓練經驗或是沒有時間可以訓練的情形發生時，可以幫助飼主進行訓練。因此，本作品整合以 **Opencv** 熱影像框取、微分計算及獎勵機制的整合功能如下：

一、**Opencv** 影像框取：偵測熱影像畫面中的溫度陣列並框取。

二、微分計算：在熱影像畫面中，如出現了寵物和排泄物時，機器必須加以判斷，而本作品判斷的方式為：寵物在畫面中會維持一定的體溫，但排泄物會由熱慢慢變成常溫，本作品便是以這樣的方式來來分辨出寵物與排泄物在畫面中的差別。

三、獎勵機制：

(一)、零食獎勵：在寵物做出正確的如廁指令時，樹莓派便會用藍芽給 **Esp32** 來控制伺服馬達的轉動，進而給予寵物零食獎勵。

(二)、語音回饋：寵物和人類幼兒時都會需要飼主和家人正面的鼓勵。

綜合以上方式，就可以透過 **Opencv** 辨識寵物是否有在指定位置如廁，並且檢測是否有排泄物的存在，如寵物和排泄物同時衝現在畫面中的話，便會使用微分進行分辨，如分辨完成後機器辨識出寵物做出正確的如廁動作時，便會給予語音以及零食的獎勵回饋。這樣的系統可以應用在寵物飼養的管理上，幫助主人即時了解寵物如廁的情形，並減少飼主的照顧負擔。

未來展望：

目前已經成功將熱影像進行多種影像分析的處理，可以成功抓取寵物及排泄物，再加上辨識的前兩者的效果也不錯，只差在需改善樹莓派當機問題，可望未來可透過硬體設備，或是軟體改善的方式實現多張影像即時判斷的內容，使系統可以更穩定。

另外實現古典制約的實際實驗，希望未來寵物訓練不是只侷限於寵物定點如廁，而是可以往寵物訓練多方面進行，讓寵物及飼主可以更多元、更彈性的訓練寵物。

捌、參考文獻資料

一、YOLO 物件追蹤與訓練

(一)、Roboflow. (2021, March 2). *How to Train YOLOv4 on a Custom Dataset in Darknet*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=N-GS8cmDPog&t=1145s>

(二)、Niconielsen32. (2021, March 2). *ComputerVision*. GitHub. <https://github.com/niconielsen32/ComputerVision>

(三)、Augmented startups. (2022, September 2). *YOLOv7 Paper Review in 13 Minutes*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus>

["https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus"](https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus) : [HYPERLINK](https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus)
["https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus"](https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus)
[?v=zhFmaU9LBus](https://www.youtube.com/watch?v=zhFmaU9LBus)

(四)、Joseph, R. (2019, March 2). *YOLOv3*. Youtube. <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

二、OPENCV 熱影像

(一)、Creepyd. (2021, March 2). *How to Detect Colors in OpenCV*

[Python]. Youtube. [https](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4) HYPERLINK

["https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4"](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4) :

[HYPERLINK](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

["https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4"/>](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek HYPERLINK

[HYPERLINK](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek)

["https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4"&](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

[HYPERLINK](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

["https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4"list=LL](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

[HYPERLINK](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

["https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4"&](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

[HYPERLINK](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

["https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4"index=](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

[4](https://www.youtube.com/watch?v=cMJwqxskyek&list=LL&index=4)

(二)、Giovanni code. (2022, April 2). *Object Counting by Color /*

OpenCV. Youtube. [https](https://www.youtube.com/watch?v=np6VRF0n57Y&list=LL&index=3) :

[//www.youtube.com/watch?v=np6VRF0n57Y&list=LL&index=3](https://www.youtube.com/watch?v=np6VRF0n57Y&list=LL&index=3)

三、熱影像畫面讀取

(一)、Joshua, H. (2020, April 2). *High Resolution Thermal Camera*

with Raspberry Pi and MLX90640. Maker Portal. [https](https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640) HYPERLINK

["https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640"](https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640) : HYPERLINK

["https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640"/>](https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640)[/makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640](https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640) HYPERLINK

["https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640"MLX90640](https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640)

(二)、Steven, X. (2021, April 2). *MLX90640 IR Thermal Camera Working With Raspberry Pi 4*. AUTODESK. <https://www.instructables.com/MLX90640-IR-Thermal-Camera-Working-With-Raspberry-/> : HYPERLINK
<https://www.instructables.com/MLX90640-IR-Thermal-Camera-Working-With-Raspberry-//www.instructables.com/> HYPERLINK
<https://www.instructables.com/MLX90640-IR-Thermal-Camera-Working-With-Raspberry-//www.instructables.com/> HYPERLINK
<https://www.instructables.com/MLX90640-IR-Thermal-Camera-Working-With-Raspberry-//www.instructables.com/> HYPERLINK

四、OPENCV 物件追蹤

(一)、李倩. (2018, August 5). *OpenCV 上八種不同的目標追蹤算法*. GOOGLE.
[HYPERLINK https://ppfocus.com/0/di05bdd6f.html](https://ppfocus.com/0/di05bdd6f.html)
<https://ppfocus.com/0/di05bdd6f.html>

五、古典制約理論文獻

(一)、Hemmings. (2017, May 20). 研究狗狗流口水如何贏得諾貝爾獎？帕夫洛夫「古典制約」與消化系統的經典研究. Pansci.
[HYPERLINK https://pansci.asia/archives/41780](https://pansci.asia/archives/41780)
<https://pansci.asia/archives/41780>

【評語】 052311

1. 本作品探討建立寵物訓練機以操作制約為理論基礎，透過監測寵物動作，再以語音及食物獎勵，值得鼓勵!
2. 建議應該建立量化評估基準，以彰顯作品效益。
3. 建議應該思考將寵物如廁正確的判斷速度增加，與獎勵機制可以適當配合。
4. 建議應該思考本作品之商業推廣模式, 讓創意可以落地運用。

作品海報

摘要

在許多有毛小孩陪伴的家庭，訓練寵物如廁的問題至為重要，足以影響主人的生活品質。本研究的寵物訓練機以操作制約為基礎，透過監測寵物是否在正確位置如廁，在以語音及零食獎勵，強化在正確如廁的行為，讓飼主可以在機器的輔助下，順利完成寵物如廁訓練。為辨識排泄物是否在正確位置，採用熱影像辨識環境熱源，擷取前後兩張的影像差，並找出又降溫特性的物體，藉以確定排泄物的位置，準確率將大幅提高。當寵物在正確位置如廁時，訓練機會立刻給予語音獎勵及用藍芽控制零食桶給予獎勵，寵物便可以不用主人親自訓練，及可達到訓練寵物在正確位置如廁之目的。

研究動機

對於許多飼主來說，訓練狗狗定點如廁是一件重要且困難的事情，除了時間問題外，缺乏訓練經驗技能也是許多飼主會遇到的問題，也常常苦惱於如何進行寵物如廁的問題。而在市面上雖然有許多智能化的寵物用品，但也都侷限於在餵食及監控的部分，並沒有幫助飼主進行訓練的機器，因此我們設計了一款機器來輔佐飼主對家中寵物進行定點如廁的訓練。

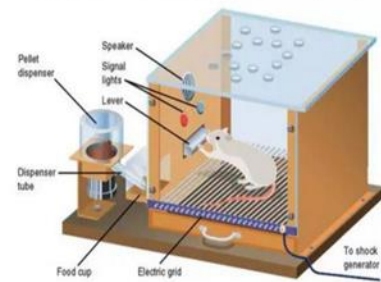
研究方法

古典制約理論

實驗步驟	實驗操作	實驗反應	示意圖
1 制約前	給予狗零食 (非制約刺激)	流口水 (非制約反應)	
2 制約前	讓狗聽到音叉聲 (中性刺激)	不會有反應 (無制約反應)	
3 施給制約	反覆多次讓狗聽到音叉聲，再給他零食	流口水 (非制約反應)	
4 制約後	經過多次步驟 3 後，最後只讓狗聽到音叉聲 (制約刺激)	流口水 (制約反應)	

操作制約理論

史金納的操作制約實驗：將老鼠放進一個盒子，盒子內有一個裝置當壓下槓桿便會有零食掉下來，另外設一個電網如果不按槓桿就會通電，使用這個盒子做了兩種實驗，分別是實驗獎勵和逞罰的功效和給予獎勵的方式



圖片來源：網路資料

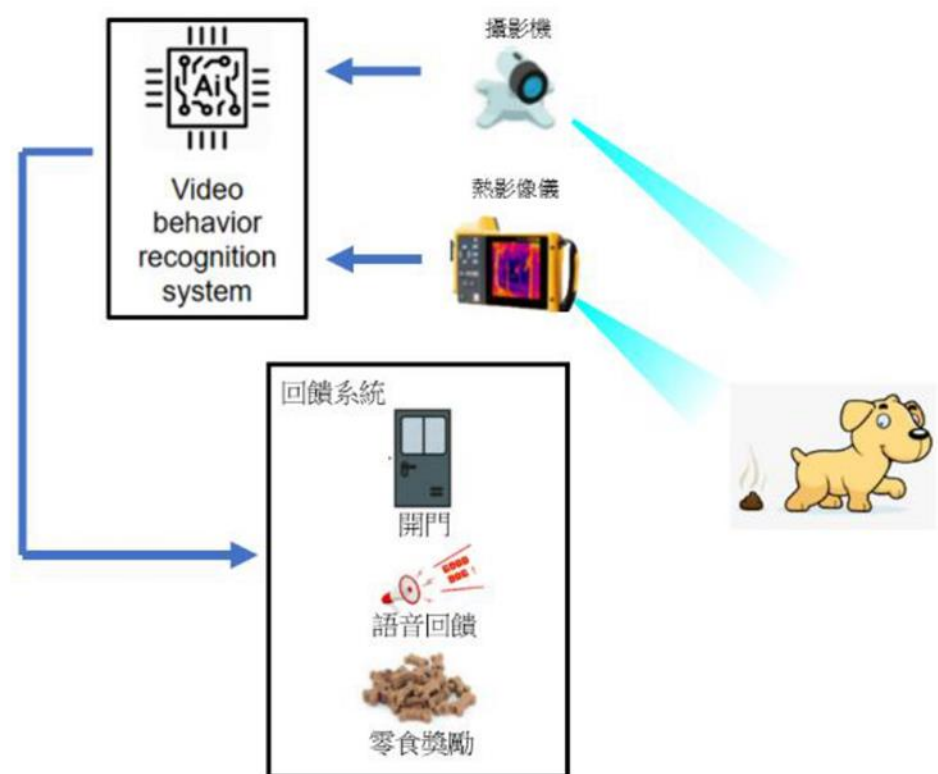
Potty Training 幼犬如廁訓練

狗狗如廁訓練是教導狗狗在指定地點如廁，通常是在戶外的指定區域或是專用的尿布墊上，而不是在室內隨地的排泄。這個過程可以幫助狗狗建立良好的衛生習慣，並保持居家的整潔和衛生。

訓練原則：

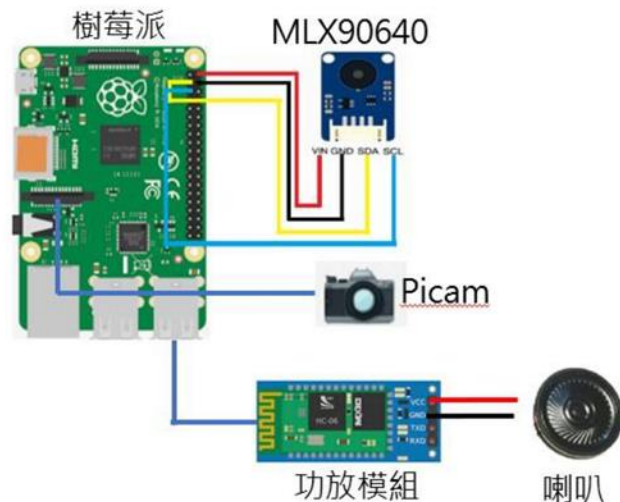
- 年齡：12週~18週
- 行為：觀察如廁前行為，如：原地打轉、聞地板
- 獎勵：正確地如廁給予讚美
- 時間：固定餵食時間
- 工具：室內尿墊訓練

系統架構圖



本作品以樹莓派為主體，連接及處理攝像儀 (Picam) 和熱影像儀 (MLX90640)。透過熱影像儀擷取，分析環境熱源與寵物排泄物的差異，當辨識到特定位置內有寵物排泄物，則表示寵物在正確位置排便，此時立即啟動喇叭給予語音回饋，並用控制給食裝置，藉此達成寵物習慣在指定位置正確如廁之訓練目標。

主機硬體架構圖



研究流程圖



實驗一：使用機器學習辨識排泄物

我們使用了巧克力棒、巧克力餅乾及模擬大便來使用機器學習的辨識，下圖為我們辨識時的照片和辨識完成的分數。

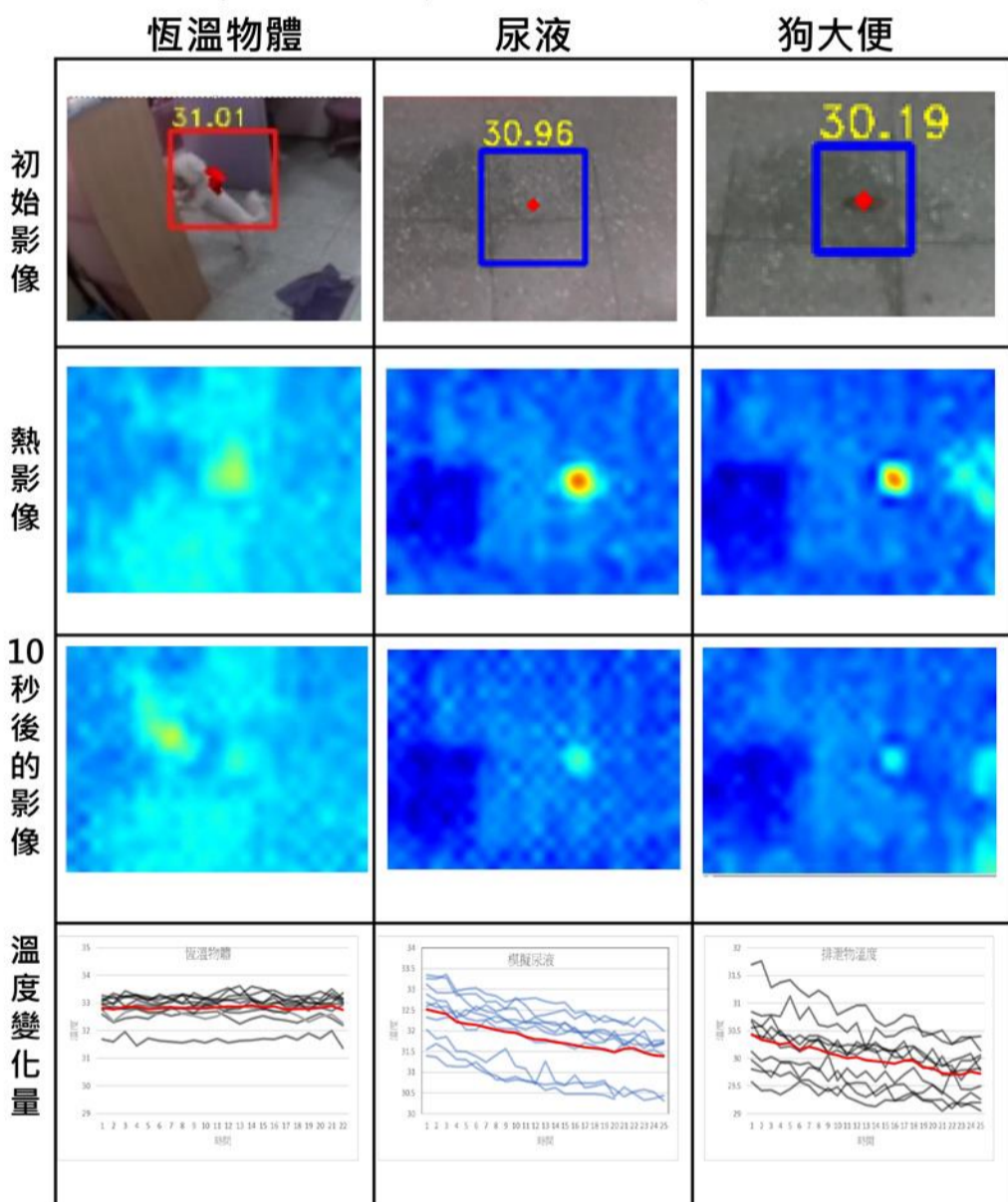


下圖為使用機器學習辨識後所得出來的分數

待測物	最高分數	平均分數	最低分數
巧克力餅乾	0.84	0.48	0.29
巧克力棒	0.73	0.51	0.36
排泄物	0.92	0.64	0.21

實驗二：分析排泄物與其他熱源的溫度變化量

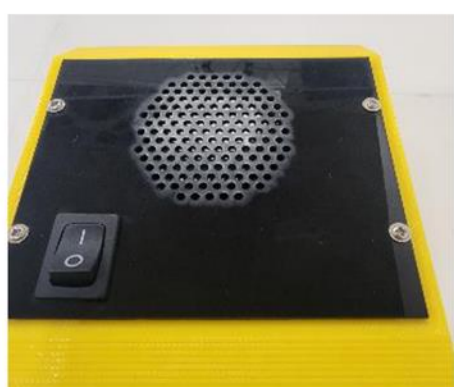
實驗方法：針對恆溫物體（寵物本身）、尿液、狗便便進行熱影像擷取，分析三者的變化量有何差異。



實驗五：語音及零食獎勵設計

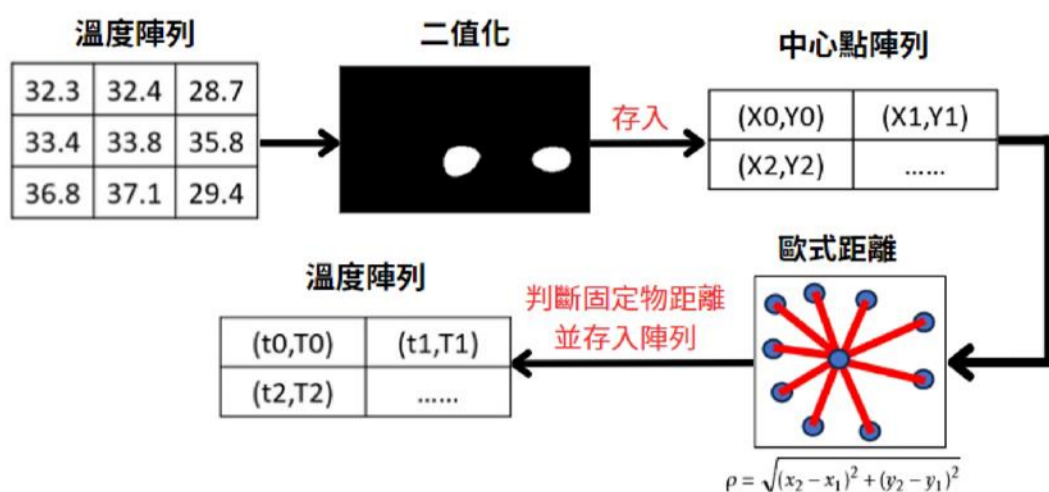
(一) 語音回饋

使用PYGAME來編寫語音系統，播放語音。如果寵物在指定區域做出正確排便，則機器便會隨機播放語音檔，對寵物鼓勵，強化正確的行為。

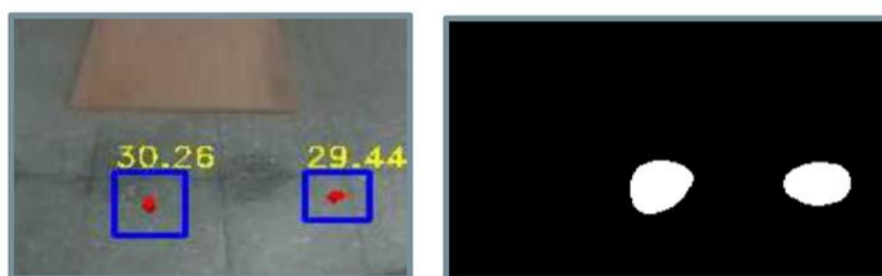


實驗三：叢集辨識

排泄物和寵物的特徵區別在於排泄物是不動物並且溫度是緩慢下降的，我們設計了一個演算法來找到畫面中的不動物，並且存取溫度陣列，再做後續溫度判斷，下圖為叢集辨識的流程。



下圖為使用叢集判斷物體在畫面中的畫面



實驗四：線性回歸判斷溫度曲線

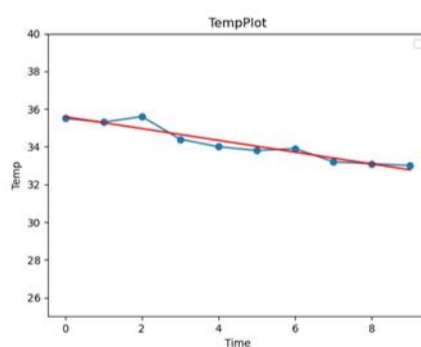
在前一個叢集判斷物體是否是固定物體後，使用叢集的溫度陣列，對這個固定物體進行溫度變化分析，根據溫度及測量時間繪出折線圖。

在得到折線後我們發現這些溫度點有不穩定的波動，故使用線性回歸分析擬合趨勢線，並依據趨勢線之下降斜率作為判斷是否為恆溫物或排泄物。

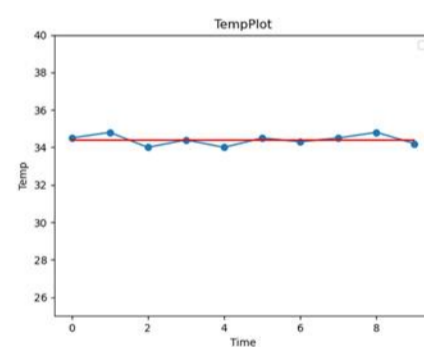
使用的線性回歸公式如下：

- Temp(溫度)：經叢集演算法後取得的溫度陣列
- β_0 (斜率)：時間對溫度的影響
- β_1 (截距)：表示此曲線在0的預測數值
- time (時間)：對應溫度陣列裡面的時間

$$\text{Temp} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{time}$$



模擬尿液的溫度曲線和線性回歸直線-0.04

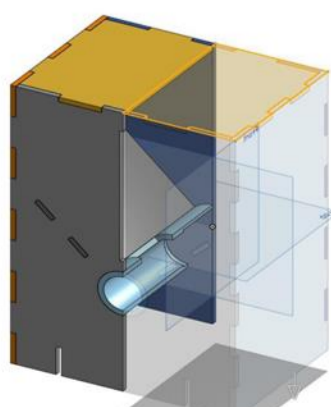


寵物的溫度曲線和線性回歸直線·斜率為0.08

可以從這兩個圖表中看出兩者之間的曲線左邊是緩慢下降右邊則是幾乎水平。

(二) 零食獎勵

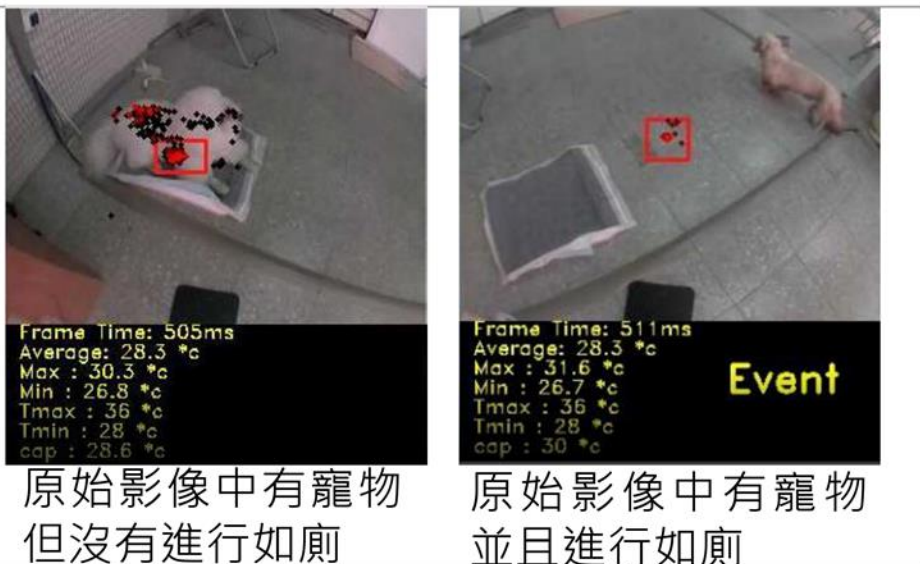
使用樹莓派以藍芽發送訊號給ESP32，當ESP32收到訊號便會控制步進馬達讓零食桶中的轉軸轉動，進而讓零食調出給予寵物。



研究結果

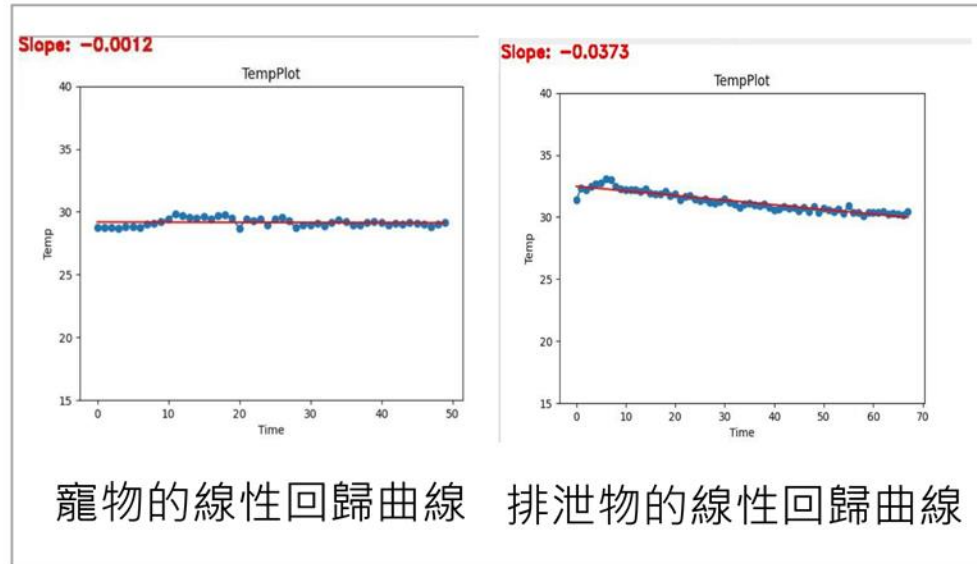
寵物的如廁辨識

當寵物進入指定區域進行如廁時，將會啟動機器開始辨識。將熱影像分析的結果標示在實體影像，可以直覺的辨識寵物及排泄物的位置。使用前面的演算法，可以準確判斷出寵物(恆溫物)或排泄物，並在偵測出排泄物時標示Event。



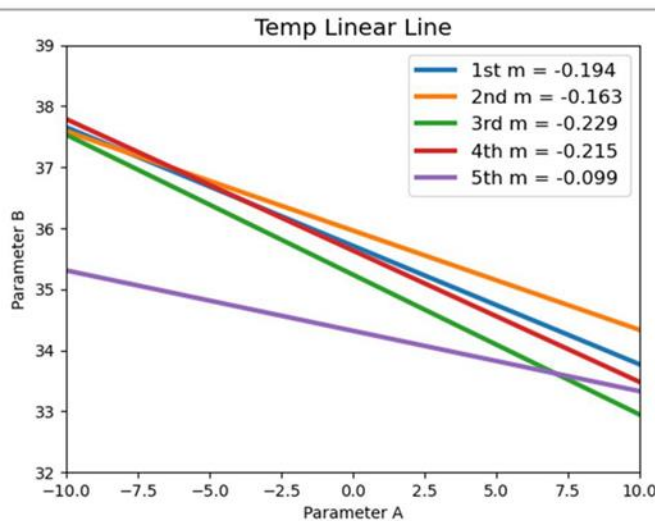
溫度數據變化結果

下面兩張圖表說明左邊兩張圖片的線性回歸曲線，左邊的圖表的點雖然有高有低，但在經過線性回歸算法後可以看出他的曲線是平緩的；右邊的圖表可以看出溫度是一直在緩慢下降的，經過線性回歸算法後得出的直線也是一個負斜率的下降曲線。



線性回歸

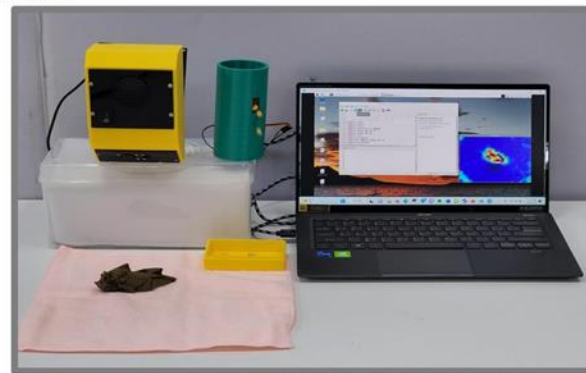
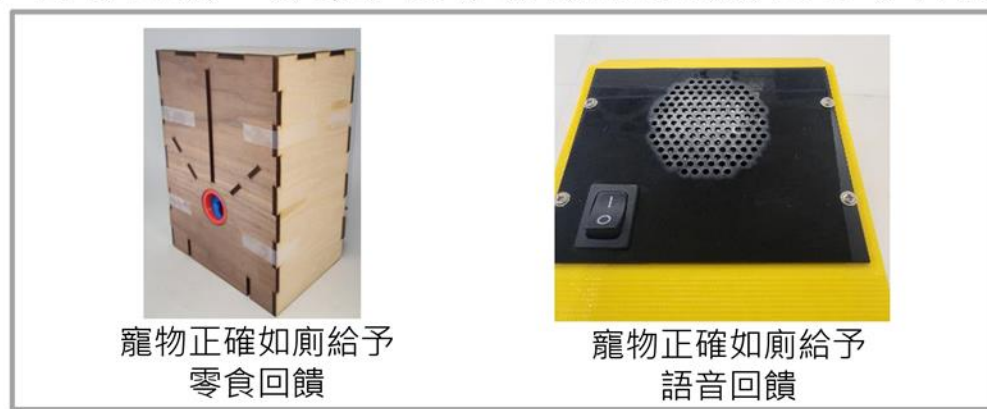
為了瞭解斜率的判斷基準，我們做了多次的辨識得出物品的溫度線性變化，右圖為實驗結果所得出的線性變化，因此我們將判斷的基準定在-0.03，-0.03以下判斷為排泄物。



回饋機制

在寵物完成正確的定點如廁後，機器便會立即給予零食和語音回饋。

1. 零食回饋：樹莓派便會用藍芽發訊號給ESP32並控制步進馬達讓零食給予寵物。
2. 語音回饋：樹莓派便會讓機器隨機撥放語音回饋給與寵物。



完整系統運作示例

討論與結論

討論

1. 大便面積過小偵測不易：本實驗使用解析度32X24之熱影像儀，其鏡頭為廣角110度，因為角度大分成的點格距離也相對大，所以當狗大便出現在影像上時，熱影像內能偵測單位面積內的熱源點也會比較少，因此大便的熱源影像不易識別。解決方法則是將廣角熱影像機改成較窄的55度熱影像機，讓單位面積的偵測點變多，面積小的物體溫度也能被偵測到。
2. 辨識反應時間長回饋未即時：從系統辨識的溫度數據上看尿液的溫度數據通常都會是浮動的，要等到五秒後線性回歸的數據才足以看出下降趨勢，當判定為狗狗正常便溺再給予回饋時已經至少五秒時間，此時狗狗可能已經離開尿墊，再給予獎勵會延遲與正確定點如廁的正向連結。此問題可使用寵物如廁前的行為徵兆用來預先判斷，讓回饋可以更即時。

結論

1. 智能化訓練：本作品以操作制約基礎協助飼主進行potty training，以正面回饋給予獎勵，強化定點如廁訓練。
2. 排泄物辨識技術：使用熱影像辨識寵物的排泄物並算溫度的變化曲線以進行辨識，並從而比較機器學習辨識與溫度辨識的優劣。
3. 即時獎勵回饋：在寵物做出正確動作時，會透過藍芽控制零食盒，結合語音鼓勵，即時給予寵物正面回饋。這種方式可以增強寵物的正確行為。

未來展望

寵物在如廁前的行為徵兆

寵物在如廁前會有各種的行為，為了讓辨識更準確可以使用這些行為來讓增加如廁分析的判斷條件。

寵物在如廁前的行為：

- 嗅聞地板
- 來回走動轉圈圈
- 突然跑向房間角落



圖片來源：網路資料

參考文獻

- (一)、Joshua, H. (2020, April 2). High Resolution Thermal Camera with Raspberry Pi and MLX90640. Maker Portal. <https://makersportal.com/blog/2020/6/8/high-resolution-thermal-camera-with-raspberry-pi-and-mlx90640>
- (二)、Steven, X. (2021, April 2). MLX90640 IR Thermal Camera Working With Raspberry Pi 4. AUTODESK. <https://www.instructables.com/MLX90640-IR-Thermal-Camera-Working-With-Raspberry-/>
- (三)、Hemmings. (2017, May 20). 研究狗狗流口水如何贏得諾貝爾獎？帕夫洛夫「古典制約」與消化系統的經典研究. Pansci. <https://pansci.asia/archives/41780>