

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

第二名

032804

捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統

學校名稱：桃園市立龍潭國民中學

作者： 國二 曾喬曼 國二 李婕菱 國二 龔稚鈞	指導老師： 黃銘義 蕭仟玫
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：機器學習(Machine Learning)、Mediapipe
Holistic 姿態辨識、MQTT(Message
Queuing Telemetry Transport)

摘要

台中捷運發生吊臂掉落，造成傷亡慘重。我們查找文獻缺失，利用機器學習 **Google Teachable Machine** 和 **數學相似演算法**，做出 **AI 異物辨識系統**，解決捷運無法主動偵測異物的問題。經文獻得知，列車煞車需 **167m**，我們透過 **鏡頭變焦和倍率放大** 提高辨識距離。用 **Mediapipe Holistic** 和 **角度比值演算法** 解決距離辨識的問題，做出 **險阻手勢 AI 辨識系統**，解決隨車員和月台保全無法溝通的問題。用 **MQTT 傳輸技術**，設計 **無線控制按鈕**，經由 **ESP32** 和 **L298N** 控制列車啟閉，減少隨車員尋找鑰匙等流程，錯失救援時間。此外，我們建置的系統將軌道沿線辨識異物，上傳 **Google 雲端試算表**，供政府進行預防措施。

壹、前言

一、研究動機

在中捷豐樂公園站發生的工安事故中，捷運高架軌道旁的工程吊車吊臂突然墜落，導致行駛中的列車遭受刺穿，造成 1 死 10 傷。一位加拿大籍傷者描述當時列車停靠，車門開啟，但吊臂掉落後車門卻關閉，**站務人員在一旁大喊不要開車**，另一名女子也對著 **對講機呼救**，卻未能阻止列車啟動，最終撞上吊臂，**事發當時列車是停止的**，不懂為何 **吊臂墜落後列車卻繼續啟動**。



圖 1-1 台中捷運事件圖(本圖引自 TVBS 新聞台)

二、研究目的

- (一)了解「異物入侵事件中的缺失」，並比較「我們與台中捷運的改善方法」
- (二)利用 Google Teachable Machine 撰寫程式，做出捷運軌道 AI 異物辨識系統
- (三)利用 Mediapipe Holistic 撰寫程式，做出險阻手勢的 AI 辨識系統
- (四)測試「AI 異物辨識系統」和「險阻手勢辨識系統」的成功率和可靠度
- (五)建立完整的捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統









貳、研究設備及器材

一、本次實驗器材繁多，僅列重要元件，如下表

(一)硬體材料

								
軌道列車模型	捲尺	電腦	電腦鏡頭	手機	單筒望遠鏡	ESP32	ESP32-CAM	L298N 馬達驅動板
								
馬達	OLED	LED	按鈕	蜂鳴器	警示燈	Mini MP3 Player	喇叭	LCD

(二)軟體程式

								
Google Teachable Machine	Mediapipe Holistic	MQTT	Google 試算表	SpBlocklyJS	Blockly Duino F2	LINE	剪映	測距儀

參、研究過程方法與結果

一、文獻探討

(一) 台中捷運事件(源自中央通訊社:吊臂落下為何列車繼續開? 台中捷運事故爭議點一次看懂)

台中捷運於2023年5月10日12時27分發生工程車吊臂掉落砸中車廂事件，造成1人死亡、10人受傷。事故當天起重機桁架即侵入軌道，中間間隔43秒，列車仍以時速以43.7公里撞上桁架。運安會指出，車站保全人員於月台南端牆處向隨車站務員**舉手示意停車**，隨車站務員但**無法瞭解其意**，站至車頭處察看才發現位於軌道區桁架，呼叫行控中心要求停車，但依通聯紀錄通話內容未完全，站務員便拿鑰匙欲按壓手動駕駛台內緊急煞車按鈕。但**駕駛台蓋板為關閉且上鎖**，人員需先以鑰匙開啟手動駕駛台蓋板才能操作內部設備。此外，若列車已運行於兩站之間，則會**繼續行駛至下一站再停車**，不會立即於兩站間停車；緊急斷電箱位於月台中央的控制盤箱內，該控制盤箱平常為上鎖狀態，需鑰匙才能開啟。從這些文獻中，我們發現有些不必要的傷害發生是源於系統的不夠完善還有因為流程繁瑣而浪費黃金時間。



圖 3-1-1 台中捷運事件圖(本圖引自 TVBS 新聞台)

針對此次事件，臺中捷運公司在事後公開了處理方式，我們將台中捷運事件的缺失和臺中捷運公司在此事件後的改善整理如下表

臺中捷運事件缺失	臺中捷運公司在此事件後的改善
1. 列車需 撞上障礙物 或者異物造成設備短路，才會 煞停	1. 擬定開發 AI 偵測系統
2. 人工駕駛 面板上鎖 ，隨車員尋找 鑰匙 耗時開啟，流程繁瑣	2. 隨車員在駕駛端時人工駕駛面板全時段打開 3. 隨車人員值勤包擺放配置優化，使隨車人員可立即取出列車鑰匙，縮減手動緊急停車作業時間
3. 保全做出了要求列車 停止的動作 但是 隨車員看不懂	4. 險阻手勢標準化及強化落實，月台人員第一時間以險阻手勢（雙手高舉交叉揮舞），警示隨車人員緊急停車
4. 列車 無法 月臺之間 緊急停止	5. 列車停靠月台尚未出發，月台人員或隨車員阻擋月台門或車門關閉，防止列車離站

(二) 機器學習(Machine Learning)

機器學習演算法基本上分成4類:監督式學習(Supervised learning)、非監督式學習(Un-supervised learning)、半監督式學習(Semi-supervised learning)、強化式學習(Reinforcement learning)，而我們使用的 Google Teachable Machine 是應用**監督式學習(Supervised learning)** 監督式學習所需的**資料是有固定答案的**，如同我們看到照片，一眼便能說出照片中的物品名稱。在監督式學習模式下，辨識後的資料會分成連續資料、離散資料以及分類資料，再以個別定義賦予回歸(Regression)、分類(Classification)、預測功能(如圖 3-1-2)。



圖 3-1-2 監督式學習概述(本圖引自網站: simplelearn)

(三)姿態辨識 MediaPipe Holistic

我們選擇 MediaPipe 是因為，他是一款由 Google Research 開發的多媒體機器學習模型應用框架，其集合了人體姿勢、面部標誌和手部追蹤三種模型與相關的演算法，在行動裝置上同步感知，**可以偵測身體姿勢、臉部網格、手掌動作**，完整偵測則會產生 543 個偵測節點(33 個姿勢節點、468 個臉部節點和每隻手 21 個手部節點)，而且每個組件實時運行，而我們使用 Mediapipe Holistic 中的人體姿勢演算法，將 33 個姿勢節點(如圖 3-1-3)編寫程式，並透過 MQTT 將訊息傳遞。(STEAM 學習教育網)

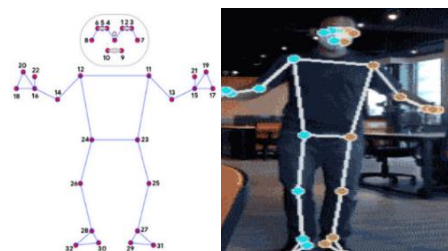


圖 3-1-3 姿勢節點(本圖引自網站: STEAM 學習教育網)

(四)MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)是一種用於物聯網(IoT)的通訊協定。以簡單、輕量、高效為特點，提供了可靠的消息傳遞機制。其採用**發布/訂閱模型**，**發布者(Publisher)**將消息發送到**特定主題(Topic)**，**訂閱者(Subscriber)**通過訂閱主題來接收相應的消息。中央的 MQTT 伺服器(Broker)負責管理消息的路由和分發(如圖 3-1-4)，確保通訊的即時性和可靠性。

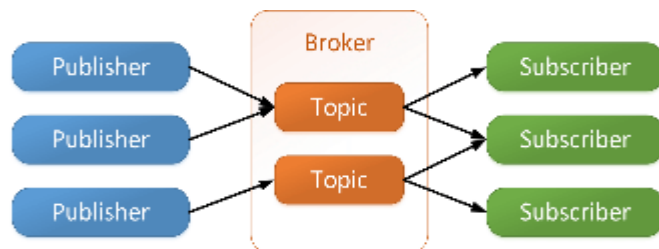


圖 3-1-4 MQTT 訊息傳遞架構(本圖引自網站: GTW)

二、研究架構圖

文獻探討

我們發現

臺中捷運改善方法	矛盾點	我們提出的改善方法
擬定開發 AI 偵測系統	尚未開發 	我們利用 Google Teachable Machine 做出 AI 異物辨識系統 能即時發現異物的存在 
隨車員在駕駛端時人工駕駛面板 全時段打開	誤觸或惡作劇	應該要盡量縮短緊急煞車的流程時間，所以我們製作了保全人員及隨車員的 緊急停車遙控器
隨車人員值勤包擺放配置優化，使隨車人員可立即取出列車鑰匙 開啟面板 ，縮減 手動緊急停車作業時間	需有面板，開啟流程繁瑣	
險阻手勢 標準化及強化落實，月台人員 第一時間 以險阻手勢(雙手高舉交叉揮舞)，示警隨車人員緊急停車	隨車員未看見手勢或是誤判	利用 Mediapipe Holistic 做出 辨識險阻手勢的 AI 偵測系統 ，來減少人為判斷所造成的誤差
列車停靠月台尚未出發，月台人員或隨車員 用身體阻擋 月台門或 車門關閉 ，防止列車離站	夾傷人員	我們設計了三種緊急煞車的方式分別有： 1. 利用隨車員及保全人員的緊急煞車遙控器 2. 利用 MQTT 讓 行控中心遠端操作 3. AI 異物偵測系統

思考解決辦法



實驗

- 實驗一:捷運的**隔音牆顏色**和**異物的顏色**是否會影響影像辨識的結果
- 實驗二:固定軌道背景和異物顏色,探討**異物大小**是否會影響影像辨識的結果
- 實驗三:利用望遠鏡進行**鏡頭變焦和倍率放大**,是否會影響辨識的結果
- 實驗四:訓練 AI 影像辨識模型,進行**捷運動態影片偵測**
- 實驗五:測試自行編寫的 AI 姿態辨識險阻手勢時是否穩定(動作來源:台中市政府)
- 實驗六:使用 **MQTT**(Message Queuing Telemetry Transport)測試自行訓練 **AI 模型偵測異物**的成功率和可靠度

成品

圖 3-2 研究架構圖

三、實驗設計及結果


(一) 實驗一:捷運的**隔音牆顏色**和**異物的顏色**是否會影響影像辨識的結果

*目的:我們訓練的 AI 模型,未來是要給捷運使用,所以想依實驗一的結果,得知在什麼樣的**背景**下最**準確**,幫助捷運公司做出軌道沿線最適合的**隔音牆顏色**。

1. 實驗步驟與方法

- (1)利用 Google Teachable Machine 進行影像模型訓練和辨識。
- (2)製作**白色、藍色、綠色**三種純色背景,和一種**一般**背景(如圖 3-3-1)。
- (3)製作 5cm 高的假人,並用彩色筆畫出**紅色、藍色、白色、黑色、花色**的假人衣服(如圖 3-3-2)。
- (4)AI 模型訓練參數分別是週期數量(Epochs):100、批量(Batch size):32、學習率(Learning Rate):0.001(如圖 3-3-3)。
- (5) AI 訓練模型分為背景和五種顏色假人六類,每一類拍攝 500 張照片,距離 5~100cm 拍攝假人訓練樣本(如圖 3-3-4)。
- (6)每次在一種顏色的背景下,搭配軌道模型和五種不同顏色的假人,進行 AI 模型訓練(如圖 3-3-5)。
- (7)用表格紀錄 AI 模型的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)。
- (8)利用信心值(Confident)(信心值>90%為可正確偵測)和捲尺,檢測各樣式背景搭配各色假人時**可被偵測的最遠距離**,並用圖表紀錄(如圖 3-3-6~圖 3-3-7)。

2. 實驗流程圖(以綠色背景、黑色假人為例)

	
<p>圖 3-3-1 製作四種不同軌道背景顏色</p>	<p>圖 3-3-2 製作五種 5cm 高的假人</p>
	
<p>圖 3-3-3 AI 模型訓練參數設定</p>	<p>圖 3-3-4 拍攝 AI 模型圖片樣本一類各 500 張</p>

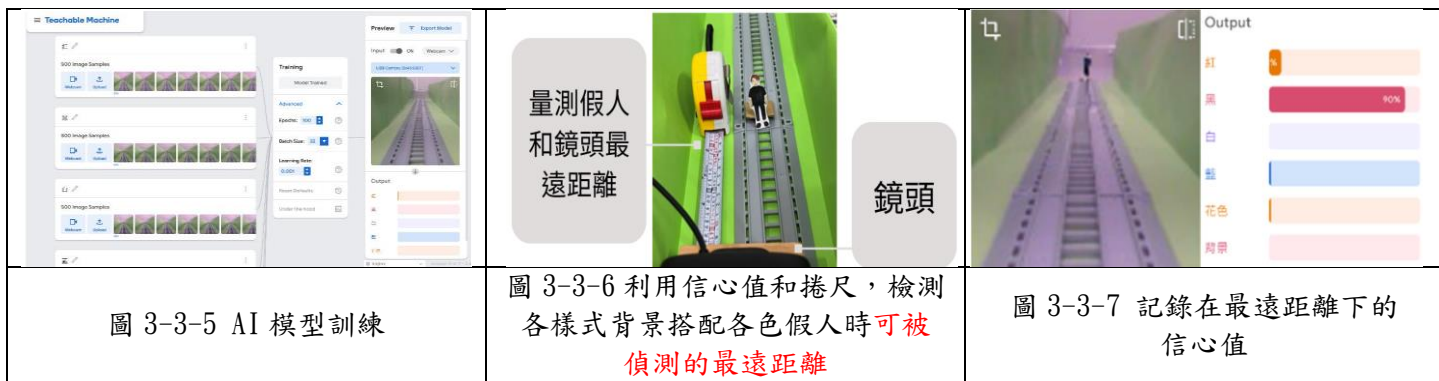


圖 3-3-5 AI 模型訓練

圖 3-3-6 利用信心值和捲尺，檢測各樣式背景搭配各色假人時可被偵測的最遠距離

圖 3-3-7 記錄在最遠距離下的信心值

3. 實驗結果

(1) 將模型訓練的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)紀錄成表 1-1

表 1-1 不同背景樣式的 AI 模型訓練成效圖


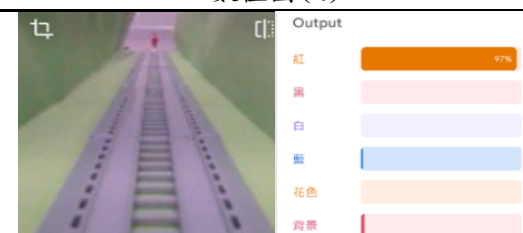


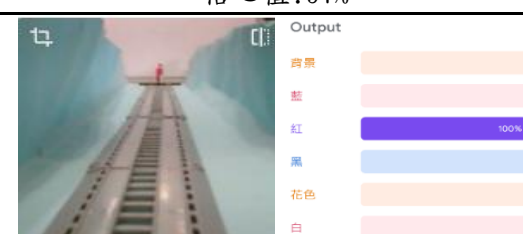






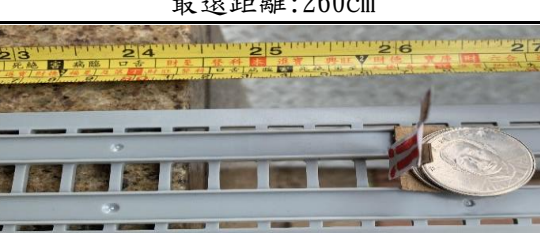
訓練成效圖 背景樣式	AI 訓練背景	準確率(Accuracy)	損失值(Loss value)
綠色背景			
藍色背景			
白色背景			
一般背景			

【說明】


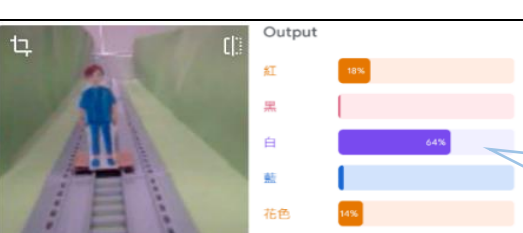

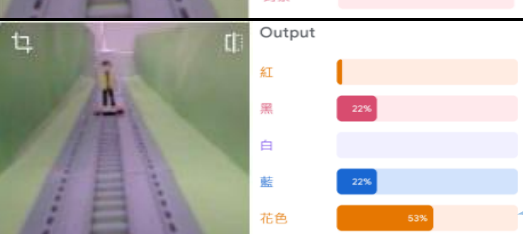
- (1) 以上 4 個 AI 訓練模型，不管是什麼背景顏色，訓練週期(Epochs)到第 100 次時，準確率(Accuracy)幾乎為 1。
- (2) 以上 4 個 AI 訓練模型，訓練週期(Epochs)到第 100 次時，損失值(Loss value)幾乎為 0。
- (3) 以上 4 個 AI 訓練模型，藍色 acc 的訓練曲線和橘色 test 的訓練曲線幾乎重疊，代表此模型沒有過擬合(Overfitting)和欠擬合(Underfitting)的現象。
- (4) 總結以上可判斷以上 4 個 AI 訓練模型結果是準確的，可以用來做假人衣服顏色的辨識。

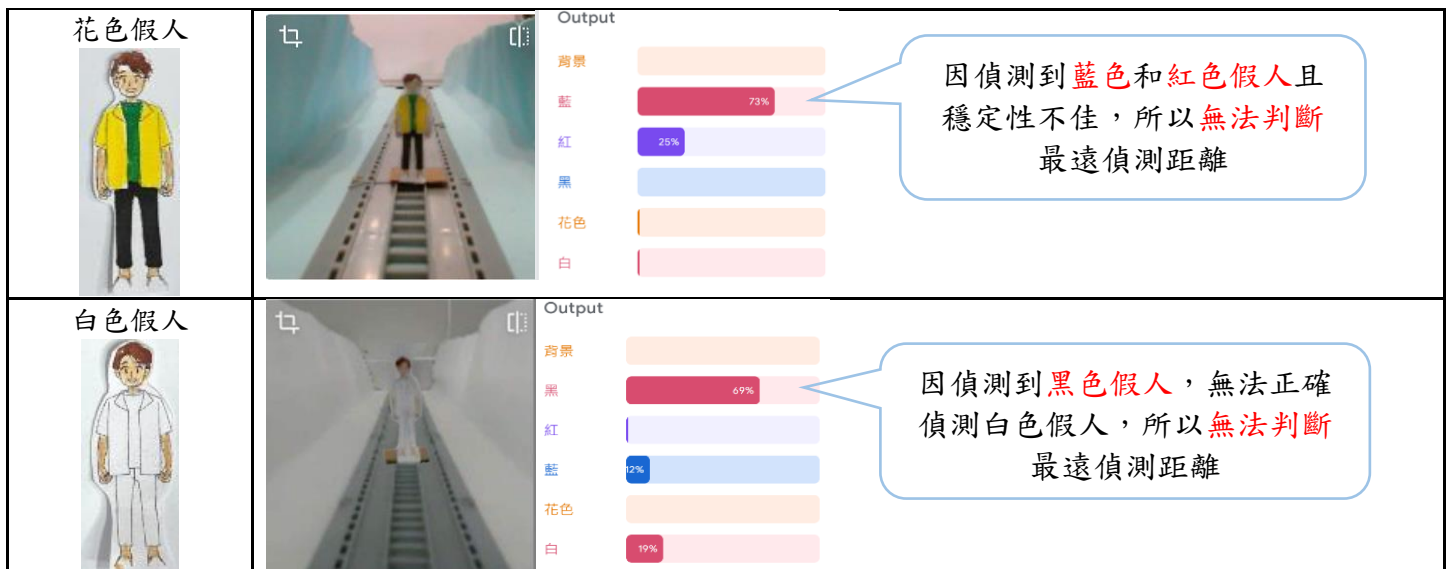
(2)將最遠偵測距離和信心值(Confident)紀錄成表 1-2 及 1-3

表 1-2 不同樣式背景下各色假人之**最遠偵測距離**及**信心值**

紀錄數值 假人顏色	各色背景最遠偵測距離信心值(Confident) 數值圖(%)	各色背景最遠偵測距離(cm)
紅色假人 	 信心值:97%	 最遠距離:120cm
紅色假人 	 信心值:100%	 最遠距離:106cm
紅色假人 	 信心值:100%	 最遠距離:260cm
紅色假人 	 信心值:90%	 最遠距離:86cm

1-3 不同樣式背景下**偵測失敗**的假人顏色之及**信心值**

紀錄數值 假人顏色	各色背景偵測失敗的顏色假人及信心值(Confident)數值圖(%)
藍色假人 	 <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-left: 20px;"> <p>因偵測到白色假人，而非藍色假人，所以無法判斷最遠偵測距離</p> </div>
花色假人 	 <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-left: 20px;"> <p>信心值為53%（小於 90%）因無法正確偵測，所以無法判斷最遠偵測距離</p> </div>



不同背景搭配不同顏色假人的最遠偵測距離折線圖

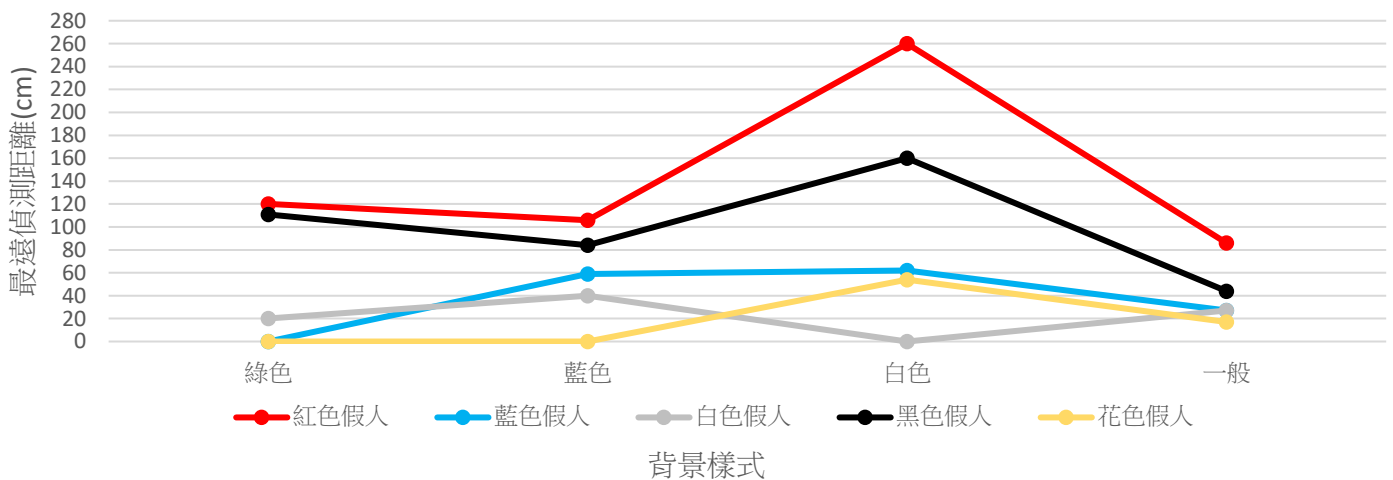


圖 3-3-8 不同樣式背景搭配不同衣著顏色假人的最遠偵測距離折線圖

【說明】

- (1) 紅色假人不管在綠色、藍色、白色或是一般背景下被鏡頭辨識和偵測的距離都是最遠的。
- (2) 在綠色背景之下，藍色假人和花色假人無法被鏡頭辨識。
- (3) 在藍色背景之下，只有花色假人無法被鏡頭辨識。
- (4) 在白色背景之下，除了白色假人無法被鏡頭辨識，其他顏色假人辨識狀況都很準確。
- (5) 在一般背景之下，各色假人都可以被辨識，但辨識的距離較其他背景相對較近，而花色假人辨識距離最近。
- (6) 綜合比較，如表 1-4

表 1-4 綜合比較

	最佳假人	最差假人	可偵測到最遠距離
綠色背景	紅色假人	藍色假人	120cm
藍色背景	紅色假人	花色假人	106cm
白色背景	紅色假人	白色假人	260cm
一般背景	紅色假人	花色假人	86cm

(二)實驗二:固定軌道背景和異物顏色,探討異物大小是否會影響影像辨識的結果

*目的:從實驗一得知,背景顏色和假人衣服會影響辨識結果,所以我們在固定顏色之下,分別進行假人和真人實驗,查看異物大小和可被偵測的最遠距離是否有關係。

1. 假人實驗步驟與方法

- (1)利用 Google Teachable Machine 進行影像模型訓練和辨識。
- (2)利用實驗一的結果以綠色色紙背景和紅色衣褲假人當作測試場景(如圖 3-3-9)。
- (3)分別製作 2cm、4cm、6cm、8cm 4 種不同身高的假人(如圖 3-3-9)。
- (4)AI 模型訓練參數分別是訓練週期數量(Epochs):100、批量(Batch size):32、學習率(Learning Rate):0.001(如圖 3-3-10)。
- (5)AI 模型訓練類別分成假人和背景兩類,每一類拍攝 500 張樣本,距離鏡頭 5~200cm 拍攝假人訓練樣本(如圖 3-3-11)。
- (6)以綠色背景和四種不同身高的假人進行 AI 模型訓練(如圖 3-3-12)。
- (7)用表格紀錄 AI 模型的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)。
- (8)利用信心值(Confident)和捲尺(信心值>90%為可正確偵測),檢測各身高假人可被偵測的最遠距離,並用圖表紀錄(如圖 3-3-13)。

2. 真人實驗步驟與方法

- (1)利用 Google Teachable Machine 進行影像模型訓練和辨識。
- (2)以排球場綠牆為背景,找 155cm、170cm 兩種不同身高的真人穿紅色衣褲當作測試場景(如圖 3-3-14)。
- (3)AI 模型訓練參數分別是訓練週期數量(Epochs):100、批量(Batch size):32、學習率(Learning Rate):0.001(如圖 3-3-15)。
- (4)AI 模型訓練類別分成真人和背景兩類,每一類拍攝 500 張樣本,距離鏡頭 1~30m 拍攝真人訓練樣本(如圖 3-3-16)。
- (5)以排球場背景和兩種不同身高的真人進行 AI 模型訓練(如圖 3-3-17)。
- (6)用表格紀錄 AI 模型的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)。
- (7)利用信心值(Confident)和測距儀(信心值>90%為可正確偵測),檢測各身高真人可被偵測的最遠距離,並用圖表紀錄(如圖 3-3-18)。

3. 實驗流程圖(假人以 4cm 為例、真人以 155cm 為例)

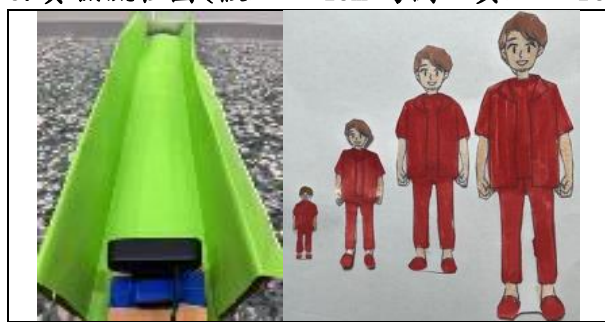
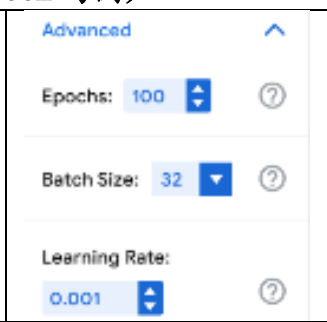
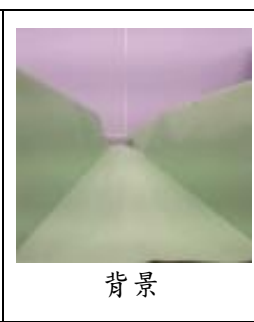

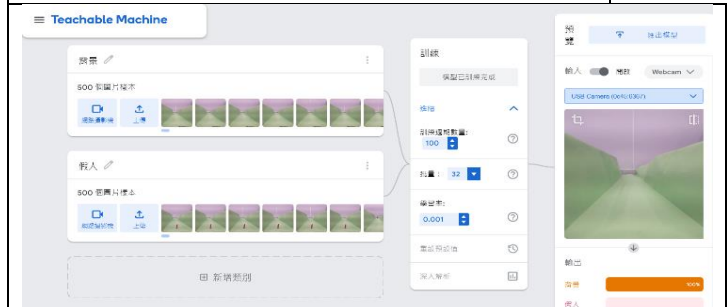
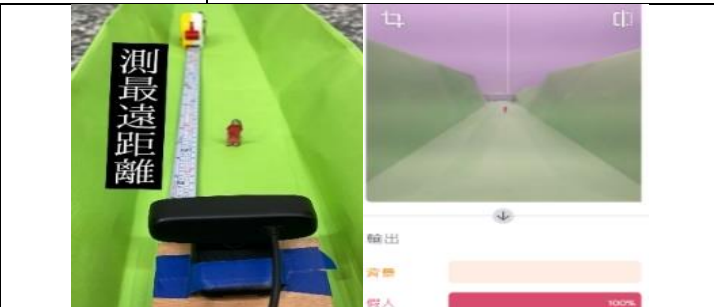
			
圖 3-3-9 根據實驗一用綠色色紙製作背景,並製作 4 種不同身高的紅色衣服假人	圖 3-3-10 假人 AI 模型訓練參數設定	圖 3-3-11 拍攝假人 AI 模型圖片樣本一類各 500 張	
			
圖 3-3-12 假人 AI 模型訓練		圖 3-3-13 紀錄假人可被偵測的最遠距離和其信心值	



圖 3-3-14 用排球場綠牆當真人測試的背景，並讓真人穿上紅色的衣服

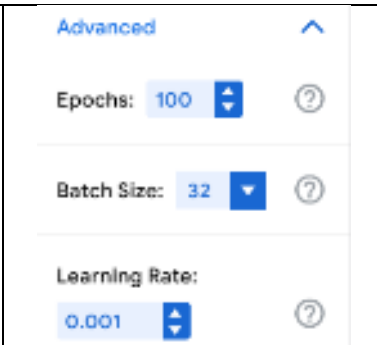


圖 3-3-15 真人 AI 模型訓練參數設定

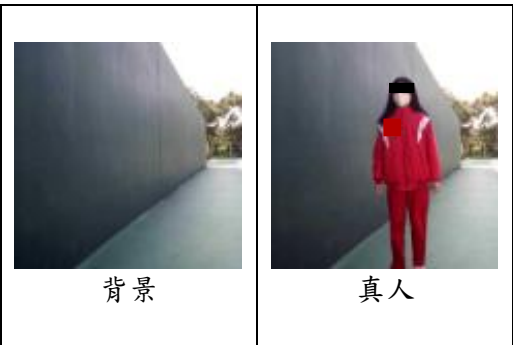


圖 3-3-16 拍攝真人 AI 模型圖片樣本一類各 500 張



圖 3-3-17 真人 AI 模型訓練



圖 3-3-18 紀錄真人可被偵測的最遠距離和其信心值

4. 實驗結果

(1) 將模型訓練的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)紀錄成表 2-1

表 2-1 不同人物大小的 AI 模型訓練成效圖










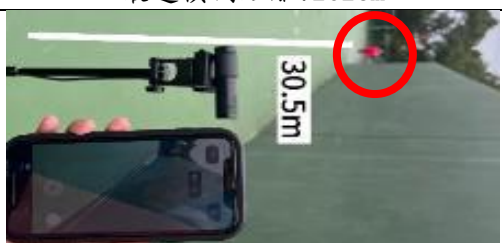


訓練成效圖 人物種類	準確率(Accuracy)	損失值(Loss value)
假人		
真人		

【說明】

- (1) 以上 2 個 AI 模型不管人物種類，訓練週期(Epochs)到第 100 次時，**準確率(Accuracy)**幾乎為 1。
- (2) 以上 2 個 AI 模型不管人物種類，訓練週期(Epochs)到第 100 次時，**損失值(Loss value)**幾乎為 0。
- (3) 以上 2 個 AI 訓練模型不管人物種類為何，藍色 acc 的訓練曲線和橘色 test 的訓練曲線幾乎**重疊**，代表此模型**沒有過擬合(Overfitting)和欠擬合(Underfitting)**的現象。
- (4) 總結以上可判斷以上 2 個 AI 訓練模型結果是**準確**的，可用來辨識人。

(2)將最遠偵測距離和信心值(Confident)紀錄成表 2-2

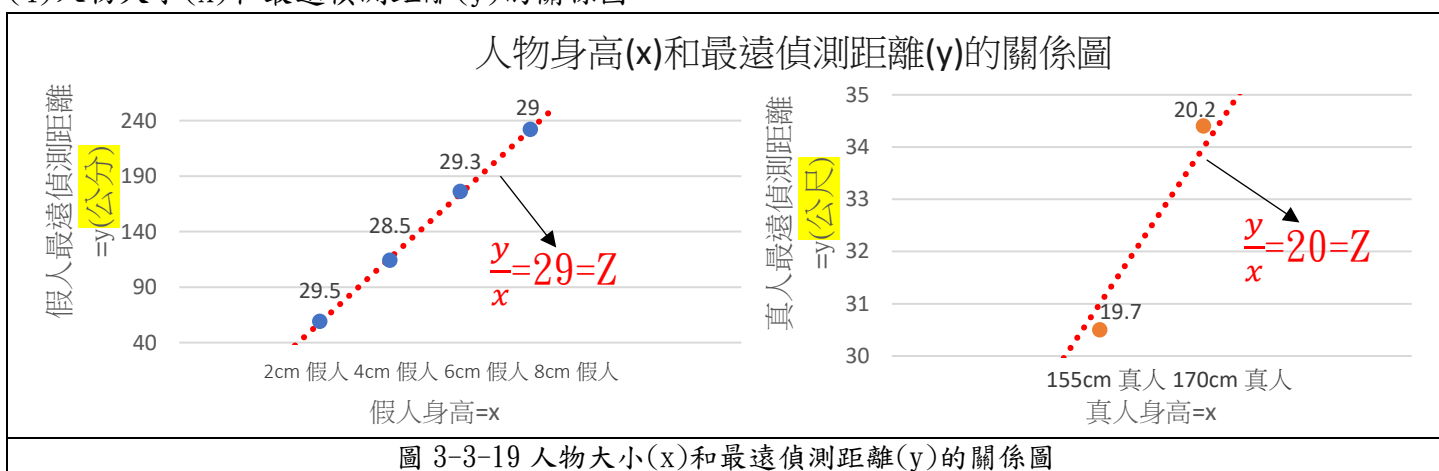
表 2-2 不同人物大小的最遠偵測距離和其信心值(Confident)

紀錄數值 人物身高	信心值(Confident)數值圖(%)	最遠偵測距離測量圖(cm)
2cm 假人	 <p>輸出</p> <p>背景</p> <p>假人 100%</p> <p>信心值: 100%</p>	 <p>最遠偵測距離: 59cm</p>
4cm 假人	 <p>輸出</p> <p>背景</p> <p>假人 100%</p> <p>信心值: 100%</p>	 <p>最遠偵測距離: 114cm</p>
6cm 假人	 <p>輸出</p> <p>背景</p> <p>假人 100%</p> <p>信心值: 100%</p>	 <p>最遠偵測距離: 176cm</p>
8cm 假人	 <p>輸出</p> <p>背景</p> <p>假人 93%</p> <p>信心值: 93%</p>	 <p>最遠偵測距離: 232cm</p>
155cm 真人	 <p>輸出</p> <p>背景</p> <p>真人 95%</p> <p>信心值: 95%</p>	 <p>最遠偵測距離: 3050cm</p>
170cm 真人	 <p>輸出</p> <p>背景</p> <p>真人 100%</p> <p>信心值: 100%</p>	 <p>最遠偵測距離: 3440cm</p>

(3)將人物大小和最遠偵測距離之比值紀錄成表 2-3

表 2-3 人物大小和最遠偵測距離之比值		
結果數值 人物身高=x	最遠偵測距離=y(cm)	比值 z(z=y÷x) 四捨五入到小數點後第一位
2cm 假人	59cm	29.5
4cm 假人	114cm	28.5
6cm 假人	176cm	29.3
8cm 假人	232cm	29
155cm 真人	3050cm	19.7
170cm 真人	3440cm	20.2

(4)人物大小(x)和最遠偵測距離(y)的關係圖



【說明】

- (1)假人可被偵測的最遠距離和身高有關係，假人越高，最遠偵測距離越遠。
- (2)所有假人的 z 值都相當接近 z=29 線段，代表假人身高和可被偵測的最遠距離接近正比關係。
- (3)依照此訓練模型，只要給予假人身高，則能推論可被偵測的最遠距離=假人身高×29。
- (4)真人可被偵測的最遠距離和身高有關係，真人越高，最遠偵測距離越遠。
- (5)所有真人的 z 值都相當接近 z=20 線段，代表真人身高和可被偵測的最遠距離接近正比關係。
- (6)依照此訓練模型，只要給予真人身高，則能推論可被偵測的最遠距離=真人身高×20。

(三)實驗三:利用望遠鏡進行鏡頭變焦和倍率放大，是否會影響辨識的結果

*目的:根據實驗二得知最遠偵測距離和異物大小有關係，因此透過此實驗，在物體大小固定之下，檢測鏡頭經由望遠鏡變焦和倍率放大之後是否能偵測到更遠的物體，使捷運系統偵測到異物時能有更多的反應時間。

1. 實驗步驟與方法

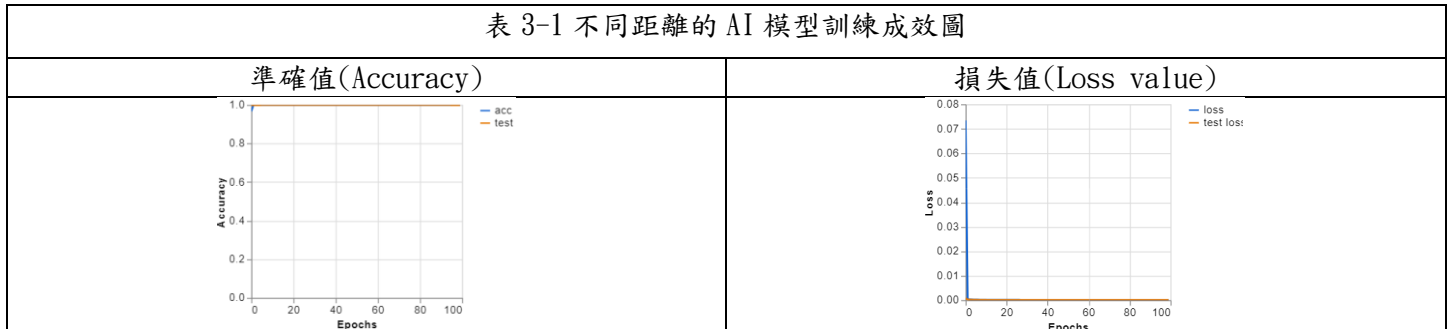
- (1)利用 Google Teachable Machine 進行影像模型訓練和辨識。
- (2)以學校操場直線跑道為背景，用 AI 分別偵測 50m、75m、100m、125m 的真人(如圖 3-3-20)。
- (3)AI 模型訓練參數分別是訓練週期數量(Epochs):100、批量(Batch size):32、學習率(Learning Rate):0.001(如圖 3-3-22)。
- (4) AI 模型訓練類別分成人和背景兩類，每一類用鏡頭結合望遠鏡拍攝 500 張訓練樣本，距離鏡頭 1~150m 拍攝人的訓練樣本(如圖 3-3-23~3-3-24)。
- (5)用表格紀錄 AI 模型的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)。
- (6)利用信心值(Confident)和測距儀 (信心值>90%為可正確偵測)，檢測鏡頭結合望遠鏡是否能偵測到 50m、75m、100m、125m 的真人，並用圖表紀錄(如圖 3-3-21、3-3-25)。

2. 實驗流程圖

		
<p>圖 3-3-20 人穿藍色衣褲在跑道上</p>	<p>圖 3-3-21 鏡頭結合望遠鏡</p>	<p>圖 3-3-22 AI 模型訓練參數設定</p>
		
<p>圖 3-3-23 拍攝 AI 模型圖片樣本每一類各 500 張</p>	<p>圖 3-3-24 AI 模型訓練</p>	<p>圖 3-3-25 在信心值>90%之下，記錄不同距離人被偵測到的信心值</p>

3. 實驗結果







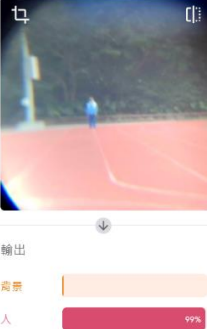

(1)將模型訓練的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)紀錄成表 3-1



【說明】

- (1)訓練週期(Epochs)到第 100 次時，準確率(Accuracy)幾乎為 1。
- (2)訓練週期(Epochs)到第 100 次時，損失值(Loss value)幾乎為 0。
- (3)藍色 acc 的訓練曲線和橘色 test 的訓練曲線幾乎重疊，代表此模型沒有過擬合(Overfitting)和欠擬合(Underfitting)的現象。
- (4)總結以上可判斷此 AI 訓練模型結果是準確的，可用來辨識人。

(2)將信心值(Confident)紀錄成表 3-2

表 3-2 AI 模型偵測不同距離的信心值(Confident)				
距離	50m		75m	
信心值 (Confident)				
	50m 信心值:100%		75m 信心值:100%	
距離	100m		125m	
信心值 (Confident)				
	100m 信心值:100%		125m 信心值:99%	

【說明】

- (1)人在距離鏡頭 50m、75m、100m、125m 處都能被 AI 偵測模型偵測到，且信心值皆 99% 以上。
- (2)原本在 **實驗二**，170cm 的真人 AI 偵測模型最遠只能偵測到 34m，鏡頭經由望遠鏡**變焦**和**倍率放大**之後，可偵測距離提高到 **125m 以上**。
- (3)經過此實驗證明，採取變焦鏡頭我們訓練的 AI 模型，可以讓原本**距離太遠**無法偵測的物體也能**清楚被辨識**。





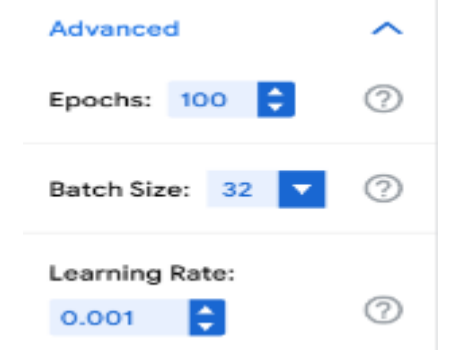
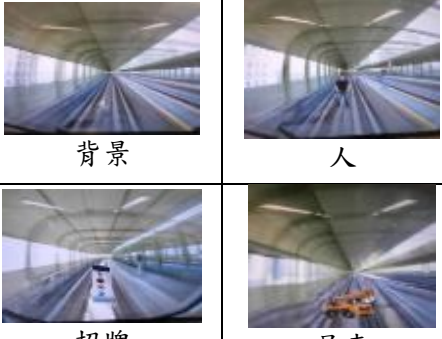



(四)實驗四:訓練 AI 影像辨識模型，進行捷運動態影片偵測

*目的:我們之前都是靜態的訓練和測試，所以我們利用捷運行駛的動態影片，隨機出現人、招牌、吊車三種異物，模擬捷運行駛期間，自行訓練的 AI 模型是否能夠成功偵測異物的出現。

1. 實驗步驟與方法

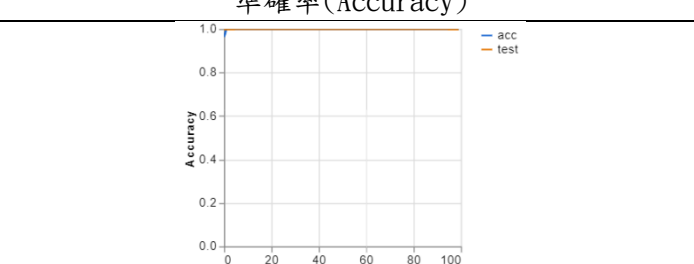
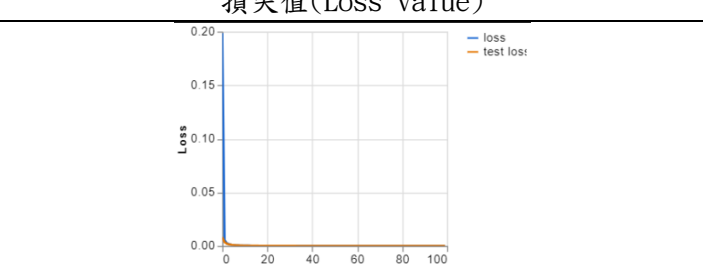
- (1)利用 Google Teachable Machine 進行影像模型訓練和辨識。
- (2)在捷運行駛的影片中，利用影片後製軟體放入人、招牌、吊車，三種異物(如圖 3-3-26~3-3-29)。
- (3)AI 模型訓練參數分別是訓練週期數量(Epochs):100、批量(Batch size):32、學習率(Learning Rate):0.001(如圖 3-3-30)。
- (4)AI 模型訓練類別分成背景(捷運行駛畫面)、人、招牌、吊車四種類別，每一類拍攝 500 張樣本(如圖 3-3-31~3-3-32)。
- (5)三種異物分別搭配三種出現大小:2 公分、1.5 公分、1 公分和出現秒數:1 秒、0.5 秒、0.1 秒，不同組合分別製作異物模擬影片(如圖 3-3-33)。
- (6)以不同異物搭配不同的出現大小、秒數為一組，一種異物 9 組(3x3)，共 27 組(3x9)異物隨機出現在捷運行駛影片中，用 AI 偵測各組合影片(如圖 3-3-34)。
- (7)用表格紀錄 AI 模型的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)。
- (8)利用信心值(Confident)(信心值>90%為可正確偵測)判斷有無正確偵測到異物，找出捷運行駛的動態影片當中，異物出現能被 AI 模型偵測到的**極限大小和秒數**，並用圖表紀錄(如圖 3-3-34)。

2. 實驗流程圖(異物模擬影片以異物:人, 出現大小:2cm、秒數:1s 為例)

			
<p>圖 3-3-26 捷運背景行駛影片</p>	<p>圖 3-3-27 用軟體後製，將人出現在捷運行駛影片中</p>	<p>圖 3-3-28 用軟體後製，將招牌出現在捷運行駛影片中</p>	<p>圖 3-3-29 用軟體後製，將吊車出現在捷運行駛影片中</p>
			
<p>圖 3-3-30 AI 模型訓練參數設定</p>	<p>圖 3-3-31 拍攝 AI 模型圖片樣本</p>		<p>圖 3-3-32 訓練 AI 模型</p>
			
<p>圖 3-3-33 在捷運行駛影片中，隨機出現異物(人)</p>		<p>圖 3-3-34 用訓練好的 AI 模型偵測異物模擬影片，看是否成功偵測到異物，並記錄信心值(Confident)</p>	

3. 實驗結果

(1) 將模型訓練的準確率(Accuracy)和損失值(Loss value)紀錄成表 4-1

表 4-1 AI 模型的訓練成效圖	
	

【說明】

- (1) 訓練週期(Epochs)到第 100 次時，準確率(Accuracy)幾乎為 1。
- (2) 訓練週期(Epochs)到第 100 次時，損失值(Loss value)幾乎為 0。
- (3) 藍色 acc 的訓練曲線和橘色 test 的訓練曲線幾乎重疊，代表此模型沒有過擬合(Overfitting)和欠擬合(Underfitting)的現象。
- (4) 總結以上可判斷此 AI 訓練模型結果是準確的，可用來辨識人、招牌、吊車三種異物。

(2)用表格 4-2~4-4 紀錄人、招牌、吊車三種異物的信心值(Confident)

表 4-2 當異物為人時 AI 偵測的信心值(Confident)

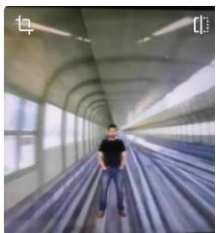



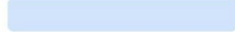



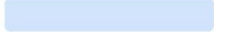



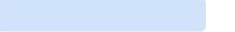

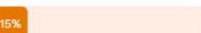
























出現秒數 出現大小	1 秒	0.5 秒	0.1 秒
 <p>2 公分</p>	輸出 背景  人  100% 招牌  吊車 	輸出 背景  人  100% 招牌  吊車 	輸出 背景  人  100% 招牌  吊車 
	信心值:100%	信心值:100%	信心值:100%
 <p>1.5 公分</p>	輸出 背景  15% 人  77% 招牌  0% 吊車 	輸出 背景  52% 人  48% 招牌  0% 吊車 	輸出 背景  52% 人  47% 招牌  0% 吊車 
	信心值:77%	信心值不穩定且與背景混淆	信心值不穩定且與背景混淆
 <p>1 公分</p>	輸出 背景  92% 人  0% 招牌  0% 吊車 	輸出 背景  100% 人  0% 招牌  0% 吊車 	輸出 背景  100% 人  0% 招牌  0% 吊車 
	偵測結果為背景，偵測失敗	偵測結果為背景，偵測失敗	偵測結果為背景，偵測失敗

表 4-3 當異物為招牌時 AI 偵測的信心值(Confident)


















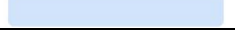



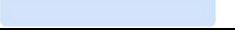



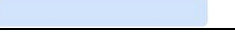








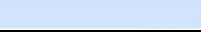





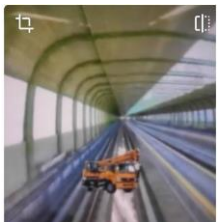
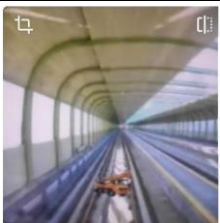
出現秒數 出現大小	1 秒	0.5 秒	0.1 秒
 <p>2 公分</p>	輸出 背景  人  0% 招牌  100% 吊車 	輸出 背景  人  0% 招牌  100% 吊車 	輸出 背景  人  0% 招牌  100% 吊車 
	信心值:100%	信心值:100%	信心值:100%
 <p>1.5 公分</p>	輸出 背景  人  0% 招牌  100% 吊車 	輸出 背景  人  0% 招牌  100% 吊車 	輸出 背景  人  0% 招牌  100% 吊車 
	信心值:100%	信心值:100%	信心值:99%
 <p>1 公分</p>	輸出 背景  50% 人  0% 招牌  49% 吊車 	輸出 背景  78% 人  0% 招牌  22% 吊車 	輸出 背景  89% 人  0% 招牌  0% 吊車 
	信心值不穩定且與背景混淆	信心值不穩定且與背景混淆	信心值不穩定且與背景混淆

表 4-4 當異物為吊車時 AI 偵測的信心值(Confident)

出現秒數 出現大小	1 秒	0.5 秒	0.1 秒
 2 公分	輸出 背景 人 招牌 吊車 100%	輸出 背景 人 招牌 吊車 100%	輸出 背景 人 招牌 吊車 100%
	信心值:100%	信心值:100%	信心值:100%
 1.5 公分	輸出 背景 人 招牌 吊車 100%	輸出 背景 人 招牌 吊車 100%	輸出 背景 人 招牌 吊車 100%
	信心值:100%	信心值:100%	信心值:100%
 1 公分	輸出 背景 人 招牌 吊車 64%	輸出 背景 人 招牌 吊車 45%	輸出 背景 人 招牌 吊車 36%
	信心值不穩定	信心值不穩定且與背景混淆	信心值不穩定且與背景混淆

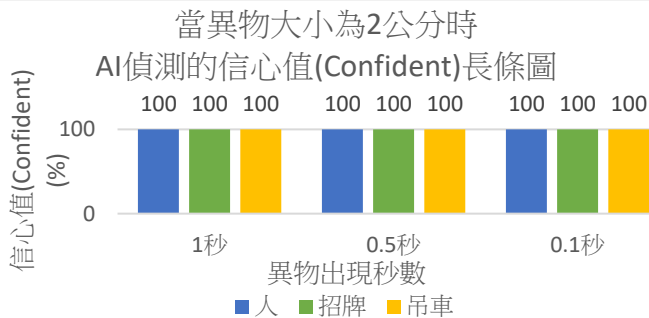


表 4-5 當異物大小為 2 公分時
AI 偵測的信心值(Confident)

※○:AI 可正確偵測(信心值>90%且穩定)

	人			招牌			吊車		
	1 秒	0.5 秒	0.1 秒	1 秒	0.5 秒	0.1 秒	1 秒	0.5 秒	0.1 秒
	○	○	○	○	○	○	○	○	○

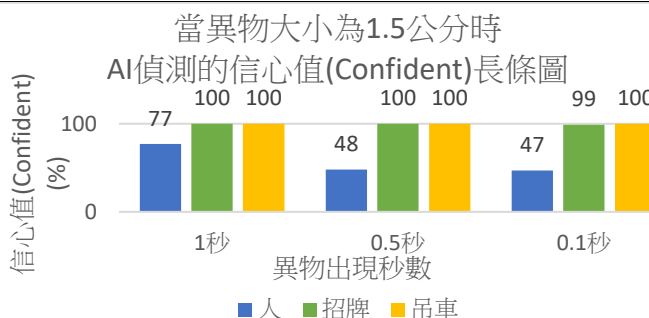


表 4-6 當異物大小為 1.5 公分時
AI 偵測的信心值(Confident)

※○:AI 可正確偵測(信心值>90%且穩定)

	人			招牌			吊車		
	1 秒	0.5 秒	0.1 秒	1 秒	0.5 秒	0.1 秒	1 秒	0.5 秒	0.1 秒
	X	X	X	○	○	○	○	○	○

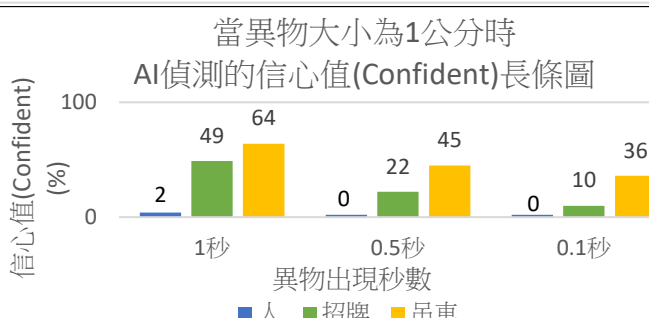


表 4-7 當異物大小為 1 公分時
AI 偵測的信心值(Confident)

※○:AI 可正確偵測(信心值>90%且穩定)

	人			招牌			吊車		
	1 秒	0.5 秒	0.1 秒	1 秒	0.5 秒	0.1 秒	1 秒	0.5 秒	0.1 秒
	X	X	X	X	X	X	X	X	X

【說明】

- (1)如表 4-5，當異物大小為 2 公分時，三種異物在**任何出現秒數**之下，都能被 AI 模型**正確**偵測(信心值皆=100%)。
- (2)如表 4-6，當異物大小為 1.5 公分時在**任何出現秒數**之下，**招牌**和**吊車**都能被 AI 模型**正確**偵測(信心值皆 $\geq 99\%$)。
- (3)如表 4-6，當異物大小為 1.5 公分時，**人**被 AI 模型偵測的信心值，隨著出現的**時間越短**，**信心值就越低**，且都**無法**被 AI 模型正確偵測(信心值=77% $< 90\%$)。
- (4)如表 4-7，當異物大小為 1 公分時，在**任何出現秒數**之下，皆**無法**被 AI 模型正確偵測(信心值 $< 90\%$)
- (5)如表 4-7，當異物大小為 1 公分時，不管在**任何出現秒數**之下，**招牌**和**吊車**被 AI 模型偵測的信心值，隨著出現的**時間越短**，**信心值就越低**，且都**無法**被 AI 模型正確偵測(招牌信心值 49% $\rightarrow 10\%$ ，吊車信心值 64% $\rightarrow 36\%$)。
- (6)總結來說，在**捷運動態影片**測試當中，我們訓練的 AI 模型是可以**順利偵測異物**的，但偵測結果會受異物**大小和時間影響**。

(五)實驗五:測試自行編寫的 AI 姿態辨識**險阻手勢是否穩定**(動作來源:台中市政府)

*目的: 根據文獻探討險阻手勢是為**縮減手動緊急停車作業系統**和**減少人為判斷**所造成的誤差(如圖 3-3-35)，利用**鏡頭**進行，AI 姿態辨識，透過此實驗以不同背景、距離、衣服顏色測試自行編寫的 AI 險阻手勢是否穩定。



圖 3-3-35 險阻手勢(標準動作)範例
(本圖引自網站:台中市政府)

1. 實驗步驟與方法

- (1)利用 **MediaPipe Holistic** 撰寫程式進行姿態辨識。
- (2)因為我們發現用 MediaPie Holistic 進行姿態辨識時，會受**鏡頭距離**影響。**同樣 AB 線段**，離鏡頭**愈近**，數值**愈大**，反之**愈遠**，數值**愈小**。(如圖 3-3-36、3-3-37)

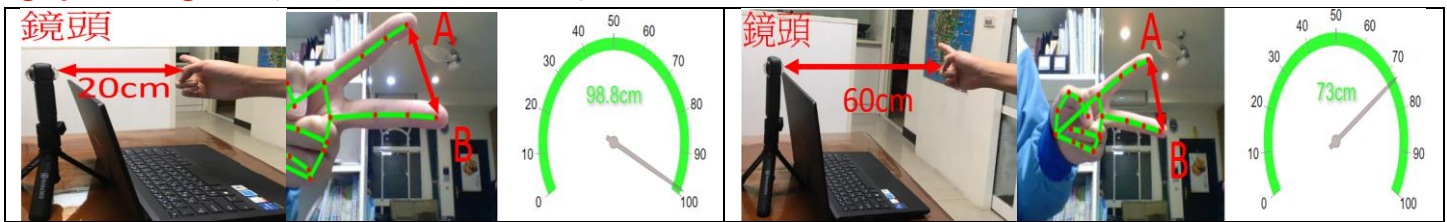


圖 3-3-36 距離鏡頭 20cm 進行辨識，AB 線段=98.8cm

圖 3-3-37 距離鏡頭 60cm 進行辨識，AB 線段=73cm

- (3)所以我們決定用**角度比值**的方式來解決，程式中撰寫偵測雙手是否高舉交叉的數學公式如下：

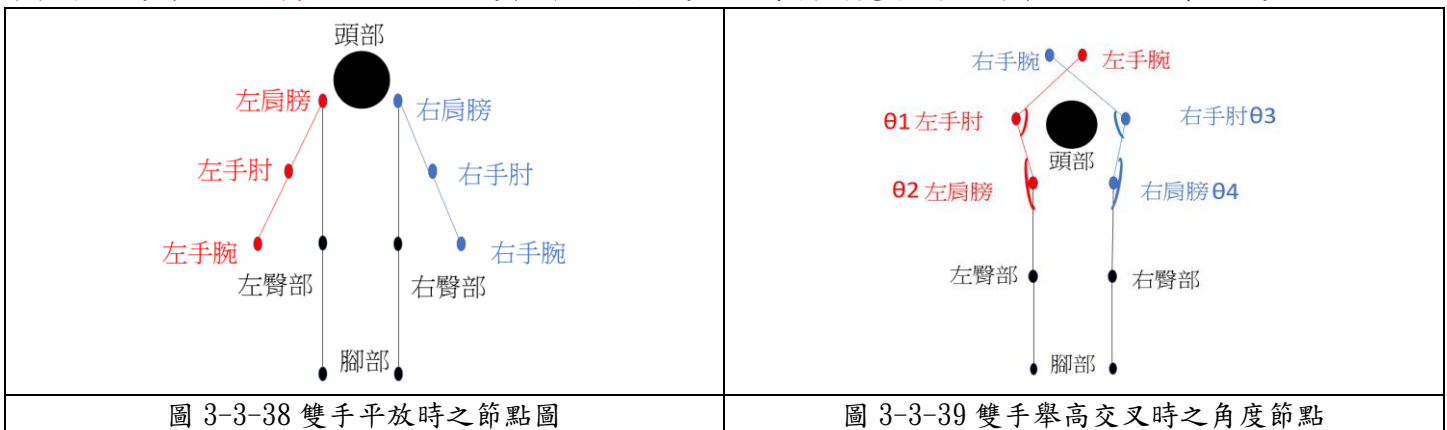


圖 3-3-38 雙手平放時之節點圖




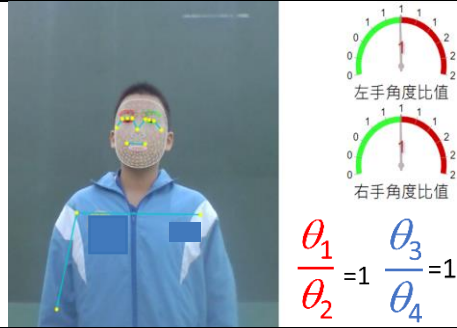
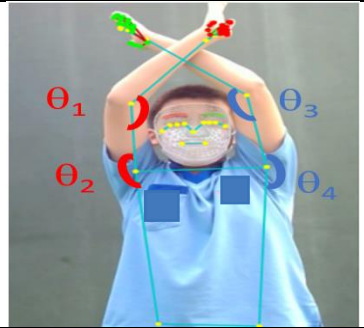
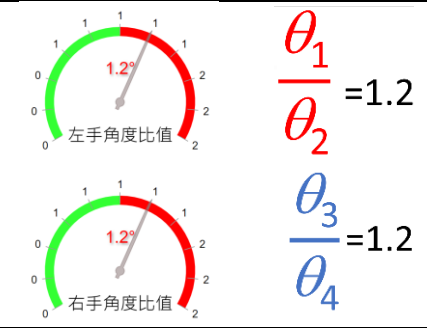
圖 3-3-39 雙手舉高交叉時之角度節點

- (a)左手抬起時，利用程式測量左手腕到左手肘之**角度 θ_1** ，和左手肘到左肩膀之**角度 θ_2** (如圖 3-3-39)，將 θ_1 和 θ_2 相除，**檢測比值 $\frac{\theta_1}{\theta_2}$** 是否穩定。
 - (b)右手抬起時，利用程式測量右手腕到右手肘之**角度 θ_3** ，和右手肘到右肩膀之**角度 θ_4** (如圖 3-3-39)，將 θ_3 和 θ_4 相除，**檢測比值 $\frac{\theta_3}{\theta_4}$** 是否穩定。
- (4)受測者穿著**藍色、花色**不同顏色的衣服，在**純色背景**和**一般背景**進行測試。(如圖 3-3-40、3-3-41)

(5) 受測者距離鏡頭 1 公尺、10 公尺來進行測試。(如圖 3-3-42)

(6) 以不同顏色的衣服搭配不同的距離、環境背景為一組，撰寫程式，在各種變因下，角度比值 $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 和 $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 是否穩定，並用表格記錄下來。(如圖 3-3-45)

2. 實驗流程圖

		<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">捲尺一公尺</p> 
<p>圖 3-3-40 人身著藍色的衣服(以藍衣服為例)進行姿態辨識</p>	<p>圖 3-3-41 純色背景進行姿態辨識(以純色背景為例)</p>	<p>圖 3-3-42 測量和鏡頭距離(以 1 公尺為例)進行姿態辨識</p>
		
<p>圖 3-3-43 計算角度比值(雙手未舉起之電腦畫面)</p>	<p>圖 3-3-44 計算角度比值(雙手舉起之電腦畫面)</p>	<p>圖 3-3-45 計算角度比值(雙手舉起時之儀表板畫面)</p>

3. 實驗結果

(1) 當雙手舉起時，用表格 5-1 紀錄左右手角度比值



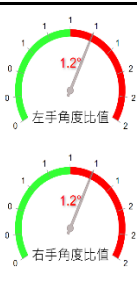


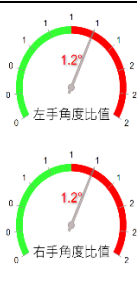


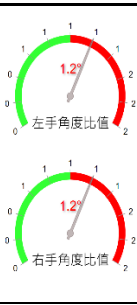


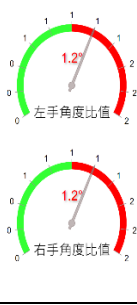
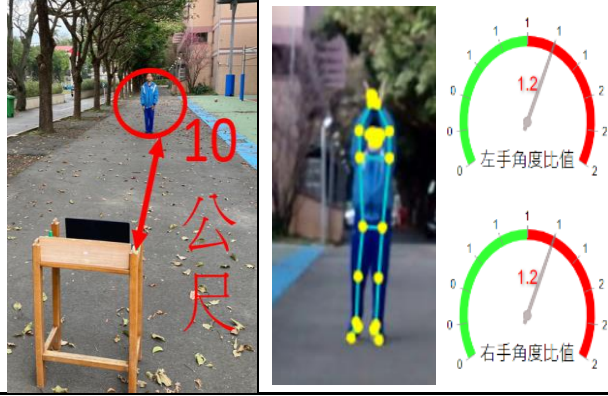
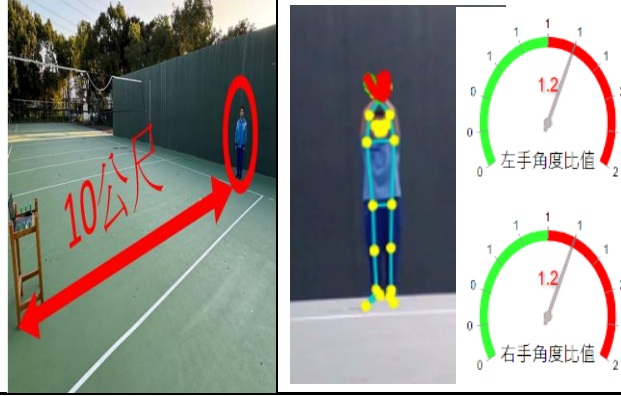
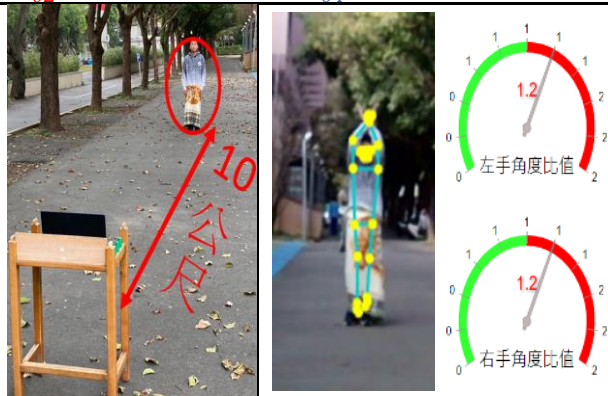
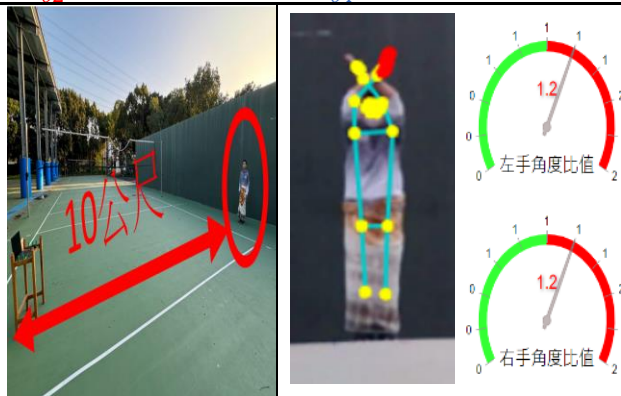
背景樣式 衣服顏色	一般背景	純色背景(綠色)
藍色 衣服	  	  
	$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值: 1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值: 1.2	$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值: 1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值: 1.2
花色 衣服	  	  
	$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值: 1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值: 1.2	$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值: 1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值: 1.2

表 5-2 十公尺距離下之左右手角度比值

背景樣式 衣服顏色	一般背景	純色背景(綠色)
藍色衣服	 <p>$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值:1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值:1.2</p>	 <p>$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值:1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值:1.2</p>
花色衣服	 <p>$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值:1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值:1.2</p>	 <p>$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 左手角度比值:1.2, $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 右手角度比值:1.2</p>

【說明】

- (1)如表 5-1 在距離鏡頭一公尺處，不論是什麼顏色的背景、衣服，左手角度($\frac{\theta_1}{\theta_2}$)和右手角度($\frac{\theta_3}{\theta_4}$)辨識結果皆是 1.2，所以自行編寫的 AI 姿態辨識險阻手勢是穩定的。
- (2)如表 5-2 在距離鏡頭十公尺處，不論是什麼顏色的背景、衣服，左手角度($\frac{\theta_1}{\theta_2}$)和右手角度($\frac{\theta_3}{\theta_4}$)辨識結果皆是 1.2，所以自行編寫的 AI 姿態辨識險阻手勢是穩定的。
- (3)總和(1)、(2)兩點，我們利用 MediaPipe Holistic 和自行推導的角度比值數學公式，可以解決因距離問題產生的不穩定因素。

(六)實驗六:使用 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)測試自行訓練 AI 模型偵測異物的成功率和可靠度

*目的:將異物大量且隨機出現在捷運行駛的軌道上，檢測自行訓練 AI 模型的可靠性和穩定性。

※成功率(%)=AI 偵測次數÷出現次數(50)

1. 實驗步驟與方法

- (1)在捷運行駛的影片中，放入人、招牌、吊車，三種異物。
- (2)使用三種異物搭配實驗四的最佳出現大小、秒數組合 (2 公分) (1 秒) 製作異物模擬影片。
- (3)三種異物在影片中各隨機出現 50 次 (如圖 3-3-46~3-3-47)。
- (4)使用實驗四訓練的 AI 模型去偵測影片，利用信心值(Confident)判斷有無偵測到異物(信心值>90%為可正確偵測)(如圖 3-3-48)。
- (5)訓練的 AI 模型連結 MQTT 伺服器，撰寫程式，如有成功偵測到異物就傳送 MQTT 訊息(如圖 3-3-49~3-3-50)。
- (6)利用 Google 試算表查看異物正確偵測次數，計算成功率，並用圖表紀錄 (如圖 3-3-51)。




2. 實驗流程圖

		
<p>圖 3-3-46 捷運動態行駛背景</p>	<p>圖 3-3-47 模擬異物隨機出現各 50 次在捷運行駛影片中</p>	<p>圖 3-3-48 用自行訓練的 AI 模型進行異物偵測</p>
		
<p>圖 3-3-49 連結 MQTT 伺服器偵測</p>	<p>圖 3-3-50 AI 偵測到異物傳送 MQTT 訊息</p>	<p>圖 3-3-51 用 Google 試算表紀錄成功偵測次數</p>

3. 實驗結果

(1) 將成功率紀錄成表 6-1-1

表 6-1-1 AI 偵測不同異物時的成功率
※成功率(%)=AI 偵測次數÷出現次數(50)

異物種類	人	招牌	吊車
			
異物出現次數	50 次	50 次	50 次
AI 偵測成功次數	人偵測次數 50	招牌偵測次數 50	吊車偵測次數 50
	50 次	50 次	50 次
成功率	100%	100%	100%

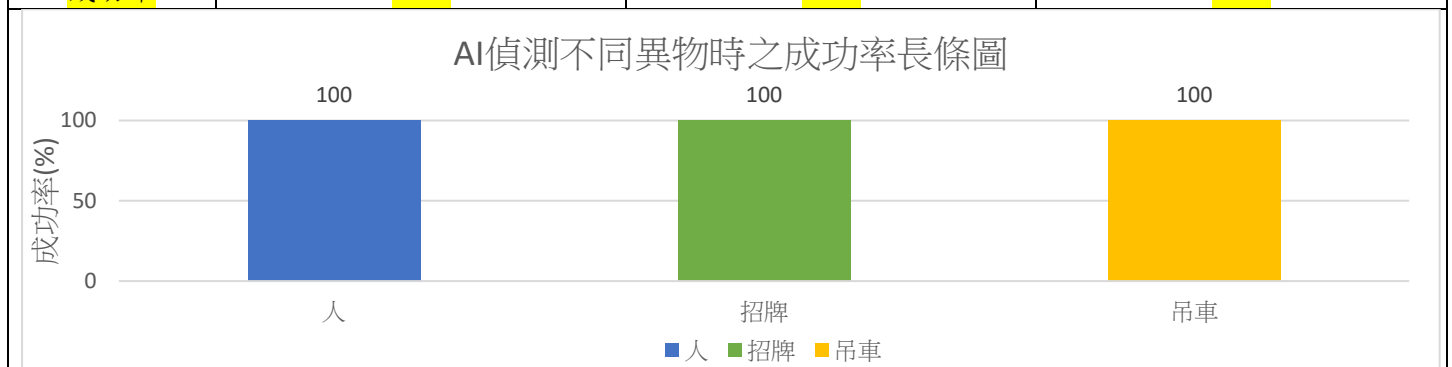


圖 3-3-52 AI 偵測不同異物時之成功率長條圖

【說明】

- (1) 自行訓練的 AI 影像辨識模型，對於人、招牌、吊車三種異物辨識的成功率皆為 100%。
- (2) 在捷運動態行駛影片中，就算異物大量且隨機出現，我們自行訓練的 AI 模型仍有相當高的可靠度。

四、建立完整的捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統

(一) 軟體、韌體測試及整合

1. Blockly Duino F2

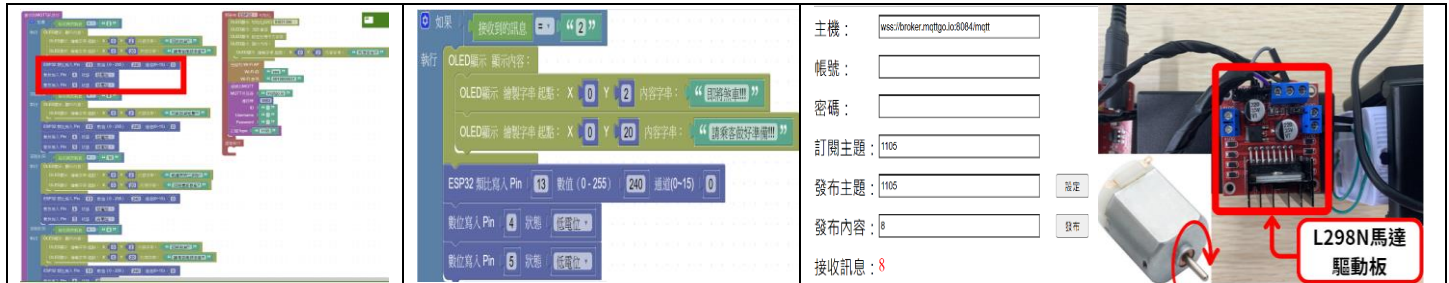


圖 3-4-1 編寫列車程式

圖 3-4-2 測試 L298N 馬達驅動板是否可以接收 MQTT 訊息，並做出反應

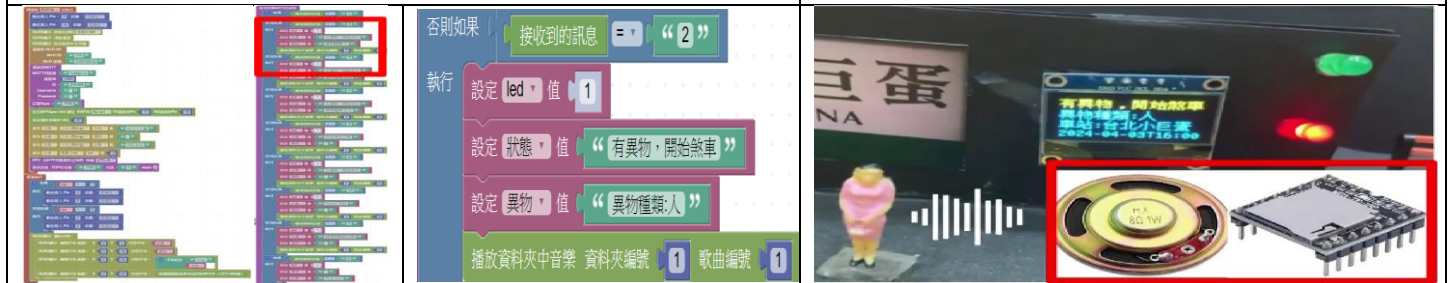


圖 3-4-3 編寫月台程式

圖 3-4-4 測試月台出現異物時，是否能順利播放 MP3 錄音以及做出警告

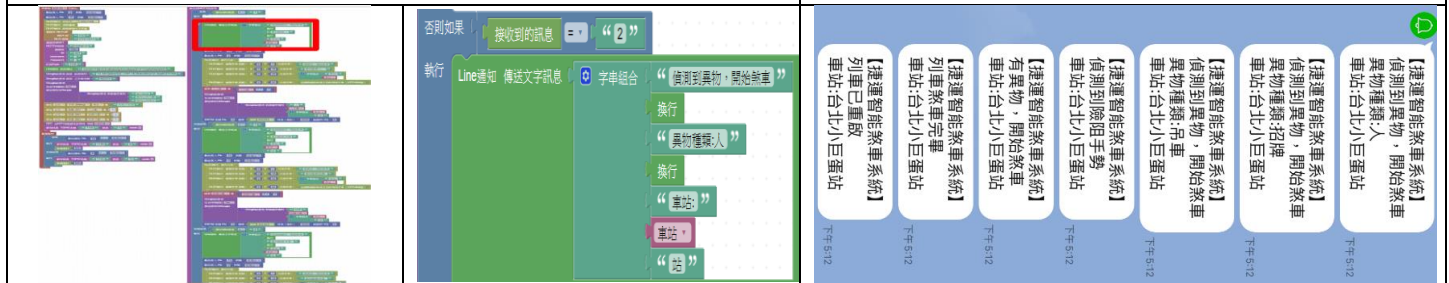


圖 3-4-5 編寫隨車員煞車裝置程式

圖 3-4-6 測試隨車員煞車裝置出現異物時，是否能順利傳送 LINE 訊息以及做出警告



圖 3-4-7 編寫行控中心煞車裝置程式

圖 3-4-8 測試行控中心煞車裝置出現異物時，是否能順利記錄到 Google 試算表以及做出警告



圖 3-4-9 編寫 ESP32-CAM 程式

圖 3-4-10 測試 ESP32-CAM 出現異物時，是否能順利拍照，傳送異物圖片到 LINE

2. SpBlocklyJS

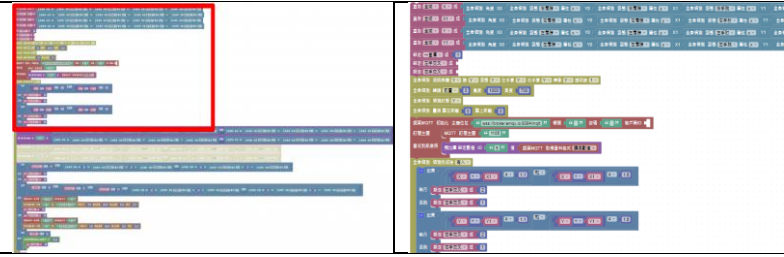


圖 3-4-11 編寫 MediaPipe Holistic 姿態辨識險阻手勢程式



圖 3-4-12 測試 MediaPipe Holistic 姿態辨識程式是否能順利辨識險阻手勢，並傳送 MQTT 訊息



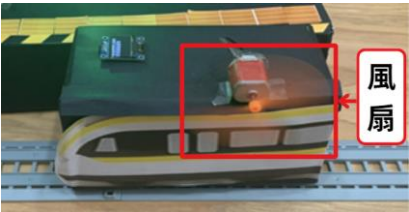

圖 3-4-13 編寫 Google Teachable Machine AI 異物辨識程式



圖 3-4-14 測試 Google Teachable Machine AI 異物辨識程式是否能順利辨識異物，並傳送 MQTT 訊息

(二) 硬體測試及整合

1. 列車

版本	外觀	缺點	改進方向
第一版		外觀造型只是一個紙箱，只用了風扇和馬達來模擬列車的煞車以及啟動，較不直觀，無法在軌道上運行	做出一臺可以在軌道上自動運行的列車，並可以偵測異物，主動煞停
第二版		供電給馬達的電池電壓過高(5V)，導致電流逆流，啟動 ESP32 保護裝置，進而使馬達停止轉動，但電壓太低(3.3V) 列車轉速過低無法順利運行	將原本的繼電器改成 L298N 馬達驅動板，撰寫程式成功控制馬達轉速，解決電流逆流的問題，讓列車順利運行

第三版

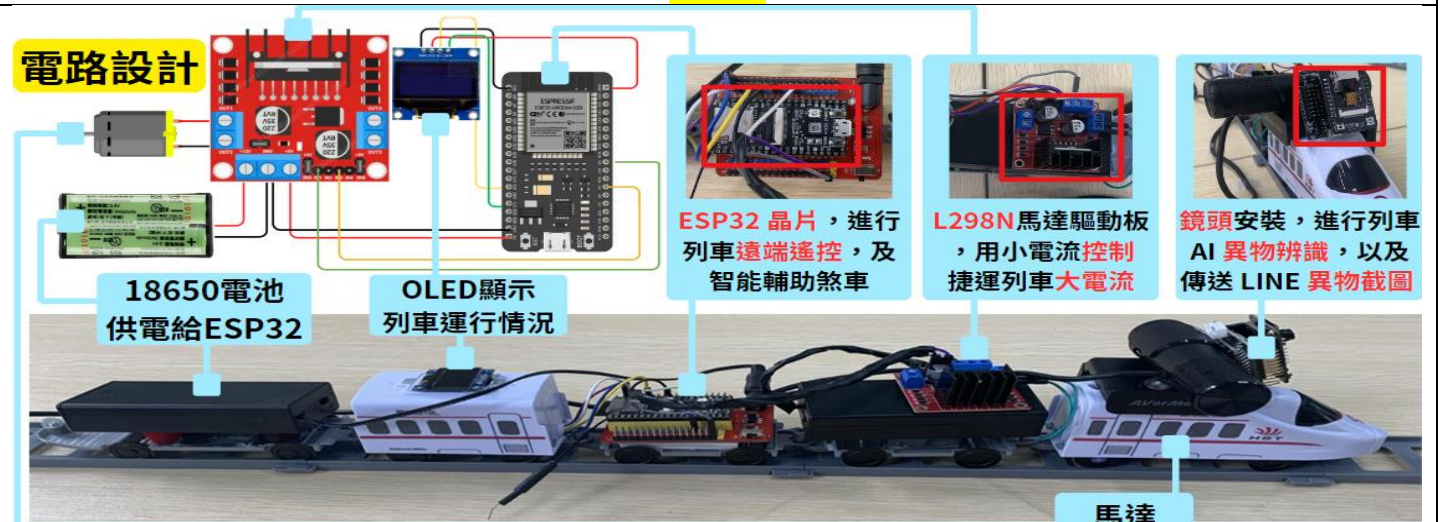


圖 3-4-15 列車硬體設計圖

2. 月台

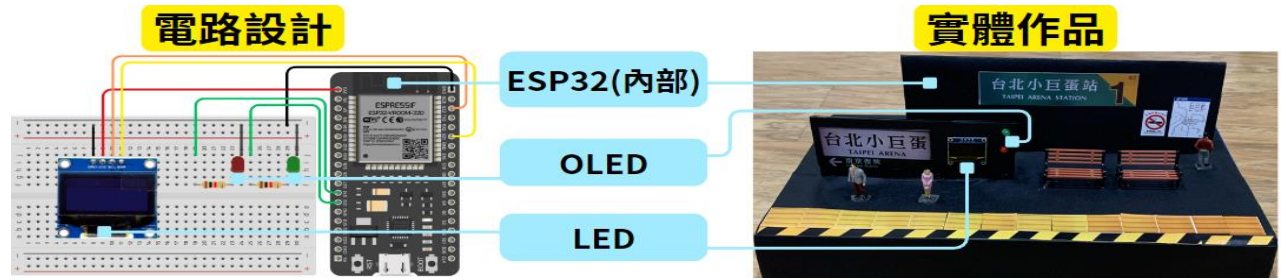


圖 3-4-16 月台硬體設計圖

3. 隨車員煞車裝置



圖 3-4-17 隨車員煞車裝置硬體設計圖

4. 行控中心煞車裝置

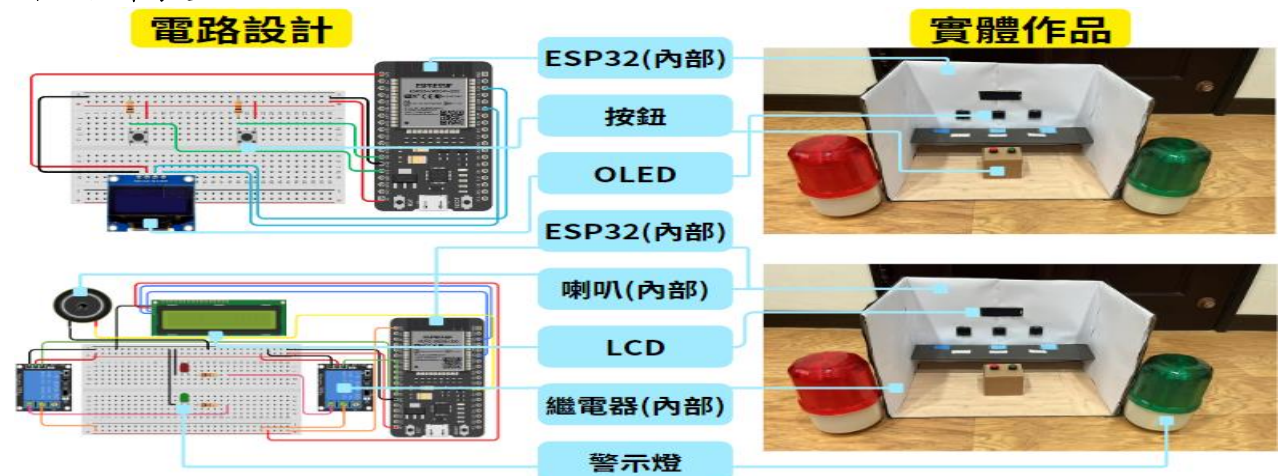


圖 3-4-18 行控中心煞車裝置硬體設計圖

5. 圖 3-4-19 為系統硬體完整圖



圖 3-4-19 捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統硬體完整圖

(三)圖 3-4-20 為系統作動流程圖

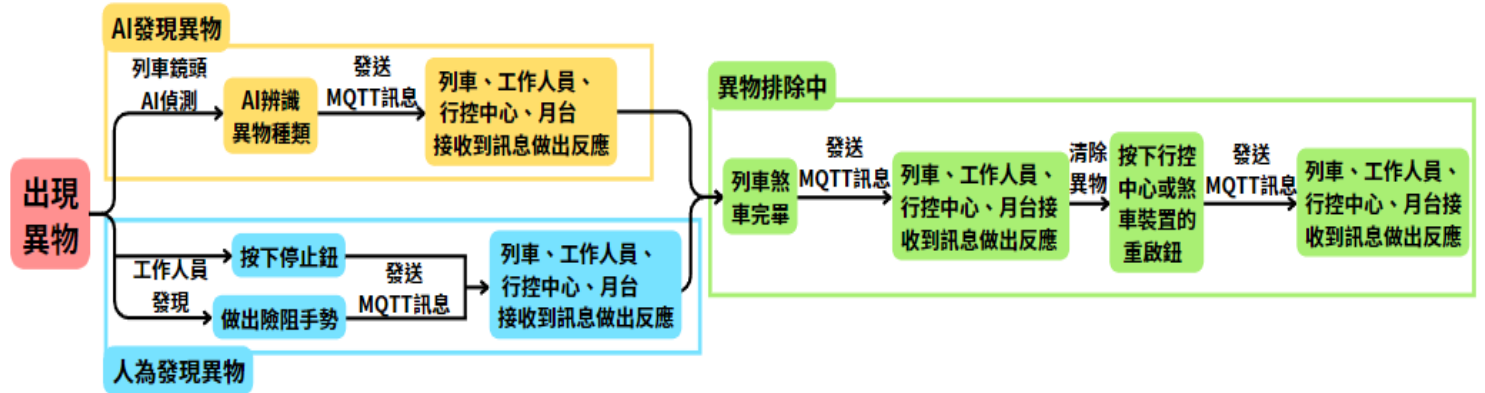
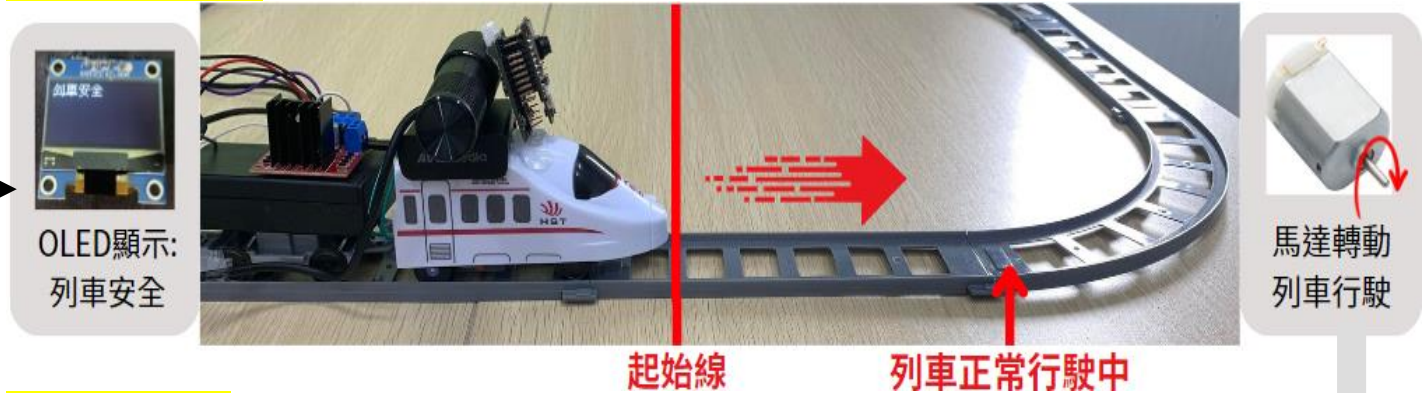


圖 3-4-20 捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統作動流程圖

(四)列車運作情形

1. 列車正常行駛中



2. 軌道出現異物



3. 異物排除中



(五)月台運作情形

1. 列車正常行駛中



OLED顯示:
列車安全、車站:台北小巨蛋站、時間

LED亮綠燈

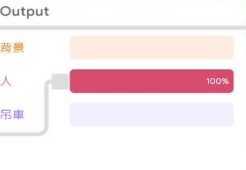
2. 軌道出現異物

傳送MQTT訊息

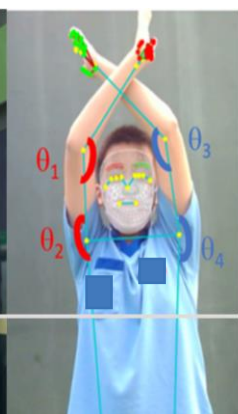
出現異物:人



鏡頭偵測畫面



AI辨識異物種類為人



月台人員發現異物做出險阻手勢，使列車煞車

3. 異物排除中

傳送MQTT訊息

1. 列車開始煞車



OLED顯示:
有異物，開始煞車、異物種類:人、車站:台北小巨蛋站、時間

2. 列車煞車完畢



OLED顯示:
列車煞車完畢、車站:台北小巨蛋站、時間

3. 軌道異物排除，按下重啟鈕重啟列車

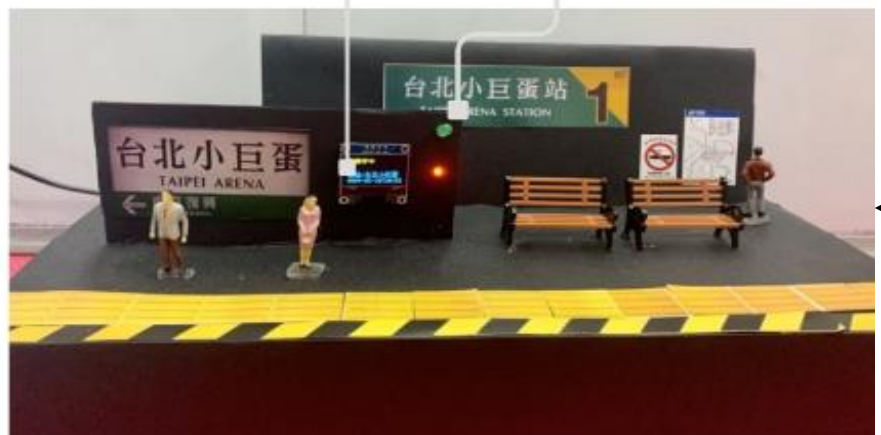


OLED顯示:
列車已重啟、車站:台北小巨蛋站、時間

1. 列車開始煞車 2. 列車煞車完畢 3. 軌道異物排除，按下重啟鈕重啟列車

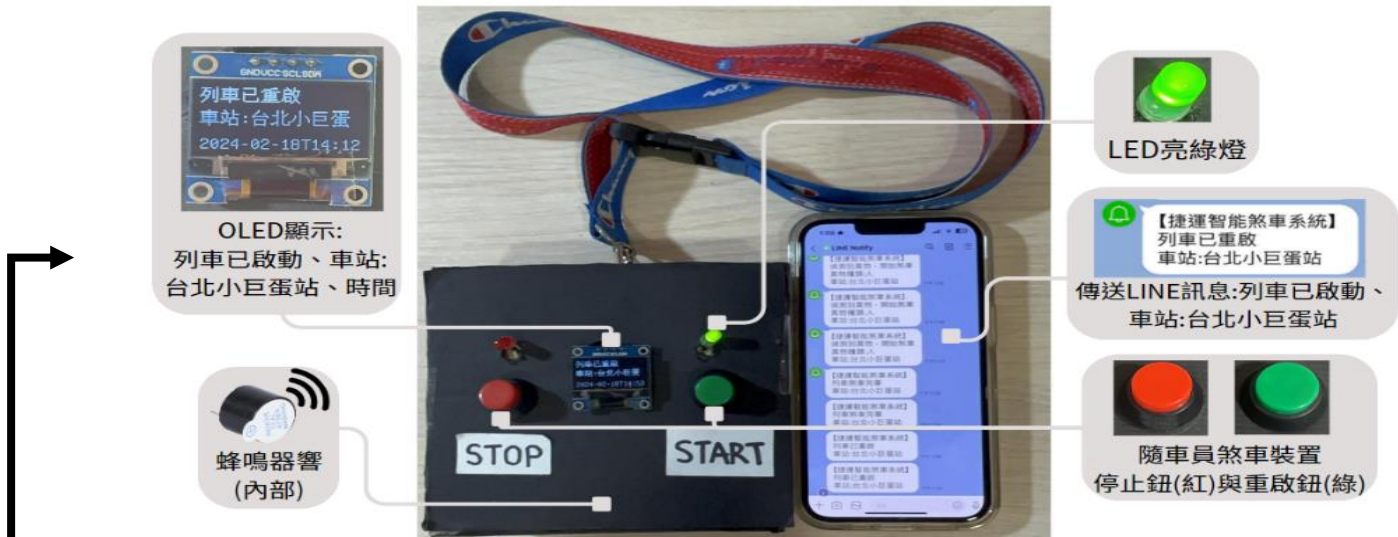


LED亮綠燈



(六)隨車員煞車裝置運作情形

1. 列車正常行駛中



2. 軌道出現異物



3. 異物排除中



(七)行控中心煞車裝置運作情形

1. 列車正常行駛中

沒有異物狀況之下，
試算表紀錄重啟或發車時間

時間	異物種類	異物出現次數	異物出現車站
2024/02/17 16:14:03			

2. 軌道出現異物

傳送MQTT訊息

行控中心發現異物，
按下煞車裝置停止鈕，使列車煞車

傳送MQTT訊息

3. 異物排除中

有異物狀況之下試算表紀錄異物、異物出現次數、異物出現車站

時間	異物種類	異物出現次數	異物出現車站
2024/02/17 16:14:03			
2024/02/17 16:14:27	人	1	台北小巨蛋站

肆、討論

一、了解「異物入侵事件中的缺失」，並比較「我們與台中捷運的改善方法」

(一)在一開始我們想到解決臺中捷運事故的方式，是每一輛列車**配備一台無人機**，讓無人機去做前導偵測設備，但因為無人機**成本較高**且和列車之間有**定位問題**，於是我們採取捷運列車前方**加裝鏡頭**，來改裝捷運列車模型，進行 AI 異物辨識來解決。

(二)臺中捷運為先進無人駕駛系統，對於異物入侵卻**無法主動偵測**，列車必須**撞擊異物**或者用**身體阻擋**車門關閉，列車才會停駛，我們的系統能進行 AI 主動偵測，並將資訊傳給相關人員，改善此次事故。

二、利用 Google Teachable Machine 撰寫程式，做出捷運軌道 AI 異物辨識系統

(一)在 AI 模型訓練當中，為了讓辨識模型更加精確，花了很多時間去調整訓練參數，最後參數分別為**訓練週期數量(Epochs):100**、**批量(Batch size):32**、**學習率(Learning Rate):0.001**。

(二)我們發現在自行訓練的 AI 辨識模型中，人物**大小**和辨識**距離**有**固定的比值**，因此只要得知模型比值，就能推測距離與異物大小的關係，更加精準辨識異物。

(三)查找資料得知，臺中捷運平均**時速為 75km/hr**，如果列車要煞車則**需要 167m**。我們後來利用**鏡頭變焦和倍率放大**之後成功提高鏡頭辨識的距離。

(四)雖然無法真實到捷運列車和軌道上做實驗，但經由捷運行駛影片模擬**動態畫面**，訓練的 AI 模型，辨識**成功率**仍然相當高。

(五)捷運行駛的軌道場景和我們實驗模擬環境，都是屬於**背景較單一**(如圖 4-1)，非常適合利用我們訓練的 AI 模型來進行異物偵測。

(六)經由實驗，我們發現在**白色背景**之下，異物**最容易被偵測**到，如果要將此系統，實際運用到捷運上，我們建議可以將**隔音牆改成白色**異物能在較遠的距離就被偵測到。

(七)此實驗的異物，分別是人(容易入侵軌道)、招牌(容易被颱風吹落)、吊車(引自網站:yahoo 新聞)三種異物。只要增加其他異物的**相關圖庫**，經由模型的訓練，一樣可以進行**其他類別的異物辨識**。



圖 4-1 捷運隔音牆(本圖

三、利用 Mediapipe Holistic 撰寫程式，做出險阻手勢的 AI 辨識系統

(一)一開始發現鏡頭進行姿態辨識時，同樣的姿勢，辨識的數據會隨著**距離鏡頭愈近**，數據則愈大，反之亦然。於是我們使用角度比值，解決因距離問題產生的誤差。

(二)**Mediapipe Holistic 的姿態辨識模型**，可以解決隨車員**看不懂**或**沒看到**月台保全員手勢的問題，經由 AI 鏡頭，**全時**進行**險阻手勢的偵測**，減少因**人為**因素導致的事故。

四、測試「AI 異物辨識系統」和「險阻手勢辨識系統」的成功率和可靠度

(一)AI 異物辨識系統和姿態辨識系統的**成功率**皆高於**95%**，代表系統**穩定**且可靠度高。

(二)在短時間**大量**且**隨機出現**異物和揮舞險阻手勢，我們設計的作品都能成功通過**壓力測試**，透過 MQTT 傳遞訊號。

五、建立完整的捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統

(一)硬體方面：

1. 最初我們使用**無法聯網的 UNO 板**，但是考量到需要**無線傳輸**，所以我們改使用 **ESP32**。

2. 一開始我們使用**紙箱**模擬捷運列車，但是發現紙箱列車沒辦法模擬列車在軌道上行駛，作動過程**不夠直觀**，於是我們**改造列車模型**，來模擬捷運列車**真實**的行駛情況。

3. 在實驗第二版列車時，發現使用**繼電器**無法控制馬達轉動，導致電流過大，使列車無法行駛，最後我們使用 **L298N 馬達驅動板**，進行列車**轉速控制**，防止電流逆流至 ESP32，成功控制列車啟閉，順利在**軌道上運行**。

4. 我們考量到有**視覺障礙**的乘客，於是在作品加裝 **Mini MP3 Player**，讓 AI 偵測到異物時，也能由 ESP32 **即時廣播**。

5. LINE 通知除了文字訊息之外，我們加裝了 **ESP32-CAM** 達到即時**異物截圖**的功能(如圖 4-2)，讓相關人員立刻得知異物種類。



圖 4-2 軌道異物 LINE 截圖

(二)軟體方面:如何讓「AI 異物辨識」和「姿態辨識」的結果，順利傳輸到 LINE、ESP32 和 Google 試算表，最後我們使用 MQTT 技術，成功讓不同的軟體、硬體之間能相互溝通。

(三)Google 試算表:預防勝於治療，透過試算表(如圖 4-3)可以從後端紀錄捷運軌道沿線容易出現的異物種類、時間、次數和地點，提供政府相關資料分析，防範再有相關憾事發生。



	A	B	C	D
1	2024/05/24 20:05:18	異物種類	異物出現次數	異物出現車站
2	2024/05/24 20:05:39	人		1 台北小巨蛋站
3	2024/05/24 20:05:47	招牌		1 台北小巨蛋站
4	2024/05/24 20:05:54	吊車		1 台北小巨蛋站

圖 4-3 軌道異物雲端紀錄表

伍、結論

一、了解「異物入侵事件中的缺失」，並比較「我們與台中捷運的改善方法」

我們將文獻探討的結果整理成以下表格

臺中捷運改善方法	矛盾點	我們提出的改善方法
擬定開發 AI 偵測系統	尚未開發 	我們利用 Google Teachable Machine 做出 AI 異物辨識系統能即時發現異物的存在 
隨車員在駕駛端時人工駕駛面板全時段打開	誤觸或惡作劇	應該要盡量縮短緊急煞車的流程時間，所以我們製作了保全人員及隨車員的緊急停車遙控器
隨車人員值勤包擺放配置優化，使隨車人員可立即取出列車鑰匙開啟面板，縮減手動緊急停車作業時間	需有面板，開啟流程繁瑣	
險阻手勢標準化及強化落實，月台人員第一時間以險阻手勢（雙手高舉交叉揮舞），示警隨車人員緊急停車	隨車員未看見手勢或是誤判	利用 Mediapipe Holistic 做出辨識險阻手勢的 AI 偵測系統，來減少人為判斷所造成的誤差
列車停靠月台尚未出發，月台人員或隨車員用身體阻擋月台門或車門關閉，防止列車離站	夾傷人員	我們設計了三種緊急煞車的方式分別有： 1. 利用隨車員及保全人員的緊急煞車遙控器 2. 利用 MQTT 讓行控中心遠端操作 3. AI 異物偵測系統

二、利用 Google Teachable Machine 撰寫程式，做出捷運軌道 AI 異物辨識系統

- (一)異物和背景顏色會影響辨識結果，其中白色背景和紅色異物辨識結果最好。
- (二)異物大小會影響辨識結果，異物愈大，可被偵測的距離愈遠，我們得到最遠距離 \div 真人身高 $\times 20$ 。
- (三)利用鏡頭變焦和倍率放大之後，讓原本 170cm 的真人可偵測距離從 34 公尺提高至 125 公尺以上。
- (四)在捷運動態行駛影片中，只要異物大小不小於 2 公分，AI 模型可以清楚辨識，信心度為 100%。

三、利用 Mediapipe Holistic 撰寫程式，做出險阻手勢的 AI 辨識系統

- (一)距離鏡頭 1 公尺進行險阻手勢辨識，不論人穿著甚麼衣服左手角度 $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 和右手角度 $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 結果皆是 1.2。
- (二)距離鏡頭 10 公尺進行險阻手勢辨識，不論人穿著甚麼衣服左手角度 $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ 和右手角度 $\frac{\theta_3}{\theta_4}$ 結果皆是 1.2。

四、測試「AI 異物辨識系統」和「險阻手勢辨識系統」的成功率和可靠度

- (一)自行訓練的 AI 影像辨識模型，在大量且隨機(50 次)的樣本測試下，對於人、招牌、吊車三種異物辨識的成功率皆為 100%，模型可靠度相當高。
- (二)自行訓練的姿態辨識模型，大量且隨機(50 次)進行險阻手勢測試下，對於偵測險阻手勢的成功率皆為 100%，模型可靠度相當高。

五、建立完整的捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統

- (一)利用 ESP32，成功以小電流 L298N 馬達驅動板，控制列車大電流馬達開關，並且以 MQTT 傳遞訊號，使列車在危險時刻能主動煞車。
- (二)成功建置列車、隨車員、行控中心、月台的軟、硬體裝置使彼此之間能迅速傳遞訊息，讓相關人員即時做出反應，防範再有相關憾事發生。

陸、參考文獻資料

- 一、[中央社 CNA\(2023\)](#)。吊臂落下為何列車繼續開？台中捷運事故爭議點一次看懂[影] | 社會
- 二、[Design Thinking 團隊\(2018\)](#)。三大類機器學習：監督式、強化式、非監督式 - 工程師。日常
- 三、[HackMD](#)。06_單元六教案-監督式學習
- 四、[阿諾\(2019\)](#)。[\[AI 學習系列\]](#) 相關名詞解析. • Artificial Intelligent <AI> 人工智慧 | by 阿諾 | Medium
- 五、[進擊的 IT 人\(2023\)](#)。監督式學習 vs 非監督式學習差異在哪？機器學習兩大重點比較！
- 六、[伊雲谷 eCloudvalley\(2019\)](#)。你知道機器學習(Machine Learning)，有幾種學習方式嗎？
- 七、[STEAM 教育學習網](#)。Mediapipe 全身偵測 (Holistic) - AI 影像辨識教學 (Python)
- 八、[cubie\(2017\)](#)。MQTT 教學 (一)：認識 MQTT - 超圖解系列圖書
- 九、[台中市政府\(2023\)](#)。中捷加強行車安全 已實施 3 項應變 SOP 精進措施、研擬 2 項設備優化方案
- 十、[國家運輸安全調查委員會 110 年鐵道列車紀錄裝置普查報告](#)

註：

圖 1-1 台中捷運事件圖引用網站來源:TVBS 新聞台

圖 3-1-1 台中捷運事件圖引用網站來源:TVBS 新聞台

圖 3-1-2 監督式學習概述引用網址來源:<https://reurl.cc/Zeqln6>

圖 3-1-3 姿勢節點引用網址來源:<https://reurl.cc/OMLmZD>

圖 3-1-4 MQTT 訊息傳遞架構引用網址來源: <https://reurl.cc/NQLxvQ>

圖 3-3-35 險阻手勢(標準動作)範例引用網址來源: <https://www.taichung.gov.tw/2353953/post>

圖 4-1 捷運隔音牆引用網址來源: <https://reurl.cc/xa21ZN>

除上述圖片引自他處，其他照片及圖片均為作者親自製作。

【評語】 032804

1. 本作品針對捷運異物辨識進行研究，緊扣社會時事脈動，展現了科學研究與社會生活之結合。
2. 作品不僅進行了小模型驗證，亦還進行大距離的實際模擬，貼近捷運的真實情境。
3. 整體描述完整，考量前景與背景不同顏色的組合測試，實驗數據完善，表現優良，值得讚賞。

作品簡報



MRT AI FOREIGN OBJECT RECOGNITION AND INTELLIGENT BRAKING ASSISTANCE SYSTEM

捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統

摘要

台中捷運發生吊臂掉落。我們查找文獻缺失，利用機器學習Google Teachable Machine和數學相似演算法，做出AI異物辨識系統，解決捷運無法主動偵測異物的問題。並經文獻得知，列車煞車需167m，我們透過鏡頭變焦和倍率放大提高辨識距離。利用Mediapipe Holistic和角度比值演算法解決距離辨識的問題，做出險阻手勢AI辨識系統，解決隨車員和月台保全無法溝通的問題。利用MQTT傳輸技術，設計無線控制按鈕，經由ESP32和L298N控制列車啟閉，減少隨車員尋找鑰匙等流程，錯失救援時間。此外，我們建置的系統將軌道沿線辨識異物，上傳Google雲端試算表，供政府進行預防措施。

壹、前言

一、研究動機

1. 列車為什麼沒有偵測到異物，直接撞上？
2. 列車停止流程繁瑣，隨車員沒辦法讓列車馬上停止。
3. 為何擁有先進無人駕駛機制的台中捷運，沒有煞停機制？



台中捷運事件圖(本圖引自 TVBS 新聞台)

二、文獻探討

臺中捷運改善方法	矛盾點	我們提出的改善方法
擬定開發AI偵測系統	尚未開發	我們利用Google Teachable Machine做出AI異物辨識系統能即時發現異物的存在
隨車員在駕駛端時人工駕駛面板全時段打開	誤觸或惡作劇	應該要盡量縮短緊急煞車的流程時間，所以我們製作了保全人員及隨車員的緊急停車遙控器
隨車人員值勤包擺放配置優化，使隨車人員可立即取出列車鑰匙開啟面板，縮減手動緊急停車作業時間	需有面板，開啟流程繁瑣	利用Mediapipe Holistic做出辨識險阻手勢的AI偵測系統，來減少人為判斷所造成的誤差
險阻手勢標準化及強化落實，月台人員第一時間以險阻手勢(雙手高舉交叉揮舞)，示警隨車人員緊急停車	隨車員未看見手勢或是誤判	我們設計了三種緊急煞車的方式分別有： 1. 利用隨車員及保全人員的緊急煞車遙控器 2. 利用MQTT讓行控中心遠端操作 3. AI異物偵測系統
列車停靠月台尚未出發，月台人員或隨車員用身體阻擋月台門或車門關閉，防止列車離站	夾傷人員	

貳、研究目的

- 一、了解「異物入侵事件中的缺失」，並比較「我們與台中捷運的改善方法」
- 二、利用 Google Teachable Machine 撰寫程式，做出捷運軌道 AI 異物辨識系統
- 三、利用 Mediapipe Holistic 撰寫程式，做出險阻手勢的AI辨識系統
- 四、測試「AI 異物辨識系統」和「險阻手勢辨識系統」的成功率和可靠度
- 五、建立完整的捷運 AI 異物辨識及智能煞車輔助系統

參、研究過程與結果

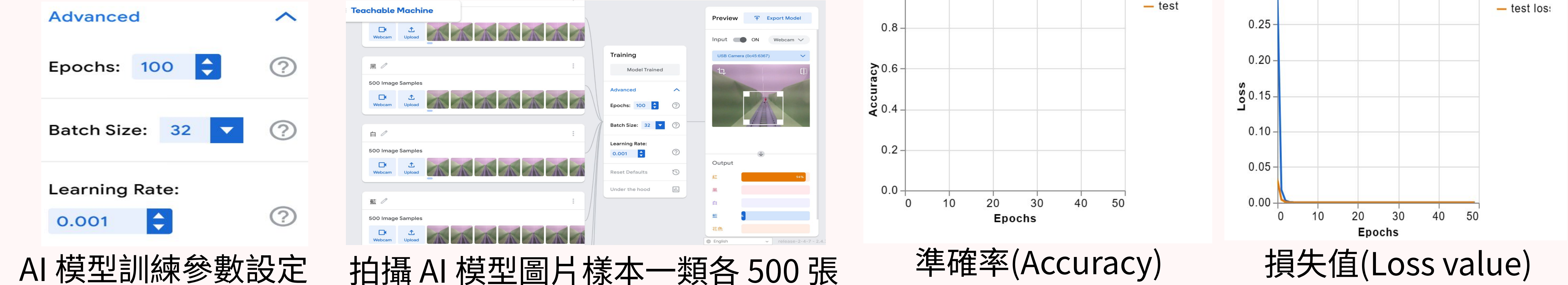
※以下部分除險阻手勢險阻手勢(標準動作)圖引自他處，其他照片及圖片均為作者親自製作

一、研究架構



二、實驗過程與結果分析

(一)模型的準確度和損失值(確定模型可使用)



1. AI 訓練模型訓練週期到第 100 次時，準確率幾乎為 100%，訓練週期到第 100 次時，損失值幾乎為 0%。
2. AI 訓練模型藍色 acc 訓練曲線和橘色test 的訓練曲線幾乎重疊，代表此模型沒有過擬合和欠擬合的現象。
3. 總結以上可判斷AI 訓練模型結果準確。

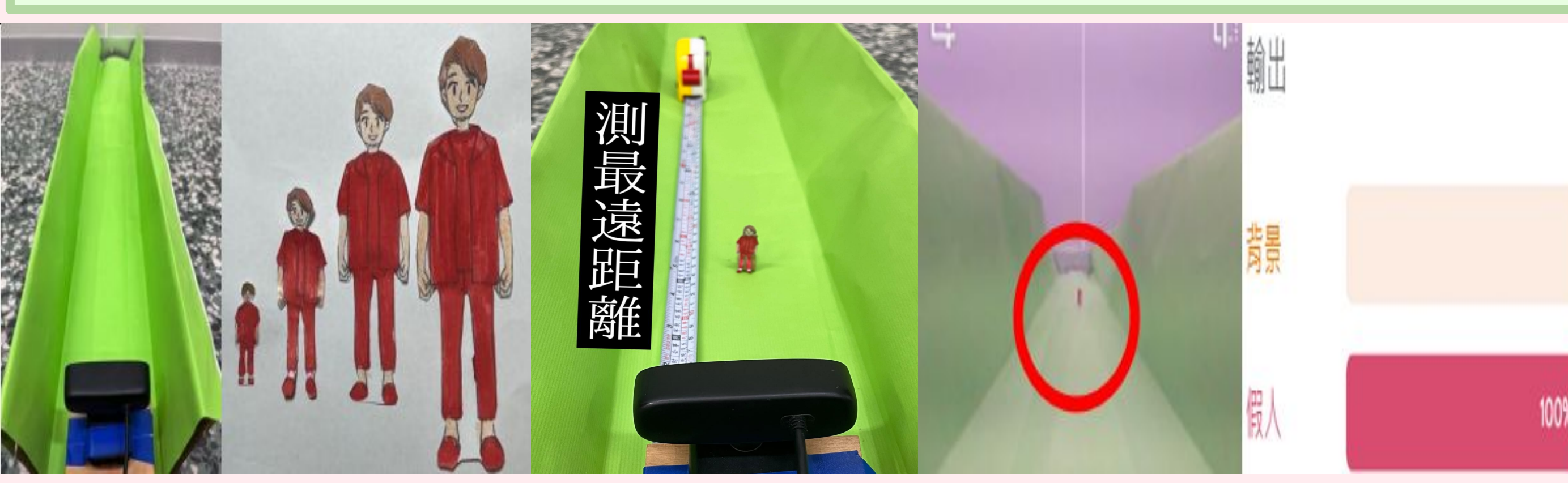
實驗一:捷連的隔音牆顏色和異物的顏色是否會影響影像辨識的結果



結果分析:

1. 紅色假人不管在綠色、藍色、白色或是一般背景下被鏡頭辨識和偵測的距離都是最遠的。
2. 在白色背景之下，除了白色假人無法被鏡頭辨識，其他顏色假人辨識狀況都很準確。

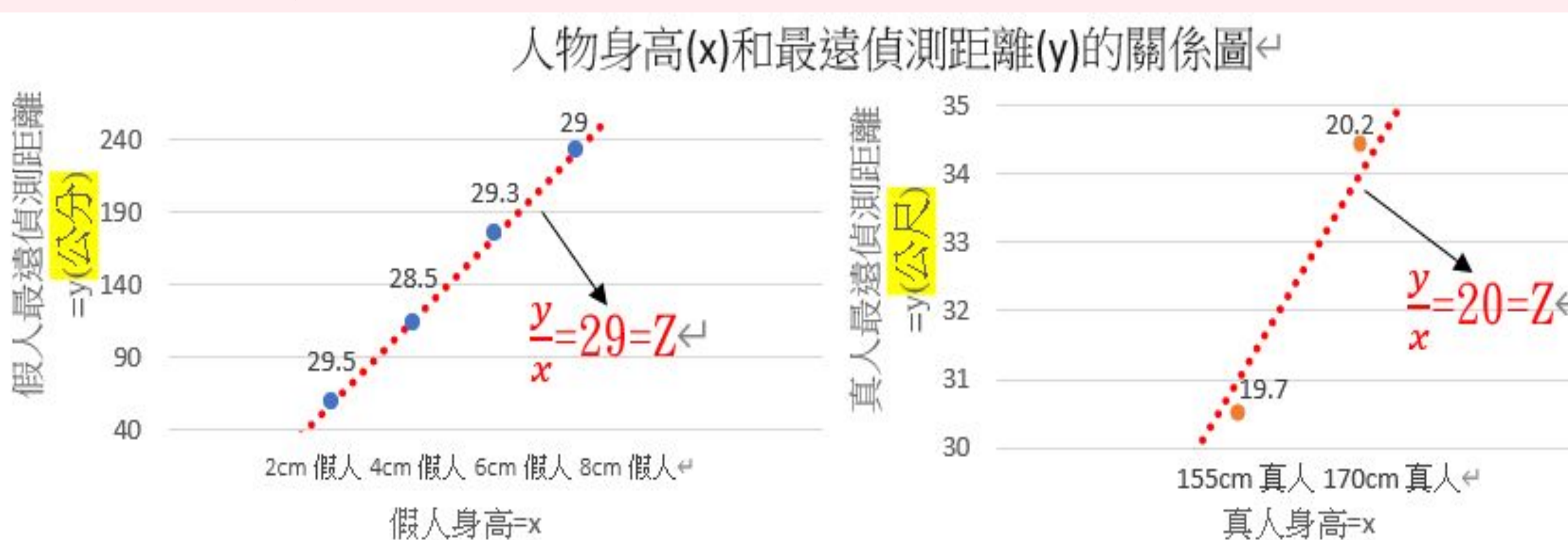
實驗二:固定軌道背景和異物顏色，探討異物大小是否會影響影像辨識的結果



綠色背景下，紀錄不同身高假人可被偵測最遠距離和信心值



綠色排球場背景下，紀錄不同身高真人可被偵測最遠距離和信心值



結果分析:

1. 假人辨識最遠距離 = 假人身高 × 29。
2. 真人辨識最遠距離 = 真人身高 × 20。
3. 假人和真人身高和可被偵測的最遠距離接近正比關係。

實驗三:利用望遠鏡進行鏡頭變焦和倍率放大，是否會影響辨識的結果



人穿藍色衣褲在跑道上 鏡頭結合望遠鏡 在信心值>90%之下，記錄不同距離人被偵測到信心值



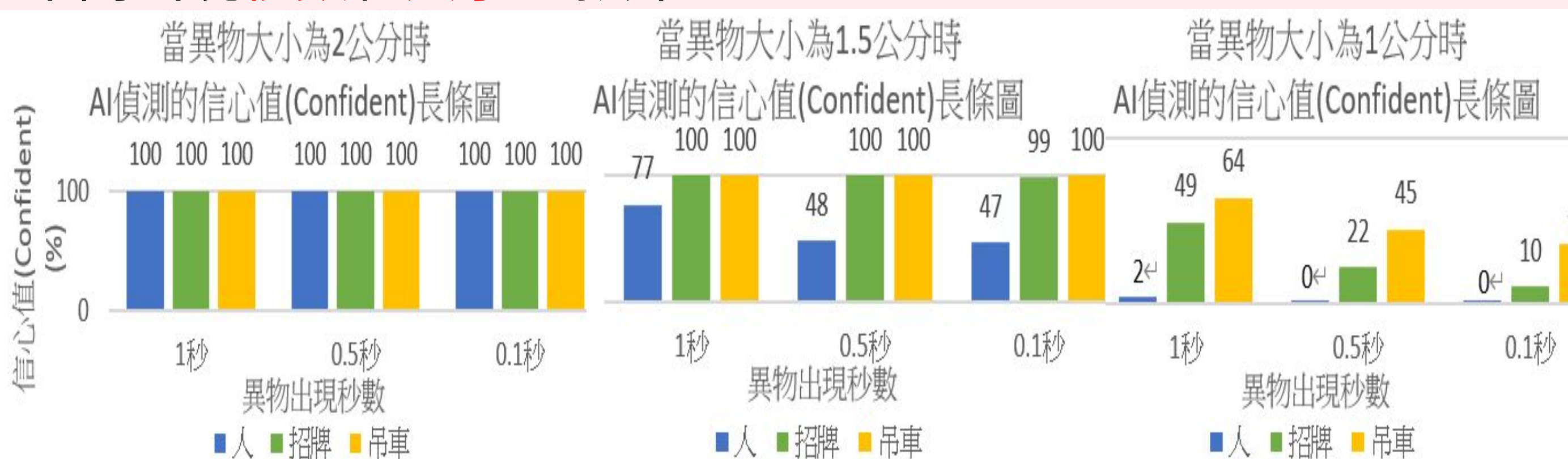
結果分析:

1. 原本170cm真人只能被偵測到34m鏡頭經由望遠鏡變焦和倍率放大之後可偵測距離提高至125m。
2. 採取變焦鏡頭我們訓練的AI模型，可以讓原本距離太遠無法偵測的物體也能清楚被辨識。

實驗四:訓練AI影像辨識模型，進行捷運動態影片偵測



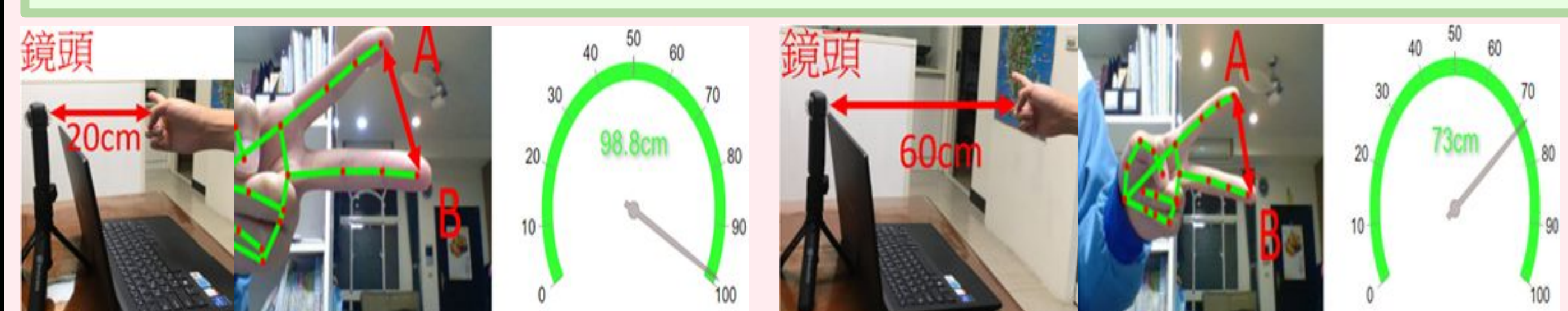
用人、招牌、吊車，製作不同出現秒數和大小的影片 紀錄不同影片的信心值



結果分析:

1. 異物大小2公分時，三種異物在任何出現秒數，都偵測正確。
2. 異物大小1.5公分時，人隨著出現時間越短，信心值就越低。
3. 異物大小1公分時，招牌和吊車隨著出現時間越短，信心值就越低，且都偵測錯誤。
4. 此AI模型可成功偵測動態異物，但結果會受異物大小和時間影響。

實驗五:測試自行編寫的AI姿態辨識險阻手勢是否穩定

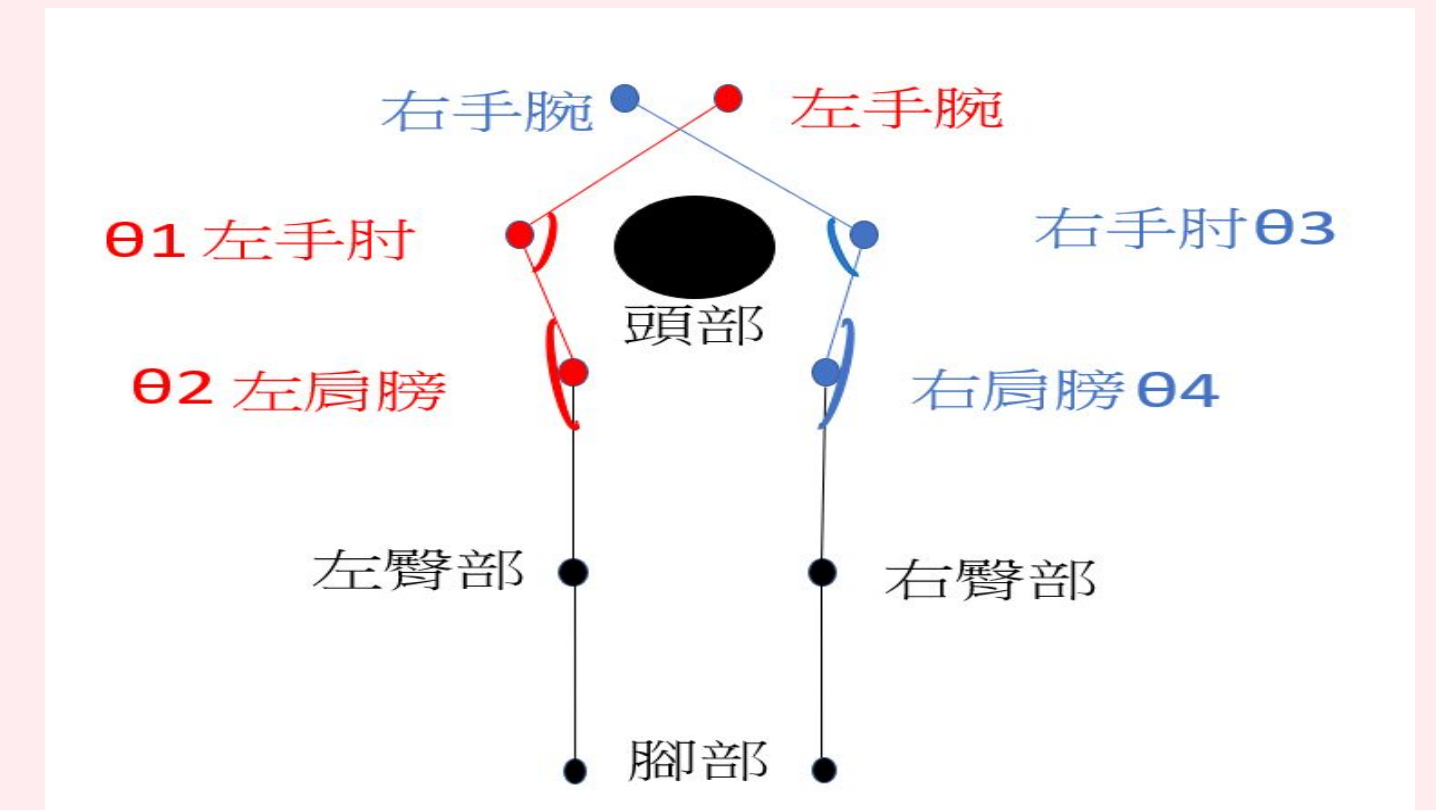


距離鏡頭20cm進行辨識，AB線段=98.8cm

距離鏡頭60cm進行辨識，AB線段=73cm



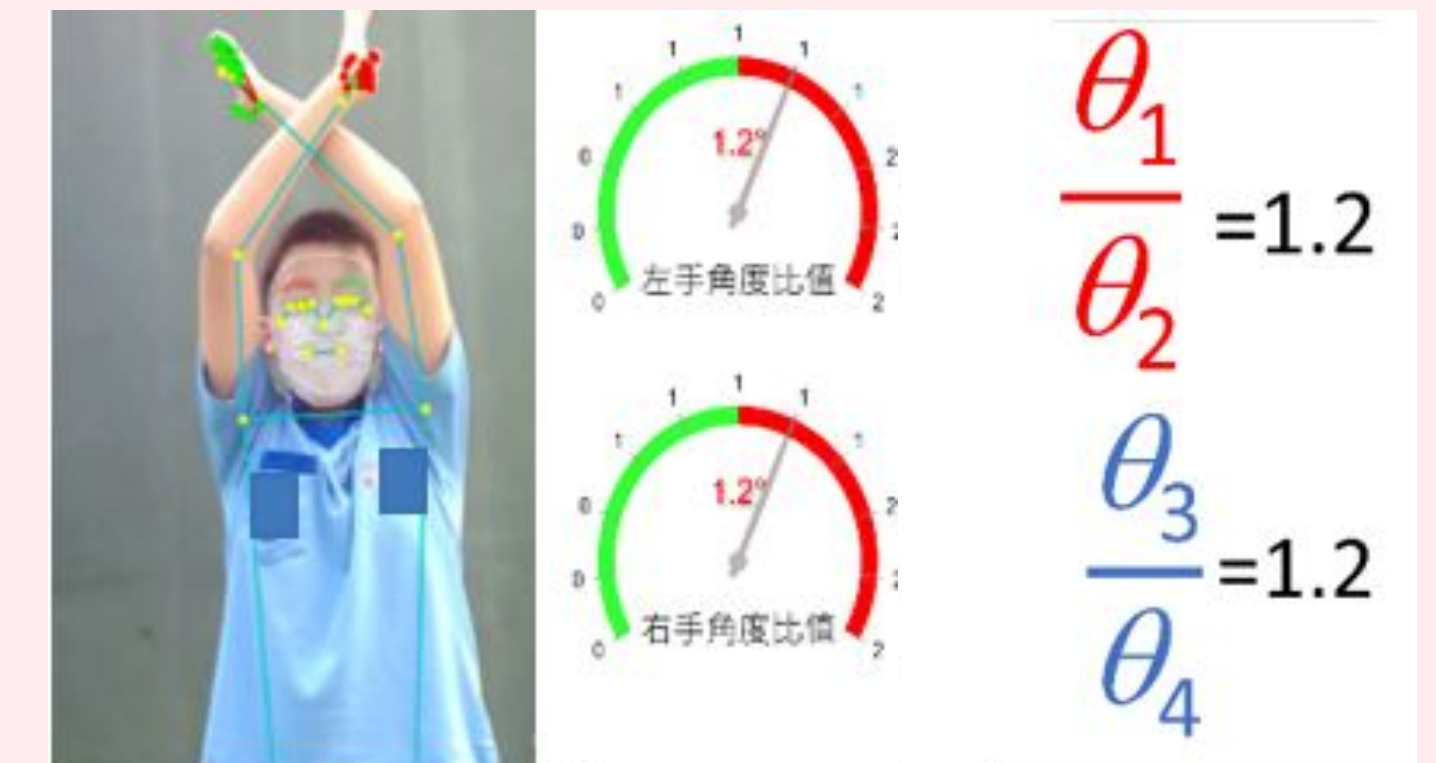
險阻手勢(標準動作) (本圖引自網站:台中市政府)



雙手舉起節點圖



距離鏡頭10公尺進行偵測



距離鏡頭10公尺之節點和角度比值

結果分析:

1. 發現姿態辨識模型，辨識時會受到距離遠近而辨識出不同結果。
2. 距離鏡頭一公尺、十公尺處，利用角度比值不論是什麼顏色的背景、衣服，辨識結果皆是1.2，可以解決因距離問題產生的不穩定因素。

實驗六:使用MQTT傳輸資料，測試自行訓練AI模型偵測異物的成功率和可靠度



用AI模型偵測人、招牌、吊車，隨機出現50次的影片

MQTT傳送AI模型資料於Google試算表，紀錄偵測次數及成功率



結果分析:

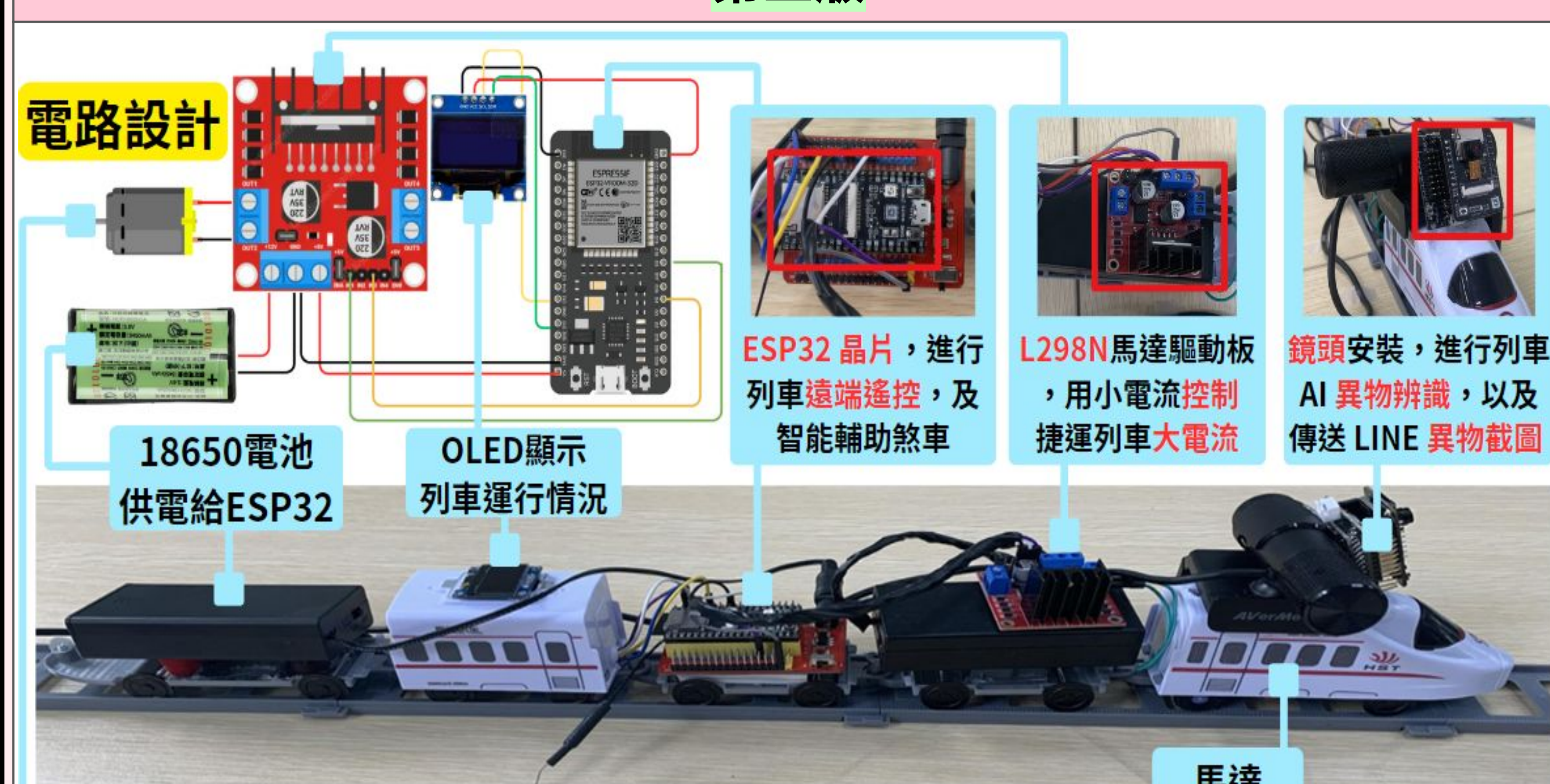
- 三種異物辨識的成功率皆為100%，代表異物大量且隨機出現，我們自行訓練的AI模型仍有相當高的可靠度。

肆、系統介紹

一、列車改造過程

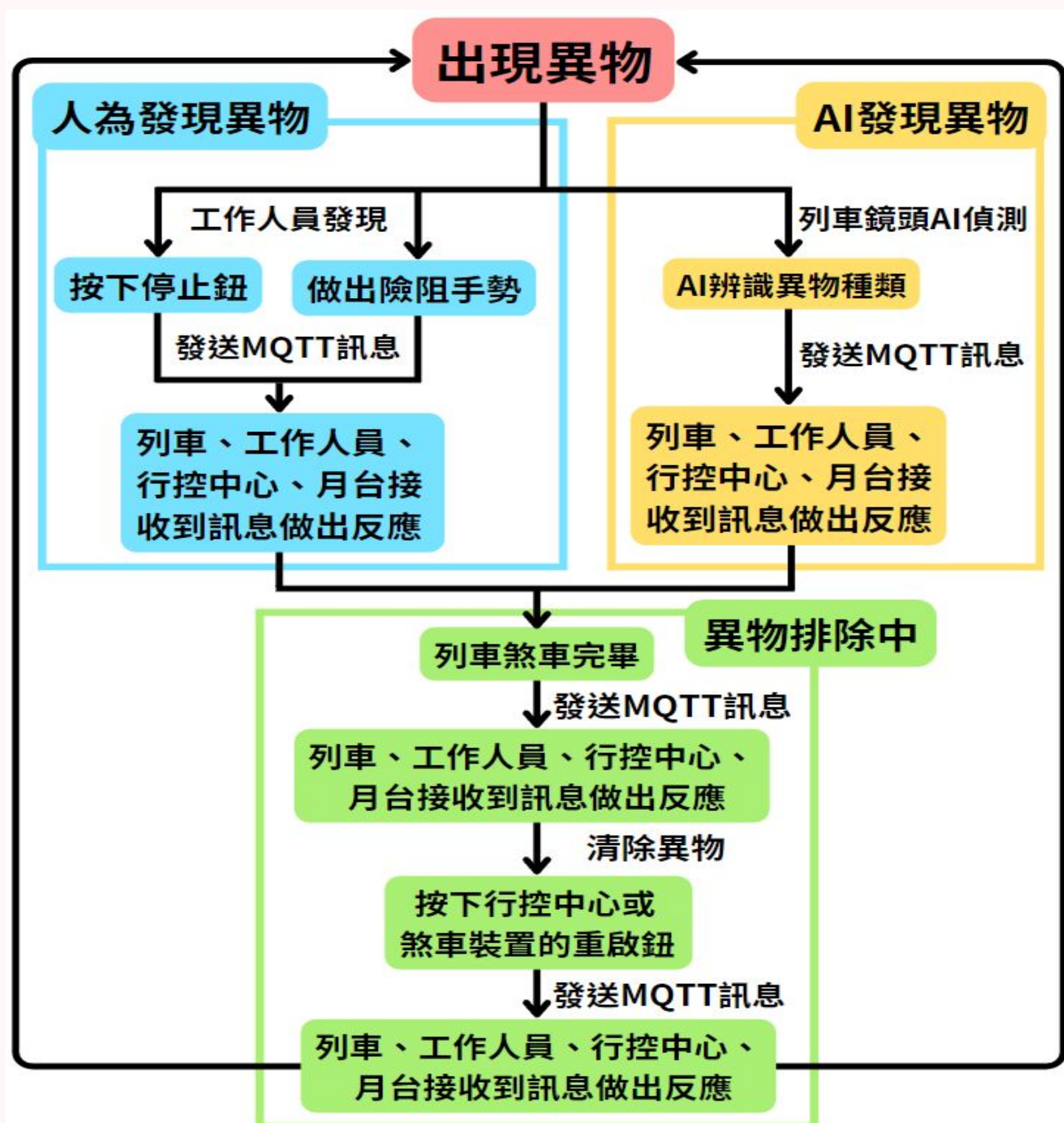
版本	外觀	缺點	改進方向
第一版		外觀造型只是一個紙箱，只用了風扇和馬達來模擬列車的煞車以及啟動，較不直觀，無法在軌道上運行	做出一臺可以在軌道上自動運行的列車，並可以偵測異物，主動煞停
第二版		供電給馬達的電池電壓過高(5V)，導致電流逆流，啟動ESP32保護裝置，進而使馬達停止轉動，但電壓太低(3.3V)列車轉速過低無法順利運行	將原本的繼電器改成L298N馬達驅動板，撰寫程式成功控制馬達轉速，解決電流逆流的問題，讓列車順利運行

第三版



馬達

二、系統作動流程圖



三、系統硬體完整圖



四、列車運作情形



伍、討論與結論

一、了解「異物入侵事件中的缺失」，並比較「我們與台中捷運的改善方法」

(一)在一開始我們想到解決臺中捷運事故的方式，是每一輛列車**配備一台無人機**，讓無人機去做前導偵測設備，但因為無人機**成本較高**且和列車之間有**定位問題**，於是我們採取捷運列車前方**加裝鏡頭**，來改裝捷運列車模型，進行AI異物辨識來解決。

(二)臺中捷運為先進無人駕駛系統，對於異物入侵卻**無法主動偵測**，列車必須**撞擊異物**或者用**身體阻擋**車門關閉，列車才會停駛，我們的系統能進行AI主動偵測，並將資訊傳給相關人員，改善此次事故。

二、利用Google Teachable Machine撰寫程式，做出捷運軌道AI異物辨識系統

(一)在AI模型訓練當中，為了讓辨識模型更加精確，花了很多時間去調整訓練參數，最後參數分別為**訓練週期數量(Epochs):100**、**批量(Batch size):32**、**學習率(Learning Rate):0.001**。

(二)查找資料得知，臺中捷運平均**時速為75km/hr**，如果列車要煞車則**需要167m**。我們後來利用**鏡頭變焦和倍率放大**之後成功提高鏡頭辨識的距離。

(三)雖然無法真實到捷運列車和軌道上做實驗，但經由捷運行駛影片模擬**動態畫面**，訓練的AI模型，辨識**成功率**仍然相當高。

(四)此實驗的異物，分別是**人(容易入侵軌道)**、**招牌(容易被颱風吹落)**、**吊車** 引自網站:yahoo新聞(臺中捷運事故主角)三種異物。只要增加其他異物的**相關圖庫**，經由模型的訓練，一樣可以進行**其他類別的異物辨識**。

三、利用Mediapipe Holistic撰寫程式，做出險阻手勢的AI辨識系統

(一)一開始發現鏡頭進行姿態辨識時，同樣的姿勢，辨識的數據會隨著**距離鏡頭愈近**，**數據則愈大**，反之亦然。於是我們使用角度比值，解決因距離問題產生的誤差。

(二)**Mediapipe Holistic的姿態辨識模型**，可以解決隨車員**看不懂或沒看到**月台保全員手勢的問題，經由AI鏡頭，**全時**進行**險阻手勢的偵測**，減少因**人為**因素導致的事故。

四、測試「AI異物辨識系統」和「險阻手勢辨識系統」的成功率和可靠度

(一)AI異物辨識系統和姿態辨識系統的**成功率**皆高於**95%**，代表系統**穩定**且**可靠度**高。

(二)在短時間**大量**且**隨機**出現異物和揮舞險阻手勢，我們設計的作品都能通過**壓力測試**，透過MQTT傳遞訊號。

五、建立完整的捷運AI異物辨識及智能煞車輔助系統

(一)硬體方面:

- 1.一開始我們使用**紙箱**模擬捷運列車，但是發現紙箱列車沒辦法模擬列車在軌道上行駛，作動過程**不夠直觀**，於是我們**改造列車模型**，來模擬捷運列車**真實**的行駛情況。
- 2.在實驗第二版列車時，發現使用**繼電器**無法控制馬達轉動，導致電流過大，使列車無法行駛，最後我們使用**L298N馬達驅動板**，進行列車**轉速控制**，防止電流逆流至ESP32，成功控制列車啟閉，順利在**軌道**上運行。
- 3.我們考量到**視覺障礙**的乘客，於是在作品加裝**Mini Mp3 Player**，讓AI偵測到異物時，也能由ESP32**即時廣播**。
- 4.LINE通知除了文字訊息之外，我們加裝了**ESP32-CAM**達到即時**異物截圖**的功能，讓相關人員立刻得知異物種類。

(二)軟體方面:如何讓「**AI異物辨識**」和「**姿態辨識**」的結果，順利傳輸到LINE、ESP32和Google試算表，最後我們使用**MQTT技術**，成功讓不同的軟體、硬體之間能相互溝通。

(三)Google試算表:**預防勝於治癒**，透過試算表可以從**後端紀錄**捷運軌道沿線容易出現的異物種類、時間、次數和地點，提供政府相關**資料分析**，防範再有相關憾事發生。