

110-056-7C78
MOTC-IOT-109-H1CB001g

軌道扣件巡檢系統建置(2/2)- 扣件缺失辨識系統精進驗證



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

110-056-7C78
MOTC-IOT-109-H1CB001g

軌道扣件巡檢系統建置(2/2)- 扣件缺失辨識系統精進驗證

著者：謝禎岡、黃維信、謝尚琳、林雅雯、
洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文、徐倜雲

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

軌道扣件巡檢系統建置：扣件缺失辨識系統精進
驗證。(2/2) / 謝禎罔, 黃維信, 謝尚琳, 林雅
雯, 洪瑋宏, 杜宇豪, 賈漢文, 徐倜雲著. --
初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所, 民
110.02
面；公分
ISBN 978-986-531-257-2(平裝)

1. 鐵軌 2. 牢繫物 3. 鐵路工程

442.52

110001025

軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證

著者：謝禎罔、黃維信、謝尚琳、林雅雯、洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文、
徐倜雲

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>中心出版品)

電話：(04)26587200

出版年月：中華民國 110 年 2 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：400002 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1011000168 ISBN：978-986-531-257-2 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-257-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1011000168	運輸研究所出版品編號 110-056-7C78	計畫編號 MOTC-IOT-109-H1CB001g
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：林雅雯 研究人員：林雅雯 聯絡電話：04-26587191 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：大同大學 計畫主持人：謝禎岡 協同主持人：黃維信、謝尚琳 研究人員：洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文、徐倜雲 地址：臺北市中山區中山北路 3 段 40 號 聯絡電話：(02)2182-2928		研究期間 自 109 年 02 月 至 109 年 11 月
關鍵詞：鐵路軌道巡檢、軌道扣件、人工智慧、自動檢測、雲端服務			
摘要： 鐵軌扣件為軌道扣件系統最重要之組件，可將鐵軌緊扣在軌道上，對於列車能否平穩及安全的行駛影響至鉅。目前臺鐵局完全依賴人力目視檢視，難免發生疏漏的問題。本研究除了收集瞭解國外軌道檢測相關之研究成果外，也建立軌道扣件影像的收集設備，包含影像記錄設備及照明設備，再依收集之軌道扣件資料，透過影像標記處理，採用 YOLOv4 進行深度學習模型訓練，再從測試資料驗證扣件缺失召回率。在實驗中，影像擷取的部份，採用運動型攝影機 GoPro 進行拍攝，共錄製 70 公里軌道扣件影像，在前一期以 YOLO v3 驗證，扣件準確率 Precision rate 82.5%，扣件缺失召回率 Recall rate 74.5%，本期計畫採用 YOLO v4，訓練方式改用扣件缺失資料，扣件缺失召回率 Recall rate 提升至 87%，類別平均準確率(mAP)提升為 94.8%，辨識系統速度超過 55 張/秒。SSD 演算法的辨識模型驗證效果也不錯，經過調校後，也跟 YOLO v4 不相上下。為方便軌道巡檢人員尋找扣件，另開發雲端儲存、辨識、與手機 APP 查詢，GPS/陀螺儀定位等功能，可在 Google Map 上顯示百公尺樁，容易定位缺失扣件，進行維修。 成果效益與應用情形： 本研究成果可提供交通部或臺鐵局軌道維護單位，在日常軌道巡檢上，有效管理軌道安全，作為後續維護與補強軌道之參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110 年 2 月	215	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A Rail Track Fastener Inspection System(2/2)- Progressive and Verification of Defective Fastener Identification			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-257-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000168	IOT SERIAL NUMBER 110-056-7C78	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-109-H1CB001g
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-HungTsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-WenLin PROJECT STAFF: Lin Ya-wen PHONE: (04) 26587191 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2020 TO November 2020
RESEARCH AGENCY: Tatung University, Department of Computer Science and Engineering PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen-Chiung Hsieh, Wei-Shin Huang, and Shang-Lin Hsieh PROJECT STAFF: Wei-Hung Hung, Yu-Hao Du, and Han-Wen Jia, Ti-Yun Hsu ADDRESS: #40 , Sec.3, Zhongshan N. Rd., Taipei, 104, Taiwan, R.O.C PHONE: (02)2182-2928			
KEY WORDS: Rail Track Inspection, Track Fastener, Artificial Intelligence, Automatic Inspection, Cloud Service			
ABSTRACT: The rail fastener is the most important component of the rail fastener system. It can fasten the rail tightly on the track, and has great influence on the train's stability and safety. At present, it is hard to avoid the problem of omission due to the reliance on human visual inspection. In this study, we not only collect the related research results of track inspection abroad, but also set up the image collecting equipment of track fastener, including image recording equipment and lighting equipment. YOLOv4 was adopted for deep learning model training, and the recall rate of defective fasteners was verified from the test data. In the experiments, the image was captured by GoPro camera, and there are 70 km images of track fastener were recorded. The images were verified by Yolo V3 in the previous phase, the Precision rate and the recall rate were 82.5% and 74.5%, respectively. In this second phase, the recall rate was increased to 87% and the mean average accuracy rate (mAP) was increased to 94.8%. Furthermore, the identification system runs over 55 frames per second (Table 4-15 Notebook C). The SSD recognition model also worked well, and was tuned to match the YOLOv4. In order to make it easier for track inspectors to find the defective fastenings, cloud storage, identification, mobile phone APP, query, GPS/gyro positioning and other functions have been developed. GPS position of the defective fastener is used to find the nearest hundred meter of track which in turn is used to calculate the offset to search for the defective fastener. Through this way, human efforts could be greatly reduced. BENEFITS AND APPLICATIONS: The Ministry of Transportation and Communications or the Taiwan Rail Company can refer to the results for policy-making.			
DATE OF PUBLICATION February, 2021	NUMBER OF PAGES 215	PRICE 200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-

扣件缺失辨識系統精進驗證

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XI
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫背景分析.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-3
1.3 工作項目.....	1-3
1.4 研究流程.....	1-5
1.5 研究範圍.....	1-6
第二章 國內外軌道檢測系統與文獻回顧.....	2-1
2.1 瑞士 SCEM.....	2-1
2.2 美國 ENSCO	2-2
2.3 加拿大 LRAIL.....	2-4
2.4 加拿大 Pleora Video Frame Grabber	2-6
2.5 德國 bvSys.....	2-8
2.6 臺北捷運公司軌道檢查與監視攝影系統	2-9
2.7 其他相關應用案例.....	2-11
第三章 軌道扣件缺失辨識系統精進.....	3-1
3.1 研究方法.....	3-1

3.1.1 系統設計與架構.....	3-1
3.1.2 高速影像攝影機之比較.....	3-5
3.1.3 設備架設.....	3-9
3.1.4 缺失定位.....	3-10
3.1.5 影像辨識環境.....	3-16
3.1.6 影像辨識演算法.....	3-21
3.2 研究步驟.....	3-27
3.3 可能遭遇之困難及解決方案	3-31
第四章 軌道扣件檢測系統驗證	4-1
4.1 攝影相關設備精進.....	4-1
4.1.1 GoPro 扣件攝影	4-2
4.1.2 側向攝影規劃.....	4-3
4.2 缺失辨識準則與資料庫建立	4-7
4.2.1 缺失扣件辨識準則與資料庫建置	4-7
4.2.2 軌面缺失說明.....	4-10
4.3 檢測系統辨識準確度精進	4-11
4.3.1 CSPResNet 與 YOLOv4.....	4-11
4.3.2 SSD	4-16
4.4 扣件檢測系統實地驗證	4-18
4.4.1 AI 辨識與 Ground Truth 之比對結果.....	4-18
4.4.2 AI 辨識與人工檢測比較.....	4-24
4.4.3 AI 辨識實地驗證結果.....	4-26
4.5 缺失扣件定位.....	4-27
4.6 即時辨識系統.....	4-31
4.7 成本效益分析.....	4-36

4.8 教育訓練.....	4-37
第五章 結論與建議	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
5.3 預期效益與應用情形.....	5-5
參考文獻.....	參-1
附錄一 軌道辨識系統網站使用手冊	附錄 1-1
附錄二 軌道扣件辨識系統手機 APP 介面手冊.....	附錄 2-1
附錄三 即時軌道扣件辨識系統介面手冊	附錄 3-1
附錄四 期中報告審查意見處理情形表	附錄 4-1
附錄五 期末報告審查意見處理情形表	附錄 5-1
附錄六 歷次工作會議紀錄	附錄 6-1
附錄七 期末報告簡報資料	附錄 7-1

圖目錄

圖 1.1	(a)鐵路路線構造，(b)扣件位置與功能	1-1
圖 1.2	研究流程圖	1-5
圖 2.1	SCEM 自動診斷軌道系統架構	2-2
圖 2.2	ENSCO 軌道影像檢測系統之檢測車	2-3
圖 2.3	ENSCO 軌道影像檢測系統軌道影像擷取設備	2-3
圖 2.4	ENSCO 軌道影像檢測系統軌面影像	2-3
圖 2.5	上海地鐵第一輛軌檢車外觀及軌檢車車內佈置	2-4
圖 2.6	LRAIL 架設方式（一）	2-5
圖 2.7	LRAIL 架設方式（二）	2-6
圖 2.8	LRAIL 檢測顯示結果.....	2-6
圖 2.9	Video Frame Grabber	2-7
圖 2.10	bV Sys 軌道檢測系統檢測車.....	2-9
圖 2.11	bV Sys 軌道檢測系統軌道檢測操作畫面.....	2-9
圖 2.12	北捷軌道扣件檢測車	2-10
圖 2.13	北捷軌道扣件檢測系統操作畫面	2-11
圖 3.1	系統運作架構，前端可選擇辨識或儲存(在雲端辨識)	3-2
圖 3.2	前端辨識與儲存系統流程	3-4
圖 3.3	後端處理伺服器系統流程	3-5
圖 3.4	GoPro Hero 7 Black.....	3-7
圖 3.5	GoPro Hero 8 Black.....	3-7
圖 3.6	ELP 具夜視功能之 IR 高速攝影機	3-7
圖 3.7	GoPro 用攝影夾具	3-9
圖 3.8	GoPro 固定情形	3-9
圖 3.9	工業攝影機固定情形	3-9

圖 3.10	GPX 檔案內容格式	3-11
圖 3.11	GoPro 軌道扣件解析後定位	3-11
圖 3.12	臺鐵路百公尺標	3-12
圖 3.13	虛擬偵測圖	3-12
圖 3.14	Google Maps 顯示缺失資訊與照片	3-13
圖 3.15	大甲分駐所旁軌道側線拍攝與軌道扣件定位測試	3-13
圖 3.16	慣性導航 Inertial Labs AHRS 航姿參考系統	3-15
圖 3.17	隧道內定位演算法	3-16
圖 3.18	神基公司 S410 強固筆電	3-18
圖 3.19	宸曜科技公司的「Nuvo-6108GC」工業電腦	3-18
圖 3.20	AI 伺服器主機版與 CPU	3-20
圖 3.21	YOLOv3 架構圖	3-22
圖 3.22	YOLO v4 與其他 AI 模型效能比較	3-23
圖 3.23	單階段 YOLO v4 深度學習模型	3-23
圖 3.24	SSD 深度學習網路模型	3-25
圖 3.25	SSD 特徵抽取採用 VGG-16 模型	3-25
圖 3.26	SSD 具備不同解析度的物體偵測	3-26
圖 3.27	SSD 與 YOLO 之比較	3-27
圖 4.1	第 1 代平車	4-1
圖 4.2	第 2 代平車	4-2
圖 4.3	軌道扣件攝影-GoPro 7 (有點模糊)	4-3
圖 4.4	軌道扣件攝影-GoPro 8 (較為清晰)	4-3
圖 4.5	魚尾鉸-正常狀況	4-4
圖 4.6	魚尾鉸上方鋼軌接縫中間彈性疲勞，加上低溫造成鋼軌磨損	4-4

圖 4.7 魚尾鈹-螺栓脫落	4-5
圖 4.8 側向攝影評估需要使用 4 支攝影機及其架設方式	4-5
圖 4.9 美國 ENSCO 側向照明與攝影架設情形	4-6
圖 4.10 側向照明與攝影架設情形	4-6
圖 4.11 扣件較輕微之不明顯損壞 (X)，稍微突出。	4-8
圖 4.12 扣件較嚴重明顯之損壞 (XX)，完全脫落。	4-9
圖 4.13 版式正常 e 扣件.....	4-9
圖 4.14 混淆矩陣說明一個辨識系統的識別能力	4-13
圖 4.15 YOLO v4 訓練曲線圖	4-14
圖 4.16 YOLO v4 辨識結果案例	4-15
圖 4.17 SSD Confusion Matrix	4-17
圖 4.18 SSD 辨識結果案例	4-18
圖 4.19 人工巡檢與系統檢測地圖	4-21
圖 4.20 檢測到 GoPro7 所錄影片的額外缺失.....	4-23
圖 4.21 檢測到 GoPro8 所錄影片的額外缺失.....	4-24
圖 4.22 檢測到的額外缺失	4-28
圖 4.23 新士達 IMU.....	4-29
圖 4.24 一般腳踏車碼表	4-29
圖 4.25 IMU 測試結果，國道 3 號新店隧道段，藍色線是由中和到 宜蘭（去程），紫色線是由宜蘭到中和（回程）。	4-29
圖 4.26 IMU 測試結果，國道 5 號雪山隧道段，藍色線是由中和到 宜蘭（去程），紫色線是由宜蘭返中和（回程）。	4-30
圖 4.27 GPS+IMU 模組導航標準作業程序.....	4-31
圖 4.28 IMU 安裝及實測情形.....	4-31
圖 4.29 執行緒個數實驗測試	4-32

圖 4.30 即時辨識程式流程	4-34
圖 4.31 3 個執行緒處理流程	4-34
圖 4.32 即時辨識操作人機介面	4-36
圖 4.33 辨識結果可隨時觀看或匯出為 Excel 檔案	4-36
圖 4.34 教育訓練實際操作	4-38

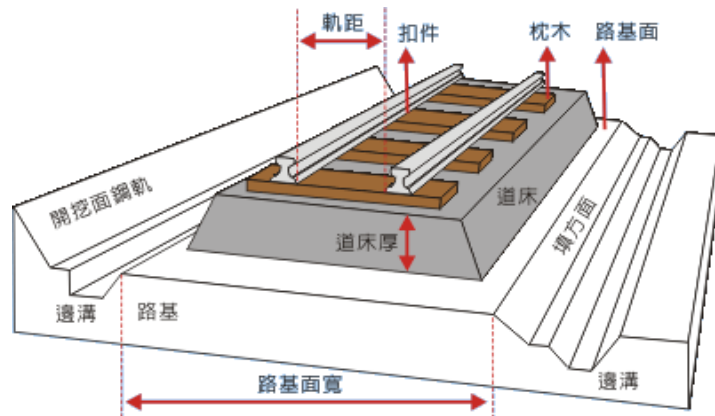
表目錄

表 2-1 各國實用軌道檢測系統綜合比較	2-13
表 3-1 GoPro 8 攝影機、工業用攝影機模組之比較	3-8
表 3-2 GoPro 寬管型固定座規格	3-10
表 4-1 軌道扣件缺失分類	4-8
表 4-2 軌面缺失分類	4-11
表 4-3 混淆矩陣	4-12
表 4-4 神經網路模型評估指標	4-13
表 4-5 YOLO v4 Confusion Matrix 與辨識結果	4-16
表 4-6 SSD 與 YOLO v4 評比	4-17
表 4-7 人工巡檢與系統辨識比較	4-19
表 4-8 AI 系統辨識出未列於人工檢測表內的缺失扣件(GoPro7)	4-22
表 4-9 AI 系統辨識出未列於人工檢測表內的缺失扣件(GoPro8)	4-23
表 4-10 實地驗證結果(GoPro7)	4-25
表 4-11 實地驗證結果(GoPro8)	4-26
表 4-12 多路段辨識結果	4-27
表 4-13 即時辨識效能時間分析	4-33
表 4-14 調整影像解析度對於召回率的影響	4-35
表 4-15 系統連續運作的溫度與效能變化	4-35
表 4-16 查道人事成本	4-37
表 4-17 所需設備成本	4-37

第一章 緒論

1.1 計畫背景分析

臺灣鐵路以西部幹線（包括縱貫線、臺中線、成追線、屏東線）、東部幹線（宜蘭線、北迴線、臺東線）、南迴線構成的環島鐵路路網，為臺鐵主要的營運路線，其他還包括客運支線（如平溪線、集集線、內灣線……等等）、貨運支線（臺中港線、高雄港線、花蓮港線），營運總里程約 1,070 公里，軌道長度約 2,500 公里^[1,2]。依據交通部臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵）所稱，鐵路路線為列車或車輛運轉所必需的通路，包括軌道（Track）及承載軌道的路基（Roadbed）與橋涵等構造物。一般的軌道係由道碴、軌枕、鋼軌及扣件所組成，供列車及車輛通行的構造物，路線斷面^[3]如圖 1.1 所示。



(a)



(b)

圖 1.1 (a)鐵路路線構造^[3]，(b)扣件位置與功能

鐵軌扣件為軌道扣件系統最重要之組件，可將鐵軌緊扣在軌枕上。當鐵軌承受垂直、縱向、側向等三向力時，須有足夠之扣壓力，避免鐵軌三向（垂直、縱向、側向）變位過大。軌道扣件系統對下部結構具有緩衝作用、讓承受重量分散、可抵抗鋼軌側翻擾動、電氣絕緣及吸音減震等功能，讓鐵軌能穩定固定於軌道上，對於列車能否平穩及安全的行駛影響至鉅^[4]。所以當扣件無法正常發揮作用時，即有可能造成火車出軌。在 2004 年至 2006 年期間一連串的鐵路遭受破壞，其中曾發現在內獅車站往臺東方向的鐵路橋上方鐵軌的潘多爾(Pandrol)扣件遭到破壞，所幸當時未有列車通過而受影響^[5]。

為確保扣件的正常運作，非常仰賴人工巡檢，依據「1067 公厘軌距鐵路長焊鋼軌鋪設及養護規範」^[6]所訂內容「軌道扣件之巡查若有其他更有效率之巡檢方式，得降低人工巡檢頻率，但人工巡檢頻率不得低於二個月一次。」。傳統鐵路軌道扣件巡檢方式係採用人工，以目視方式進行巡檢，而人工目視巡檢受限於巡檢車速及視察角度等問題，至今並無法有效快速進行，因此希望能利用人工智慧（Artificial Intelligence, AI）方式來協助完成巡檢任務，可有效提升巡檢效率，降低巡檢人員視察局限等問題。

本研究前期「軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究」^[28]中，已藉由蒐集之軌道扣件資料，進行影像標記處理，並使用 YOLO v3 進行深度學習模型訓練，驗證扣件缺失檢出率，已建立一套扣件影像巡檢自動辨識系統，可用於檢測鐵路軌道扣件是否脫落。在實驗中，影像擷取的部份，採用運動型攝影機 GoPro 進行拍攝，共錄製 70 公里軌道扣件影像，扣件辨識率 82.5%，扣件缺失檢出率 74.5%，可達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的。為方便軌道巡檢人員尋找扣件，另開發雲端儲存、辨識、與查詢等功能，可在 Google Maps 上顯示百公尺樁，用於定位缺失扣件，方便維護人員進行維修。

1.2 研究目的

本研究配合交通部臺灣鐵路管理局鐵道巡檢工作自動化之需求，利用人工視覺辨識方式進行影像擷取及自動分析，檢測鐵路軌道扣件是否脫落，建立一套自動化檢測系統。

影像擷取的部份，以運動型攝影機 GoPro 進行軌道扣件影像拍攝，由研究人員人工標註扣件缺失部分後，利用 AI 深度學習方法訓練，爾後作為鐵路軌道扣件自動判釋分析之用途，用來替代目前人工巡檢工作，達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的。

1.3 工作項目

本計畫為 2 年期計畫之第二年，前期（108 年）主要工作項目如下：

- (一)蒐集國內外鐵路軌道扣件巡檢文獻及案例，敘述其檢測設備、方法及成效等。
- (二)探討現行照相機或攝影機，安裝於臺鐵工程維修車拖行之平車上(尤佳)或臺鐵工程維修車上，須滿足夜間臺鐵工程維修車行進速度至少於 30Km/hr 時仍可獲取足供 AI 判釋之清晰影像，並研提可行性分析。
- (三)利用現行深度學習方式，提供軌道扣件判釋的快速解決方案。
- (四)提供軌道定位解決方案，搭配上上述 AI 方式，有效定位出有問題的扣件位置。
- (五)在臺鐵局臺中工務段工程維修車拖行之平車上或臺鐵工程維修車上裝設項目(二)之照相機或攝影機、照明及定位等相關設備。
(如能裝設相關電腦設備同步分析更佳)
- (六)進行物件辨識資料庫之建立與訓練。

- (七)在臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區（來回里程總計至少 70 公里）利用項目(五)之設備獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之扣件，提出扣件檢出率及扣件缺失辨識準確率並驗證。
- (八)建立扣件影像缺失辨識及定位系統，分析判斷及定位有缺失之扣件，並產製扣件缺失報告，研提系統使用手冊。
- (九)利用所擷取軌道影像，提出未來軌面缺失可辨識種類及可行性。
- (十)研提未來採購相關軟、硬體設備所需成本，依據合約規定期程進行期中及期末報告審查及依本所指示召開工作會議。

本（109）年度主要工作項目如下：

- (一)蒐集國內外軌道檢監測案例及商業化產品，並分析其設備、方法及國內適用性。
- (二)軌道扣件攝影及照明設備等影像擷取系統精進，除時速 30 公里以上拍攝外，需達到系統穩定、長時間拍攝及影像即時傳輸之目的，另探討側向拍攝之需求及拍攝方法研析。
- (三)軌道扣件檢測系統辨識準確度精進。
- (四)軌道扣件定位方式精進，研析隧道段定位方法，有效定位出有問題的扣件位置。
- (五)建立扣件及軌面缺失之辨識準則，物件辨識資料庫之建立與訓練。
- (六)選定一鐵路軌道區（含隧道段、版式軌道段）進行扣件檢測系統之實地應用及驗證（里程至少 70 公里），提出正常扣件檢出率及缺失扣件檢出率並驗證。
- (七)利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，辨識軌道扣件缺失及軌面缺失（鋼軌裂縫及踏面不整）。

- (八)建立即時扣件及軌面缺失辨識系統並於現場實務應用，建立手機查詢缺失扣件影像及定位搜尋功能。
- (九)扣件缺失辨識系統精進，撰寫使用手冊並辦理教育訓練暨座談會 1 場次。

1.4 研究流程

本研究計畫工作流程，如圖 1.2 所示。

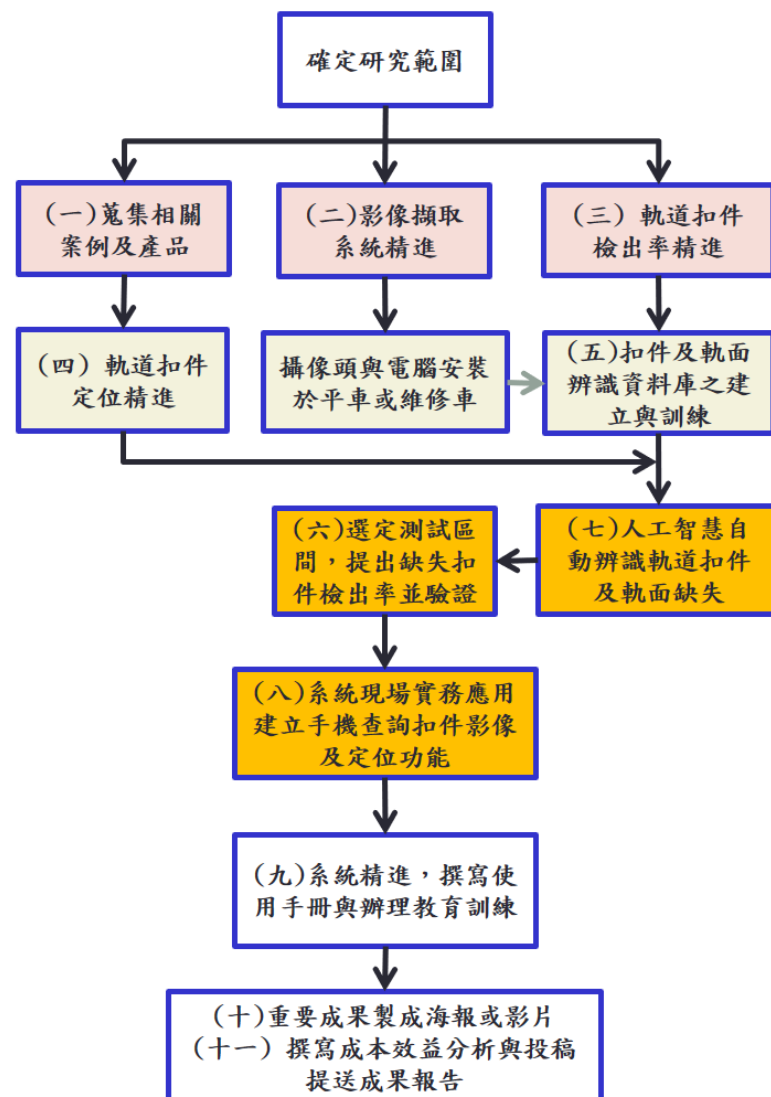


圖 1.2 研究流程圖

1.5 研究範圍

由於臺鐵局軌道所使用的扣件有許多種不同的型式及廠牌，本研究計畫與臺鐵局人員洽詢後，以重要性較高之扣件型式為研究範圍，包括 e-Clip、道釘、魚尾鉋、滑床鉋及護軌墊鉋等，主要缺失為 e-Clip 及道釘。至於軌面缺失，亦與臺鐵局人員討論後，缺失有兩項：鋼軌裂縫及踏面不整。

建立扣件及軌面缺失之辨識準則，進行影像擷取及人工標註訓練，再以人工智慧辨識軌道扣件缺失及軌面缺失。測試路段為臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區（含隧道段、版式軌道段）進行扣件檢測系統之實地應用及驗證（里程至少 70 公里），提出缺失扣件/軌面檢出率並驗證。

第二章 國內外軌道檢測系統與文獻回顧

2.1 瑞士 SCEM

瑞士做為軌道運輸大國，火車準點率全球最高。為了確保軌道運輸的安全，瑞士也發展了自動診斷軌道系統。瑞士電子和微技術中心（Swiss Center for Electronics and Microtechnology, SCEM）為了自動診斷軌道的問題，在 2007 年就開始進行自動化系統^[7]開發，因為傳統影像辨識方法產生太多誤判（False Positives/Negatives），導致還需要人力再加以檢查一遍，所以採用深度學習改進這個缺點。過程中瑞士聯邦鐵路公司（Swiss Federal Railway, SBB）使用配備多個高解析度的攝影機及其他感測器的「診斷列車」（Diagnosis Trains），以時速 160 公里速度行駛取得分析所需的影像資料。透過深度學習技術，所希望達到的目的包括：

- (1) 改善鐵路軌道故障的檢測和分類技術
- (2) 盡量減少現場目視檢查的次數
- (3) 減少專家處理誤報的問題

在計畫執行過程中，SBB 規劃每個月檢查 3,800 公里的軌道，以記錄不同天氣條件（如下雨、下雪、結冰）及非軌道物件（如樹葉、泥土等）的影像資料。透過訓練模型以檢測圖像中的感興趣區域（如鐵軌、扣件等），利用「生成對抗網路」（Generative Adversarial Network, GAN）來辨識鐵軌中常見的部份。並將約 20 種不同的故障類別進行濃縮分類，區分為五大類（如焊接、接頭、表面缺陷、踏面擦傷、車輪滑移）。另外配合深度學習所需，針對收集到的影像進行標籤化處理。希望透過反覆不斷的學習與訓練，讓分析模型可以更為精準^[7]，圖 2.1 為其自動診斷系統架構。

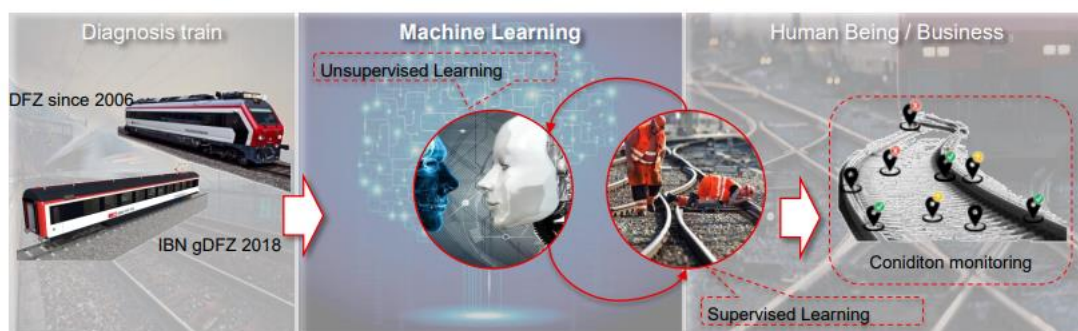


圖 2.1 SCEM^[7]自動診斷軌道系統架構

2.2 美國 ENSCO

ENSCO (Energy Service Company)^[8]是國防、安全、運輸和航空航天工業的工程、科學和先進技術設備的提供商。該公司為華盛頓地鐵製造、生產、量測軌道零組件的幾何尺寸的維修檢測車（如圖 2.2 所示）。鐵路成像系統在 ENSCO 是相當受到重視的發展技術，擁有高解析度相機系統和先進影像處理演算法的專業知識，使系統具有極其可靠的圖像採集和處理能力。該檢測設備已成功地應用於一系列軌道扣件的檢測^[8]，包括魚尾鈑、枕木、扣件、軌面和電車線，以及軌道通行權（Right of Way, ROW），所有的 ENSCO 鐵路影像擷取判斷分析系統可以晝夜運行，以減少運營中斷。

JBIS (Joint Bar Inspection System) 採用專利的視覺檢測技術和方法，對軌道接合處（魚尾鈑）進行自動裂紋檢測，測量鋼軌間隙，並提供軌道接合處整合報告。該系統生成即時異常報告，包括連續線掃描圖像的接合處（如圖 2.3 所示），並自動建立所有軌道接合處的鋼軌裂縫於永久資料庫中。JBIS 是與聯邦鐵路管理局（Federal Railroad Administration, FRA）研發辦公室合作開發的，可降低傳統鋼筋聯合評估方法相關的人工成本，提高了檢驗效率。

ENSCO RSIS (Rail Surface Imaging System) 採用專利線掃描成像方法，從移動的車輛上收集和記錄連續的高解析度軌道表面圖像。

該系統允許高解析度的檢查條件下的鐵路表面如圖 2.4 所示，包括滾動接觸疲勞（Rolling Contact Fatigue, RCF）、剝落、蹲表面裂紋、發動機燒傷和鋼軌裂縫。RSIS 協助對鐵路路面狀況進行全面評估，以幫助安全和維護活動。

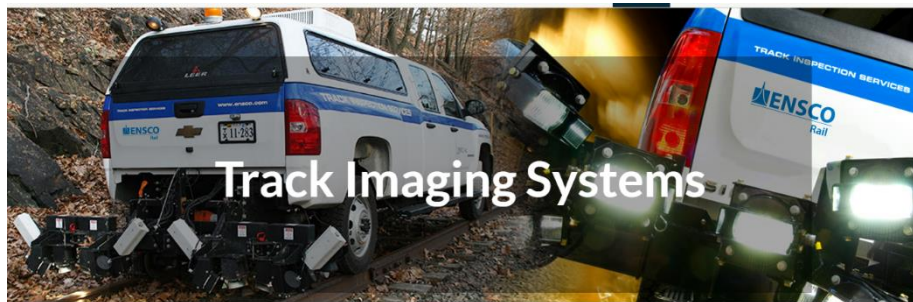


圖 2.2 ENSCO 軌道影像檢測系統之檢測車



圖 2.3 ENSCO 軌道影像檢測系統軌道影像擷取設備

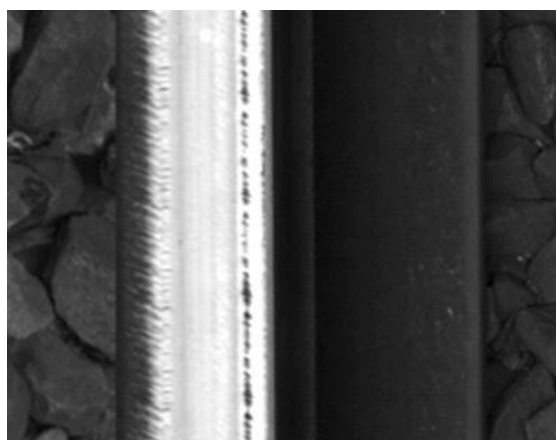


圖 2.4 ENSCO 軌道影像檢測系統軌面影像

ENSCO 在鐵路技術領域上，提供軌道線路檢測/監測，是美國聯邦鐵路管理局的唯一供應商，為美國聯邦鐵路管理局提供了全部的線路檢測車，而且 ENSCO 被授權為國家線路檢查規劃的唯一執行機構，每年為美國政府檢查線路超過 5 萬公里，提供權威資料。Amtrak（美鐵長途客運服務公司）也全部使用了 ENSCO 的軌道檢測系統，每年檢查全美客運線路超過 8 萬公里；新型美國高速列車 Acela 也使用 ENSCO 的軌道檢測系統。

此外，ENSCO 與中國合作的悠久歷史，從 80 年代開始與鐵道部合作，進入 21 世紀先後與中國地鐵及鐵道部合作。2008 年中國最先進的 0 號高速綜合檢測列車使用了 ENSCO 軌道檢測系統（如圖 2.5 所示）。



圖 2.5 上海地鐵第一輛軌檢車外觀及軌檢車車內佈置

2.3 加拿大 LRAIL

加拿大 Pavemetrics 公司的 Laser Rail Inspection System (LRAIL)^[9]推出新式的全方位軌道檢測系統，可架設在改裝的車輛上（如圖 2.6 所示）或是火車頭前（如圖 2.7 所示），其檢測結果如圖 2.8 所示。

LRAIL 主要之特點如下：

1. 檢測速度可達 180 km / h
2. 同步 3D 幾何測量和高解析度影像
3. 白天和夜間操作，免受陰影影響。

4. 全自動鐵路檢查：

- (1) 木枕木評分（位置、歪斜角度、裂縫、斷裂、腐爛、缺少道釘）
 - (2) 混凝土枕木評分（位置、歪斜角度、裂縫長度、裂縫深度、裂縫寬度）
 - (3) 扣件檢測（位置、型式、移位、缺少、遮蔽）
 - (4) 岔心檢測（位置、TPOC、磨損）
 - (5) 尖軌檢測（位置、趾端偵測、趾端損壞、踵端偵測）
 - (6) 鋼軌踏面缺失（剝離、裂縫）
 - (7) 鋼軌接頭檢測及接頭軌縫量測
 - (8) 軌道軌距、水平、方向、高低檢測
 - (9) 軌道 3D 剖面及磨損檢測
5. 使用里程點和慣性校正的 GPS 自動對數據進行位置參考
6. 傳感器每個僅重 10 公斤，可安裝在軌道車輛或專用檢查車上。
7. 堅固的組件安裝在環境密封的外殼中
8. 低功耗
9. 數據壓縮算法，以最小化儲存。



圖 2.6 LRAIL 架設方式（一）^[9]



圖 2.7 LRAIL 架設方式 (二) ^[9]

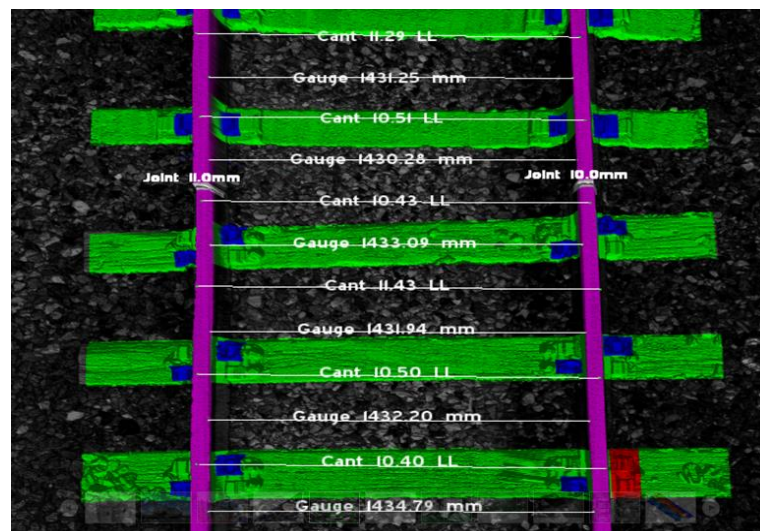


圖 2.8 LRAIL 檢測顯示結果 ^[9]

2.4 加拿大 Pleora Video Frame Grabber

在圖 2.9 中一系列的 Camera Link Full Cameras ^[10] 作為軌旁自動檢測系統的一部分，在軌道和高架龍門架上捕捉移動列車上關鍵部件的圖像。該外部影像採集器的集成可編程式控制器（PLC），可同步多個位置感測器、攝影機和照明源，並觸發影像採集過程。

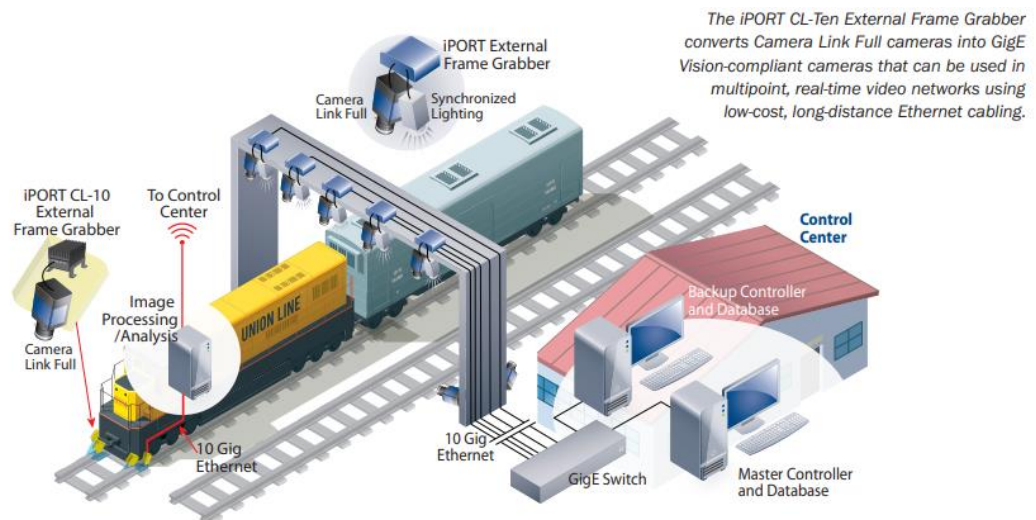


圖 2.9 Video Frame Grabber ^[10]

來自 Camera Link 的影像通過 iPORT CL-10 Full 可將全部攝像機從源頭轉換為符合 GigE Vision 標準的視訊格式，並在軌道邊維護結構中傳輸到伺服器進行分析。隨著乙太網覆蓋範圍的擴大，設備可以遠離軌道，位於維護更方便的地方。如果檢測到缺陷，系統會向操作管理中心發送一條消息，以及詳細描述長距離 10 千兆電纜故障的圖像。檢查人員會收到任何問題的警報，並可以停止列車，如果是非關鍵問題，則可以安排維修。

在移動式鐵路檢測系統中，Camera Link 在列車或服務車輛上安裝了全攝影鏡頭，用於檢測鐵路和軌道部件的損壞情況。使用 iPORT CL-10 Full Camera Link 的圖像資訊被轉換成符合 GigE Vision 標準的視訊格式，聚合到一個網路上，並傳輸到車載工作站進行分析。如果缺陷被識別，圖像資料與相應的 GPS 資訊疊加，並透過無線傳輸將資料傳送到操作管理中心。

Pleora 的 iPORT CL-10 Full 允許 Camera Link 的所有攝影機在一個靈活的網路配置範圍內使用，從傳統的臍帶連接到多點到多點的交換視頻網路，包括許多攝影機、許多工作站和分散式影像處理。

除了鐵路監控系統，Pleora 的 iPORT CL-10 全外部影像採集器是多車道自由通行收費系統和工廠自動化應用視覺系統的理想選擇。

2.5 德國 bvSys

bvSys^[11]的鐵路自動檢測系統如圖 2.10、圖 2.11 所示，將精確的缺陷檢測與高速處理結合在一起，且不影響軌道交通的正常運作，這些系統提供定期和經濟的軌道檢查，可以很早就發現損害，這使得採用預防措施的軌道大大延長其生命週期。系統功能有：

1. 檢查速度快
2. 檢測精度高
3. 即時處理
4. 即使是最小的斷層結構也能精確檢測
5. 單張圖像的軌道資料定位精確到公尺
6. 操作簡單直觀

所有系統都可以單獨安裝，也可以組合安裝在任何類型的運輸車輛。從所有連接的檢查系統收集到的資料，可被數位化地儲存在中央資料獲取單元（CDA-Unit）。在記錄過程中和行程結束時，檢查結果可以被系統簡要地分析和記錄。

與軌道相關的 Railcheck 系統，可用於自動檢測軌道表面可見的異常、缺少扣件、混凝土軌枕破裂或損壞以及測量道碴輪廓等。高性能線掃描攝影機和雷射測距儀垂直安裝在軌道上方，觀察軌道兩側、軌枕指定區域和道碴。



圖 2.10 bVSys 軌道檢測系統^[11]檢測車

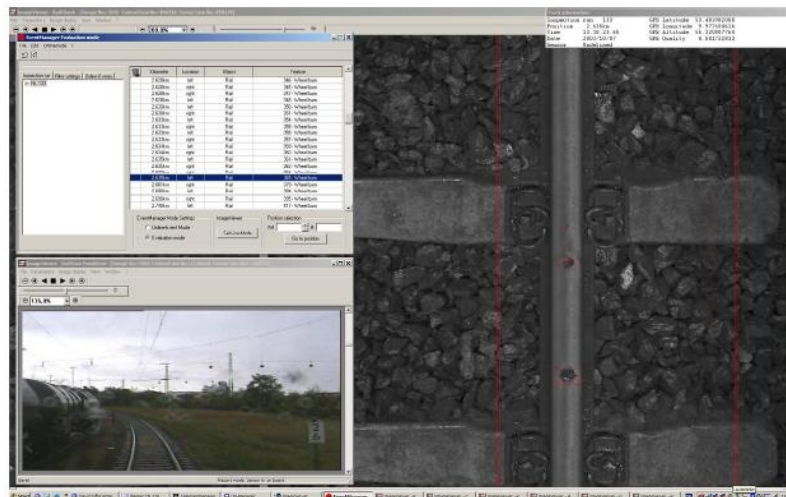


圖 2.11 bVSys 軌道檢測系統^[11]軌道檢測操作畫面

2.6 臺北捷運公司軌道檢查與監視攝影系統

臺北捷運公司也擁有一套軌道檢測系統^[12]，所採用的檢測車（如圖 2.12 所示），其中央控制系統可顯示相關紀錄資訊，如：路線別、鋼軌之型式、區間位置、里程位置及瑕疵狀況等資料收集並加以運用對照。另外車底左、右鋼軌上方設置之攝影機組設備，所擷取之相關影像數據資訊可經由擷取後，為兩個電腦主機系統所擷取運用（分為左、右各一組），並經由中央控制電腦主機進行相關之影像擷取、壓縮或轉換、各種擷取影像之瑕疵分類、瑕疵過濾條件設定、瑕疵報告紀錄產出及各項表單設定輸出等等功能，且能進行系統模擬測試及由

軟體控制介面，以提供高速攝影機進行鏡頭相關設定校準及各種掃描模式等設定，無須再行手動拆卸攝影機組之外罩進行光圈、焦距等相關調整校正動作。影像工作站系統採用工業級電腦，研華 IPC:PCE 5124，CPU 四核心，RAM：DDR2-800 2G（單支）每台 4 支，DVD-RW DUAL 20X 以上燒錄機。

軟體有分線上軌道檢測系統，及離線分析用軟體兩大部份，其搭配使用的設備及功用說明如下：

1. 線上軌道檢測系統

包括了工作站電腦：負責影像擷取、瑕疵檢出；主機電腦：負責各種擷取影像之瑕疵分類、瑕疵過濾條件設定、瑕疵報告紀錄產出及各項表單設定、表單輸出等功能，且設定資訊與車上其他系統具備一致性，包含鋼軌型式、路線別、區間位置、里程位置、上下行軌、瑕疵敘述及瑕疵位置等，於量測過程中該系統可針對左、右軌之所擷取影像同時進行連續且即時顯示於操作畫面（如圖 2.13 所示），供操作人員檢視。



圖 2.12 北捷軌道扣件檢測車^[12]

資料庫。印度的鐵路信號在形狀和放置規則方面與道路信號有很大不同，由於空間限制和城市地區的交通密度，信號不是放在同一側軌道，甚至多條軌道路線可以並行。因此，需要將檢測到的信號與火車運行的軌道關聯起來。他們的方法是在引導機車上安裝前置攝影鏡頭，選擇感興趣區域做軌道檢測，共實驗 150 公里，247 個信號的路線，總體準確率為 94.7%。

Karakose et al.^[15] 基於計算機視覺的監測方法，進行不良軌道偵測，這種方法越來越多應用於鐵路系統，鐵路狀況監測過程可以在電腦的輔助下獲得數據並進行分析。在這項研究中，把相機放在火車頂部，拍攝和火車相鄰的軌道圖像。在這些圖像上，應用邊緣偵測並提取特徵來確定軌道。由產生的鐵路之間距離判斷是否有故障。試驗結果表明，所提出的電腦檢驗方法是有效可靠的。Gibert et al.^[16] 提出利用多重偵測器同時並行運作，得到對軌道和扣件優良的偵測精準度。

劉鈺韋^[17]設計高速影像擷取系統，自動改變「線掃描攝影機」(Linescan Camera)的取樣頻率，以便固定檢測物件的影像解析度；枕木定位系統則可以將偵測到的枕木位置傳送給電腦終端機，以便工程人員查修。陳南鳴等人^[18]提出軌道運輸系統的監控技術，並規劃研究「軌道扣件影像即時辨識系統」的研究，該系統利用鋼軌與枕木對扣件的相對位置做為扣件區域定位的依據。鋼軌定位的場域可程式化邏輯閘陣列 FPGA (Field Programmable Gate Array)，由於需要對整張影像做鋼軌偵測，因此所需運算時間較長，主要由灰階值統計單元、鋼軌位置計算單元、同步動態隨機存取記憶體，因此演算法較複雜。

Molina Camargo et al.^[19]於 2011 提出以電腦視覺加攝影鏡頭於道岔處檢驗軌道缺失，並整理 1998-2009 年間最常見造成脫軌的原因，使用機器視覺進行檢查的道岔部件/缺陷。

隨著高速電氣化鐵路的大規模建設，如何建立各種豐富的扣件缺陷的自動檢測，對於運營安全和降低運營成本具有重要意義。Chen et al.^[13]提出了一種基於視覺的扣件缺陷檢測方法，該方法將深度卷積神經網路應用於扣件缺陷檢測。他們的系統串聯三個 dcnn 基於檢測階段的粗細方式，包括兩個探測器，以連續定位懸臂連接和他們的扣件和分類器，以診斷扣件的缺陷。通過對 Wuhan-Guangzhou 高速鐵路缺陷檢測的大量實驗和驗證，表明該系統在複雜環境下具有良好的自我調整性和強健性，能夠獲得較高的檢測率。

表 2-1 將目前各國具實用性軌道檢測系統表列，歐美先進國家起步早，但近幾年 AI 的深度學習網路崛起，故有很大機會可以在辨識軟體上做一良性競爭，至於辨識硬體，台灣更是具有價格競爭力。

表2-1 各國實用軌道檢測系統綜合比較

文獻	發展 起始	辨識項目	取像方式	取像速度	辨識引擎	準確率	辨識 速度
瑞士 ^[7]	2007	Track/20 種	HR Cam	160km/h	AI/GAN	NA	Real time
美國 ^[8]	1970	All	Line Scan	High speed	NA	NA	Real time
加 拿 大 ^[9]	2018	Track/all	Laser	180km/h	NA	NA	Real time
德國 ^[11]	1990	All	HR Cam	>100 km/h	NA	NA	Real time
中國 ^[20]	2018	Track catenary	Cam	NA	AI/YOLO v3	97%	0.15s
印度 ^[14]	2017	Track signal	Cam	30f/s	AI/SSD	94.7%	Real time
台灣 北 捷 ^[12]	2013	Mrt 版式 軌道扣件	Line Scan	NA	傳統	NA	NA
運 研 所 ^[28]	2019	Track/10 種	Cam	30km/h	AI/YOLO v3	80.8%	Real time

第三章 軌道扣件缺失辨識系統精進

3.1 研究方法

本研究擬採用具足夠輔助照明（或具有夜視功能）的高速影像攝影機，透過 HDMI、USB、LVDS 或是無線網路等介面，將攝影機拍攝的影像，傳送到前端系統，進行影像辨識或是儲存，配合 GPS 定位功能，(隧道段則輔以陀螺儀)，即可標示出有問題的扣件或軌面所在的軌道範圍。

影像辨識的深度學習模型，前一期計畫採用 YOLO v3^[21]，雖然 YOLO v3 非常快，小型的模型可以達到 155 fps，但是隨之而來的是 mAP 的降低，以及定位不準的問題。本期計畫採用更為有效的 SSD^[22] 模型，SSD 則有點像 Faster R-CNN^[23] 中的多類別 RPN 網路，是一個十分成功的檢測框架，它採用特徵金字塔的多層預測方法，在不同的卷積層上設置前景方框，在不同大小的特徵圖上考慮不同的尺度，相當於每個層分開預測，最後一起得到結果。從 R-CNN 到 Faster R-CNN，再到並駕齊驅的 YOLO 和 SSD^[24]，目標檢測的發展在 2015~2016 年達到了一個巔峰，更在今年 2020 年，YOLOv4^[25]、YOLOv5^[26]相繼的出現，若要論檢測率，還是以 YOLOv4 為最佳，但是 YOLOv5 還有一系列參數更大更優異的版本，但是，YOLOv5 未獲官方承認，但其對上一代改進的程度比起 V4 的幅度更大，在訓練及使用上比較方便。因此，本計畫同時平行測試 SSD 和 YOLOv4。

3.1.1 系統設計與架構

前端系統採用高速影像攝影機作為影像擷取裝置，攝影機透過 HDMI、USB、LVDS 或是無線網路等介面與前端電腦連線，進行影像辨識，或是影像處理把原始影像轉存為適合傳輸的格式後，將欲判

定的影像送至雲端影像辨識深度學習伺服器進行後續的處理分析，系統運作架構如圖 3.1 所示。

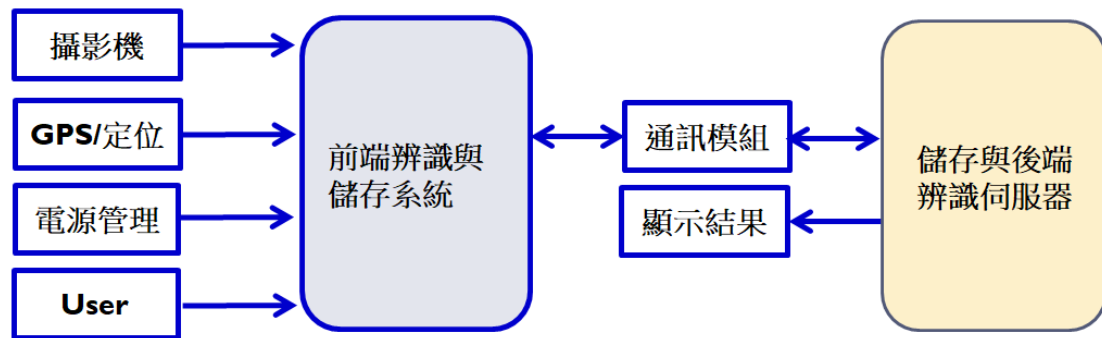


圖 3.1 系統運作架構，前端可選擇辨識或儲存(在雲端辨識)

影像擷取裝置設定在檢查期間能維持 1080P/60FPS 情況下運作，預計單次工作最長時間為 5 小時。前端系統除擷取影像外，還會記錄影像擷取時間與 GPS 位置資訊；前端辨識與儲存系統提供人機操作介面，可選擇自動辨識、手動紀錄輸入、錄影檢視，或透過網路將錄製影像回傳至後端影像辨識伺服器進行分析。在與後端影像辨識伺服器連線時，須具備足夠的 I/O（Input/Output）效能與儲存資料能力，同時必須能運行 Windows10 或 Ubuntu18.04，方能在適當的時間內完成紀錄的壓縮與傳輸。而後端影像辨識伺服器，須具有足夠的效能以在最短時間內辨識完影片，並將資料統整分類。

目前規劃的取像與辨識、儲存等需求如下：

1. 高速影像攝影機（需搭配適當的車外裝載方式）
 - (1) MPEG4 60fps@640X360 / MPEG4 120fps@720P / 60fps @1080P 錄影
 - (2) 連續運作時間為 5 小時
 - (3) 具 LVDS 或 HDMI 或 USB 連線功能
 - (4) 具 OpenCV-API 遠端控制接口
 - (5) 夜間拍攝功能

2. 前端辨識與儲存電腦（軍規或工規筆電/車載電腦）

臺灣有多家電腦公司，以專門製作美軍軍用電腦、伺服器、軍規路由器和加密硬碟等產品，其中以神基（Cetac）公司為最大宗。軍用規格的筆記型電腦，必須具備防摔、防塵、防水等基本的“三防”功能，而近代的軍用電腦，還必須阻擋 EMP 電磁脈沖攻擊，更甚至要能夠防炮彈碎片、甚至子彈的傷害，某些機型甚至有“防彈”的功能。

而要實現 AI 應用，最重要的莫過於須具備強大的即時運算效能，為此工業電腦也跟著大幅進化，不僅擁有高運算能力，同時兼具小體積與有效散熱。

3. 後端處理伺服器（接收前端辨識結果統整，或錄影影像並進行辨識分析與資料儲存）

(1) CPU：8 核心 5GHz 以上

(2) 記憶體：64G

(3) 運算加速卡：Nvidia GTX 2080Ti 一張

(4) 儲存空間：1T 固態硬碟兩顆，2TB 資料硬碟兩顆

(5) 螢幕：Full-HD 1080P

在前端辨識與儲存系統運作的部份，當系統開機後會先進行自我檢測，先驗證伺服器狀態確保後續服務可正常進行。待驗證完成後，可選擇「即時模式」或「紀錄模式」。若選擇「即時模式」則會進行即時影像辨識，並即時顯示辨識結果，先將辨識結果儲存於前端，後續再將資料傳送至後端伺服器。若選擇「紀錄模式」，則待完成錄影後再透過網路，將錄影資料傳送到後端伺服器，進行辨識與儲存辨識結果。目前規劃的前端辨識與儲存系統運作流程圖，整理如圖 3.2 所示。其中影像前處理是同步 GPS 與影像資料。

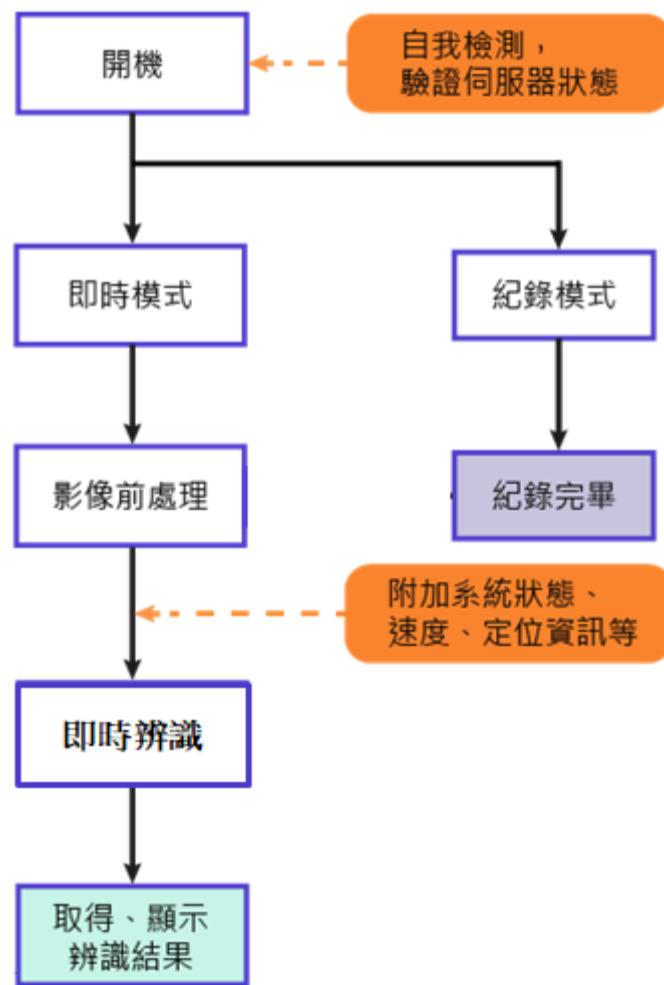


圖 3.2 前端辨識與儲存系統流程

在後端伺服器處理的部份，同樣開機時先進行自我檢測，以確定伺服器可正常運作，以接收前端回傳之影像資料。待完成自我檢測後即可進行待機模式，準備接收前端之請求。目前規劃的請求模式有三種：資料查詢、紀錄模式、即時模式。「資料查詢」的部份，係供使用者查詢歷次的分析結果，以做為研析判斷使用。若是「紀錄模式」時，影像採批次上傳，待影像上傳後透過「影像辨識」服務，萃取出符合需求之結果，儲存辨識結果。若是「即時模式」服務，則快速回應辨識結果。目前規劃的後端處理伺服器流程整理如圖 3.3 所示。

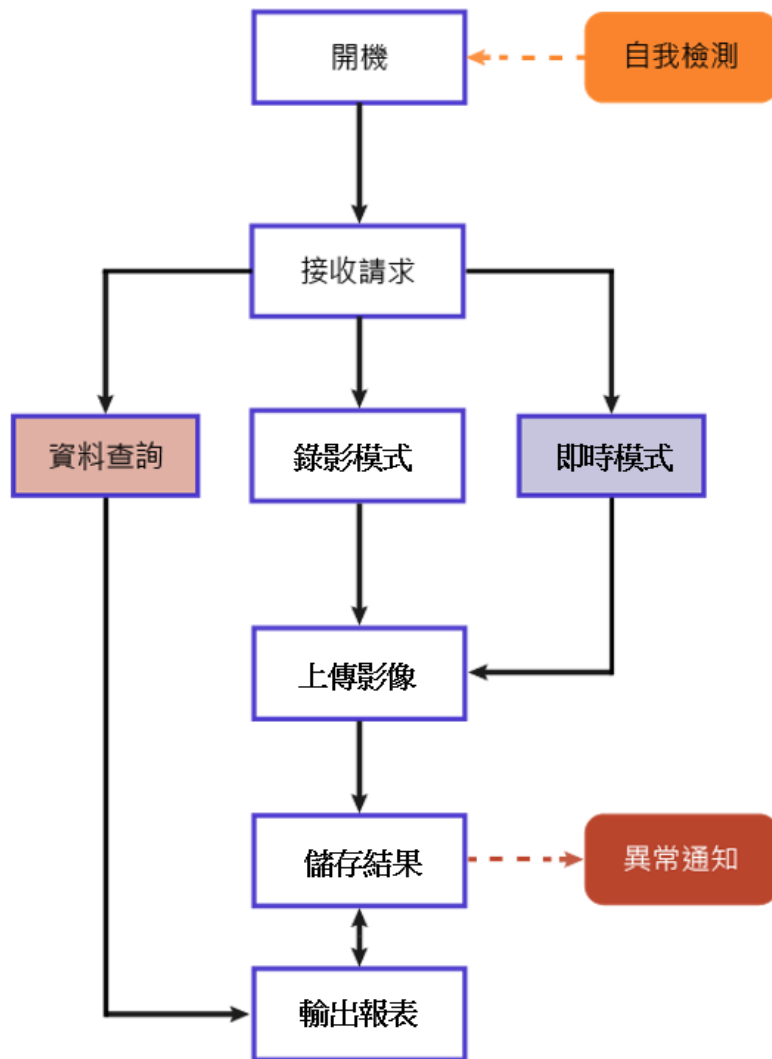


圖 3.3 後端處理伺服器系統流程

3.1.2 高速影像攝影機之比較

為了在列車高速行駛的狀況下依然能夠取得清晰的影像資料，故採用高速影像攝影機。相較於傳統攝影機，高速影像攝影機提供每秒 60 幀（每秒顯示張數，Frame per Second，FPS）以上的拍攝速度，以 120km/hr 的行駛速度作為預期的環境狀況，假如需要取得以每 0.5m 作為測量單位的精準度，則需要每秒拍攝 67 張相片的攝影機。但若以夜間臺鐵工程維修車行進速度約為 30km/hr 為使用條件，高速影像

攝影機絕對可以滿足目前之需求。另外，考量外部環境的狀況，選用的高速影像攝影機須具備防水、防震及可遠端連線控制為佳。

以往對於軌道巡查採用的攝影機都是以「線掃描相機」(Line Scan Camera)為主，如台北捷運公司所採用的高速數位式攝影機組廠牌：E2V、型號：AViiVA UM4（掃描解析度為 8,192 pixels、資料產生頻率為 160MHz、掃描頻率為 19KHz），並搭配資料儲存的 DVR（數位錄影機，Digital Video Recorder）使用。一般而言此類的「線掃描相機」價錢從 3、5 萬到 20 餘萬都有，端看硬體規格。

但隨著硬體的進步，目前也有一些替代方案，尤其現在運動型錄影機的功能大幅提昇，只要每秒拍攝的幀數能滿足取樣頻率，且影像直接儲存在記憶卡中，或是透過無線網路直接回傳，可大幅降低設備的費用。本研究上期評估將 GoPro 7 做為軌道扣件巡檢用的設備，但有其熱當機缺點，為選用備案，高速攝影設備說明介紹如下：

1. GoPro Hero8 Black

GoPro 是近年相當受歡迎的運動型錄影機，尤其主打拍攝極限運動及 4K 高畫質，輕巧方便且具備防水防塵功能，廣受極限運動員的喜愛，甚至有一些電視節目也開始使用 GoPro 拍攝。由於 GoPro 運動型攝影機是以極限運動的拍攝為主，因此特別強調手持防震技術，而且有 GPS 記錄，經評估是可以在本研究案中進行軌道扣件拍攝。先前採用的是 GoPro Hero7 Black（如圖 3.4 所示），本研究計畫先前評估改選用的是 GoPro Hero8 Black 機型（如圖 3.5 所示），據官網所釋放出之訊息，GoPro Hero8 Black 的散熱效果要比 GoPro Hero7 Black 更好。此外 GoPro 其周邊的配件相當完整，將來若要將其固定在工程維修車上可依需求選用適當的配件，詳細功能規格請見表 3-1 之比較說明。



圖 3.4 GoPro Hero 7 Black



圖 3.5 GoPro Hero 8 Black

2. Ailipu Technology Inc.

艾利普科技有限公司是一家擁有 13 年歷史的專業監控系統製造商，擁有自己的 ELP 品牌，在安全監控系統方面享有盛譽，以自己獨特的研發團隊為基礎，專注的銷售團隊為導向，已發展成為集開發、生產、銷售、服務於一體的專業視頻產品公司，且正在開發特殊 USB 相機用於工業視覺，新的 USB 攝影鏡頭模組，範圍從 30、100、200、300、500、800~1300 萬像素，具自動對焦功能，可應用於各種工業系統，本研究團隊規劃測試具夜視功能攝影機（如圖 3.6 所示）。



資料來源：<https://www.amazon.com/100fps-Infrared-Webcamera-Android-Windows/dp/B07PPN7TXQ>

圖 3.6 ELP 具夜視功能之 IR 高速攝影機

3. 綜合比較

市面上除了前述二款高速攝影機外，還有其他廠牌的產品，但功能大同小異，考量影像品質、資料傳輸等因素，因此以上述二款產品進行比較與測試，相關資料比較整理如表 3-1 所示。

表3-1 GoPro 8 攝影機、工業用攝影機模組之比較

型號	GoPro Hero8 Black	工業用攝影模組
光圈	-	2.8/3.6mm
錄影規格	4K60、2.7K120、1440p120、1080p240 及更多	1920X1080@30 fps 1280X720 @60 fps 1480P@120fps
影像解析度	1,200 萬像素	500 萬像素
防震	電子	N
WIFI 遙控	Y	N
夜間拍攝	Y	Y
防水	裸機水下 10 公尺	需裝防水殼
GPS	Y	N
加速度計	Y	N
藍芽	Y	N
Python API	Y	Y
即時串流	Y	Y
自動備份	Y	N
電池	1220mAh	150mAh
續航力	4K 可錄 1 小時	1080P 可錄超過 5 小時
參考價格	NT\$18,000	US\$80

3.1.3設備架設

GoPro 8 除具備優異的防震效果外、鏡頭視野廣、GPS 定位、支援即時串流及支援 Python API 等功能，更重要的是周邊可選用的配件種類多元。在評估如何將 GoPro 8 固定於工程維修車前的護欄時，經訪查市面上 GoPro 可用的延伸配件，目前選用 GoPro 寬管型固定座（圓管夾座+接管+更多組件）（AGTLM-001）攝影鎖臂夾具（如圖 3.7 所示），規格如表 3-2 所示。GoPro 架設位置可視實際拍攝結果，彈性調整架設位置，架設情形如圖 3.8 所示，實測後可確定架設結果相當牢固。工業用攝影機模組，必須自行尋找平板固定於桿架上，架設情形如圖 3.9 所示。



圖 3.7 GoPro 用攝影夾具



圖 3.8 GoPro 固定情形



圖 3.9 工業攝影機固定情形

表3-2 GoPro寬管型固定座規格

項目	規格
材質	橡膠墊件
夾具尺寸	35~63mm
活動夾具	360°旋轉及 16 個固定位置
GoPro 轉接座	垂直安裝扣，長型手轉螺絲。
重量	218g

3.1.4 缺失定位

如何應用 GPS 訊號來達到目前定位的需求，是本研究所欲解決的問題，本研究前一期計畫提出「虛擬偵測圖」結合 GPS，搭配 Google Maps，經實測的確可以提供維護鐵道工作人員有效定位缺失扣件的方式，本研究並持續評估是否有其他可行方案，相關測試結果說明如下。

3.1.4.1 GoPro GPS 資料解析

利用 GoPro 拍攝的相片或影片，其儲存格式內含 GPS 資訊，可直接解析使用。自 GoPro Hero5 Black 以來，已經能夠獲得 GPS 數據，可用 Quik Desktop，Dashware，RaceRender 和 GoPro Mobile 應用程式都可以顯示相機所在位置的 GPS 數據，嵌入在 MP4 檔案中，稱為 GPX（如圖 3.10 所示），這是目前最常用的格式，而且將持續使用。

所謂的 GPX 格式，是以 XML 格式存檔，所以 GPS 也隨著趨勢而進化。早期在 GPS 界，並沒有通用的格式，所以要在不同的 GPS 軟體間做資料流通，是相當困難的。必須下載一些國際通用的 GPS 後端軟體，利用這些軟體做 GPS 資料的轉換，才能順利在不同的軟體間開啟 GPS 資料檔。如今幾乎每一種 GPS 後端軟體都已經支援了

GPX 格式，只要是 GPX 格式，幾乎可以在任何 GPS 軟體開啟，解析後的資料也可直接在任何 GIS 軟體（如 Google Maps）中顯示（如圖 3.11 所示）。

本研究已可從影片中解析 GPS 位置，含影片紀錄時間(CST)等資訊。因為影片是 MP4 格式，並非每一張照片都存有 GPS 位置，所以每張照片的 GPS 位置，採用等速內插法進行資料回補，在一般巡查時是以等速錄影，較不會有太大誤差，但若忽前忽後，加速減速切換，誤差就比較大，譬如速度紀錄若僅在側線實驗，位移不夠，計算的結果即無法以線性內插進行短時間內頻繁地加減速變化，(10KM/S-->40KM/S)，所以內插出來的 GPS 位置，誤差就稍大。然而，若在正線巡檢，因維修車以定速行駛，且不會有劇烈的行駛速度變化，因此可以正確內插出所需之 GPS 位置。雖然現在最新的 GoPro8 並未公開新版 GPX 的編碼，因此影像編碼定位的部份，我們採用第三方授權軟體提供相關的資訊，可以定位出正確位置資訊。

```
<name>../in/87ce4d6fc5d67aa2a3cb/GH010592</name>
<trkseg>
  <trkpt lat="24.3420355" lon="120.6257558"
    <ele>71.257</ele>
    <time>2019-03-28T06:38:36.674Z</time>
    <cmt>GpsAccuracy: 139; GpsFix: 3</cmt>
  </trkpt>
  <trkpt lat="24.3420354" lon="120.6257556"
    <ele>71.254</ele>
    <time>2019-03-28T06:38:36.732Z</time>
    <cmt>GpsAccuracy: 139; GpsFix: 3</cmt>
  </trkpt>
  <trkpt lat="24.3420353" lon="120.6257553"
    <ele>71.27</ele>
    <time>2019-03-28T06:38:36.790Z</time>
    <cmt>GpsAccuracy: 139; GpsFix: 3</cmt>
  </trkpt>
```



圖 3.10 GPX 檔案內容格式

圖 3.11 GoPro 軌道扣件解析後定位

3.1.4.2 虛擬偵測圓

本研究規劃利用「虛擬偵測圓」(Virtual Detection Circle, VDC)來尋找已定位好的缺失扣件。目前臺鐵局內部已有百公尺的里程樁號^[27](如圖 3.12 所示)，針對每一個里程樁號設定半徑 20 公尺(將來可視需求調整半徑值)的「虛擬偵測圓」。當工程維修車行經這些「虛擬偵測圓」時(如圖 3.13 所示)，即可判斷工程維修車所在的位置。

維修人員首先利用缺失扣件的 GPS 位置(x_f, y_f)找到最近的 100 米樁(x_h, y_h)，確認看到如圖 3.12 的標示時，也就是當維修車輛通過這些 VDC 時，可以確定維修車輛的 GPS 位置，然後軌道工人可以移動($x_f - x_h, y_f - y_h$)距離接近扣件。如果 $x_f - x_h$ 數值是負號，則代表是往西，否則往東；如果 $y_f - y_h$ 是負號，則代表是往南，否則往北。



圖 3.12 臺鐵局百公尺標^[27]



圖 3.13 虛擬偵測圓

使用實測的 GoPro 影像，解析出的 GPS 資料，誤差大約在 5 公尺左右，已可接近實用程度，定位結果如圖 3.14 所示。若需再更精準到公分級，需搭配差分訊號，升級為差分 GPS。然而本計畫在 108 年 8 月 27 日與臺鐵人員至現場測試缺失扣件定位精度時，將本系統所偵測缺失扣件隨機抽取兩筆，依照 GPS 定位與顯示於 Google Maps 上。依照前述步驟，先找出最近百公尺樁，再往目標物移動，因為在錄影時已知目標物是在上行還是下行側，所以檢查時可以只找一條軌

道，搭配使用測距儀如圖 3.15 量測所走距離，結果可以很快找出目標物，定位精度符合臺鐵需求。

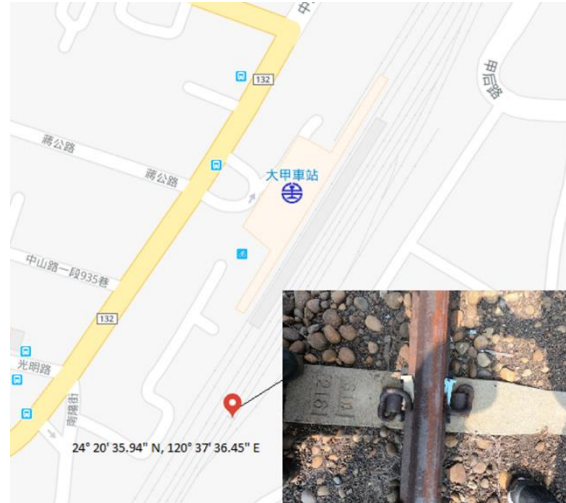


圖 3.14 Google Maps 顯示缺失資訊與照片



圖 3.15 大甲分駐所旁軌道側線拍攝與軌道扣件定位測試

3.1.4.3 隧道定位方式

導航衛星傳遞到地球的信號則像太陽的光輝一般，灑落在地球上，替我們指引行進的方向，隧道因為奇特的構造，以及其他方面的原因，

隔斷導航衛星與導航產品交流，為改善隧道內導航儀收不到衛星信號、無法進行定位的狀況，有下列三種方式可以選擇：

一種是放置 Waze 信標。Waze Mobile 公司的工程師，利用在無線電子學與微控制器方面的知識製作了一個 Waze 信標，該信標可以安裝在隧道裡面，直接通過藍牙功能，向車主的智慧型手機和平板電腦發送導航信號和隧道內路況通知。由於它是通過藍牙功能完成以上的操作，而且服務完全免費，所在當前任何帶藍牙功能的智慧型手機或平板設備都可以在隧道使用該導航服務。

第二種則是慣性導航系統（Inertial Navigation System, INS），是一個使用加速計和陀螺儀來測量移動物體的速度、位置、距離及姿態等資訊的裝置。最大特色在於它可以獨立運作，不需要外部參考資訊，常常被用在飛機，潛艇，飛彈和各種太空飛行器上。該導航依託於慣性導航系統，它的基本原理是以牛頓力學定律為基礎，通過測量載體在慣性參考系的加速度，將它對時間進行積分，且把它變換到導航坐標系中，就能夠得到在導航坐標系中的速度、偏航角和位置等信息。

這種導航有以下幾個優點：

1. 由於它是不依賴於任何外部信息，也不向外部輻射能量的自主式系統，故隱蔽性好，也不受外界電磁干擾的影響。
2. 可全天候、全時間地工作於空中、地球表面乃至水下
3. 能提供位置、速度、航向和姿態角數據，所產生的導航信息連續性好而且噪聲低。
4. 數據更新率高、短期精度和穩定性好

缺點則有：

1. 由於導航信息經過積分而產生，定位誤差隨時間而增大，長期精度差。

2. 每次使用之前需要較長的初始對準時間
3. 設備的價格較昂貴
4. 不能給出時間訊息

慣性導航技術可實際應用於高層建築物、高架橋路段下方、地下室停車場、隧道、稠密樹林等有遮掩物的環境區域內，同時結合了 GPS 信號、陀螺儀轉向訊息、CAN-Bus 車速/脈衝推算，實現即時定位功能。

Inertial Labs AHRS 航姿參考系統（如圖 3.16 所示）利用高精度加速度計、陀螺儀和磁力計來提供精確的橫滾、俯仰和航向訊息，並且可以通過校準出敏感周圍軟鐵和硬鐵的磁場干擾，消除磁場畸變，提高航向精度。

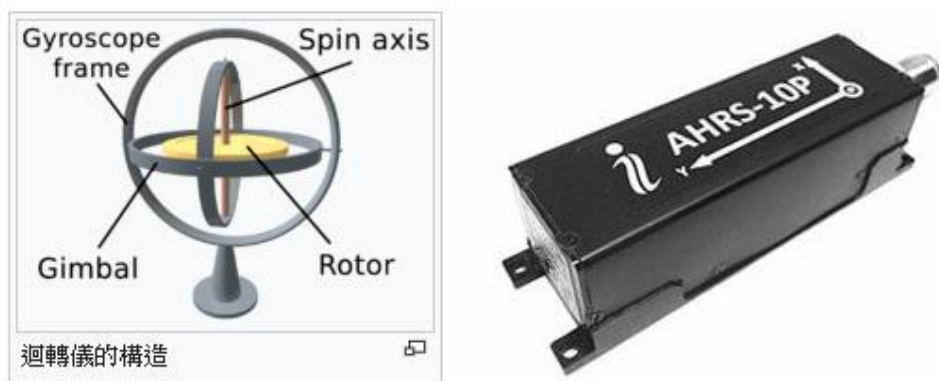


圖 3.16 慣性導航 Inertial Labs AHRS 航姿參考系統

產品特點

1. 高達 200Hz 的數據更新率
2. 1 度/小時的偏置運行穩定性
3. 5 μ g 加速度計偏置運行穩定性
4. RS-232, RS-422, USB 和 CAN 2.0 的接頭
5. 所有感應元件的全溫度校準

對於臺灣隧道，只要不要太長，應該就能夠精確定位。本計畫在北部國道三號測試，有較大偏移量者為 12.9km 之雪山隧道，因其屬於長距離隧道，另外曲率較大者如木柵隧道，其偏移量也大，一般適用隧道長度在 2.0km 以內，未來也將以軟體修正偏移量。

除前述須結合硬體設備之定位方式外，還可以透過演算法之推演，計算缺失扣件之位置。此演算法之運作原則在於透過 GPS 定位得知進出隧道之時間，因隧道長度為已知資料，因此透過下列公式之計算，即可推算出記錄缺失扣件時所在之里程位置，運作示意圖如圖 3.17 所示。

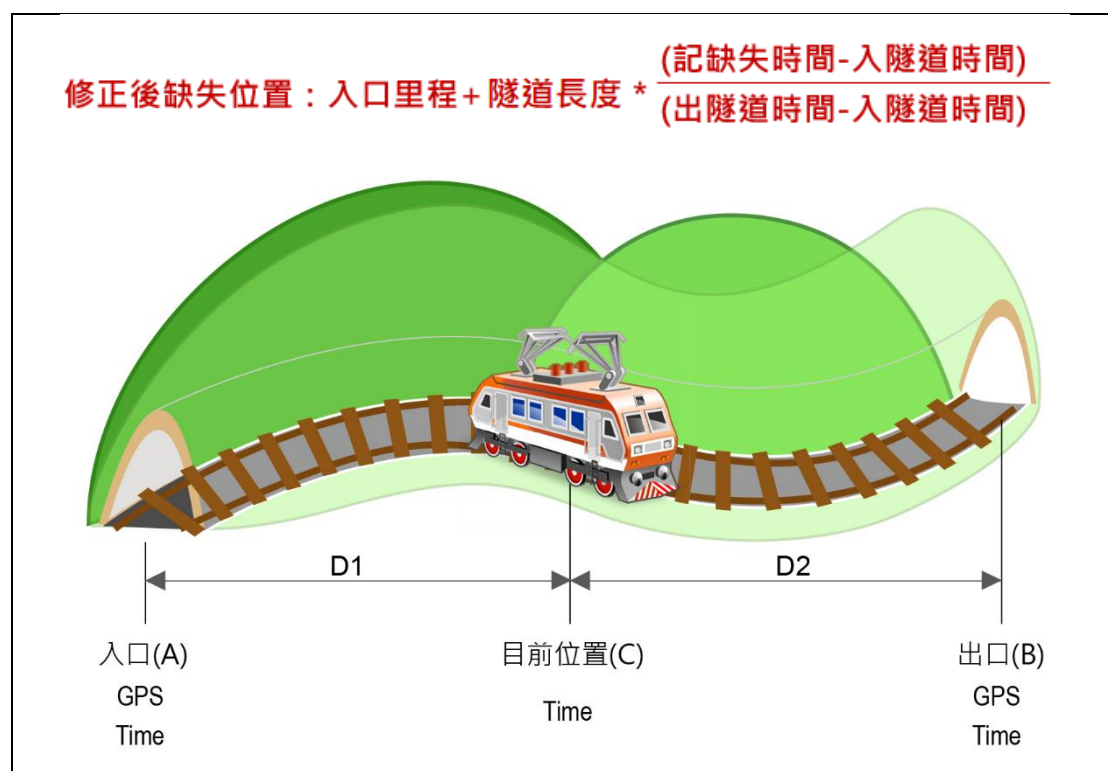


圖 3.17 隧道內定位演算法

3.1.5 影像辨識環境

為能順利辨識回傳的影像資料，須搭配一些硬體（顯示卡）及作業系統，本研究建議採用的設備說明如下：

1. 前端系統硬體：軍/工規筆電

目前神基公司最新推出的 S410 Semi-Rugged 強固筆電(如圖 3.18 所示)，採用英特爾第六代 Core (酷睿) 處理器 (可搭配選擇不同的處理器，如：Intel Core i3-6100U 2.3GHz、Intel Core i5-6200U 2.3GHz、Intel Core i5-6300U vPRO 2.4GHz 或 Intel Core i7-6600U vPRO 2.6GHz) 與 Window10 作業系統，大幅提昇電腦效能和影像處理能力 (內建 Intel HD Graphics 520 顯示卡，可升級 NVIDIA GeForce GTX 950M 獨立顯示卡)，重量也較前一代機種減輕 33%、厚度減少 24%。符合美軍標準規範 MIL-STD 810G 認證，提供 91 公分的防落摔保護，以及 IP51 的防塵防水等級。在硬碟容量部份，配備 500GB 硬碟儲存容量，可升級擴充至 1TB，或者選配 SSD 固態硬碟 (128GB/256/512GB) 保護資料不受碰撞毀損。對資訊安全以及作業效能要求較高的用戶，則可以選擇，甚至搭配第二顆內建硬碟 (128GB/256GB SSD)。

另外 S410 提供多元的連結埠和擴充能力，包括四個 USB 插槽 (USB 3.0x3, USB 2.0x1)、RJ45、連結投影設備的 HDMI 和 VGA (選配) 端口，以及專業領域所需要的 Serial Port (選配) 連結埠。資訊安全防護上亦提供多項身分驗證保護措施，包括觸控式指紋辨識器、智慧讀卡機、非接觸式智慧卡 (選配) 以及 TPM2.0 等，使運算環境更加安全。S410 之售價端視採用的配備而定，價錢區間約從七、八萬到十五萬。

而由宸曜科技公司所推出的「Nuvo-6108GC」滿足本計畫平車上的工作條件，擁有高效能、寬廣作業溫度，還兼具獨特的防震動支架提升可靠性，使其能在-25 度至 60 度寬廣溫度範圍中運作，確保在 60 度下可達 100%的 GPU 負載，可說顛覆一般工業電腦的想像。除了高效能之外，小體積也是一大優勢，大約只達一般家用電腦二分之一的

高度（如圖 3.19 所示）。因此要將這台電腦用於自駕車測試當中，Nuvo-6108GC 的小尺寸可說是有極大的優勢。



圖 3.18 神基公司 S410 強固筆電



圖 3.19 宸曜科技公司的「Nuvo-6108GC」工業電腦

Nuvo-6108GC 的外觀跟一般工業電腦差不多，高運算效能是其一大優勢，搭載 Intel® Xeon® E3 v5 或 6th Gen Core™ 處理器與 Intel® C236 晶片組，可以透過 PCI Express 的擴充槽，能夠安插 NVIDIA® 250W GPU 高階獨立顯示卡。能夠因應各種大量運算需求，像是人工智慧、深度學習，以及 CUDA 運算等，都能夠應付自如。

在螢幕的部份，可選擇 14 吋 HD 高畫質螢幕（1366x768）或 14 吋 FHD 全高畫質螢幕（1920 x 1080）。長時間在戶外強光照射下工作的專業人士則可以選配 1000 nits 高亮度 HD 多點觸控螢幕或者 800

nits 高亮度 FHD 多點觸控螢幕。為保障戶外工作不斷電，電池續航力長為考量因素，亦可搭配第二顆電池，或於平車上安裝發電機。

2. 前端系統軟體需求

系統將採用 Ubuntu 與 Windows 兩作業系統進行開發，Windows 將做為開發與驗證用途，影像與伺服器運算將於 Ubuntu 系統上進行，在深度學習與整個系統開發運用上，初步規劃採用 Python 作為主體架構語言，使用深度學習神經網路進行物件或缺失扣件偵測。

3. 後端系統硬體需求

為能順利辨識透過 GoPro Hero7/8 Black 錄回的影像資料，AI 伺服器所使用的硬體(顯示卡)，及作業系統，說明如下：用於接收 GoPro Hero Black 回傳的影像資料，將所收到的影像資料辨識儲存。CPU 採用擁有 16 核心 32 執行緒的 AMD Ryzen Threadripper 2950X，多工處理得心應手，加上四通道記憶體的高速讀寫，表現出 HEDT 平台強大力量，有性價比的 HEDT 平台。辨識效能的比較上雖然會略低一點，但是如果考慮多開線程 (Thread) 情況，當然還是 2950X 勝，還有加上 AMD 最大的優點就是後續的優化，不管是 BIOS 還是驅動的更新，都是較佳選擇。

主機板採用 ASRock X399 Taichi (如圖 3.20 所示)，不管在用料、配件上具有較好品質，目前中高價位下算是性價比較高，使用 2950X 超頻也是沒有問題的，另外搭載 Intel 雙網路卡和無線網路、藍牙功能等通訊方式，也十分便利。至於處理器散熱方面我們建議使用酷碼 MASTERLIQUID ML240 RGB TR4 Edition，2950X 開啟 PBO 後滿載溫度可以控制在 83~86 度之間，至於功耗方面，使用 BPO 模式，待機在 70W~80W 浮動，滿載 260W。



圖 3.20 AI 伺服器主機版與 CPU

至於顯示卡，本計畫建議採用 NVIDIA 2080Ti，可達最高性價比。用於加速辨識扣件影像，將所收到的影像資料以及其他環境監測器材所接收到的資訊進行即時運算，並將辨識結果以 JSON 格式回傳送至前端控制電腦，前端（行動端或個人電腦）即可以網頁方式顯示辨識結果。

4. 後端系統軟體需求

系統將採用 Ubuntu 與 Windows 兩作業系統進行開發，Windows 將做為開發與驗證用途，影像與伺服器運算將於 Ubuntu 系統上進行，在深度學習與整個系統開發運用上，規劃採用 Python 作為主體架構語言，使用深度學習神經網路進行物件或缺失扣件偵測。

Ubuntu 為一現今常用的基於 Linux 的開源作業系統，是目前使用者最多、社群最廣、相容性最好的 Linux 發行版本，從伺服器到手機與嵌入式系統（包含 Nvidia TX2）均能運行 Ubuntu。在本研究中，Ubuntu 將作為伺服器使用，負責影像辨識運算，任務報告統計等的功能。本研究採用 Ubuntu18.04 LTS Bionic Beaver 版本，此版本的支援

期限為 2023 年 4 月，採用 GNOME3.28 桌面系統，其 Linux Kernel 4.1 已經修復 Spectre 與 Meltdown 等安全漏洞，並將搭載 Python3.6。

3.1.6 影像辨識演算法

本研究前期採用的是 You Only Look Once (YOLO) 演算法^[21]，是一種物件偵測的神經網路演算法，優點在於輕量且高效率，追求快速辨識與高準確度，可以即時的產生結果，應用於物體辨識。神經網路的學習需要大量的樣本，樣本量決定神經網路的模型的泛用與準確度，為了辨識物件的類型，需要盡可能多的訓練資料（包括正常的、損壞的、各種情況的資料）。

1. YOLO v3

YOLO v3^[21]並沒有做革命性的創新，而是參考其他論文優化其本身模型，效果十分顯著，主要有兩項改良：

(1) 使用 ResNet 網路 (Residual Network)

新的基底網路為 Darknet-53，有 53 層，隨著網絡層數不斷加深（數量級從 20~30 層到 ~50 層），採用了一般類神經網路加深時常用的 ResNet 結構來解決梯度消失問題。

(2) 使用 FPN 網路 (Feature Pyramid Networks)

使用 FPN 多層級預測架構以提升小物體預測能力，特徵層從單層 13x13 變成多層 13x13、26x26 和 52x52，單層預測 5 種 Bounding Box 變成每層 3 種 Bounding Box（共 9 種），網路結構如圖 3.21 所示。使用 FPN 架構可讓低層較佳的目標位置和高層較佳的整體特徵融合，並且在不同特徵層獨立進行預測，使得小物體檢測改善效果十分明顯。

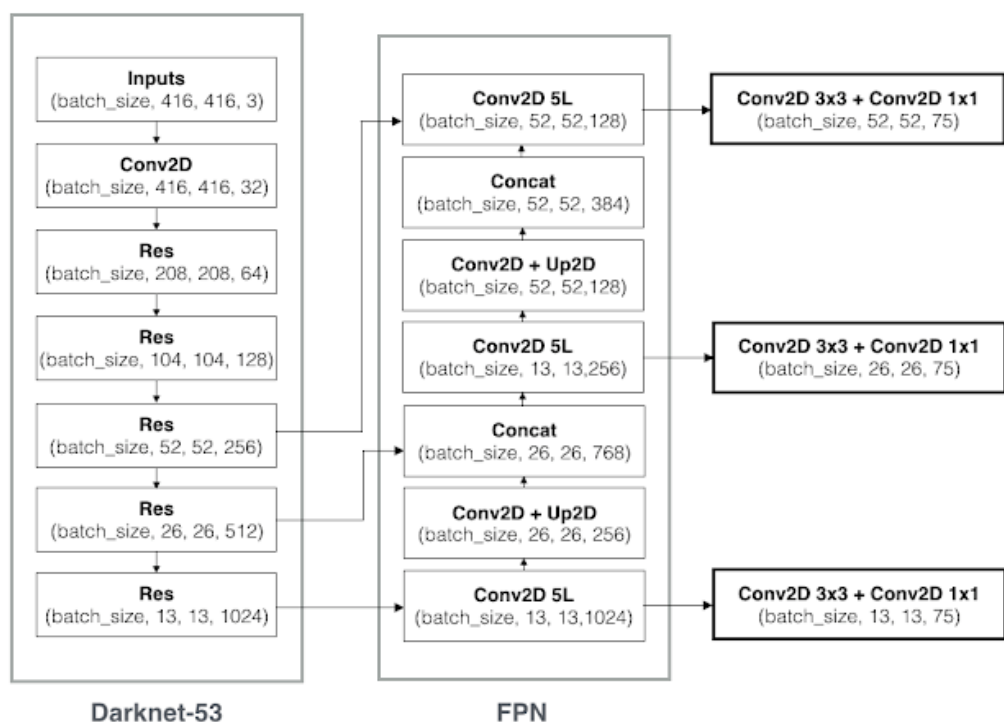


圖 3.21 YOLOv3 架構圖^[21]

2. YOLO v4

YOLO v4⁽²⁵⁾屬於 One-Stage 的 Object Detection 演算法，但是 FPS 優於 Two-Stage，甚至 AP 都超越了 Two-Stage 的演算法。目前在 Tesla V100 的 GPU 上，使用 MS COCO 資料集，已經達到了接近 65 FPS 的表現，而且還有著 43.5% AP，已經完全超過 R-CNN 家族了。YOLO v4 擁有 AP 越高越準，FPS(Frame per Second)越大越快，YOLO v4 與其他 AI 模型之比較如圖 3.22 所示，YOLO v4 的深度學習模型如圖 3.23 所示。

YOLOv4 的結構圖和 YOLOv3 相比，因為多了 CSP 結構，如果單純看結構圖，似乎很難，但其實整體架構和 YOLOv3 是相同的，不過使用各種新的算法思想對各個子結構都做了改進。

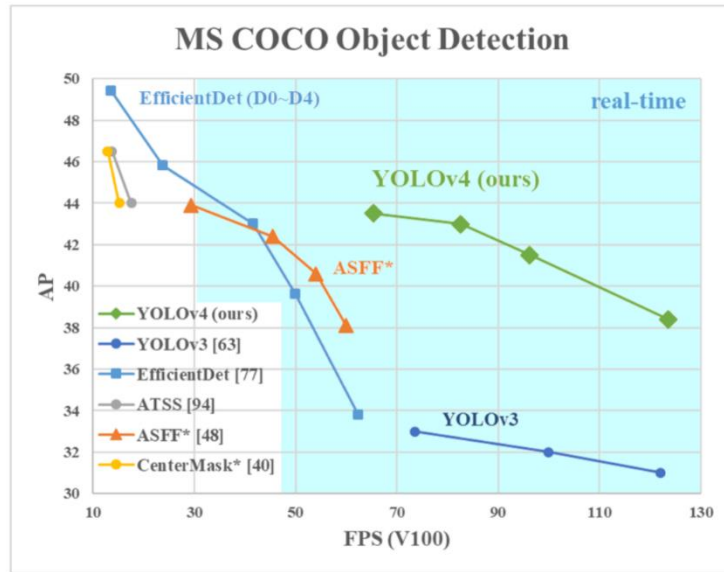


圖 3.22 YOLO v4^[25]與其他 AI 模型效能比較

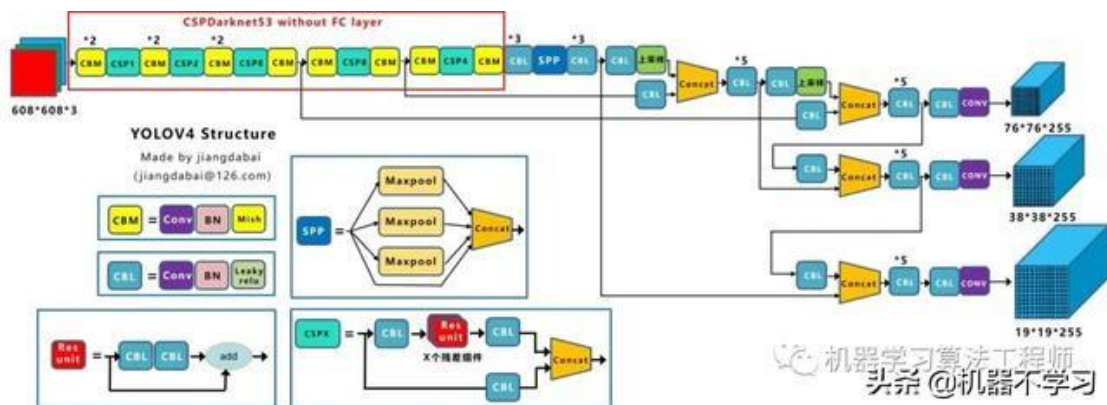


圖 3.23 單階段 YOLO v4 深度學習模型^[31]

YOLOv4 的五個基本組件：

- CBM：Yolov4 網絡結構中的最小組件，由 Conv+Bn+Mish 激活函數三者組成。
- CBL：由 Conv+Bn+Leaky_relu 激活函數三者組成。
- Res unit：借鑑 Resnet 網絡中的殘差結構，讓網絡可以構建的更深。
- CSPX：借鑑 CSPNet 網絡結構，由三個卷積層和 X 個 Res

uint 模塊 Concat 組成。

- SPP：採用 1×1 ， 5×5 ， 9×9 ， 13×13 的最大池化的方式，進行多尺度融合。

YOLOv4 的創新之處，主要有下列幾點：

- 輸入端：這裡指的創新主要是訓練時對輸入端的改進，主要包括 Mosaic 數據增強、cmBN、SAT 自對抗訓練。
- Backbone 主幹網絡：將各種新的方式結合起來，包括：CSPDarknet53、Mish 激活函數、Dropblock。
- Neck：目標檢測網絡在 Backbone 和最後的輸出層之間往往會插入一些層，比如 YOLOv4 中的 SPP 模塊、FPN+PAN 結構。
- Prediction：輸出層的錨框機制和 YOLOv3 相同，主要改進的是訓練時的損失函數 CIOU_Loss，以及預測框篩選的 nms 變為 DIOU_nms

3. Single Shot Detector 演算法

一種僅適用單一深度神經網路的影像中的目標檢測演算法（如圖 3.24 所示），這種演算法稱為 SSD（Single Shot Detector）^[22]，它輸出一系列離散化的 Bounding Boxes，這些 Bounding Boxes 是在不同層次（Layers）上的 Feature Maps 生成的，並且有著不同的 Aspect Ratio（長寬比）。

如圖 3.25 所示，在預測階段的大致流程為：計算出每一個 Default Box 中的物體屬於每個類別的可能性，也就是計算出一個得分（Score）；同時，對這些 Bounding Boxes 的 Shape 進行微調，以此來使其符合物體的真實邊框。此外，為了處理相同物體的不同尺寸情況，SSD 結合了不同解析度的 Feature Maps 的 Prediction 進行聯合預測。

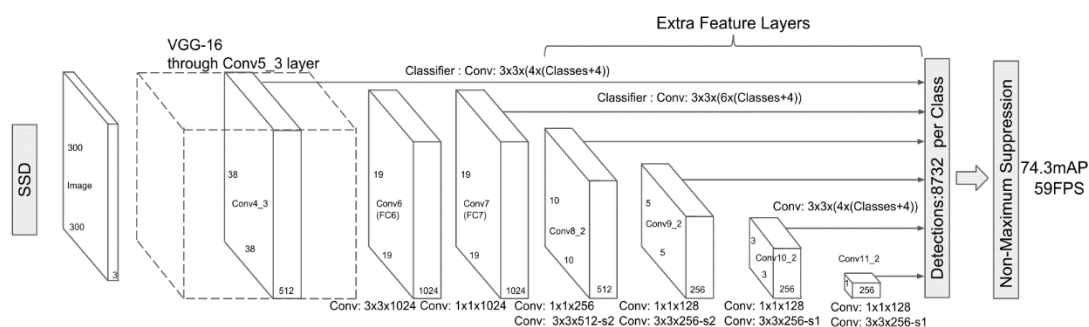


圖 3.24 SSD 深度學習網路模型^[22]

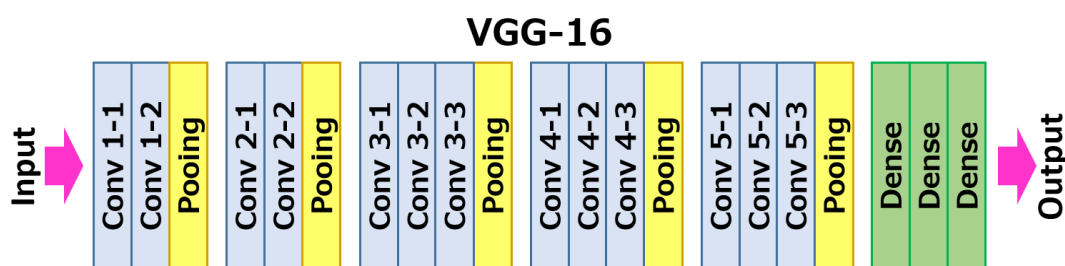


圖 3.25 SSD 特徵抽取採用 VGG-16 模型^[32]

與那些需要目標的 Region Proposal 的方法相比，SSD 是一種比較簡單的方法。因為 SSD 完全去掉了 Region Proposal 生成，Pixel Re-sampling 或是 Feature Re-sampling 這些操作，使得 SSD 更容易進行優化訓練以及更容易地將檢測模型融合到整個檢測系統中。在 PASCAL VOC，COCO，以及 ILSVRC 資料集上的實驗已經證實了 SSD 在保證檢測精度的同時，它的速度比現有使用 Region Proposal 的方法快得多。SSD 相比較於其他的單結構模型（YOLO）能夠取得更高的精度，即使是在輸入影像較小的情況下，也能夠得到比較好的效果。

SSD 有以下幾個特點：

- (1) 特徵提取網路的基礎架構是採用 VGG-16，去除了 VGG-16 的全連結層 FC8，將 FC6、FC7 轉換為卷積層。Pool 5 不進行分辨率減小，在 FC6 上使用擴張卷積（Dilated Convolution）

彌補損失的感受野(Receptive Field)；並且增加了一些分辨率遞減的卷積層。

- (2) SSD 摒棄 Proposal 的生成階段，使用 Anchor 機制，就是位置和大小固定的 Box，可以理解成事先設置好的固定的 Proposal。
- (3) SSD 使用不同深度的卷積層預測不同大小的目標，對於小目標使用分辨率較大的較低層，即在低層特徵圖上設置較小的 Anchor，高層的特徵圖上設置較大 Anchor(如圖 3.26 所示)。
- (4) 預測模塊：使用 3x3 卷積對每個 Anchor 類別和位置直接進行回歸。
- (5) SSD 使用的資料增強(Data Augmentation)對效果影響很大。

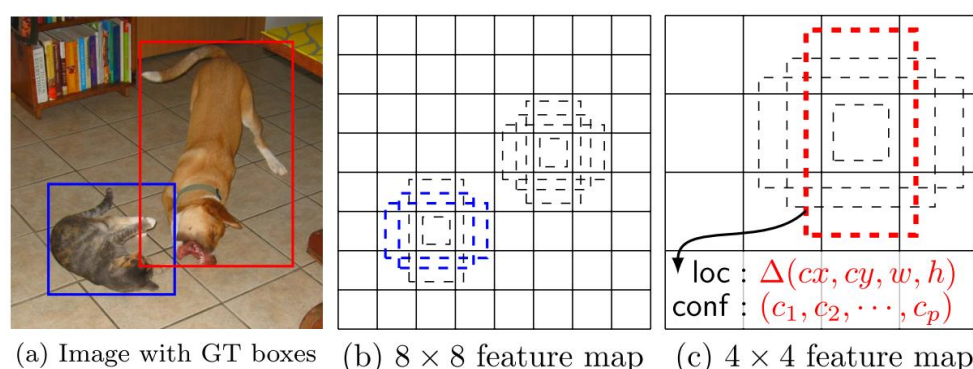


圖 3.26 SSD 具備不同解析度的物體偵測^[22]

(3) SSD 與 YOLO 比較

從圖 3.27 顯示 YOLO 與 SSD 不同之處，SSD MobileNet V2 比起 V1 改進了不少，根據^[24]資料看起來與 YOLO v3 Tiny 在伯仲之間，不過，相較於前者花了三天以上的時間訓練，YOLO v3 Tiny 只訓練了 10 小時，Average Loss 在 0.04 左右，還有下降的空間，但如果要應用於樹莓派或手機，SSD-MobileNet 還是較佳的選擇。

SSD Inception V2 與 YOLO v3 Tiny 在不同角度的 Frame 各有擅場，從^[24]進行手勢偵測的影片中看來前者的 Recall Rate 稍高，YOLO 則是 Precision Rate 很漂亮。本計畫認為技術一直持續進步，YOLO 也已進步到 v4，因此 SSD 與 YOLO，都是很值得本計畫採用的。

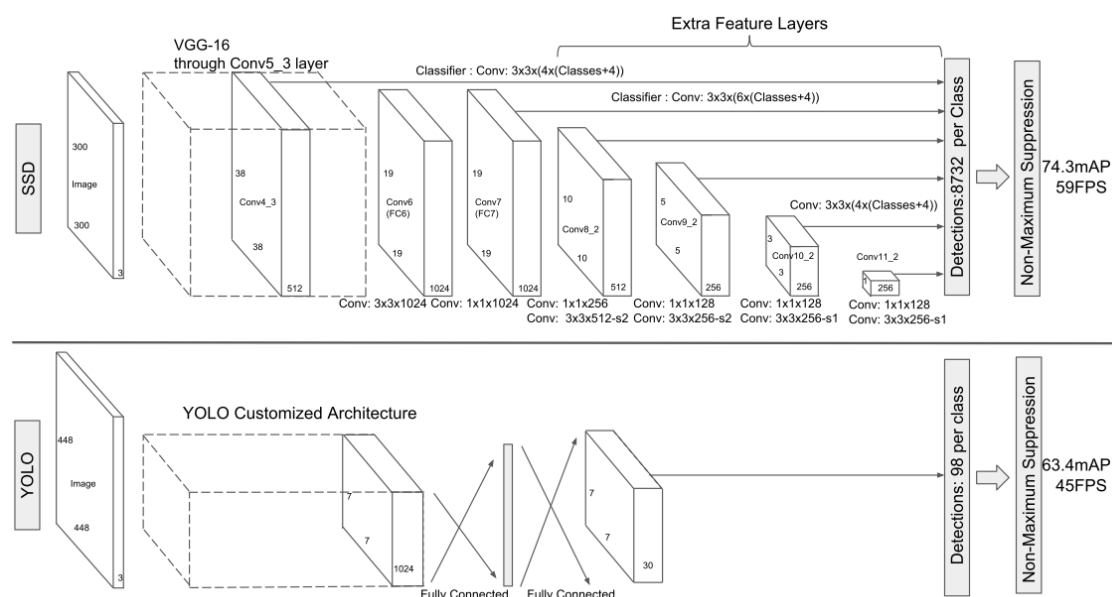


圖 3.27 SSD 與 YOLO 之比較^[22]

3.2 研究步驟

本計畫研究步驟及內容說明如下：

1. 蒐集國內外鐵路軌道扣件巡檢文獻、案例、產品

鐵路軌道長久以來一直扮演著客/貨運的重要角色，如何確保鐵路運輸的安全，也是相當重要的研究課題。本計畫廣泛蒐集國內外鐵路軌道巡檢文獻及案例，特別針對美國、英國、瑞士等歐洲國家進行資料蒐集，敘述其檢測設備、方法及成效等。蒐集成果做為本計畫開發扣件檢測之參考。

2. 評估可應用於軌道扣件檢測之影像記錄設備

本報告章節 3.1.2 節提及兩款可應用於軌道影像記錄之高速影像攝影機（GoPro Hero7/8 Black、Ailipu IR vision Camera Module），但市面上還有許多其他高速影像記錄設備。本計畫於開始階段，已廣泛蒐集並評估比較各種款式的高速攝像頭設備，評估項目包括：影像解析度、影像品質、GPS、防震功能、資料傳輸方式、是否開放資料連接通道、夜視拍攝效果、每秒拍攝影像幀數、鏡頭廣度、可搭配的配件種類…等，以找出最符合本計畫所需的高速攝影設備。初步評估以 GoPro Hero7/8 Black 與 Ailipu 為主。

3. 評估及解決高速影像設備之固定方式

由於採用的高速影像記錄設備須固定於平車上，工程維修車拖行平車行駛時的震動可能會影響影像拍攝品質，甚至造成高速影像記錄設備鬆脫。因此須赴現場進行實際安裝，以確定採用的固定方式，及是否有合適的配件可直接使用，在評估高速影像記錄設備時，特別將配件種類也納入評比。

雖然 GoPro 高速攝影設備應已具備防震動功能，但若能再搭配硬體的防震功能，應該可以拍攝出更穩定的影像品質，也有利於後續的辨識準確率。目前初步評估，將會使用「GoPro 寬管型固定座」，若臂長不夠時再尋找其他可搭配使用的延長支臂。

另外若採用 Ailipu 攝像頭，因其未配備防震功能，需要外接防震設備，再固定於平車或維修車上。但若只攝像不錄影，可以考慮只用三軸固定器即可，否則需要三軸穩定器。

4. 扣件缺失定位解決方案

本研究前期計畫已提出「虛擬偵測圓」結合 GPS，搭配 Google Maps，提供維護鐵道工作人員一個有效定位缺失扣件之建議。唯 GPS 訊號在隧道中無法接收，必須以陀螺儀來推估定位。

5. 辨識用影像資料收集

本期計畫除採用原有的 YOLO 辨識模型外，另外嘗試 SSD 模型，一樣需要提供大量的影像資料進行訓練，並建立正樣本（待偵測標的）及負樣本（非偵測標的）的影像資料庫。因此，本研究於完成高速攝影設備與固定方式的評估後，即著手進行實際影像拍攝測試。

6. 物件辨識資料庫建立與訓練

所蒐集到的軌道影像資料，先由人工進行資料標籤化處理，以建立物件辨識資料庫，尤其是建立正樣本（待偵測標的）及負樣本（非偵測標的）影像資料庫的部份。再利用建立好的物件辨識資料庫進行訓練，以建立自動化辨識能力。以軌道扣件而言，正樣本就是缺失扣件，負樣本就是正常扣件。

7. 建立前端影像收集與處理服務

建立前端辨識與儲存所需之工作環境，包括準備 NVIDIA CUDA 運算卡，並以 Windows 作業系統建構完整的前端辨識作業環境，同時建立與高速影像記錄設備（GoPro Hero7/8 Black or Ailipu camera module）的連線功能，隨時接收回傳的影像資料。經過辨識後儲存，或往後端傳送至伺服器。

8. 建立後端影像資料分析處理環境

以 Ubuntu 建構後端的影像資料處理環境，當接收到前端影像處理需求後，利用已開發訓練好的物件辨識資料庫進行影像辨識，再將辨識後的結果儲存於後端資料庫系統中，後續可產製所需的統計報表，或是提供線上查詢使用。

在進行後端影像資料處理時，將會配合「虛擬偵測圓」的定位資料，即可快速推估出缺失扣件所在的里程位置。計算後的資料同時供報表及線上查詢使用，未來可即時傳送給各權責道班工，進行後續的缺失改善工作。

9. 實測

在臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區（來回里程總計至少 70 公里）利用本研究建置的作業設備進行軌道影像擷取實測，並透過前端影像處理及後端影像分析，辨識及定位出有缺失之扣件。

驗證的部份，將請臺鐵局道班工人員以目視方式檢視影像內容，再與本研究自動辨識出之結果進行比對，以提出扣件缺失檢出率的比較。

10. 研究成果發表

依前述系統開發過程及實測情形，整理相關成果進行發表。目前已發表「基於 YOLO-V4 的軌道缺失扣件偵測」論文於 International Conference on Sustainable and Innovative Infrastructure 2020 (<https://www.icsii.net/committee>)國際研討會。

期刊的部份則發表「Offline Deep-learning-based Defective Track Fastener Detection and Inspection System」論文於 Sensors and Materials:期刊。

3.3 可能遭遇之困難及解決方案

本研究最大的挑戰在於如何擷取符合影像辨識所需求的軌道影像，由於攝影鏡頭必須要垂直朝正下方的軌道進行拍攝，雖然目前設定的行車速度為 30km/hr，但是鏡頭與標的物的距離過近時，相對速度大，能否拍攝清晰且符合影像辨識需求的影像為最大挑戰，因為平車或維修車行駛均會產生較大的震動。

目前挑選的高速影像記錄設備（GoPro Hero7/8 Black or Ailipu camera module），已具備每秒記錄 60 幀影像的能力，且有相當好的防震動功能（Ailipu 需外接三軸防震），實測結果為稍微降低攝像頭的架設高度並加墊片減震，最重要還是燈光降低與平車齊，因為越接近軌道，扣件也就越亮越清楚。經多次實測，都可擷取所需影像，而且能長時間運作不當機。

目前方案仍採用平車，雖可正常運作，但是沒有防水、防震、防風功能，若需架設前端辨識電腦，必須要考量防水及防震；因此，若天候不佳，建議架設前端電腦於維修車內，應該是比較好的選項，除了防水、防震、防風外，也須解決供電問題。不過高速攝影機仍然必須架設於平車上或外接於維修車外，GoPro 是沒有問題，但 Ailipu Camera module 則需要用防水盒做好防水處理。

第四章 軌道扣件檢測系統驗證

軌道扣件檢測系統驗證須先進行實作與修正，相關精進、驗證及成本效益分析項目分述如下：

4.1 攝影相關設備精進

本研究原規劃將影像記錄設備 GoPro 固定於工程維修車前的護欄上，再使用市面上可購得的 GoPro 配件，將其固定於工程維修車的護欄上，但實際使用時，工程維修車並非每一工務段所使用的都是同一輛，而且型號也不一定相同，因此還是採用平車方式較為實際可行。

在與臺鐵局臺中工務段大甲分駐所（以下簡稱大甲分駐所）同仁討論後，使用平車的方式，將來容易複製到其他單位使用。確定此方向後，由大甲分駐所同仁協助將第 1 代平車（如圖 4.1 所示）進行改良，改良後第 2 代的平車（如圖 4.2 所示）將攝影桿架改為四腳，每一腳在與平車固定處先墊橡皮墊，以達到減震效果，期望可穩定長時間拍攝及即時辨識；另外探討側向拍攝之需求及拍攝方法。



圖 4.1 第 1 代平車



圖 4.2 第 2 代平車

4.1.1 GoPro扣件攝影

大甲分駐所協助完成平車改良後，於 109 年 3 月 20 日進行 GoPro7 與 GoPro8 設備架設與實測，從大甲站至臺中港站來回共四趟，第一趟人工與 GoPro7*2 的比較、第二趟 GoPro7*2 互換東西軌的錄影，第三趟 GoPro7 跟 8 東西軌攝影，第四趟一樣是 GoPro7 跟 8，但互換東西軌的攝影，測試區間包含二座小隧道，一座約 30 公尺，一座約 60 公尺，其中 GoPro7 影像（如圖 4.3 所示）已辨識完畢，GoPro8 雖然影像更清晰（如圖 4.4 所示），但是 GPS 格式部分遺失。

GoPro Hero 8 Black 在材質上大幅改進，使用金屬材質強化結構與散熱，使用至今沒有熱當的情形發生，採用支援三軸穩定的 HyperSmooth 2.0，幾乎不需要再購買外接三軸穩定器。而 GoPro Hero 7 Black 在平車的震動改善後，以及更換讀取速度較為快速的記憶卡，109 年 4 月 11 日大甲~彰化測試也順利錄影，使用至今，GoPro 7/8 均未當機，運作正常。



圖 4.3 軌道扣件攝影-GoPro 7（有點模糊）



圖 4.4 軌道扣件攝影-GoPro 8（較為清晰）

GoPro 除具備優異的防震效果外、鏡頭視野廣、GPS 定位、支援即時串流及支援 Python API 等功能，更重要的是週邊可選用的配件種類多元。GoPro 架設位置可視實際拍攝結果，彈性調整架設位置，實測後攝影品質比較一般工業用攝影機要更好。

4.1.2側向攝影規劃

魚尾鉸（如圖 4.5 所示）是把鋼軌連接成軌道的構件。傳統做法把 20 公尺左右一截的鋼軌固定在軌枕之上，各節鋼軌之間有接縫。英國習慣兩條路軌會在相同的地方有接縫，但美國則會放在不同的地

方。接縫處使用魚尾鉋接合，它是一塊約 60 公分長的鋼板，兩端有四或六口鋼栓，用來扣在鋼軌上（如圖 4.5 所示）。鋼軌之間留有間隙約為 6mm 寬，以供伸縮之用。鋼軌上及魚尾鉋上鋼栓通過的小孔是橢圓形的，這樣鋼軌就可以有熱脹冷縮的空間，這對鋼軌是非常重要的：如果沒有膨脹的空間，每當溫度改變一度，鋼軌就需要承受 1.6 噸的壓力或拉力。如果一個地方每年最高及最低溫度相差 30 度，則此力可以達到 50 噸，鋼軌可能因而變得歪斜（如圖 4.6 所示），影響行車安全。此外，實務上魚尾鉋上用於固定在鐵軌上的螺栓也可能脫落（如圖 4.7 所示），也會影響行車安全，這些都是進行魚尾鉋檢測時所需留意的地方。



圖 4.5 魚尾鉋-正常狀況



(資料來源: <https://news.housefun.com.tw/news/article/195643184718.html>)

圖 4.6 魚尾鉋上方鋼軌接縫中間彈性疲勞，加上低溫造成鋼軌磨損

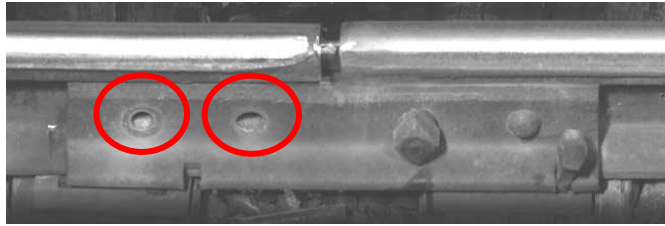
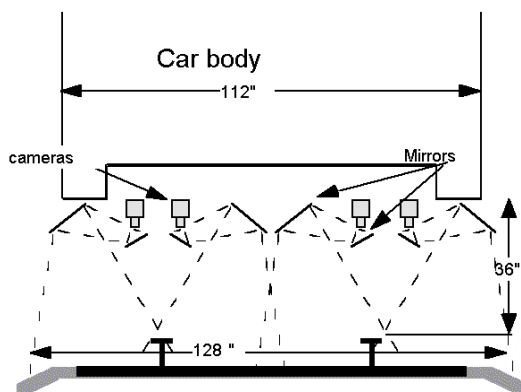


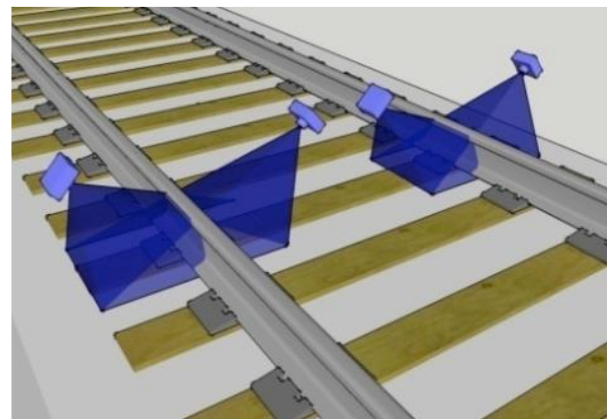
圖 4.7 魚尾鉋-螺栓脫落

雖然在兩段鐵軌上留有小接縫，卻會使列車行駛通過時產生噪音，也會影響鐵路運輸的平穩性。除非路軌保養得非常良好，否則有接縫的路軌不適合高速列車行駛，但很多鐵路發達的國家依然會在慢速路線、非重要的路線、或支線上使用這種方式接合路軌。

本計畫目前採用上視攝影，位於軌道凹槽的缺失(如圖 4.7 所示)是位於內側，因此，必須改用側向攝影，才能拍到扣件缺失的部分，共需要四支投射燈與四支攝影機(架設方式如圖 4.8 所示)，以便照到四個側面，目前美國 ENSCO 公司採用的側向照明與攝影架設情形，如圖 4.9，即屬於此種架設方式。



(a)



(b)

圖 4.8 側向攝影評估需要使用 4 支攝影機及其架設方式，(a)鏡頭朝下，但需要鏡子反射，(b)鏡頭斜向拍攝，不需鏡子。

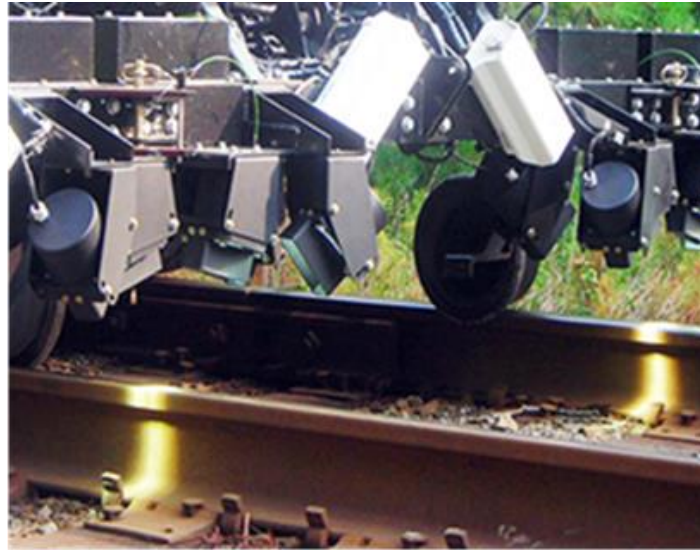


圖 4.9 美國 ENSCO 側向照明與攝影架設情形

本計畫擬採用圖 4.8(b)方式攝影，攝影機越低越好，越可以拍到整個側面，或是選用具有些微凸面的魚眼鏡頭亦可。架設方式如圖 4.10，固定於一基座，可以轉動鏡頭攝影角度。而基座是固定於一支架上，支架可以置於平車側邊，與 LED 投射燈位於同一側。

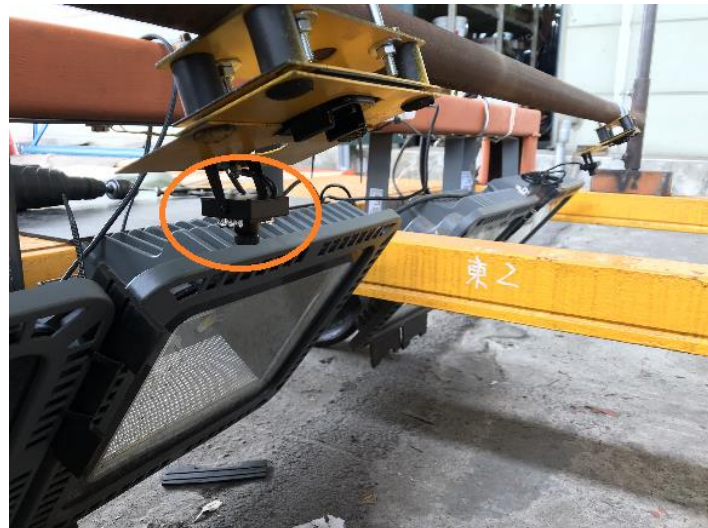


圖 4.10 側向照明與攝影架設情形

4.2 缺失辨識準則與資料庫建立

AI 辨識系統要正常運作，發揮即時偵測與辨識的功能，需要靠專業團隊提供原始資料，以及對欲辨識扣件的分類與標註。對於此，本研究團隊持續與臺鐵局臺中段大甲分駐所合作，由大甲分駐所先提供欲辨識扣件影像，由本研究團隊進行分類與訓練，再請大甲分駐所專家檢視扣件分類狀況，並持續更新與收集不足資料，以做為訓練 AI 模型之用。本研究成果說明如下。

4.2.1 缺失扣件辨識準則與資料庫建置

AI 訓練資料光有正樣本還不夠，還必須提供負樣本供 AI 模型以區分好的扣件(負樣本)與缺損的扣件(正樣本)。由大甲分駐所協助提供各類缺失扣件，整理如表 4-1 所示，並將 e 扣件與道釘重新進行分類，主要是因為此兩類扣件佔全部扣件的 99%，若不分輕微缺失(X)（如圖 4.11 所示，e 扣件些微外移）和嚴重損壞(XX)（如圖 4.12 所示，e 扣件遺失或斷裂），則 AI 系統會找出很多的缺失扣件，增加道班工人員後續的工作負擔。

表4-1 軌道扣件缺失分類

編號	扣件分類	圖片	說明
1	e扣件缺失X		位置偏離、未定位
2	e扣件缺失XX		遺失、斷裂
3	適釘缺失X		位置偏離、未定位
4	適釘缺失XX		遺失、斷裂
5	其他錯誤		軌道上其他異物、錯誤
6	元件被遮蔽X		扣件因線路、道渣、植物等原因遭到遮蔽
7	軌面缺失X		踏面損傷: 軌面中間凹陷、邊緣裂縫
8	軌面缺失XX		鋼軌裂縫
9	版式e扣件缺失X		扣夾位置偏離、未定位 螺栓鬆動
10	版式e扣件缺失XX		扣夾遺失、斷裂 螺栓遺失

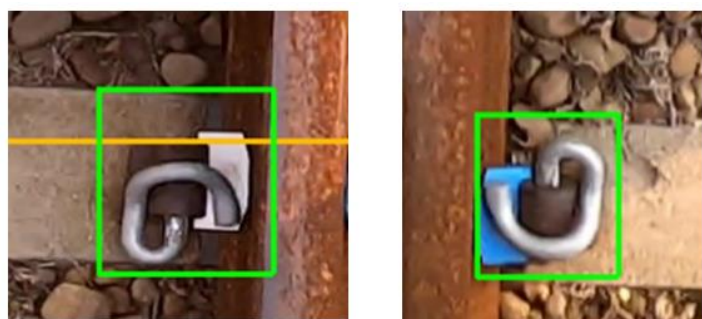


圖 4.11 扣件較輕微之不明顯損壞 (X)，稍微突出。

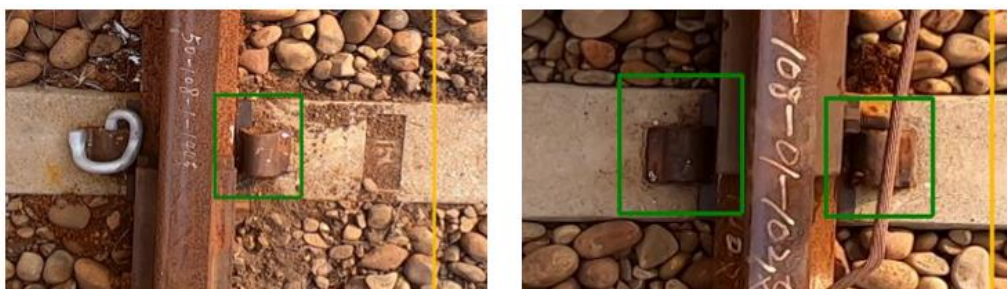


圖 4.12 扣件較嚴重明顯之損壞 (XX)，完全脫落。



圖 4.13 版式正常 e 扣件，(a)後龍高架彈性基版式無道碴軌道正樣本，(b)南港溪橋直結式無道碴軌道正樣本。

表 4-1 是與大甲分駐所進行多次的缺失扣件分類討論結果，由一開始 11 類扣件修正為 5 類，再由 5 類修正為 6 類，主要是因為其中滑床板、護軌墊板在實際應用中非常罕見有缺失，因此，也尚未蒐集到缺失樣本，故不列於偵測對象。再則與大甲分駐所專家討論後，e-Clip 斷裂改列為嚴重明顯損壞 XX，另外扣件被遮蔽也單獨列為一類。

此外，因 e 扣件與道釘可分為輕微缺失與嚴重缺失，加上 109 年 9 月 19 日所拍攝版式軌道扣件，因其缺失認定與道碴段 e 扣件不同，（如圖 4.13 所示），圖 4.13(b)為南港溪橋直結式無道碴軌道正樣本，但是卻有輕微脫落的感覺，其實是正常，因為此類 e 扣件容易被誤認為另一類 e 扣件的輕微缺失，但是經實驗結果，AI YOLO/SSD 效能皆佳，AI 具有優秀的分辨能力。版式軌道扣件訓練結果如章節 4.3.1

與 4.3.2 所示，基本上 XX 的資料集仍不夠多，所以現在的辨識數據僅供參考，待資料夠多，方才具有代表性。

缺失扣件資料集由原本 3,800 張，增加為 5,600 張(4,480 訓練+1,120 測試)，來源為上期計畫所收集到的，再加上本期 109 年 4 月 11 日、4 月 19 日、9 月 19 日所拍攝張片，取出 GoPro 7/8 所攝得有缺失的扣件照片、或是手機以相同角度與解析度拍攝所得。

4.2.2 軌面缺失說明

經參考相關文獻，提出 AI 軌面缺失可辨識種類，並參考上期計畫成果整理出 3 大類及其辨識方式：

1. 鋼軌裂縫：按現有方式，以 YOLO 辨識。
2. 軌面變形：仿照超音波發射方式，用不同角度，以可見光攝影，取得反射照片，辨識亦可採用 YOLO。
3. 踏面不整：在軌距邊出現的剝落，或是表面的斑點，可用 YOLO 加以辨識。

但實際臺灣狀況，不會出現變形類，經臺鐵局臺中段建議，軌面缺失辨識種類以鋼軌裂縫及踏面不整（魚鱗剝落現象）為主，缺失分類如表 4-2 所示，並將軌面缺失部分納入缺失扣件資料庫，如表 4-1 之第 7 及 8 項，與其它缺失扣件一併進行 YOLO 訓練與辨識。

表4-2 軌面缺失分類

編號	扣件分類	圖片	說明
1	鋼軌裂縫		魚尾鈑處斷裂、非魚尾鈑處裂縫
2	踏面不整		軌面中間凹陷、邊緣裂縫

4.3 檢測系統辨識準確度精進

影像辨識的深度學習模型，前期計畫採用 YOLO v3^[21]，雖然 YOLO v3 非常快，尤其 Tiny YOLO 小型的模型可以達到 155 fps，但是隨之而來的是 mAP 的降低。本期除了 YOLO 系列的精進外，也採用更為有效的 SSD^[22] 模型，它有點像 Faster R-CNN^[23] 中的多類別 RPN 網路，是一個十分成功的檢測框架，採用特徵金字塔的多層預測方法，在不同大小的特徵圖上考慮不同的尺度，相當於每個層分開預測，最後整合在一起得到結果。

前期計畫以 YOLO v3 驗證，扣件辨識率(mAP)82.5%，扣件缺失檢出率(Recall)74.5%，雖可達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的，但是仍然有進步的空間。本期計畫有鑑於扣件辨識的目的是將有缺失的部分檢測出來，原來正常的扣件也無檢視的必要，訓練時，只就缺失扣件進行。

4.3.1 CSPResNet 與 YOLOv4

目標物件偵測模型在 2020 年 6 月時，Wang et al. 提出 CSPResNet^[30]，因為速度快與效能優良，本研究以此模型重新評估先前拍攝的所有樣本，先挑選 3,800 張缺失扣件做為 CSPResNet 模型的訓練資料，確保不會過度訓練，經過測試與微調，效果尚稱良好。

訓練樣本張數 3,420，測試樣本張數 380，此模型中所有照片均為較清晰無殘像版本，驗證可信度閾值(Thresh)為 0.5，辨識結果如表 4-3 所示，其中缺失扣件精確率(mAP)為 86%，缺失扣件召回率(Recall)為 100%，成效遠比前期計畫好很多。為說明專有名詞起見，先以圖 4.14 說明混淆矩陣(Confusion Matrix)，再以表 4-4 將混淆矩陣(Confusion Matrix)所引出的神經網路模型評估指標做一表列，以供後續參考。

表4-3 混淆矩陣

類型編號	名稱	準確率(Precision)	TP	FP
1	e 扣件-X	88%	8	1
2	e 扣件-XX	82%	28	6
3	道釘-X	100%	3	0
4	道釘-XX	100%	5	0
5	其他	未包含		
Precision = 86%, Recall = 100%, F1-score = 93%				
TP = 44, FP = 7, FN = 0, Average IoU = 67.56 %				

T 辨識正確 F 辨識錯誤	辨識損毀 P	辨識正常 N	
實際損毀	TP	FN	Recall TP/(TP+FN), FN 為實際損毀但辨 識正常, 未辨識 出缺失
實際正常	FP	TN	
	Precision TP/(TP+FP), FP 為實際正常但辨 識為損壞, false alarm		Accuracy (TP+TN)/all data, 辨識正確 的比率

圖 4.14 混淆矩陣說明一個辨識系統的識別能力

圖 4.14 的專有名詞, T(True)和 F(False)代表系統辨識的結果是正確還是不正確的, 而 P(Positive)和 N(Negative)則是系統辨識的結果是陽性(損壞)還是陰性(正常)的。我們當然希望 TP 和 TN 可以多多出現, 而 FP 和 FN 可以盡量不要出現, 因為這兩種狀況是屬於預測錯誤的。

表4-4 神經網路模型評估指標

指標種類	計算公式	公式變形	中文解釋	重視的点
Accuracy 精確度	$[(TP)+(TN)] / \text{全部資料總數}$	無	預測與判斷皆正確(包含 TP 與 TN)	最經典的顯示模型的正確度
Precision 準確率	(TP)/「模型預測為 positive」的總數	$(TP)/[(TP)+\text{false positive}(FP)]$	模型預測為真 (TP+FP), 而真實資料為真的比率	重視模型預測為真的結果。
Recall 召回率	(TP)/「真實資料為 positive」的總數	$(TP)/[(TP)+\text{false negative}(FN)]$	真實資料為真 (TP+FN), 而模型預測為真的比率	重視真實為真的結果。
AP (Average Precision)	平均 Precision	$AP = \int_0^1 p(r)dr$	對 PR 曲線上的 Precision 值求平均值	同時重視 Precision 和 Recall。
mAP (meanAP)	平均各類別的 AP	$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i$	對每一個類別都計算出 AP 然後再計算 AP 平均值	即各類別 AP 的平均值

本研究使用遷移學習(Transfer Learning)，將模型改為以最新的YOLOv4^[25]來訓練與辨識，一般來說，Two-Stage(R-CNN、Faster R-CNN) AP (Average Precision)較高，但相對的FPS的表現會比較低。圖 4.15 顯示模型從 CSPResNet 遷移至 YOLO-v4，速度提升約 15%，辨識率維持原先網路等級，雖然 Recall Rate 降低，但是 Over Kill(誤殺)的比率也降低，是目前為止，訓練結果最為滿意的，如表 4-5 所示。測試結果，真陽性 TP = 511 個，偽陽性 FP = 117 個，偽陰性 FN = 20 個，正確率 Precision = 0.81，召回率 Recall = 0.96，平均正確率 mAP = 86.8%，顯示效果良好。一些扣件照片辨識結果亦顯示於圖 4.16，其中 others_break 和 Slab_track_eclip_break_x 因為訓練正樣本數太少，故測試結果較差。

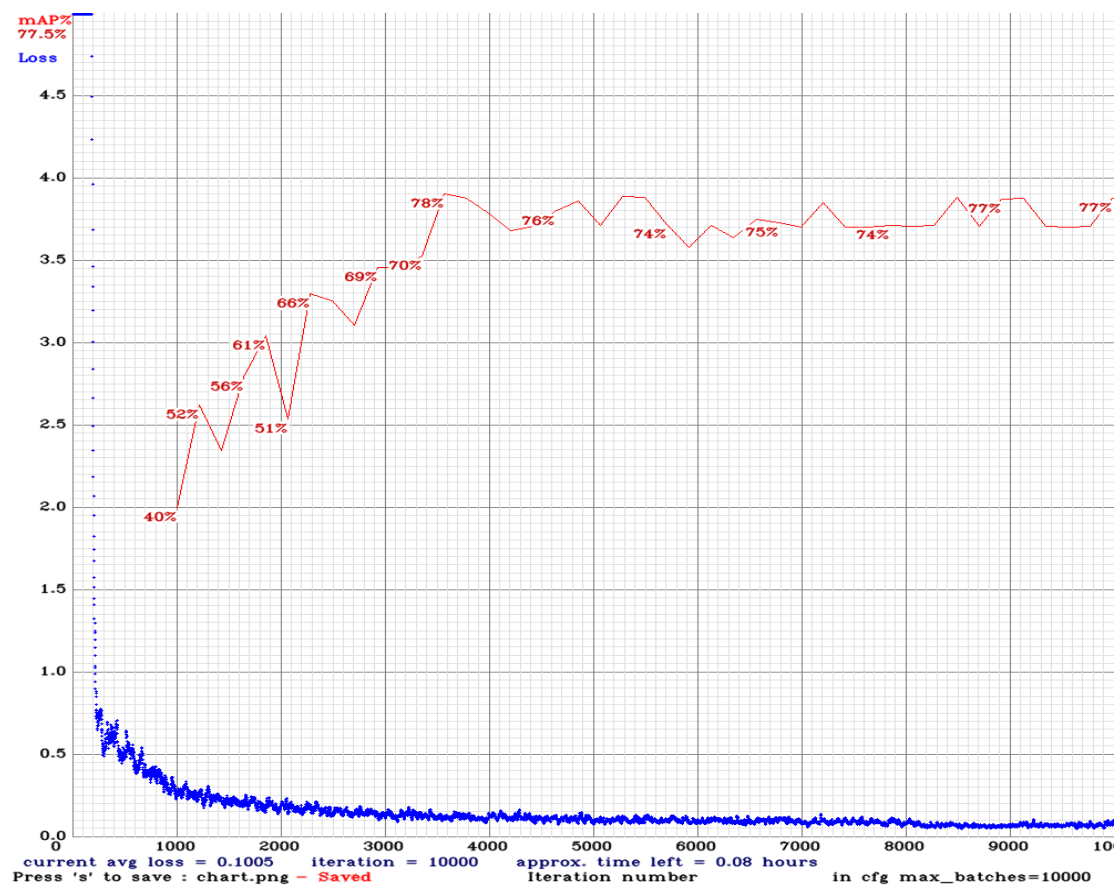


圖 4.15 YOLO v4 訓練曲線圖

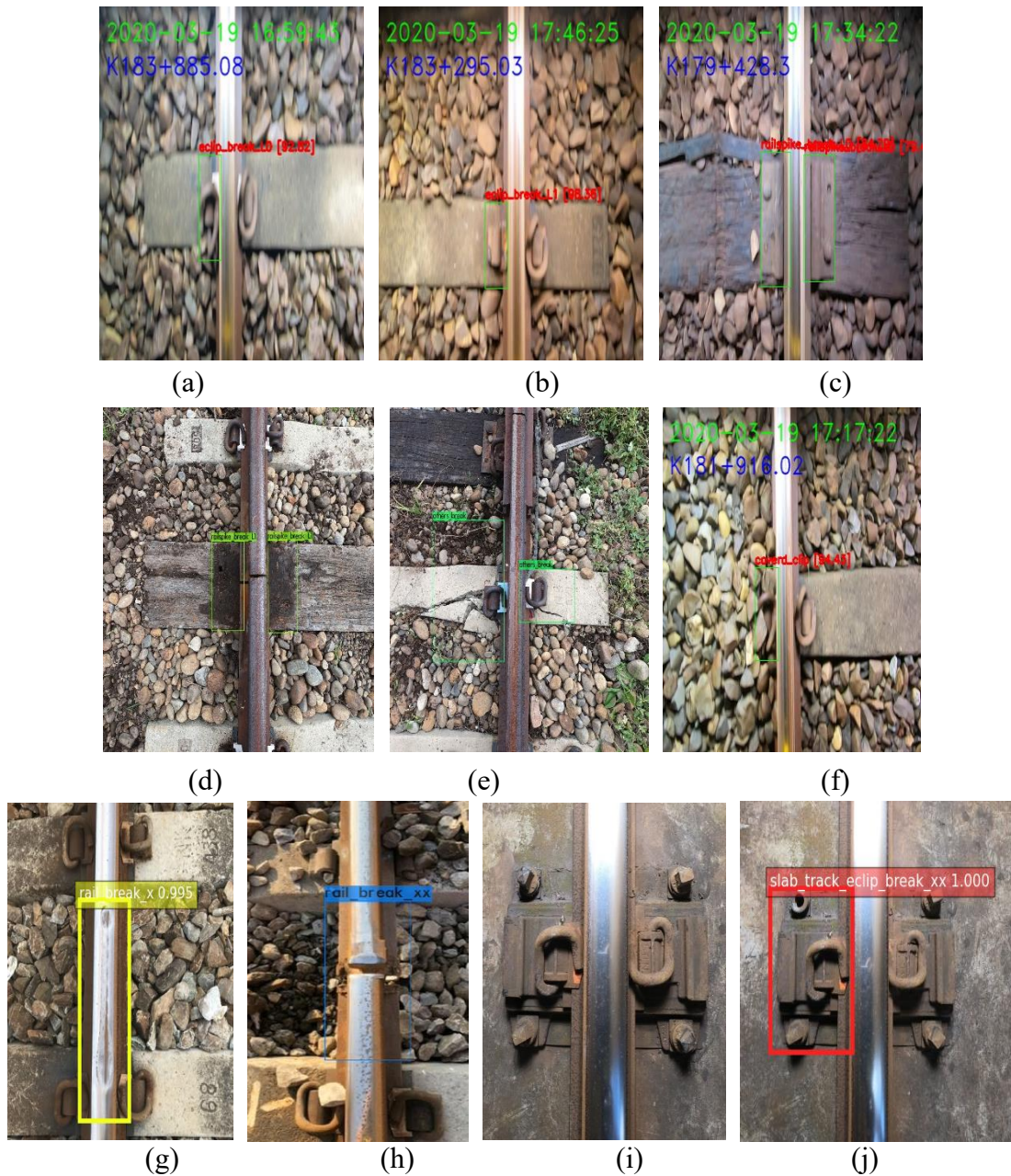


圖 4.16 YOLO v4 辨識結果案例 (a) e-Clip X (b) e-Clip XX (c) 道釘 X (d) 道釘 XX (e) 其他類 (f) 遮蔽類 (g) rail_break_x (h) rail_break_xx (i) Slab_track_eclip_break_x (j) Slab_track_eclip_xx

表4-5 YOLO v4 Confusion Matrix 與辨識結果

		辨識損毀	辨識正常
Recall rate=TP/(TP+FN)=0.96 Precision=TP/(TP+FP)=0.81	實際損毀	511(TP)	20(FN)
	實際正常	117(FP)	X(TN)

- eclips_break_x : AP=99.82% , Precision=96% , Recall=100%
- eclips_break_xx : AP=99.15% , Precision=97% , Recall=100%
- railspike_break_x : AP=91.94% , Precision=68% , Recall=94%
- railspike_break_xx : AP=99.06% , Precision=74% , Recall=100%
- others_break : AP=68.39% , Precision=61% , Recall=58%
- covered : AP=92.99% , Precision=78% , Recall=96%
- rail_break_x: AP=100.00% , Precision=100% , Recall=80%
- rail_break_xx : AP=100.00% , Precision=68% , Recall=100%
- Slab_track_eclip_break_x : AP=28.00% , Precision=25% , Recall=50%
- Slab_track_eclip_break_xx : AP=88.81% , Precision=67% , Recall=100%

4.3.2 SSD

原本 SSD 在完成初步測試後，與 CSPResNet 是可以互相比較的，經與大甲分駐所討論，採用表 4-1 之分類準則，與 YOLO v4 使用相同資料集進行訓練與測試，並移除非目標的特別扣件資料，其訓練結果如圖 4.17 所示，表 4-6 是 SSD 與 YOLO v4 比較結果，相較於 YOLO v4，Recall Rate 些微下降，但是 AP 卻是 SSD 較佳，mAP 各類別平均之後就不相上下，平分秋色。

使用 SSD 訓練好的模型進行辨識，表 4-1 的類型 1~6 都與 YOLOv4 相同，就不重複說明了，類型 7(rail_break_x)和類型 10(Slab_track_eclip_break_xx)，也可正確被偵測出來，如圖 4.18 所示；剩下類型 8 和 9 因為測試照片數過低，不具代表性，就先忽略。

表4-6 SSD與 YOLO v4評比

	SSD	YOLOv4
辨識速度	0.056s	0.015s
Recall	87%	96%
Precision	92%	81%
mAP	82%	86.8%

大幅增加訓練時間至5000 Epoch

各類別準確率

- eclips_break_x=0.99
- eclips_break_xx=0.89
- railspike_break_x=1.0
- railspike_break_xx=0.97
- others_break=1.0
- Covered=0.87
- Rail_break_x=0.96
- Rail_break_xx=0.81
- Slab_track_eclip_break_x=0.72
- Slab_track_eclip_break_xx=0.0(無有效負樣本)
- **mAP=0.84**

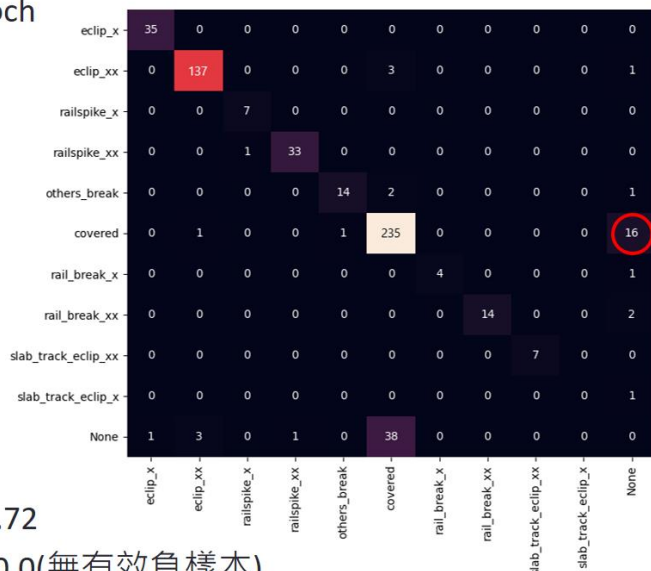


圖 4.17 SSD Confusion Matrix

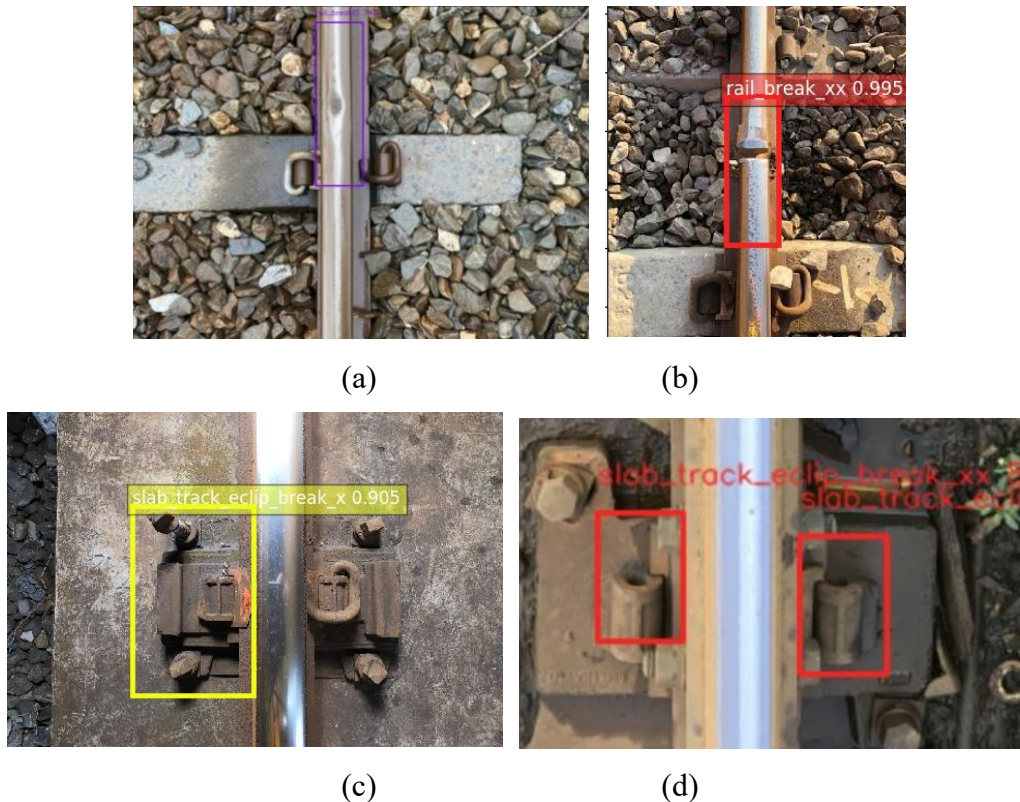


圖 4.18 SSD 辨識結果案例 (a)類別 7: rail_break_x (b)類別 8: rail_break_xx (c)類別 9: Slab_track_eclip_break_x (d)類別 10: Slab_track_eclip_break_xx

4.4 扣件檢測系統實地驗證

在扣件檢測的實測部份，將優先於臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區，大甲車站至臺中港線進行實測。首先由大甲道班工班長，先自行檢測缺失扣件，再加上在隨機路段製作缺失扣件，總共 52 個。接著再帶領另一批檢測人員，同時以 GoPro7/8 錄影和維修車上人工目視巡檢。

4.4.1 AI辨識與Ground Truth之比對結果

3.5 公里長之臺鐵路段(K179+400 至 K182+900)，人工以時速 5 公里目視檢測發現有 52 個缺失，如表 4-7 所示，按其出現在大甲車站至臺中港軌道的順序列表。表的右邊顯示有為 AI 偵測確認與否。圖

4.19 則以地圖方式顯示這些 Ground Truth 所在的位置，以藍色圓圈所示，裡面的數字標以 1~52。本研究的 AI/GoPro7 系統以時速 30 公里檢測出人工檢測報告中的 46 個缺失，以紅色圓圈顯示，裡面以數字標出其檢出順序(1~53)，其中額外找出不在人工檢測報告內的 7 個缺失扣件（如表 4-8），將每一所找出之額外缺失扣件相對應的里程、線別、枕木、偵測類型、與參照圖片都有詳細記載，圖片則參照圖 4.20，可以確認為 e-Clip 扣件嚴重缺失 XX。AI/GoPro8 的檢測結果如表 4-9 所列，其所相對應缺失扣件圖片，如圖 4.21。

本系統辨識的資料來自臺鐵人員於巡檢時的同步錄影，以前節所述之方式架設並設定拍攝系統，攝影機距軌面約 70 公分，總影片時長 38 分 51 秒，總幀數 139874 幀，FPS 為 60。

表4-7 人工巡檢與系統辨識比較

臺鐵人工檢測報告(時速 5km)			AI 系統檢測結果	
里程	線別	枕木型式	偵測確認與否	偵測類型
K179+433	一股	木枕	N	
K179+479	一股	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K179+537	一股	木枕	N	
K179+562	一股	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K179+607	一股	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K179+615	一股	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K179+656	一股	PC 枕	N	
K179+700	一股	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K179+707	一股	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K179+758	一股	PC 枕	N	
K179+800	一股	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K179+807	一股	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K179+924	一股	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K179+940	一股	木枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+064	西正線	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K180+100	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+095	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+109	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+118	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)

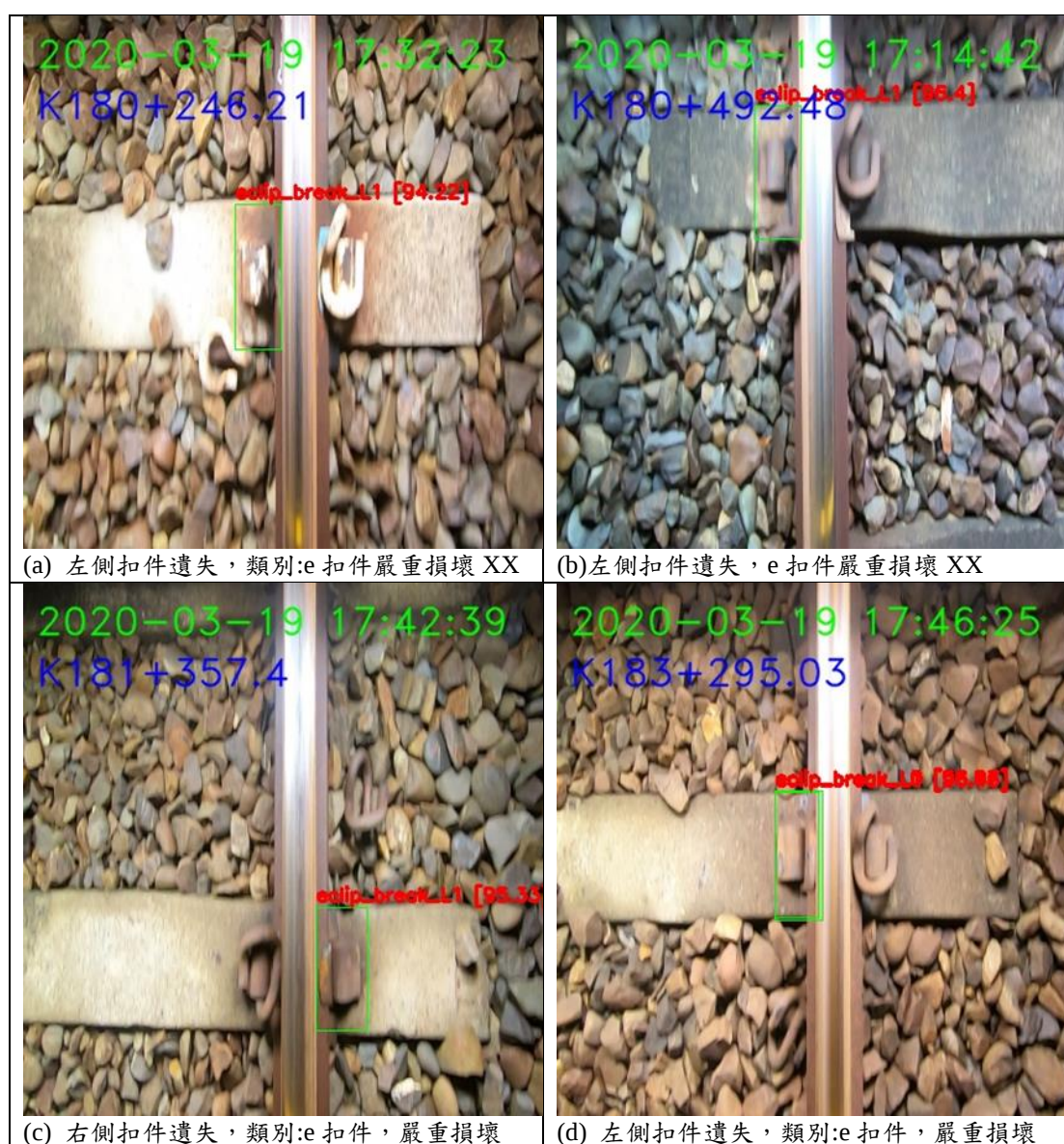
臺鐵人工檢測報告(時速 5km)			AI 系統檢測結果	
里程	線別	枕木型式	偵測確認與否	偵測類型
K180+135	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+138	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+150	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+156	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K180+254	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+295	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K180+304	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K180+320	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K180+376	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+433	西正線	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K180+570	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+570	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+630	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K180+877	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K181+079	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K181+126	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K181+354	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K181+354	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K181+355	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K181+383	西正線	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K181+597	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K181+741	西正線	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K181+805	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K182+049	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K182+199	西正線	PC 枕	Y	嚴重損壞(遺失)
K182+381	西正線	木枕	Y	e 扣件疑似偏移
K182+299	西正線	PC 枕	N	
K182+297	西正線	PC 枕	N	
K180+571	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K182+306	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K182+306	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K182+450	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移
K182+673	西正線	PC 枕	Y	e 扣件疑似偏移



圖 4.19 人工巡檢與系統檢測地圖

表4-8 AI系統辨識出未列於人工檢測表內的缺失扣件(GoPro7)

里程	線別	枕木	偵測類型	參照
K180+246.21	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (a)
K180+492.48	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (b)
K181+357.4	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (c)
K183+295.03	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (d)
K183+297.8	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (e)
K183+304.91	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (f)
K183+449.32	西正線	PC 枕	嚴重損壞(遺失)	圖 4-20 (g)



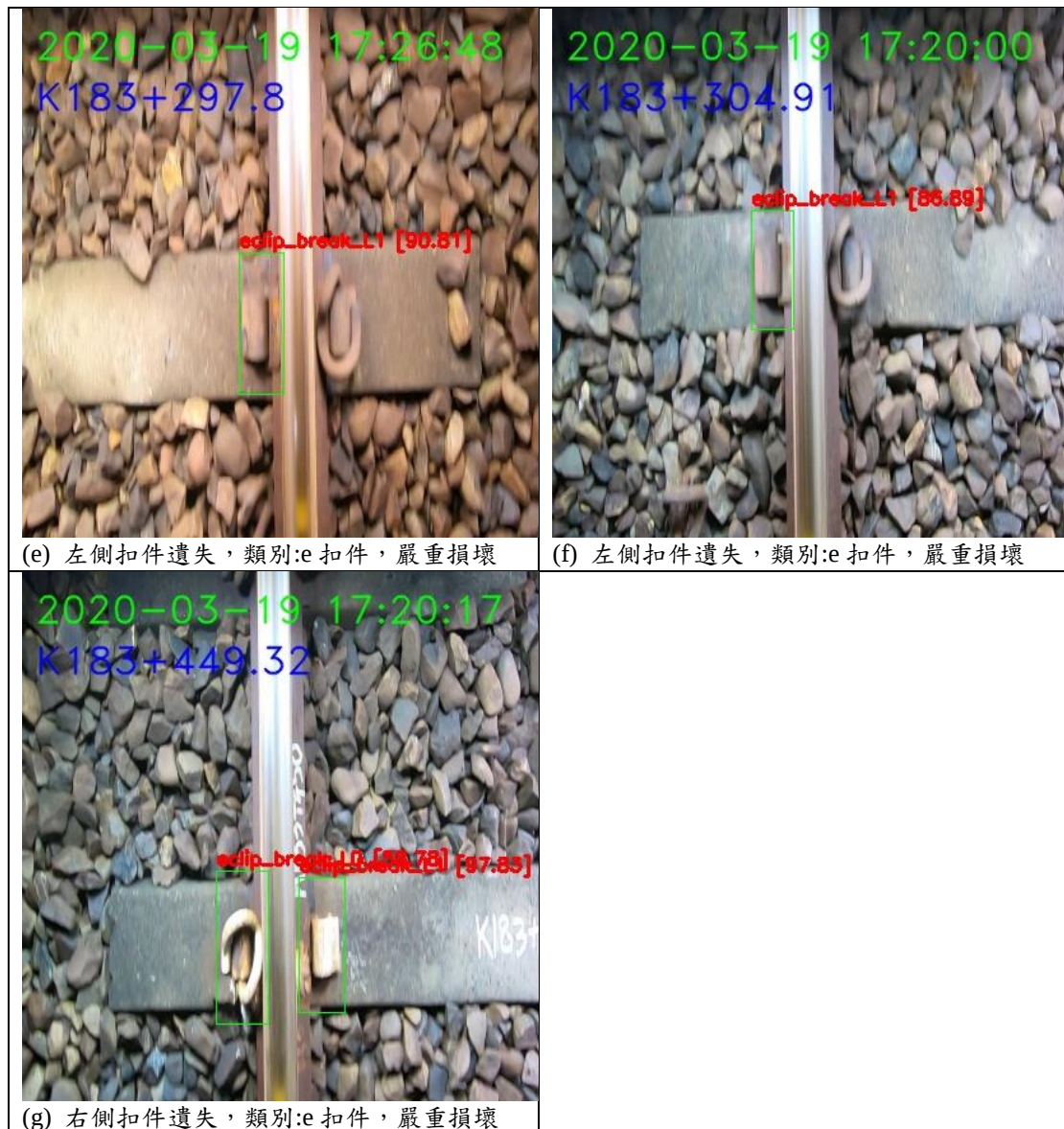


圖 4.20 檢測到 GoPro7 所錄影片的額外缺失

表4-9 AI系統辨識出未列於人工檢測表內的缺失扣件(GoPro8)

里程	線別	枕木	偵測類型	參照
K180+505.04	西正線	PC 枕	e 扣件損壞_XX	圖 4-21 (a)
K183+309.57	西正線	PC 枕	e 扣件損壞_XX	圖 4-21 (b)
K183+314.97	西正線	PC 枕	e 扣件損壞_XX	圖 4-21 (c)
K183+314.97	西正線	PC 枕	e 扣件損壞_XX	圖 4-21 (d)

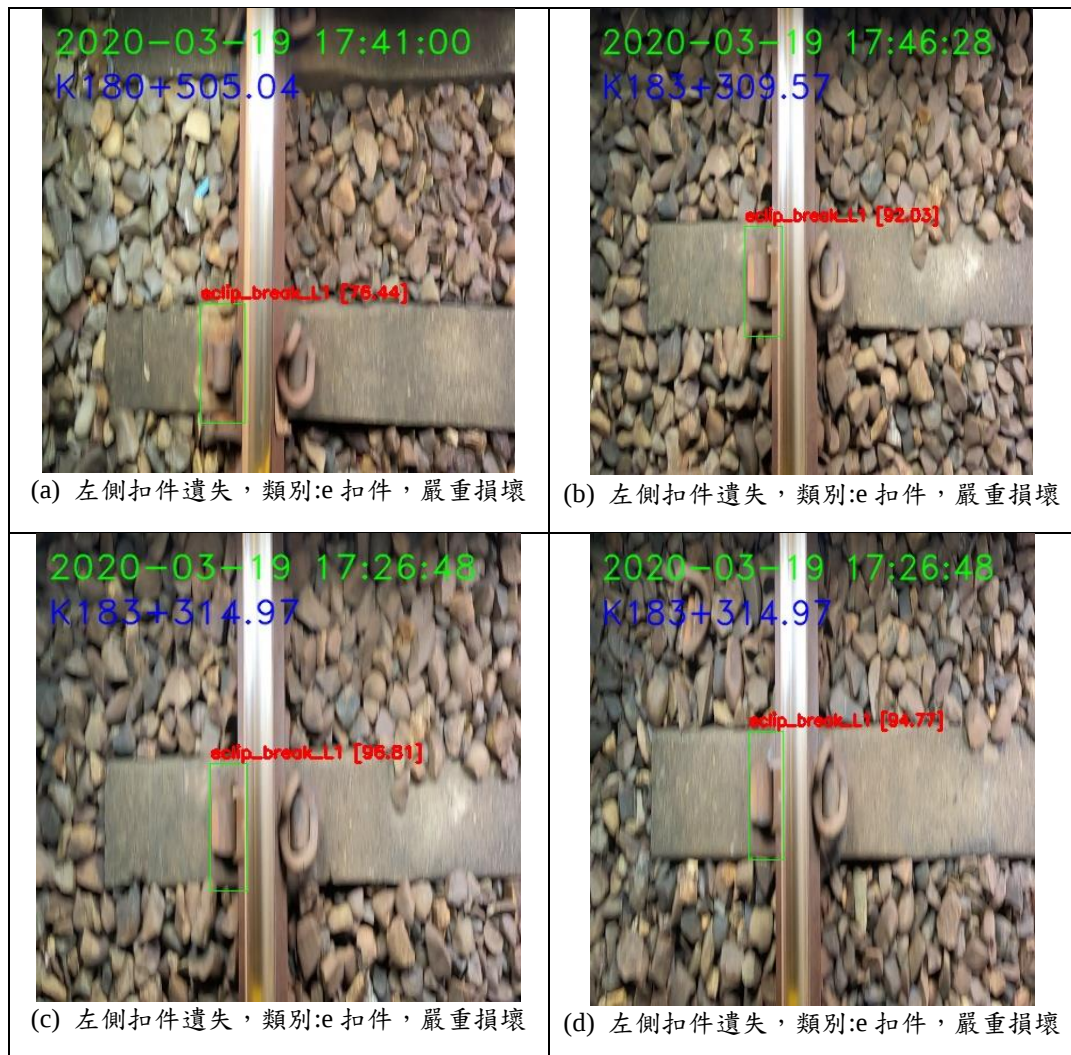


圖 4.21 檢測到 GoPro8 所錄影片的額外缺失

4.4.2 AI辨識與人工檢測比較

利用 GoPro Hero7/8 Black 所拍攝之 4 部影片進行缺失扣件辨識，當發現有缺失扣件時，則利用前述的 GoPro GPX 標定缺失扣件所在的里程地點，與人工(大甲分駐所負責檢測扣件的員工)進行同一路段評比，本扣件缺失辨識系統以 GoPro 7 所得嚴重明顯缺失 XX 結果參見表 4-10 所示(辨識結果請超連結到雲端硬碟觀看)，共 61 個，與大甲道班工人員實際現場紀錄 Ground Truth(標準答案)=52 個比較，比較方法是依定位在同一位置的扣件，即視為是同一缺失扣件，去掉重複偵測到的扣件，本計畫偵測到 46 個，因此，Recall Rate=46/52=88%，

甚且偵測出比 Ground Truth 多出 7 個缺失扣件，證實本系統確實可以輔助人力的不足之處。實際影片辨識結果，還有 2 個誤報，以及未訓練過的缺失扣件 5 個，經詢問大甲分駐所後，證實是道叉處扣件，因為 e-Clip 脫落，所以被偵測出來。所謂未訓練過扣件，亦即本系統未曾訓練過的缺失扣件，但卻能被偵測出是缺失扣件，經觀察此類扣件，原來就是 e-Clip，但卻是鎖在鐵板上，因為 AI 學習其 e-Clip 特徵，所以可推論至不同背景。

表 4-11 為 GoPro8 影片多路段辨識結果，因 GoPro8(2).mp4 定位資料損壞，僅使用(1)、(3)、(4) 三影片檔案進行統計，於 52 個錯誤中找到 35 個，額外找到 4 個嚴重缺失，所以 Recall Rate=42/52(人力檢出)= 0.81%，超出人工巡檢（Ground Truth）之 4 個缺失扣件。以上均證實本系統的可行性。

表4-10 實地驗證結果(GoPro7)

檔名	總偵測物件	E扣夾L1物件	E扣夾L1覆核 確認	備註
Gopro7(1).mp4	2529	8	7	1 罕見扣件誤報
Gopro7(2).mp4	2647	13	12	1誤報
Gopro7(3).MP4	1285	20	18	2 罕見扣件誤報
Gopro7(4).MP4	1251	20	17	1誤報，2罕見扣件誤報
https://www.google.com/maps/d/drive?state=%7B%22ids%22%3A%5B%221CfXQZ1oIURCqRrUXyNSy2UM1u25OL2OJ%22%5D%2C%22action%22%3A%22open%22%2C%22userId%22%3A%22116286437776948970790%22%7D&usp=sparing				

表4-11 實地驗證結果(GoPro8)

檔案	總偵測物件數	偵測到的 XX	XX 為真
Gopro8(1)	1559	11	11
Gopro8(2)	1634	14	14
Gopro8(3)	1279	9	8
Gopro8(4)	1679	9	9

4.4.3 AI辨識實地驗證結果

AI 辨識程式接收影像與 GPS 資訊後，即會辨識並產生結果，並依據缺失嚴重程度進行資料記錄與通知，除記錄物件辨識結果外，還包含臺鐵局內部的里程計數(百公尺樁，用途同公路里程樁，以 GPS 座標進行定位換算)與其餘的彙整資訊。

為驗證本系統 AI 模型偵測結果具有通用性，本研究亦同時測試大甲至追分西正線、追分至彰化東正線、清水至大甲東正線、彰化至清水西正線等四段區間，此四段區間除大甲段周遭外，均屬於系統從未接觸的路段，影片內包含傳統道碴軌道與平交道等設施，列表於 4-12，其中第 4 筆大甲-追分西正線左軌 4，因為僅有 2 個扣件嚴重損壞，其中道釘損壞未被偵測出，但卻讓準確率下降許多，如果剔除此筆異常，準確率將可達到 85.5%，證明本系統可在臺灣多數標準鐵路上運作。

表4-12 多路段辨識結果

類別 影像	e 扣件-嚴重 損壞(偵測)	e 扣件-嚴重損 壞(人工確認)	道釘-嚴重 損壞(偵測)	道釘-嚴重損 壞(人工確認)	準 確 率 Precision
大甲-追分西 正線左軌 1	13	13	1	1	100%
大甲-追分西 正線左軌 2	7	5	0	0	71%
大甲-追分西 正線左軌 3	7	6	0	0	86%
大甲-追分西 正線左軌 4	1	1	1	0	50%
追分-彰化東 正線左軌 1	19	19	0	0	100%
清水-大甲東 正線左軌 1	11	9	7	7	89%
清水-大甲東 正線左軌 2	8	6	0	0	75%
彰化-清水西 正線左軌 1	10	7	0	0	70%
彰化-清水西 正線左軌 2	16	13	0	0	81%
彰化-清水西 正線左軌 3	6	5	0	0	83%
彰化-清水西 正線左軌 4	2	2	0	0	100%
總計	100	86	9	8	85.5%

4.5 缺失扣件定位

在定位的部份，最常使用的定位方式不外乎就是 GPS。但目前商用 GPS 訊號的部份，因為有干擾碼的問題，所以定位精度一般為 15-20 公尺。在實際操作時，GPS 定位遺失可能是有很多因素，天候、訊號等，例如 4 月 11 日，此次錄影頻繁發生，可能是臨時因素，所以 GoPro 拍攝時要注意如圖 4.22 的紅框是否有亮起，一般而言，室外定位應該能在 3-5 分鐘內完成。GoPro 的 GPS 定位如果訊號不夠，就不

會記錄，1/10 的影片必須連續定位成功才會寫入。另一個可能就是攝影機瑕疵問題，這可能就要再測試。



圖 4.22 檢測到的額外缺失

隧道因為隔斷導航衛星與導航產品交流，為改善隧道內導航儀找不到衛星、無法進行定位的狀況，本研究使用慣性測量單元 (Inertial Measure Unit)，以加速計和陀螺儀來測量移動物體的速度、位置、距離及姿態等資訊的裝置，常常被用在飛機，潛艇，飛彈和各種太空飛行器上。

通過測量載體的加速度，將它對時間進行積分，就能得到在導航坐標系中的速度、偏航角和位置等信息，可以應用來修正 GPS 訊號飄移的問題。本研究已採購新士達陀螺儀+加速度計+GPS 三合一晶片組（如圖 4.23 所示），以及一般自行車用碼表一組（如圖 4.24 所示），結合碼表的轉速和輪子半徑，可以進行盲區導航（已修正偏移量）。目前在臺北市、新北市安裝測試正常，綠線是 GPS 定位，藍線是 GPS+IMU 導航。圖 4.25 為國道 3 號新店隧道段，藍色線為中和到宜蘭（去程），紫色線為宜蘭到中和（回程）之實測路線，可以發現在隧道內藍色線都位於紫色線右側，測試結果不錯。圖 4.26 為國道 5 號雪山隧道段，藍色線是由中和到宜蘭（去程），紫色線是由宜蘭到中和（回程）實測路線，可以發現在隧道外都很精確，但是進入隧道內

即開始偏移，在坪林進雪山隧道時，藍色線是正確的，但是隨著時間增加，誤差開始累積；同理，在宜蘭進入雪山隧道時，紫色線是正確的，但也隨著時間增加，誤差也跟著累積，但是一出隧道，馬上可以用 GPS 校正位置，結果又符合預期。



圖 4.23 新士達 IMU



圖 4.24 一般腳踏車碼表

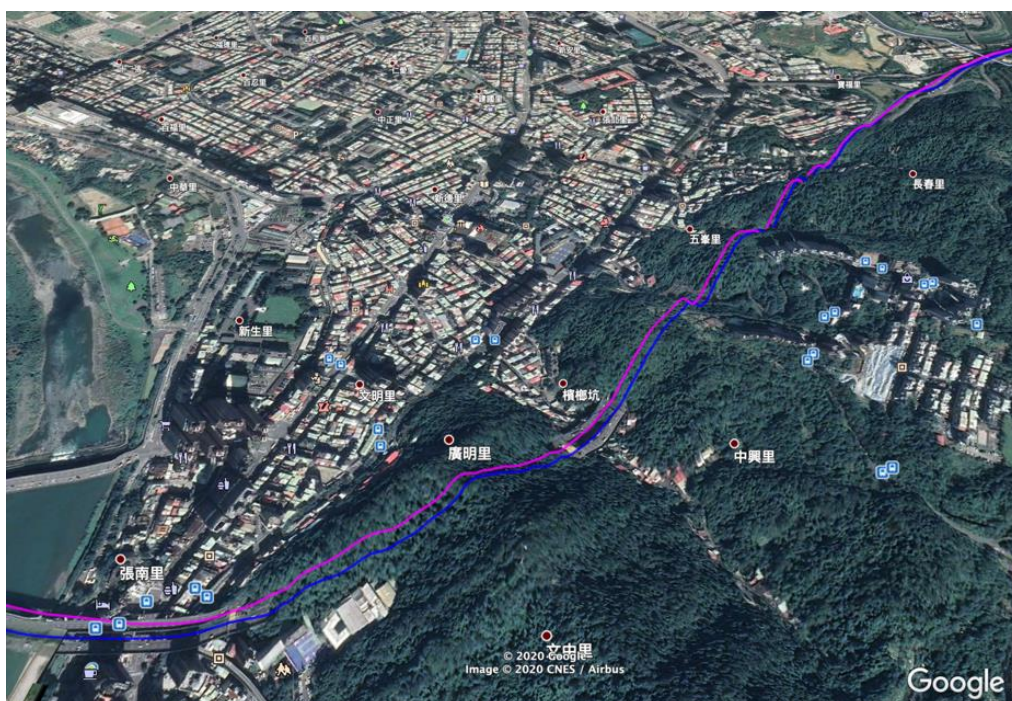


圖 4.25 IMU 測試結果，國道 3 號新店隧道段，藍色線是由中和到宜蘭（去程），紫色線是由宜蘭到中和（回程）。

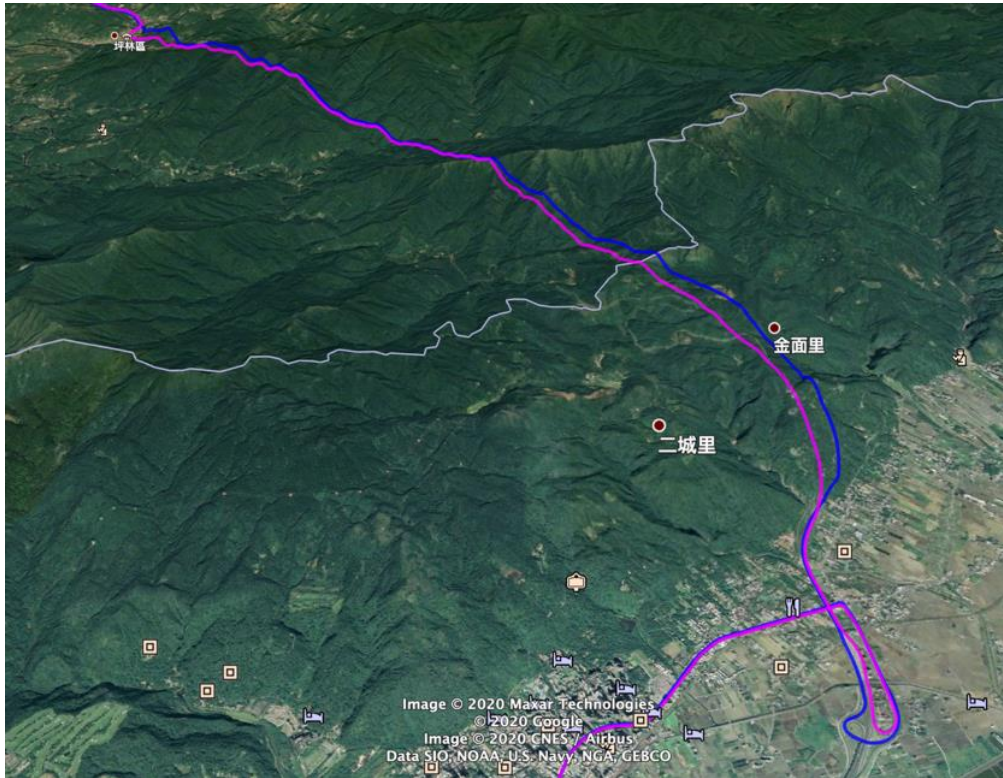


圖 4.26 IMU 測試結果，國道 5 號雪山隧道段，藍色線是由中和到宜蘭（去程），紫色線是由宜蘭返中和（回程）。

GPS+IMU 操作標準作業程序如圖 4.27 所示，109 年 4 月 29 日至大甲火車站安裝於平車並進行實測。安裝時感應器固定在平車鐵板上，其下是平車鐵輪，碼表接於 IMU 模組，在完成位置計算後，透過 USB 將資料傳送至筆記型電腦中，安裝情形如圖 4.28 所示。惟實測時發現，碼表感應器受到鐵板影響，以致於量測結果稍有偏差，但未來如將平車鑽洞，應可解決此問題。

GPS+IMU 於隧道段的測試，將列為本計畫下年度測試項目，因本年度 IMU 設備有水氣侵入，導致許多次的測試失敗，經過多次檢驗，才發現設備有缺失，目前已聯繫廠商，供應良好產品後，再於隧

道測試。對於 IMU 於隧道定位，有諸多限制，無法停車再開，因為收不到 GPS 信號，無法定位，此為限制條件。

1. 將GPS+IMU裝置正向車頭並固定，確保裝置不會晃動
2. 將GPS+IMU插到筆電上供電
3. 查看裝置輸出，確定3D定位是否成功

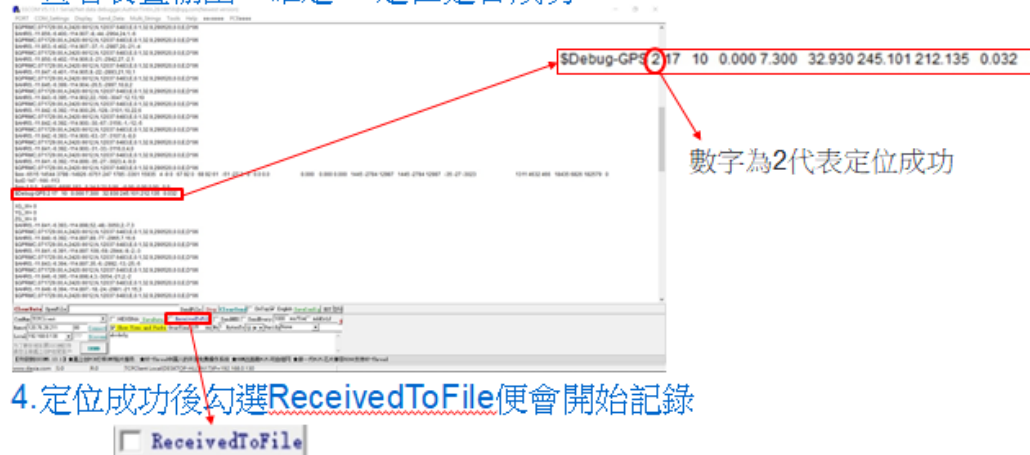


圖 4.27 GPS+IMU 模組導航標準作業程序

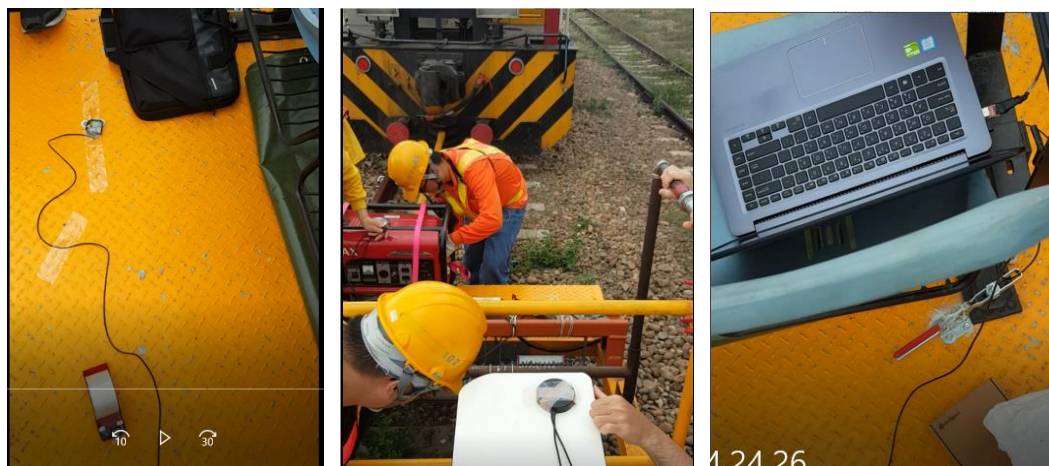


圖 4.28 IMU 安裝及實測情形

4.6 即時辨識系統

實驗假設列車以時速 60 公里速度進行移動與辨識，則移動距離為 $60 \times 1,000 = 60,000$ 公尺，每秒平均移動 17 公尺，攝影機拍攝長度約

為 1 公尺，則每秒至少須完成辨識 17 張圖片。此外，本計畫需同時進行兩個攝影機畫面的同時輸入處理並同步顯示，故即為需要兩倍的執行速度，即為每秒須辨識 34 張照片(或 0.029 秒內辨識 1 張圖片)的處理。

本研究採用執行緒(Thread)來改寫程式，是作業系統能夠進行運算排程的最小單位，也就是平行處理，多執行緒在理論上可以最大程度的利用電腦性能，但並非越多越快，如我們進行執行緒個數實驗，發現作業系統與電腦硬體需要切換才能存取不同程式的資料（Context Switching），在傳輸資料，等待資料的過程產生內部延遲。實測結果如圖 4.29 所示，以目前而言，採取 3 個執行緒處理是效能較佳的作法。

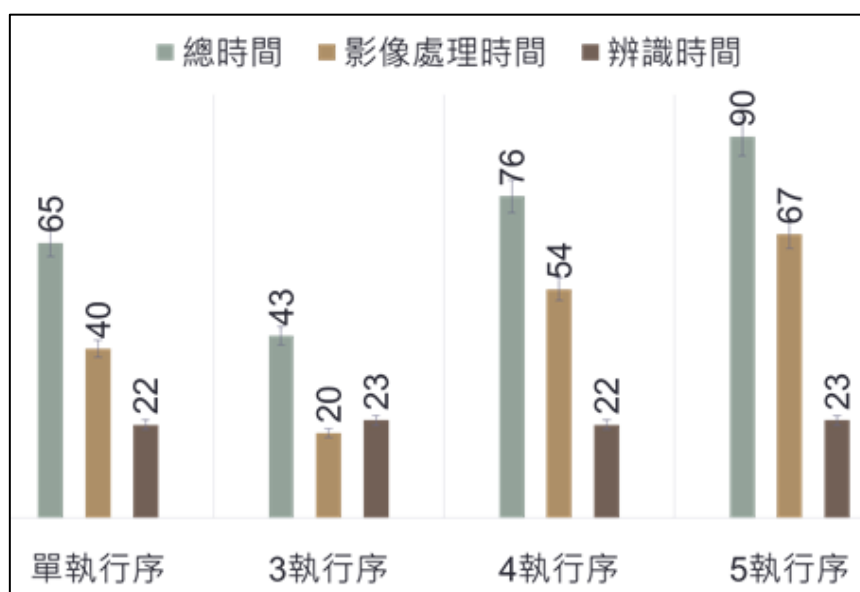


圖 4.29 執行緒個數實驗測試

為達 0.029 秒即時辨識，在不影響辨識結果下，本研究將影像解析度由原本 608x608 降為 416x416，即時辨識效能時間結果如表 4-13 所示，以自有的 AI 伺服器進行運算，其瓶頸還是在於檢測階段，也就是辨識部分，所以建議 nVidia 的人工智慧加速卡是必需的。加速卡

處理資料需要將資料自主記憶體複製至顯示卡記憶體內，處理完後再將結果複製回主記憶體，加速卡以批次處理資料，在大量資料處理的情況下有優勢，但如果以單張圖片依序傳入，則效能優勢則將較不凸顯（仍比 CPU 快），以此可得知整個系統的主要耗時均於辨識影像上，如欲加快即時模式的影像處理，還應調整模型，降低資料傳輸量。

表4-13 即時辨識效能時間分析

解析度	608x608	416x416
檢測階段	6.32 秒	6.32 秒
啟動攝影機	2 秒	2 秒
雙側攝影機影像處理	0.02 秒	0.02 秒
影像辨識(單張)	0.023 秒	0.015 秒
顯示結果	0.001 秒	0.001 秒
完整運行一次辨識流程	0.05 秒	0.033 秒

原本辨識程式流程如圖 4.30 所示，經實測有其使用瓶頸，因此調有前端程式架構與流程，採用執行緒有三個，分別為攝影機、辨識、與顯示介面，辨識程式流程如圖 4.31 所示。其中加入攝影機意外斷線時的糾錯，已可避免當機情形。主程式結構優化，現在攝影機控制函數已從中分離至獨立程序，避免因 OpenCV 版本問題造成引用失敗，且增加可讀性。

攝影機控制功能新增一個檢測函數，用於測試使用的影像來源是否可以達到指定的解析度與快門速度，影像來源函式現在會自動依據

多線程或一般使用需求解析輸入參數。影像來源函式現在的輸出格式具有 BGR 與 RGB 兩種模式，轉換模式基於記憶體陣列轉換，影像來源函式的縮小函數，從雙線性插值改為像素區域關係進行重採樣。監視介面已經與圖片辨識功能進行拆分，現在介面不再因辨識速度導致更新緩慢。

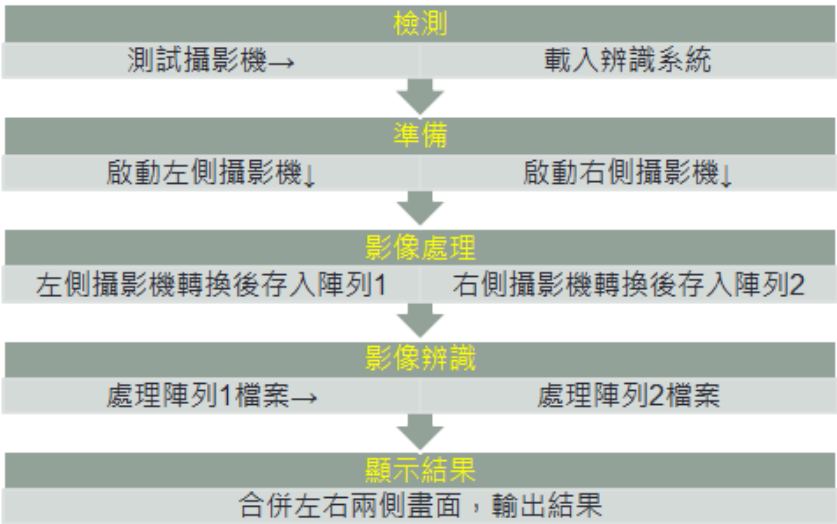


圖 4.30 即時辨識程式流程



圖 4.31 3 個執行緒處理流程

程式運行現在加入了 Signal 檢查，非正常關閉主程式時能自動將多執行序的其他子程序一併關閉；以及辨識速度控制，為維持即時的結果呈現速度，系統將在面臨資源不足時套用以下控制：略過部分輸

入或縮小結果呈現時顯示的影像。調整影像解析度對於召回率的影響如表 4-14 所示。此外，電腦硬體因為連續運作，導致溫度上升，因此，必須考慮散熱功能，表 4-15 所示筆電 C 因為系統運作速度相當快，內含 nVidia 2080 加速卡，所以溫度高達 94 度。

表4-14 調整影像解析度對於召回率的影響

	解析度 416*416	解析度 320*320
FPS(單畫面)	55.77	69.87
準確率	0.948	0.901
召回率	0.87	0.84
TP	130	125
FP	24	22
FN	19	24
閾值	0.5	

表4-15 系統連續運作的溫度與效能變化

項目↴	參數↴		
電腦↴	筆電 A↴	桌機 B↴	筆電 C↴
硬體規格↴	CPU:INTEL 7700hq↴ GPU:NV1060-6G↴ RAM:16G DDR4-2666↴ 儲存裝置: SSD↴	CPU:AMD 2700X↴ GPU:NV2080ti↴ RAM:16G DDR4-3600↴ 儲存裝置:HDD↴	CPU:INTEL I9-10980HK↴ GPU:NV2080Super(MaxQ)↴ RAM:32G DDR4-3200↴ 儲存裝置:NVMESD↴
測試網路↴	解析度 320*320 版本 ↴		
測試時間↴	連續運作 5 分鐘↴		
執行速度↴	22.1↴	69.3↴	64.5↴
系統溫度↴	78↴	62↴	88↴
測試時間↴	連續運作 30 分鐘後↴		
執行速度↴	22.8↴	70.1↴	63.01↴
系統溫度↴	88↴	65↴	94↴
測試網路↴	解析度 416*416 版本 ↴		
測試時間↴	連續運作 5 分鐘↴		
執行速度↴	17.9↴	53.6↴	53.82↴
系統溫度↴	77↴	65↴	87↴
測試時間↴	連續運作 30 分鐘後↴		
執行速度↴	17.1↴	52.36↴	49.81↴
系統溫度↴	86↴	65↴	95↴
備註↴	速度單位為 FPS，溫度單位為攝氏度↴		

即時辨識人機介面(如圖 4.32 所示)，可以選擇即時線上(On-line)或線下(Off-line)辨識。簡易的人機操作介面，方便使用者操作，輸出則匯出為 Excel 報表檔案(如圖 4.33)，報告中包含物件編號、類型、拍攝時間、百公尺樁座標、對應的結果檔案位置、對應的影片位置以及其他資訊。使用者可以馬上觀看，或待有空時再隨時打開觀看。



圖 4.32 即時辨識操作人機介面

物件編號	類型	時間	百公尺植	儲存位置	影片中幀	detection_GPS
1	損壞	#####	K184+000	D:\worksps	1700	eclip_break(24.3101959, 120.6044244)
2	損壞	#####	K184+000	D:\worksps	1820	eclip_break(24.3102209, 120.6044236)
3	損壞	#####	K183+900	D:\worksps	2364	eclip_break(24.3105046, 120.6045176)

圖 4.33 辨識結果可隨時觀看或匯出為 Excel 檔案

4.7 成本效益分析

表 4-16 為不同查道方式每次查道的人事成本，假設每周查道 1 次，1 年查道 52 次，AI 查道方式相對於徒步查道方式其人事成本每年可省下約 300 萬($57,255 \times 52$)，相對於 2 部維修車查道方式也可省下約 44 萬($8,529 \times 52$)。AI 查道方式除人力外尚須購置設備，所需費用如表 4-17 所示共 65.5 萬元，維修車成本不算在內，因為 3 種巡查

方式都要用到維修車。整體而言，AI 查道方式之精確率略高於徒步查道方式，明顯高於 2 部維修車查道方式。若用 AI 查道方式來替代徒步查道方式，2.6 個月節省下的人事成本便可購置所需的設備；若用 AI 查道方式來替代 2 部維修車查道方式，則是 1.5 年節省下的人事成本即可購置所需的設備。

表4-16 查道人事成本

項目 查道方式	總 人 數	帶 班 人 數	日薪 (NT\$)	工作 人數	日薪(NT\$)	合計 (NT\$)	相對AI查道之成本差異 日/月/年 (查道每週1次 / 每月4次 / 每年52次)
AI查道	5	1	3,047	4	2,741	14,011	0/0/0
2部維修車查道	8	2	3,047	6	2,741	22,540	8,529 /34,116 /443,508
徒步查道	26	0		26	2,741	71,266	57,255 /229,020 / 2,977,260

表4-17 所需設備成本

品項	單價(NT\$)	數量	小計(NT\$)
平車	400,000	1	400,000
發電機	35,000	1	35,000
高效能筆電	100,000	1	100,000
高階伺服器	68,000	1	68,000
Gopro 攝影機	20,000	2	40,000
高功率 LED 投光燈	3,000	4	12,000
總計			655,000

4.8 教育訓練

為推廣本計畫研究成果，109 年 10 月 16 日舉辦教育訓練。目前扣件影像辨識測試準確率達 85.5%，未來將再進一步提升改善，最終，期能達到鐵路軌道扣件 AI 影像辨識檢測替代人工巡檢的目的。教育訓練講義，「軌道辨識系統網站使用手冊」參見附錄一、「軌道扣件辨識系統手機 APP 介面手冊」參見附錄二、「即時軌道扣件辨識系統介面手冊」參見附錄三。當天實際演練的情形參見圖 4.34(a) 與(b)。



(a)



(b)

圖 4.34 教育訓練實際操作(a)維修車吊掛平車至側線演練，(b)設備架設情形。

第五章 結論與建議

軌道運輸為臺灣地區最主要的交通路網運輸工具之一，軌道巡檢擔負軌道運輸安全的重要任務，傳統鐵路軌道扣件巡檢方式係採用人工目視方式進行巡檢，而人工目視巡檢受限於巡檢車速及視察角度等問題，至今並無法有效快速進行，因此，本研究提出利用人工智慧(AI)方式協助完成巡檢任務，可有效提升巡檢效率，降低巡檢人員視察拘限等問題。本研究規劃利用照相機或攝影機搭配 AI 深度學習方法，作為鐵路軌道扣件自動判釋分析之用途，用來替代目前人工巡檢工作，達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的。

5.1 結論

目前各工作項目已全部完成，研究成果條列如下：

1. 已蒐集國內外軌道檢監測案例及商業化產品共 6 項，並分析其設備、方法及國內適用性，詳參見第二章，並有相關 AI 扣件檢測技術文獻。
2. 軌道扣件攝影及照明設備等影像擷取系統精進，除時速 30 公里以上拍攝外，需達到系統穩定、長時間拍攝及影像即時傳輸之目的。經過 109 年 3 月 20 日、4 月 11 日、4 月 18 日、9 月 19 日，夜間實測後，GoPro 7/8 均可長時間錄影。另 109 年 5 月 29 日測試 GoPro7/8/工業攝影機，均可即時傳輸至前端電腦辨識，正常運作。
3. 側向拍攝之需求，主要是魚尾鈑的檢測，拍攝方法研析，詳參見 4.1.2 節。
4. 軌道扣件檢測系統辨識準確度精進，在前一期以 YOLO v3 驗證，扣件辨識率 82.5%，扣件缺失檢出率 74.5%，雖可達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的，但是仍然有進步的空間。本期計畫採

用 YOLO v4，訓練方式改用缺失扣件資料，扣件缺失檢出率 (Recall rate) 提升至 87%，類別平均準確率(mAP)提升為 94.8%，辨識系統速度更高達 55 張/秒(在表 4-15 筆電 C)。SSD 的辨識模型初步驗證效果也不錯，經過調校後，也跟 YOLO v4 不相上下。

5. 軌道扣件定位方式精進，研析隧道段定位方法，採用慣性測量儀器(IMU)，有效將 GPS 飄移現象修正，且利用車速資訊，可以更精確地定位出有問題的扣件位置，因本年度 IMU 設備有水氣侵入，導致許多次的測試失敗，經過多次檢驗，才發現設備有缺失，更新設備後在國道 3 號高速公路進行測試，實證隧道是可以用的，未來將測試火車隧道。
6. 建立扣件缺失之辨識準則，將目前較少見的缺失扣件排除，如滑床板、護軌墊板，並將常見扣件缺失細分為輕微缺失 X 和嚴重損壞 XX，總共為 10 類，詳參 4.2.1 節，並建立扣件缺失資料庫，以供後續訓練與測試。
7. 建立軌面缺失之辨識準則，分為 2 類軌面缺失(鋼軌裂縫 XX 及踏面不整 X)，詳參 4.2.2 節，此部分資料目前較少，後續將逐步累積欠缺的缺失樣本。
8. 選定一鐵路軌道區（含隧道段、版式軌道段）進行扣件檢測系統之實地應用及驗證（里程至少 70 公里），提出正常扣件檢出率及缺失扣件檢出率並驗證。已於 9 月 19 日完成全部軌道攝影，共約 70 段影片，含有隧道段、版式軌道段等，AI 測試的結果，缺失扣件的辨識率為 86%。3 月 20 日於臺中工務段進行「成果效益」的實地驗證，路段是從大甲站至臺中港站來回共四趟，第一趟人工與 GoPro 7 錄影的偵測比較、第二趟 GoPro 再錄一次，第三趟 GoPro 7 跟 8 東西軌互換攝影，第四趟一樣是互換後機器跟

機器自己的比較，測試區間包含二座小隧道，一座約 30 公尺，一座約 60 公尺。其中 GoPro7(8)影像已辨識完畢，AI 辨識 Recall Rate=46/52=88%(81%)，甚且偵測出比 Ground Truth 多出 7(4)個缺失扣件，證實本系統確實可以輔助人力的不足之處。

9. 利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，辨識軌道扣件缺失及軌面缺失，目前已可正確辨識軌面缺失，惟資料相較於其它缺失扣件，數量少很多，可以持續累積資料量。
10. 建立即時扣件（不含軌面缺失）辨識系統並於現場實務應用，建立筆電與手機 APP 查詢缺失扣件影像及地圖定位搜尋功能。
11. 撰寫本案成本效益分析，整體而言，AI 查道方式之準確率略高於徒步查道方式，明顯高於 2 部維修車查道方式。

5.2 建議

目前建立具可擴充性的軌道扣件缺失辨識準則與資料庫，以 YOLO v4/SSD 進行訓練，結合前端影像收集、影像處理及前後端影像分析與辨識，建立一套具實用價值的軌道扣件判釋解決方案，並經實際正線測試驗證其可行性。

經實際驗證其成本效益，未來可大量減輕道班工人員之工作負擔，並可減少人力之支出，減輕經濟成本的壓力，期望能有效疏解目前臺鐵局基層鐵路巡檢人力不足之問題。建議未來持續改善工作內容包括：

1. 訓練資料建立

持續增加缺失樣本以供訓練，可以增強本系統的辨識能力。

未來將訓練新人員協助進行標記工作，以期能加快資料處理速度；並將現有辨識結果中辨識錯誤者，進行探討，若屬 FP 誤殺，將新增此負樣本，若屬 FN 誤放，就必須人工將整個影片看過，才找

得出來正樣本，譬如鋼軌裂縫等軌面缺失，這樣雖須大量人力針對影像內容進行驗證處理，將目前所錄製路段的缺失扣件統計出來，不過為維護鐵道安全，也是必須要做的。

2. 軌面缺失的自動化處理機制

軌面缺失的照片相當少，本研究採取 1. Review 並重新組合或調整 model 架構。2. 將資料進行正規化。3. 使用 dropout 技術。4. 使用 Data augmentation（資料增強）技術，以補足資料不足而導致的過度擬合(over-fitting)問題。一張圖片經過旋轉、調整大小、比例尺寸，或者改變亮度色溫、翻轉等處理後，我們人眼仍能辨識出來是相同的相片，但是對機器來說是完全不同的新圖像了，因此，Data augmentation 就是將 dataset 中既有的圖片予以修改變形，以創造出更多的圖片來讓機器學習，彌補資料量不足的困擾。本計畫利用 Data Augmentation 方式，增加軌面缺失的資料，已驗證可行，所以未來會在扣件缺失資料集，持續增加與維護。

3. 扣件缺失定位與隧道定位

因陀螺儀設備商供貨有瑕疵，之前隧道測試的結果時好時壞，目前已確認是產品瑕疵，雖然尚未成功在隧道段定位，但已經在高速公路隧道測試成功，未來將再進行鐵路隧道實測。

4. 雖已建立手機查詢缺失扣件影像及定位搜尋功能，未來仍需要多進行實測，如挑一路段進行辨識穩定度測試，以符合臺鐵局現場維修人員使用。
5. 扣件缺失雲端辨識系統，建議可先移轉至臺鐵局，但需要配置相關軟硬體設備與人力操作維護。
6. 即時辨識系統的實務操作，建議需要兩台維修車一前一後，前車即時辨識結果可以 5G 方式傳輸至後臺雲端資料庫，後車再以 5G

方式連接雲端資料庫，取得尚未維修扣件資料，進行維修後予以註記維修完成。此項建議須與維修單位討論後，實測驗證。

5.3 預期效益與應用情形

1. 提供一軌道扣件缺失及軌面缺失的輔助巡檢系統，協助軌道扣件巡檢判釋，提高軌道扣件巡檢效率及扣件即時維修等管理效能。
2. 提供臺灣鐵路管理局等鐵道巡檢作業實務運用，並可提供交通部鐵道局、臺灣高速鐵路公司、臺北大眾捷運公司、高雄捷運公司等相關軌道管理單位參考。

參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局，認識臺鐵，取自 <https://www.railway.gov.tw/tra-tip-web/adr/about-1-5> 臺灣鐵路路線建造史，查詢日期：2020 年 2 月 19 日。
2. 黃荻昌，臺灣鐵路發展經緯-從歷史軌跡看臺灣鐵路成長，臺灣鐵路史臺鐵瑞龍風華百年圖像展，2008 年 11 月 6 日。
3. 交通部臺灣鐵路管理局，臺灣鐵路路線建造史，取自 <https://www.railway.gov.tw/tw/CP.aspx?sn=3700&n=6841>，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
4. 臺鐵鐵軌扣件，Blair's 鐵道攝影，取自 http://blair-train.blogspot.com/2014/06/blog-post_89.html，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
5. 臺鐵南迴線連續破壞事件，維基百科，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/臺鐵南迴線連續破壞事件>，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
6. 交通部，2018，1067 公厘軌距鐵路長焊鋼軌鋪設及養護規範，交通技術標準規範鐵路類工務部。
7. How Swiss Federal Railways Is Improving Passenger Safety With The Power Of Deep Learning, 2018, Forbes.
8. Railway imaging systems, ENSCO, <https://www.ensco.com/rail/track-imaging-systems>，查詢日期：2020 年 1 月 19 日。
9. Pavemetrics, Laser Rail Inspection System (LRAIL), 2019, Canada, <http://www.pavemetrics.com/applications/rail-inspection/laser-rail-inspection-system/>,查詢日期：2019 年 1 月 14 日。

10. Networking and Multicasting for Railway Inspection, <https://www.pleora.com/markets/transportation/railway-inspection/> , 查詢日期：2020 年 1 月 19 日。
11. Visual Inspection Systems for Track Maintenance, bvSys Bildverarbeitungssysteme, <https://www.railway-technology.com/contractors/track/bvsys/> , 查詢日期：2020 年 6 月 18 日。
12. 臺北捷運公司，TRTC 臺北捷運北投機廠軌道檢查車 EM-80E , <https://www.youtube.com/watch?v=JqEQARYCkag> , 查詢日期：2020 年 6 月 18 日。
13. Abhi Ladola, Chirag Parekh, Dhaval Patel and Henal Bhagatwala, 2018, Solar Based Railway Track Fault Detection System, International Research Journal of Engineering, Vol. 5, Issue, 5, May.
14. S. Ritika, Shruti Mittal, and Dattaraj Rao, Railway track Specific Traffic Signal Selection Using Deep Learning.
15. Mehmet Karakose, Orhan Yaman, Mehmet Baygin, Kagan Murat and Erhan Akin, 2017, A New Computer Vision Based Method for Rail Track Detection and Fault Diagnosis in Railways, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 6, No. 1, Jan.
16. Xavier Gibert ; Vishal M. Patel ; Rama Chellapp, “Deep Multitask Learning for Railway Track Inspection,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Volume 18 Issue 1, Jan, 2017.
17. 劉鈺韋，2010，高速影像擷取與枕木定位應用於軌道監視系統，國立臺灣科技大學電機工程系碩士論文，臺北市。
18. 陳南鳴、謝翔宇、劉鈺韋，2008，軌道運輸系統之監控技術開發，科技部計畫編號：NSC 97-2221-E011-151-MY3，執行期間：97 年 8 月 1 日至 100 年 7 月 31 日。

19. Luis Fernando Molina Camargo, et al., 2011, Machine Vision Inspection of Railroad Track, Graduate Research Assistant, University of Illinois at Urbana Champaign, Grant No. DTRT07--G--005 of the U.S. Department of Transportation, Final Report, January.
20. J. Chen, Z. Liu, H. Wang, A. Núñez, and Z. Han, “Automatic defect detection of fasteners on the catenary support device using deep convolutional neural network,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 67(2): 257-269, February 2018. DOI: 10.1109/TIM.2017.2775345
21. Joseph Redmon and Ali Farhadi, YOLOv3: An Incremental Improvement, 2018, 1804.02767, arXiv.
22. Liu, Wei and Anguelov, Dragomir and Erhan, Dumitru and Szegedy, Christian and Reed, Scott and Fu, Cheng-Yang and Berg, Alexander C., “SSD: Single Shot MultiBox Detector,” Lecture Notes in Computer Science, pp. 21-37, 2016.
23. Shaoqing Ren and Kaiming He and Ross Girshick and Jian Sun, Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks, 2015, 1506.01497, arXiv.
24. YOL 與 SSD 比較, <https://chtseng.wordpress.com/2019/03/19/hand-gesture-test-for-YOLO-ssd-mobilenet-inception/>, 查詢日期：2019 年 1 月 16 日。
25. Alexey Bochkovskiy and Chien-Yao Wang and Hong-Yuan Mark, “YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection,” 2020, eprint=2004.10934, [arXiv:2004.10934](https://arxiv.org/abs/2004.10934)
26. Jacob Solawetz, “YOLOv5 New Version - Improvements and Evaluation,” June 29, 2020, <https://blog.roboflow.com/YOLOv5-improvements-and-evaluation/>

27. 臺鐵局各種里程標，Blair's 鐵道攝影，取自 http://blair-train.blogspot.com/2011/11/blog-post_8911.html，查詢日期：2019 年 1 月 16 日。
28. 林雅雯、謝禎罔、黃維信、謝尚琳、洪瑋宏、李明德，扣件缺失辨識系統建置研究，交通部運輸研究所-港灣季刊，第 116 期，2020 年 6 月。
29. Ya-Wen Lin, Chen-Chiung Hsieh, Wei-Hsin Huang, Sun-Lin Hsieh, and Wei-Hung Hung, Railway Track Fasteners Fault Detection using Deep Learning, 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering, 3-6 Oct. 2019.
30. Wang, C. Y., Mark Liao, H. Y., Wu, Y. H., Chen, P. Y., Hsieh, J. W., & Yeh, I. H. (2020), "CSPNet: A New Backbone That Can Enhance Learning Capability of CNN," Proceedings of 2020 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, pp. 1571-1580, 2020.
31. 機器不學習，"深入淺出 Yolov3 和 Yolov4-小編看過最好的介紹 YOLO 的文章," 科技, 取自 <https://kknews.cc/tech/3yzxlza.html>., 查詢日期：2020 年 6 月 15 日，
32. Simonyan, K. and Zisserman, A. "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition," arXiv:1409.1556 [cs.CV], 2015.

附錄一

軌道辨識系統網站使用手冊

軌道辨識系統網站使用手冊

(一)登入畫面：

軌道扣件缺失辨識系統

帳號

密碼

登出成功

登入 註冊

合作單位

(二)系統功能：

- 1.新增→上傳檔案
- 2.瀏覽檔案→查看上傳檔案
- 3.檢視結果→查看辨識結果
- 4.修改個人資料

軌道扣件缺失辨識系統

您好, TMP

新增 瀏覽檔案 檢視結果 修改個人資料 登出

合作單位

(三)新增：

軌道扣件缺失辨識系統 新增 瀏覽檔案 檢視結果 TMP 登出

上傳模式： ☒ 影片

線別 ☐ 東正線 ☐ 東副線 ☐ 西正線 ☐ 西副線 ☐ 東線 ☐ 西線 ☐ 中線 軌別 ☐ 左側 ☐ 右側 區間 ☐ 台中線 ☐ 縱貫線

附註

檔案附註說明

點擊或拖曳檔案上傳

上傳 ☐ 僅上傳不辨識

上傳檔案格式 1. 影片 2. 圖片

檔案詳細資料填寫

檔案上傳區域

確認上傳與執行動作

(四)瀏覽檔案：



軌道扣件缺失辨識系統						TMP	登出
新增		瀏覽檔案		檢視結果			
檔案類型	上傳日期	起訖座標	線別軌別區段	辨識狀態	備註	操作	
影片	2020-03-24 14:15:08	起點：K179+395.32 終點：K184+14.11	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	20_0320_gopro7(1).MP4		
影片	2020-03-24 14:23:06	起點：K184+5.3 終點：K179+394.15	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	20_0320_gopro7(2).MP4		
影片	2020-03-24 14:37:05	起點：K179+403.25 終點：K184+13.16	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	20_0320_gopro7(3).MP4		
影片	2020-03-24 14:42:44	起點：K184+18.68 終點：K179+402.0	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	20_0320_gopro7(4).MP4		
影片	2020-03-25 22:55:10	起點：K161+78.65 終點：K166+937.9	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	----		
影片	2020-03-25 22:56:19	起點：K159+480.14 終點：K159+919.17	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	----		
影片	2020-03-25 22:56:19	起點：K157+455.19 終點：K158+532.15	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	----		
影片	2020-03-25 22:56:19	起點：K150+609.25 終點：K153+600.91	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	辨識完成	----		
影片	2020-03-26 09:17:38	起點：K145+428.17 終點：K145+557.82	線別:東正線 軌別:右側	辨識完成	----		

(五)檢視結果：

僅顯示所選類別名稱

下載本地圖報表

在地圖上顯示本檔起始位置

系統操作

檢視損壞扣件位置

檢視檔案

軌道扣件缺失辨識系統 新增 瀏覽檔案 檢視結果 TMP 登出

物件名稱 起點 終點

道釘明顯損壞

篩選

下載報表(資料數大時需稍候字串)

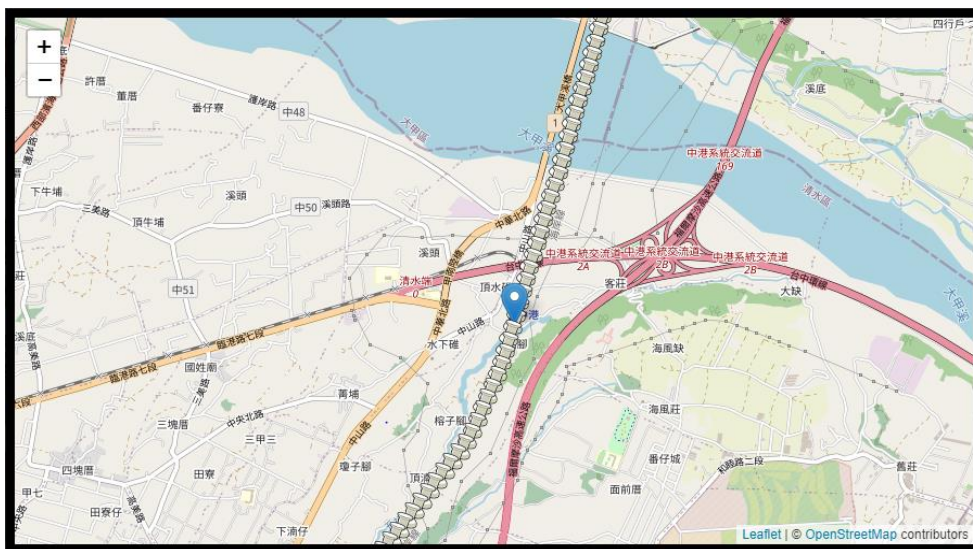
僅顯示嚴重損壞 顯示本表地圖

顯示 10 項結果

檔案	物件名稱	辨識分數	時間點	操作	緯經度
	名稱：道釘明顯損壞	51.5900	2020-04-11 16:07:07	 	緯度：24.302360 經度：120.602004 K184+913.31
	名稱：道釘明顯損壞	79.1700	2020-04-11 17:22:28	 	緯度：24.081129 經度：120.537781 K215+671.78
	名稱：道釘明顯損壞	67.6700	2020-04-11 17:34:12	 	緯度：24.111172 經度：120.578383 K210+13.58

搜尋:

(六)檢視結果之系統操作：檢視損壞扣件位置



附錄二

軌道扣件辨識系統手機 APP 介面手冊

軌道扣件辨識系統手機 APP 介面手冊

1. 下載方式：



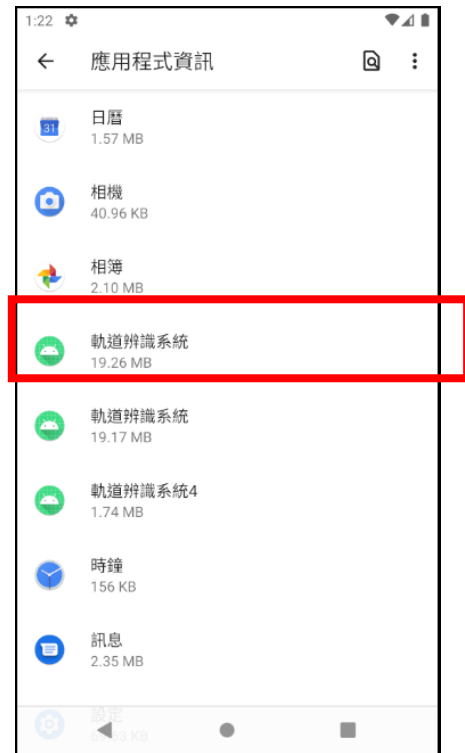
2. 版面配置：與一般網頁一樣



3.權限設定：依照步驟設定



點開應用程式和通知



找到軌道辨識系統 APP



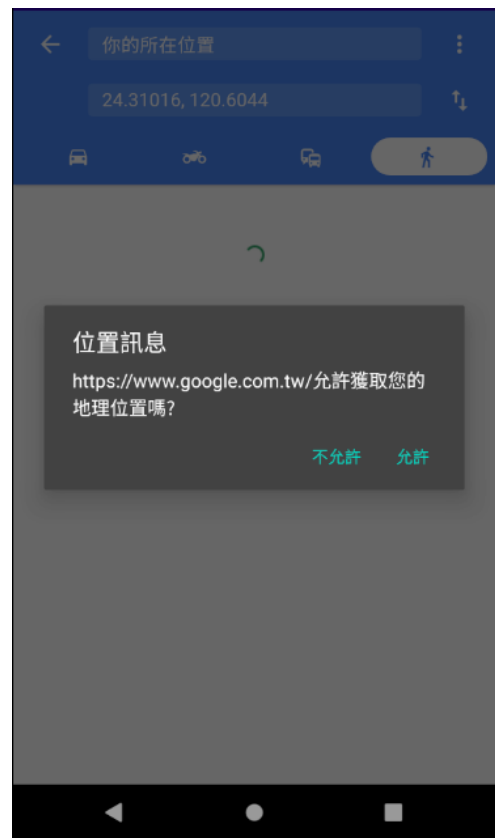
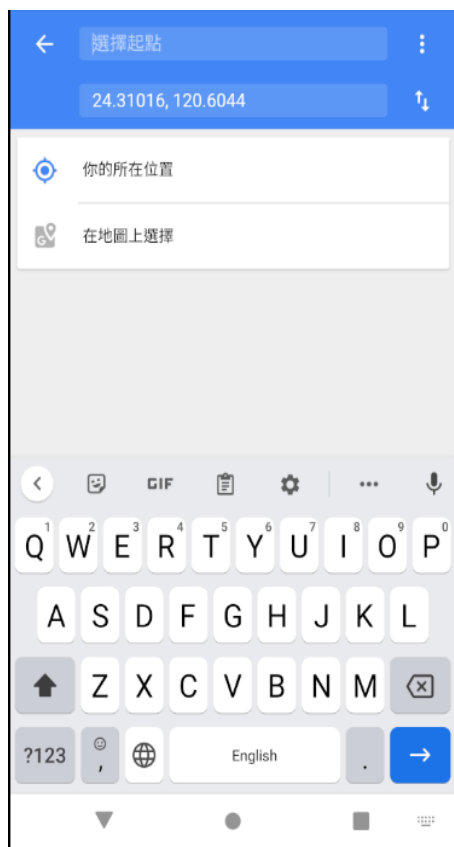
點開權限



打開位置和檔案權限

4.定位系統：適用於有 GPS 的裝置上

時間點	操作	緯經度
2020-03-19 16:58:51		緯度：24.310165 經度：120.604450 K184+14.11
2020-03-19 16:58:51		緯度：24.310165 經度：120.604450 K184+14.11
2020-03-19		緯度：24.310165



5.地圖標示：1.路線 2.本人位置 3.扣件位置



6.檔案上傳：APP 檔案上傳目前沒有開放功能

登出

上傳模式：

影片

線別

☐ 東正線

☐ 東副線

☐ 西正線

☐ 西副線

☐ 東線

☐ 西線

☐ 中線

軌別

☐ 左側

☐ 右側

區間

☐ 台中線

☐ 縱貫線

附註

檔案附註說明

點擊或拖曳檔案上傳

上傳

☐ 僅上傳不辨識

附錄三

即時軌道扣件辨識系統介面手冊

即時軌道扣件辨識系統介面手冊

1. 啟動程式步驟

- Step 1 開啟命令提示字元(cmd)
- Step 2 將資料夾切換到程式的目錄下(cd C:\qt_ui-master)
- Step 3 輸入 python main.py 按下 Enter
- Step 4 啟動程式等待初始化介面開啟

```
Microsoft Windows [版本 10.0.19041.630]
(c) 2020 Microsoft Corporation。著作權所有，並保留一切權利。

C:\Users\User>cd C:/NewUI

C:\NewUI>python main.py
[ ]
```

2. 程式操作介面步驟

STEP 1 啟動程式後會開啟初始化介面

STEP 2 選擇區間，使用下拉式選單或自行輸入

STEP 3 選擇線別，使用下拉式選單或自行輸入

STEP 4 選擇軌別，使用下拉式選單或自行輸入

STEP 5 選擇鏡頭，東軌西軌各選擇一個鏡頭編號

STEP 6 按下左邊的即時系統按鈕進入即時辨識系統介面

選擇區間

☒ 快速選擇 苗栗段

☐ 自行輸入

選擇線別

☒ 快速選擇 東正線

☐ 自行輸入

選擇軌別

☒ 快速選擇 左側

☐ 自行輸入

選擇攝影機

東軌 西軌

0 0

選擇即時線下

即時系統 線下系統

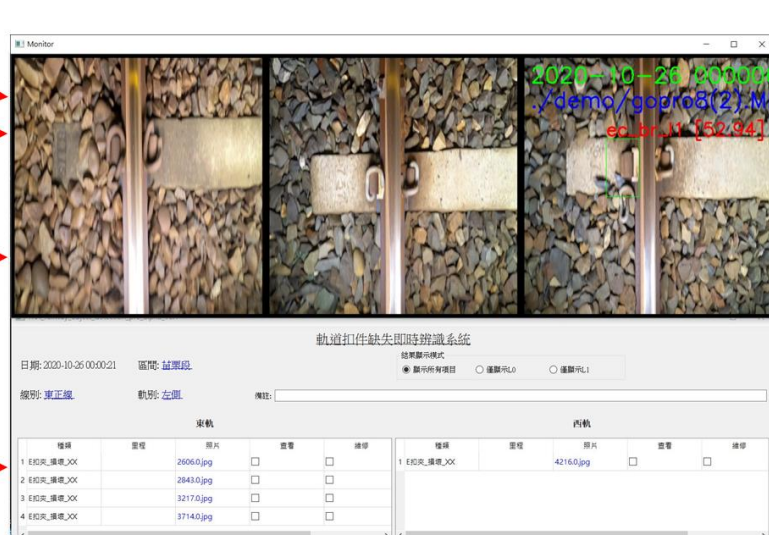
STEP 7 進入即時辨識系統介面

顯示當前時間

顯示選擇的線別、區間、軌別，
若想更改任一處只需點兩下藍色的字，即可做更改

左邊為東軌畫面 中間為西軌畫面
右邊為損壞的軌道畫面

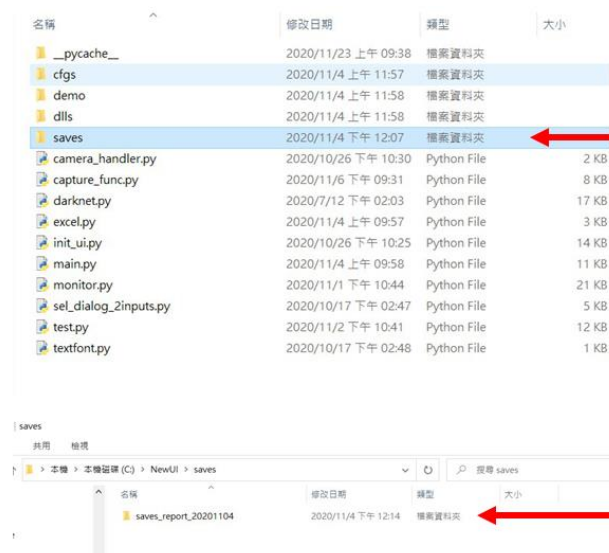
表中會列出詳細的損壞資料



STEP 8 按下右上角關閉鍵在按下是
確定關閉後就會停止程式，報表也
會儲存起來。

STEP 9 報表存在當程式的資料夾
中有個saves

STEP 10 點開後裡面會有當下日期的
資料夾(ex: save_report_20201104)

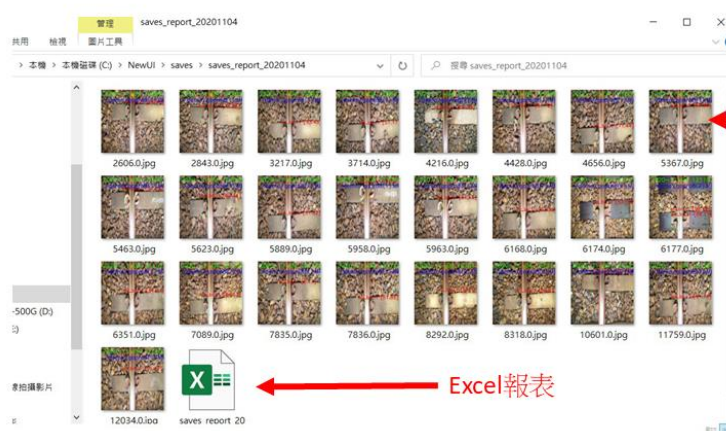


報表儲存
位置

當前時間
的資料夾

STEP 11 點開資料夾裡面會有壞掉扣
件的的照片和excel報表

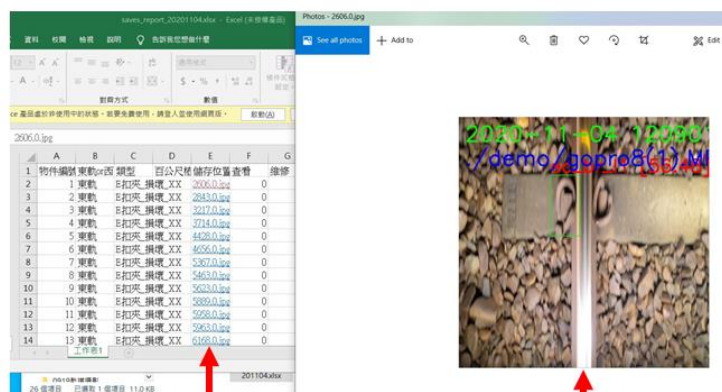
STEP 12 點開excel報表，裡面會有詳
細的扣件資料



所有圖片

Excel報表

STEP 13 裡面excel中的儲存位置欄位
可以直接點選，會顯示壞掉扣件的
圖片



點選此欄位

會開啟此壞掉
扣件之圖片

附錄四

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：軌道扣件巡檢系統建置(2/2)- 扣件缺失辨識系統精進驗證

合作研究單位：大同大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、廖慶隆委員		
1.只針對軌道扣件辨識即可，其餘軌道面平整、魚尾鉸等，現階段建議仍以人工巡檢方式辦理。	軌面及魚尾鉸辨識為臺鐵工務段提出之需求，將進一步與臺鐵討論，軌面及魚尾鉸辨識自動辨識具可行性。	同意合作研究單位處理情形。
2.建議無須做到即時辨識，軌道扣件錄影加上缺失定位，隔天維修亦可。	即時辨識為臺鐵工務段提出之需求，將進一步與臺鐵討論，本案系統亦有錄影後辨識功能。	同意合作研究單位處理情形。
3.建議以預防式維修之概念進行軌道扣件辨識。	本計畫缺失扣件分為 L0(輕微)與 L1(嚴重)即為此概念，嚴重缺失之扣件需立刻修理，輕微缺失之扣件辨識即為提前預警並可適時維修。	遵照辦理。
4.本案之貢獻應著重在 AI 部分，應有適當之方式解決特殊扣件問題(少見的案例無法學習)。	本計畫缺失扣件的照片一直都是很少量的，第一期計畫透過 Data Augmentation 的方式，成功驗證 AI 的辨識能力，本期計畫僅以缺失扣件進行訓練，即使少量或少見的扣件，仍可成功辨識扣件缺失。	同意合作研究單位處理情形。
5.應擴及到在營運車輛上進行檢測。	樂見其成，配合辦理。	營運車輛上檢測需臺鐵局同意後再進行研究，因車速及安裝位置皆會有所不同，如系統發展成熟，可朝此方向研究精進。

二、廖崑亮委員		
1.表 1-1 甘特圖之預定進度、實際進度及查核點之相關資料呈現不清楚，建議考量修正。	謝謝委員提醒，表 1-1 已將預定進度、實際進度以不同符號表示，至於查核點會在每月月底的工作會議報告說明，承辦單位都可以確實掌握計畫進度。	同意合作研究單位處理情形。
2.扣件缺失檢出是否考量精進介於 L0 與 L1 之間。	本計畫將缺失扣件分為 L0(輕微)與 L1(嚴重)共 2 類，依現場扣件缺失情形難以在 L0 與 L1 之間再分出一類，主要難以定義此中間類缺失，且攝影角度的偏差，也可能無法精確定義。	同意合作研究單位處理情形。
3.期中報告內文多次出現「錯誤!找不到參照來源」，建議修正。	謝謝委員，已修正。	同意合作研究單位處理情形。
三、賴永康委員		
1. YOLOv3是general purpose 的深度學習網路，是否會針對鐵路扣件的應用來設計深度學習網路。	Yolov3 神經網路可以辨識種類約 80 種，大多是以公開資料集 CoCo 為測試對象，本計畫針對鐵路扣件重新訓練，辨識準確率與召回率符合需求；將來若時間與經費足夠，可考慮重新設計深度學習網路。	同意合作研究單位處理情形。
2. 人工辨識的人工是專家還是一般人或學生，應說明清楚。	4.4 節所提以人工進行辨識，指的是專家，也就是大甲分駐所負責檢測扣件的員工。已更新於 4.4 節第 3 段。	同意合作研究單位處理情形。
3. 運算平台是否夠快?是否可將PC-based system 改成 Embeded system(Nvidia	運算平台目前效能是足夠的，Yolov3 在 nVidia Tx2	同意合作研究單位處理情形。

Xavier)得到好處。	大約 3~4fps，至於 nVidia Xavier 的效能，大約 12fps，而目前 Lenovo+1080 筆電的效能為 22.8fps。	
4. 為何不用 Accuracy? 辨識率如何?	$Accuracy = (TP + TN) / Total$ ，一般 TP 很少，TN 很多，就不適合用此評估，因為很容易就超過 90%，辨識率是泛稱，亦不適合。	同意合作研究單位處理情形。
5. 實際場域驗證如何安排缺失扣件也應說明清楚。	已補充於 4.4 節，說明如何安排缺失扣件，以及辨識結果。	同意合作研究單位處理情形。
四、洪士林委員		
1. 報告中多處出現「錯誤，找不到參照來源」，請訂正。	謝謝委員，已修正。	同意合作研究單位處理情形。
2. 請列出失敗案例，並檢討漏失原因，是資料標記問題，還是少數案例?	漏失主要原因是畫面模糊，因為實際錄影時車速有時太快，或者是角度太偏，將鬆脫部分遮掩住。	未來研究計畫將針對辨識失敗即漏失或誤判情形做進一步研討。
3. 如何確保不會有過度訓練(學習)之現象。	進行深度學習訓練時會觀察 mAP 與 loss error 曲線，一般過度訓練發生在 epoch 越多反而 error 越大，若有此現象發生，就是資料標籤有誤、或者資料多寡不均，此時即採用 Data Augmentation 解決問題。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告中之準確率為 precision 或 accuracy? 定義是否正確。(請列出公式)。	報告中的準確率均為 precision，並已新增表 4-4 說明公式，亦將文中所有評估指標加上原文，以避免誤解。	同意合作研究單位處理情形。
5. 表 4-6 之罕見扣件誤報，何謂罕見扣件?	所謂罕見扣件，亦即本系統未曾訓練過，但卻能偵測出的缺失扣件。經觀察此類罕見扣件為 e-Clip 固定於鐵板上，而一般常見型式是固	同意合作研究單位處理情形。

	定於混凝土枕木或木枕木上。	
6.流程中以「辨識程序」所花費的時間最長，如何由訓練(測試)資料著手處理(如擷取 ROI 影像、取樣中心、取樣頻率等)。	本計畫採用 1-stage object detection Yolo，非傳統 CNN，Yolo 的訓練是將整張照片正規化到 416*416，但有類似 ROI 概念的 Anchor，我們會以此進行加速運算。	同意合作研究單位處理情形。
7.研究中所採用之 DL(Deep Learning)方法(YoLo v3、v4 或 SSD、Faster R-CNN 等)均為既有之 OD(object detection)模型，能修正或精進的部分有限，建議多從資料取樣、標記、清理著手，以利提高辨識正確率及降低錯放率(FP)。	感謝委員建議，將朝資料取樣、標記、清理著手，以提高辨識正確率及降低錯放率(FP)。	同意合作研究單位處理情形。
8.圖 3-17(P3-16)之隧道內定位演算法之假設為火車定速行駛，請確認是否與現況一致。	此部份會再確認現場隧道內行駛車速，目前軌道錄影時速以 30km/h 為上限，未來，將測試陀螺儀的備案。	同意合作研究單位處理情形。
9.本研究為缺失辨識，建議寧可錯殺，絕對不能誤放。	將朝委員建議方向努力。	同意合作研究單位處理情形。
五、朱我帆委員		
1. P3-9、P3-8、P4-3...等，「錯誤，找不到參照來源」有誤，請修正。表 4-1 扣件缺失照片太小。	謝謝委員，已修正。表 4-1 照片亦已放大。	同意合作研究單位處理情形。
2. P4-3、P4-4，本章節描述用詞未盡專業，請修正。	謝謝委員指正，已修正。	同意合作研究單位處理情形。
3.請補充每套設備，含軟體、硬體費用，以供日後臺鐵全面使用評估。	因為尚有高階筆電，以及陀螺儀相關設備待測試，即時辨識系統的軟硬體費用，將在期末報告時提出。	同意合作研究單位處理情形。
4.側向攝影可易於辨識斷軌，但是否增加設備之執行能	側向攝影會增加設備，每一鋼軌需要在兩側投射燈	側向攝影非在本研究計畫範圍內，將列為後

力(含攝影機、電腦等)。	光及攝像頭，因此比現有上視攝影要多出兩倍的設備費用，本期計畫限於經費，暫不考慮。	續研究辦理方向
5.本案執行至今，扣件辨識已更形進步，但依據現場測試，車速影響辨識率極大，希望研究團隊能以30km/hr 時速為標準，做最佳辨識。	遵照辦理，將採用較高速之筆電進行辨識，以避免畫面被省略，導致缺失扣件未被偵測出來。	同意合作研究單位處理情形。
6.日後於實際應用，即時判讀極為重要，可讓人員於巡查作業後，立即找出錯誤位置，馬上整修不良處所。	遵照辦理，此為工作項目之一。	同意合作研究單位處理情形。
六、本所陳天賜副所長		
1.本案請與臺鐵局研討，軌道扣件辨識系統如欲部分取代人工巡檢，軌道缺失扣件人工智慧辨識結果之準確率需達到何種程度。	經多次與臺鐵局大甲分駐所團隊討論，均認為只要超過人工目視檢測，即可部分取代人工巡檢。	同意合作研究單位處理情形。
2.軌道扣件為集合名詞，包含多種扣件，如魚尾鉸…等是否納入，建議軌道部分扣件由系統取代人工巡檢為目標，在此目標下須辨識之元件優先處理，人工巡檢仍需執行，故本案人工智慧辨識範疇建議釐清。	謝謝委員指正，本案人工智慧辨識範疇之檢測項目如表 4-1，再加上軌面缺失如表 4-2 所示。	同意合作研究單位處理情形。
3.本案請與應用單位臺鐵局臺中工務段密切配合，俾利研究成果符合應用單位實務所需。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。
4.報告中準確率、召回率…等名詞建議定義清楚且寫出公式，以利閱讀理解。	已於期中報告新增表 4-4 說明公式，也將文中所有評估指標加上原文，以避免誤解。	同意合作研究單位處理情形。

5.建議研析舉辦軌道扣件人工智慧辨識與人工巡檢比賽之可行性，如可行，建議適時舉辦。	將與臺鐵局大甲團隊討論，此項比賽的可行性與後續相關規劃。	同意合作研究單位處理情形。
七、本所港研中心第一科賴瑞應科長		
1.報告 P3-27 定義正樣本(待偵測標的)及負樣本(非偵測標的)，請問一下缺失扣件是屬於正樣本還是負樣本，請加強正負樣本的說明。	以軌道扣件而言，正樣本就是缺失扣件，負樣本就是正常扣件。此段說明已新增於期中報告內。	同意合作研究單位處理情形。
2.報告 P4-8 軌面缺失種類為斷軌、軌面變形及裂縫 3 大類，考量臺灣不會出現變形類，所以缺失歸納為表 4-2 之鋼軌裂縫及踏面不整兩類，似乎無斷軌，另外踏面不整似乎是變形之關係，報告論述與表格似乎不符，請確認。	謝謝委員指正，已更新於 P4-8。	同意合作研究單位處理情形。
3.報告 P4-10 提到缺失扣件召回率一詞，建議補充缺失扣件召回率之定義說明。另外，報告內有許多英文名詞如 over kill, Ground Truth, TP, FP 等英文名詞，如為第一次出現請加強定義說明。	已於期中報告新增表 4-4，和一段文字說明公式與專有名詞，也將文中所有評估指標加上原文，以避免誤解。	同意合作研究單位處理情形。
4.報告 P4-19 提到採用執行緒來改寫程式，請說明何謂執行緒。	已新增說明於 P4-20。	同意合作研究單位處理情形。
5.建議 AI 辨識系統可以區分為兩套系統，一套系統僅針對臺鐵局過去發生對軌道安全影響較嚴重的扣件缺失來做即時辨識，即	將與臺鐵局大甲團隊討論，是否採用此方案，本計畫將盡力配合。	同意合作研究單位處理情形。

時發現缺失即時處理；另一套是針對所有可能之扣件缺失做辨識，這一套是在影像拍攝完成後回到辦公室後再由系統慢慢辨識，再針對缺失扣件安排時間處理，以滿足臺鐵局使用上的需求。		
6.建議若研究經費及期程許可，可再增加實測次數，以利精進系統。	遵照辦理，目前尚有部分路段未錄製完成。	同意合作研究單位處理情形。
7.報告 P3-8 表 3-1 之工業用攝影模組電池僅 150mAh，是否正確，請確認。	確認數據為正確，因其非常省電。	同意合作研究單位處理情形。
八、本所港研中心第一科林雅雯研究員		
1.報告格式請依出版品要點修改。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。
2.4 月 11 日及 4 月 18 日影片請儘速辨識完成，置於網站上並可下載缺失 EXCEL 報表。	遵照辦理，陸續將完成。	同意合作研究單位處理情形。
3.本案網站及影片上傳功能，請大同大學檢視更新並定期檢測及維護。	9/1 起將指派新的網站管理人員，定期檢測及維護。	同意合作研究單位處理情形。
4.3 月 20 日人工目視與 AI 辨識之比較，GoPro8 定位資訊取得程式，請大同大學儘速採購，並完成與目視檢測之結果比較。	已完成採購，並將 GoPro8 結果製成表 4-8，新增於期中報告內。其 Recall Rate= $\frac{42}{52}(\text{人力檢出})=0.81\%$ ，超出 Ground Truth 4 個缺失扣件。	同意合作研究單位處理情形。
5.3 月 20 日人工目視與 AI 辨識之比較，AI 辨識多檢出的部份請於工作會議中影像逐個檢視，並製作缺失 EXCEL 報表。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。
6.軌面辨識，納入宜蘭段提供之負樣本，請於工作會	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。

議展示目前執行進度。		
7.現地軌道扣件使用筆電(等級、效率)、2 臺攝影機同時錄影程式及慣性導航系統程式的搭配，請規劃完善，俾利日後臺鐵人員隧道現場拍攝使用。	遵照辦理，將於 8 月工作會議示範操作。	同意合作研究單位處理情形。
8.報告中的軌道專有名詞請與臺鐵人員確認。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。

附錄五

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證

合作研究單位：大同大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、朱我帆委員		
1. p.3-16「隧道不要太長，應可精確定位」，長度之限制為何？	本計畫在北部國道三號測試，有較大偏移量者為12.9km之雪山隧道，因其屬於長距離隧道，另外曲率較大者如木柵隧道，其偏移量也大，一般適用隧道長度在2.0km以內，未來也將以軟體修正偏移量。	同意合作研究單位處理情形。
2. p.4-10無道「渣」應為「礫」。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
3. p.4-11「斷軌」請改為「裂縫」，表4-1及4-2建議圖片放大。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
4. 請統一用詞「扣件」，勿用扣夾、e-clip，請全面校對。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
5. 表4-8「找不到參照來源」，請更正。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
6. p.4-39表4-16請增加月、年之效益。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
7. 請增列每次實際測試時間、地點、日期、氣候及成果表。	目前雲端服務網站所提供影片的相關欄位，沒有氣候，但有一個欄位是“附註”，也可以輸入氣候，未來可視需求新增一個氣候欄位。	同意合作研究單位處理情形。
8. 正確率86%能否再提升？	要提升正確率，必須把False Positive 或 False Negative盡量減少，最佳的做法是將系統誤判的資料，持續更新至訓練集，且須增加缺失扣件	同意合作研究單位處理情形。

	樣本數。	
9. 本局未來何時可使用系統？使用系統有無版權或智慧財產權等問題？系統未來軟、硬體可否擴充或更新？	本計畫是由運研所提供研究經費，因此版權或智財權是運研所擁有，本計畫可配合系統移轉；臺鐵局若需使用，必須另購置相關軟硬體費用，系統未來軟、硬體可依計畫案進行擴充或更新。	同意合作研究單位處理情形。
10. 即時辨識測試成果為何？可否達到立即整修之目的？存檔量大是否會影響傳輸速度？	如表4-14所示，在解析度416*416下，FPS=55.77，準確率0.95，召回率0.87，若降低解析度至320*320，準確率及召回率會稍微下降，但FPS=70，已超過34的門檻，可達立即整修之目的。辨識結果會先暫存筆電硬碟，若需傳輸則需無線網路或4G網路，資料量應該不至於太大，除非連續扣件都是缺失。	同意合作研究單位處理情形。
11. 本案獲臺鐵局創新獎提名殊榮，感謝運研所之協助，目標為辨識鋼軌裂縫與踏面缺失。	今年蒐集之鋼軌裂縫僅有少數上視照片，未來將持續增加樣本資料。	本案亦感謝臺鐵局之合作辦理。
12. 期能製作e課程予本局作為存檔紀錄。	未來系統功能修正後，會將教育訓練課程錄影，提供為e線上課程教材。	同意合作研究單位處理情形。
二、廖崑亮委員		
1. p.3-2圖3.1之清晰度不夠，建議修正。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
2. p.3-4圖3.2其內容(影像前處理)，建議考量修正。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
3. p.4-9表4-1之清晰度不良，建議修正。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。

4. p.4-11、p5-2期末報告內有關「斷軌」及「裂縫」之用詞，建議修正。	已統一改用「鋼軌裂縫」。	同意合作研究單位處理情形。
5. p.4-11表4-2之清晰度不良，建議修正。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
6. p.4-27表4-12所列出準確率，其差異性甚大，建議補充說明其原因。	已補充說明於p.4-27，表4-12前之文字段落。	同意合作研究單位處理情形。
7. p.4-39表4-16查道人事成本，建議考量列入車輛使用成本，另AI設備成本是否考量軟體費用。表4-17之表頭誤繕，建議修正。	維修車在3種情況下，都需要使用，所以不影響成本效益計算，故不列入表4-16。 另外AI軟體費用，本計畫配合移轉故不列入。表4-17表頭已修正。	同意合作研究單位處理情形。
8. p.5-3有關軌面缺失的自動化處理機制，建議考量補充其說明內容。	已補充說明於p.5-41，原該段落之處。	同意合作研究單位處理情形。
三、賴永康委員		
1. 軌面裂縫Defect未來可加入Defect之Dataset中，以加強鐵路缺失改善。	遵照委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
2. 可針對無法辨識的Defect，探討為何偵測不出的原因，未來可增加更高的辨識率。	遵照委員建議，將現有辨識結果中辨識錯誤者，進行探討，若屬FP誤殺，將新增此負樣本，若屬FN誤放，就必須人工將整個影片看過，才找得出來正樣本，這比較耗時費力。	同意合作研究單位處理情形。
3. 可再增列技術亮點的說明。	謝謝委員建議，未來不僅既有亮點提升，更期能創造亮點。	同意合作研究單位處理情形。
四、洪士林委員		
1. 請確認報告書中圖的來源，若非自行繪製，請標示來源或出處	遵照委員建議，已標示來源於各引用處。	同意合作研究單位處理情形。

(如 YOLO、SSD 網路架構圖)，以免觸犯著作權問題。		
2. 文中提及GoPro8之攝影效果較GoPro7佳，但4-15、4-24之影像均較模糊，宜再確認該影像是否有誤或是因振動所造成之結果。	感謝委員提醒，圖4-20 (GoPro 7)、圖4-21 (Gopro 8)，看起來畫質差不多，可能是因為車速無法定速，拍攝時車速快了一些，或是螺栓未鎖緊導致震動，以至於畫面較模糊，所幸訓練樣本夠多，尚可以辨識成功，未來取像將注意畫質是否清晰。	同意合作研究單位處理情形。
3. 未來工作提及欲徵求工讀生協助標記工作實不可行，案例之Labeling為深度學習(AI)最關鍵的工作，此計畫之影像有其專業領域知識(Domain knowledge)在其中，宜由專家進行標記且相互驗證後，方可加到資料庫中使用，因AI是data driven的系統，錯誤的訓練資料，將使AI模型無法收斂。	感謝委員建議，本計畫之資料標記工作由已經參與計畫一年的大四生執行，其具備軌道扣件專業領域知識，未來若需進行大量標記工作，工讀生將予以教育訓練，再相互驗證，以確保訓練資料的正確。	同意合作研究單位處理情形。
五、賴瑞應委員		
1. 報告第1-6頁圖1.2文字請改為標楷體。	已遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形。
2. 定稿報告因已完成研究案所有工作項目，已毋須將本研究案之甘特圖及查核點做說明，爰此，建議將報告第1-7頁1.5小節之內容刪除。	遵照委員指示辦理，已刪除該小節內容。	同意合作研究單位處理情形。

3. 3.2節研究步驟，內容包括10.研究成果發表及11.進度審查，此兩部分似乎不屬於研究步驟，建議刪除此部分內容。	10.研究成果發表列出已發表之研討會及期刊內容，11.進度審查已刪除。	同意合作研究單位處理情形。
4. 3.3預期成果，此期末報告階段，是否報告還要說明預期成果，應該著重研究成果說明，爰此，建議刪除。	遵照委員建議，已刪除3.3預期成果。	同意合作研究單位處理情形。
5. 3.4節可能遭遇之困難及解決方案，撰寫內容似乎是服務建議書的寫法，相關可能遭遇的問題是否已於本研究實測後解決或尚須尋求較佳方案，應予補充說明。	遵照委員建議，已修正於3.4節。	同意合作研究單位處理情形。
6. 報告第4-5頁圖4.6，請加強說明魚尾鉸上方鋼軌接縫中間為何是因為彈性疲勞所造成的損壞，為何低溫會造成鋼軌磨損，請補充說明。	遵照委員建議，已增列出處，補充說明： https://news.housefun.com.tw/news/article/195643184718.html	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告第4-17頁圖4.17之TP、FN、FP、TP是否均標示錯誤，請確認。另外，建議應針對實際損毀扣件本研究研發之系統辨識為正常的案例做探討，以瞭解原因及研擬如何改善，以避免再發生，讓 Recall rate 達到	謝謝委員指正，圖4.17已更正。 遵照委員建議，將現有辨識結果中辨識錯誤者進行探討，若屬FP誤殺，將新增此負樣本，若屬FN誤放，就必須人工將整個影片看過，才找得出來正樣本，這比較耗時費力。 此外，必須說明的是 Recall rate在學理上是不	同意合作研究單位處理情形。

100%，如此才能讓臺鐵局安心使用本系統。	太可能達到100%，如果要達到100%就會有許多的誤殺，造成維修人員疲於奔命，反而增加人力的負擔。	
8. 報告第4-39頁表4-16查道人事成本，相關人數及日薪建議請臺鐵局再確認。	此項資料是臺鐵局台中工務段大甲分駐所所提供，並在10月工作會議確認。	同意合作研究單位處理情形。
9. 第五章標題建議改為結論與建議，並將內容重新調整。	遵照委員建議已修正。	同意合作研究單位處理情形。
10. 報告格式請再檢核是否符合本所格式。	遵照委員建議，按照貴所格式撰寫。	同意合作研究單位處理情形。
六、謝幼屏委員		
1. 本研究的目的是在利用人工智慧方式協助軌道巡檢任務，目前的扣件缺失檢出率達87%，類別平均準確率亦達94%，顯示本研究已經獲得相當不錯的研究成果。大家會很關心這個系統能否實際移交給臺鐵局實際使用，解決基層巡檢人力不足的問題？尚有哪些問題仍待克服？研究團隊評估仍需多少時間處理與解決相關問題？建請在報告的最後一章做說明。	謝謝委員肯定，並已按照委員建議，修正第5章，於5.2節條列出未來有8項問題尚待克服。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告1-7頁指出因真實情況的軌面缺失非常少見，造成樣本照片尚未蒐集完成，除了依報告5-3頁所指出利用Data Augmentation方式增	遵照委員建議，將現有辨識結果中辨識錯誤者，進行探討，若屬FP誤殺，將新增此負樣本，若屬FN誤放，就必須人工將整個影片看過，才找得出來正樣本，譬如鋼	同意合作研究單位處理情形。

加軌面缺失的資料之外，是否可以透過再增加實測里程，取得更多的軌面缺失樣本？解決此一問題，並再進一步提升辨識率？	軌裂縫等軌面缺失，這樣做雖比較耗時費力，不過也是必須要做的。	
3. 簡報中所提到的成本效益分析，在報告結論處未做說明，請補述。	遵照委員建議，將成本效益分析列為5.1節結論第11點。	同意合作研究單位處理情形。
4. 「第5.2節未來工作內容」所述有些是今年的工作，有些是未來的後續研究，建請提送定稿報告時修改，只列出未來的後續研究。	遵照委員建議，修正5.2節只列出未來建議工作。	同意合作研究單位處理情形。
5. 請問p.2-2最後一段，倒數第5-3行，「該系統生成即時異常報告…並自動建立…」其中的「自動建立所有關節和永久資料庫中的裂縫。」是何義？	謝謝委員指正，已修正於p 2-2頁。	同意合作研究單位處理情形。
6. 報告內部分打字錯誤、編排錯誤，請修正。	感謝委員指正，已修正。	同意合作研究單位處理情形。
(1) p.1-1圖1-1的[3]為上標。 (2) 各章的標題請放大字形，改為粗體字，並依本所規定編排。 (3) p.4-35，表4-14的標題與表格請放在同一頁。 (4) p.5-2倒數第3行「累積」改「累積」。 (5) 請加中英文摘要。 (6) p.2-2第2-4行語句不順，請略作修改。		同意合作研究單位處理情形。

七、交通部臺灣鐵路管理局臺中工務段		
1. 隧道內的扣件定位須繼續測試解決。	遵照委員建議，將於下期計畫完成。	同意合作研究單位處理情形。
2. 網頁版面優化，建議依新舊影片排序，方便現場人員使用。	遵照委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
八、陳副所長天賜		
1. 報告4-13及4-14頁有關 T(rue)、F(alse)、P(ositive)、N(egative)、Accuracy、Precision及Recall指標之定義，請增列期末報告審查會議上之附加表格說明。	遵照委員建議，將附加說明列為圖4.14。	同意合作研究單位處理情形。
2. Precision 及 Recall 皆為重要指標，正常扣件卻辨識為缺失(假警報False alarm)及缺失扣件卻辨識為正常(未辨識出缺失)皆同等重要，建議兩者皆注重並提昇精確度。	遵照委員建議，表4-4將同時注重 Precision 與 Recall 的 AP 與 mAP 列出。	同意合作研究單位處理情形。
3. 同路段建議來回拍攝，以了解其辨識穩定度。	遵照委員建議，已列為5.2節未來建議工作項目4。	同意合作研究單位處理情形。
九、林雅雯研究員		
1. 第1-7頁表1-1甘特圖及查核點，「目前執行狀況為第1~5月的進度…」該段文章內容請修正，甘特圖內不須標實際進度。	謝謝委員指正。	同意合作研究單位處理情形。
2. 第3-16頁第2段，「對	本計畫在北部國道三號	同意合作研究單位處

於台灣隧道，只要不要太長，應該就能夠精確定位。」太長的定義請清楚界定，報告中「台」請修改為「臺」。	測試，有較大偏移量者為12.9km之雪山隧道，因其屬於長距離隧道，另外曲率較大者如木柵隧道，其偏移量也大，一般適用隧道長度在2.0km以內，未來也將以軟體修正偏移量。 遵照委員建議修正於p. 3-16。	理情形。
3. 第3-23頁圖3.22 Yolo v4與其他AI模型效能比較，並沒有SSD及YOLACT，建議補充。	圖3.22是以MS COCO資料集做測試，本計畫尚未有多餘人力用SSD跑完所有COCO資料集。一般來說SSD比較快但mAP較低一些。至於Yolact則功能比Yolo還要多，類似Mask RCNN的遮罩，以目前計畫而言，將不會採用此模型偵測其形狀。	同意合作研究單位處理情形。
4. 第3-26頁最後一段「根據[24]資料看起來… SSD-MobileNet還是較佳的選擇」，第3-27頁第2行「從資料看來…」請將根據的資料補充並說明完整。	遵照委員建議修正於p. 3-26。	同意合作研究單位處理情形。
5. 第3-30頁10.研究成果發表「規劃可發表的研討會及期刊及第3-31頁未來將視執行成果…再進行投稿」請修正。	遵照委員建議修正於p. 3-30。	同意合作研究單位處理情形。
6. 第4-4頁圖4.5上面有一個圖未標圖號，建議修正。	謝謝委員指正。	同意合作研究單位處理情形。

7. 第4-10頁倒數第4行「明顯」脫落應為「輕微」脫落，版式軌道扣件之辨識準確率建議補充說明。	謝謝委員指正，版式軌道扣件之訓練結果參見4.3.1與4.3.2節，基本上XX的資料集仍不夠多，所以現在的辨識數據僅供參考，待資料夠多，方才具有代表性。以上說明補充於p.4-9。	同意合作研究單位處理情形。
8. 第4-13頁最後一段針對 True 、 False 、 Positive及Negative還是說的不清楚，建議修正。	遵照委員建議修正於p. 4-12與p. 4-13。	同意合作研究單位處理情形。
9. 第4-15頁類型7-10尚無足夠多的正樣本，故此類測試結果從缺？建議補充說明最新結果。	遵照委員建議修正，在圖4.16增加欠缺7-10類別，亦更新YOLOv4對所有軌道扣件缺失訓練集的訓練結果。	同意合作研究單位處理情形。
10. 第4-17頁圖4-17訓練結果FN、FP、TN、TP與工作會議簡報標示即不同，請檢核修正。	遵照委員指示修正。	同意合作研究單位處理情形。
11. 第4-22頁表4-8錯誤！找不到參照來源，請修正。	謝謝委員指正。	同意合作研究單位處理情形。
12. 第4-25頁段落排版有誤。	謝謝委員指正。	同意合作研究單位處理情形。
13. 第4-39頁成本效益分析請加入發電機、平車費用並修改徒步查道人數為26人。	遵照委員指示修正。	同意合作研究單位處理情形。
14. 第4-40頁「此頁空白」請刪除。	遵照委員指示修正。	同意合作研究單位處理情形。
15. 辦理教育訓練之照片及內容、海報及影片電子檔製件等納入報告。	遵照委員指示，增加4.8節教育訓練，說明操作手冊與實際演練情形。海報與影片因檔案過於龐大，將另燒錄於光碟	同意合作研究單位處理情形。

	片交付。	
16. 第 5-1 頁最後一行未來將測試火車隧道，請將這次測試不理想的內容及原因撰寫說明。	遵照委員指示說明之。	同意合作研究單位處理情形。
17. 第 5-4 頁論文發表請更新內容。	遵照委員指示修正。	同意合作研究單位處理情形。
18. 請增加結論與建議章節並於附錄納入歷次工作會議紀錄。	遵照委員指示修正。	同意合作研究單位處理情形。
19. 附 -9 即時辨識整頁不清晰。	遵照委員指示修正，並增加操作說明。	同意合作研究單位處理情形。

附錄六

歷次工作會議紀錄

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

- 一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」工作會議
- 二、時間：109 年 3 月 26 日(星期四)上午 10 時
- 三、地點：視訊會議
- 四、主持人：柯科長正龍
紀錄：林雅雯
- 五、出（列）席人員：如後附簽到表
- 六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.已蒐集國內外軌道檢監測案例及商業化產品。
- 2. 已新購 2 臺攝影機，由於美國疫情影響，致貨物尚未收到。
- 3.使用 SSD 辨識方法較 Yolo 方法辨識準確度提高 2%。
- 4.3 月 20 日臺鐵臺中工務段進行成果效益的實地測試，從大甲站至臺中港站來回共四趟，第一趟人工與機器的比較、第二趟機器與機器自己的比較，第三趟 GoPro7 跟 8 東西軌互換攝影，第四趟一樣是互換後機器跟機器自己的比較，測試區間包含二座小隧道，一座約 30m，一座約 60m，影像已提供大同大學，GoPro7 影像已辨識完畢。
- 5.即時辨識軟體已有初步的撰寫及展示，後續將會再精進。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.成果效益分析結果呈現之時間及內容。
- 2.新購攝影機及側向拍攝項目。
- 3.未來實地測試時間、地點及里程。
- 4.系統網頁展示內容及手機版規劃。
- 5.製作 1 則影片電子檔之內容。

七、結論：

- (一)請大同大學於 4 月中前實地測試陀螺儀及工程維修車時速表連接事宜。

- (二)國外產品文獻請上網了解及更新最新資訊。
- (三)攝影機如到貨，請測試後提供現場實地測試，並紀錄相關購買、到貨日期。
- (四)請大甲分駐所研議平車使用電動馬達動力及加裝時速表之可能性。
- (五)請大同大學測試解析度由 1080 降至 416 之辨識準確率差異。
- (六)系統即時辨識畫面請加入聲音提示並結合里程、GPS 座標，於畫面下方列表顯示缺失扣件資訊。
- (七)請大同大學及大甲分駐所協助拍攝內、外業影片，俾利成果影片製作。
- (八)扣件、軌面負樣本請大同大學確認需補足之項目，再請大甲分駐所協助提供。
- (九)成本效益評估請大同大學 4 月底之前完成。
- (十)未來現地軌道影像拍攝以建立臺中工務段轄區所有軌道影像為目標，考量拍攝作業能量，故傾向地點不重覆拍攝。
- (十一)教育訓練暨座談會規模請大同大學規劃。
- (十二)後續測試包括隧道段及無道碴軌道段、GoPro8 散熱情形、2 臺新購攝影機測試、即時辨識及手機版測試等，請大同大學確實掌握期程。

八、散會：上午 12 時

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」工作會議

時間：109 年 3 月 26 日(星期四)上午 10 時

地點：視訊會議

單位	簽名
本所港研中心	柯正龍 林雅雯
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊增智 南紹輝 鄧俞均 江鴻偉
合作研究單位： 大同大學	

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置
(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」4 月份工作會議

二、時間：109 年 4 月 29 日(星期三)上午 10 時

三、地點：臺鐵局大甲分駐所會議室(臺中市大甲區中山路1段812巷
2-1號)

四、主持人：蔡代理主任立宏(柯科長正龍代)
林雅雯

紀錄：

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.GoPro7 及 GoPro8 經由 3 次現地測試(3/20、4/11 及 4/18)皆無熱當之情形。
- 2.新購 2 臺攝影機及慣性導航系統，本次工作會議結束後即於平車上完成安裝及測試。
- 3.即時辨識頁面優化及展示。
- 4.前端即時辨識使用之電腦規格規劃。
- 5.扣件辨識類別由原本辨別正常及損壞，改為僅辨識損壞，L0:較不明顯之損壞(易誤報)、L1:明顯的損壞。
- 6.使用 SSD 辨識結果目前未較 Yolo 方法辨識準確度佳，仍待提升。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.側向拍攝方式及前端電腦作業規劃。
- 2.未來實地測試地點及里程。
- 3.系統網頁展示。
- 4.扣件影像是否有缺失之確認。

七、結論：

- (一)請大同大學撰寫 2 臺新購攝影機同時錄影程式，並結合慣性導航系統程式於同一臺電腦，操作流程建議簡單明瞭。
- (二)系統即時辨識畫面將與大甲分駐所研議需求之使用畫面。
- (三)負樣本包括軌面缺失負樣本、道釘缺失負樣本、木枕木上 E 扣件缺失負樣本、螺栓缺失負樣本、高架段扣件缺失負樣本、護軌段扣件缺失負樣本，再請大甲分駐所協助提供。
- (四)3 月 20 日影片請大同大學進行人工智慧辨識與目視檢視之成果比較。
- (五)請大同大學研議側向拍攝設備位置示意圖、電腦設備視訊接收規劃及攝影機防水等相關事宜。
- (六)請大同大學提供一段現地測試影片依目前分類之辨識結果，俾利了解、確認分類結果及數量(如 L0 不明顯之損壞(易誤報))，是否符合臺鐵需求。
- (七)本案成果可考量申請專利並投稿國內期刊。

八、散會：中午 1 時。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」工作會議

時間：109 年 4 月 29 日(星期三)上午 10 時

地點：臺鐵局大甲分駐所會議室(臺中市大甲區中山路1段812號)

單位	簽名
本所港研中心	柯正龍 林雅雯
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊瓊智 何紹祥 沈麗玲 江鴻偉 徐震騰 嚴啟武 郭俞均 莫翠端 黃寶蓮
合作研究單位： 大同大學	謝尚琳 謝麗貞 沈瑞全 賈漢文 杜宇豪

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置
(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」5 月份工作會議

二、時間：109 年 5 月 29 日(星期五)上午 10 時

三、地點：臺鐵局大甲分駐所會議室(臺中市大甲區中山路1段812巷
2-1號)

四、主持人：蔡代理主任立宏(林研究員雅雯代)
林雅雯

紀錄：

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.軌道扣件檢出率精進，使用 SSD、CSPResNet 及 Yolo-v4 方法進行扣件缺失辨識並比較方法優劣。
- 2.完成兩臺攝影機同時錄影程式撰寫。
- 3.軌道扣件定位精進，採用 GPS+陀螺儀+碼表方式進行盲區導航，精進 GPS 定位程式。
- 4.有缺失之扣件照片附加里程資訊。
- 5.新增有缺失之扣件 EXCEL 報表程式。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.扣件分類討論。
- 2.即時辨識程式作業方式討論。
- 3.有缺失之扣件 EXCEL 報表程式討論。
- 4.期中報告內容規劃討論。

七、結論：

- (一)請大同大學將 2 臺攝影機同時錄影程式及慣性導航系統程式設於同一臺電腦，使用者介面人性化，俾利日後臺鐵人員隧道現場拍攝使用。

- (二)目前辨識分類共分 5 類，分別為 e 扣夾 L0、e 扣夾 L1、道釘 L0、道釘 L1 及其他，請將 e 扣夾遮蔽及道釘遮蔽另外分類。
- (三)有缺失之扣件照片附加里程及 EXCEL 報表里程資訊請由 K183+200+95.03(公里+百公尺+距離)改為直接標示 K183+295.03。
- (四)即時辨識程式於現場作業時僅顯示明顯損壞 L1 之照片，但 L0、L1 之照片及 EXCEL 等資訊皆保留，俾利日後查看。
- (五)3 月 20 日人工目視與 AI 辨識之比較，建議統計並說明結果，如 14 個 AI 未辨識出來的缺失為何？AI 較人工目視辨識為多的缺失項目及數量為何。
- (六)EXCEL 報表類型內容敘述建議改為分類類型之敘述，程式中多餘除錯欄位建議刪除。
- (七)4/11 及 4/18 影片請於期中報告前完成辨識，並將辨識結果納入期中報告。
- (八)建議下次現場測試時以較佳性能之筆電測試或研擬其他方法，以了解是否筆電性能限制辨識速度，期能達到時速 30 公里下具有與時速 5 公里下相同之辨識效果。

八、散會：中午 12 時。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-HICB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」5月份工作會議

時間：109年5月29日(星期五)上午10時

地點：臺鐵局大甲分駐所會議室(臺中市大甲區中山路1段812巷2-1號)

單位	簽名
本所港研中心	林雅雯
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊瓊智 鄭育均 何麗萍
合作研究單位： 大同大學	謝尚琳 杜宇豪 賈漢文 洪瑞玄 謝志仁 同

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g軌道扣件巡檢系統建置
(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」合作研究案6月
份工作會議

二、時間：109年6月23日(星期二)下午2時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室(視訊會議)

四、主持人：蔡立宏主任(賴瑞應科長代) 紀錄：
林雅雯

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.扣件缺失分類由原本 5 類加上遮蔽 1 類，成為 6 類。
- 2.不同 AI 模型訓練結果比較，以 Yolo v4 為最佳。
- 3.目視檢測扣件缺失 52 個，GroPro7 影像 AI 辨識出其中之 46 個，即 88%，但 AI 辨識出其他明顯損壞扣件缺失(未在目視檢測結果內)計？個。
- 4.系統程式修正、新人機介面及新增報表程式。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.5 月份工作會議結論辦理進度討論。
- 2.宜蘭段提供負樣本是否納入資料庫之討論。
- 3.GoPro8 定位資訊取得。
- 4.照片中扣件缺失確認。

七、結論：

- (一)宜蘭段提供之負樣本請大同大學納入現行 AI 辨識資料庫。
- (二) GoPro8 定位資訊取得程式請大同大學儘速採購，並完成與目視檢測之結果比較。

(三)請大同大學檢核期中報告內容文字、數字之前後一致性，如 GroPro7 影像 AI 辨識及目視檢測扣件缺失數值、解析度 416…等。

(四)請大同大學於 7 月現場測試前完成將 2 臺攝影機同時錄影程式及慣性導航系統程式設於同一臺電腦，使用者介面人性化，另即時辨識程式發現明顯扣件缺失請加聲音提示，上述程式請先於大同大學運作測試。

(五) 4/11 及 4/18 影片請儘速於期中報告審查會議前進行辨識，俾利期中成果更充實。

(六)本案網站及影片上傳功能，請大同大學檢視更新並定期檢測及維護。

八、散會：下午 4 時 30 分。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件
缺失辨識系統精進驗證」合作研究案 6 月份工作會議

時間：109 年 6 月 23 日(星期二)下午 2 時

地點：本所港研中心五樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任 賴瑞集代

單位	簽名
本所港研中心	賴瑞集 林雅雯
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊瓊智 何國祥 郭育均
合作研究單位： 大同大學	

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g軌道扣件巡檢系統建置
(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」合作研究案8月
份工作會議

二、時間：109 年 8 月 28 日(星期五)上午 10 時

三、地點：臺鐵局大甲分駐所會議室

四、主持人：蔡立宏主任(賴瑞應科長代) 紀錄：
林雅雯

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.扣件缺失分類增加軌面缺失及版式軌道 e 扣件缺失，共計 10 類。
- 2.4 月 11 日軌道扣件影像辨識完成。
- 3.軌道扣件定位精進及錄影程式介面撰寫完成。
- 4.不同電腦及不同解析度影像之即時辨識速度分析比較。
- 5.即時辨識程式介面撰寫及程式更新。
- 6.經現場測試效能佳之筆電能即時辨識軌道扣件缺失，陀螺儀定位程式亦能精準運作定位。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.6 月份工作會議結論辦理進度討論。
- 2.針對軌道扣件影像，討論軌道扣件是否有缺失。
- 3.GoPro 定位資料錯誤討論。
- 4.雨天軌道扣件影像巡檢方案討論。
- 5.扣件缺失分類討論。

七、結論：

- (一)扣件缺失分類目前以明顯缺失 L1 及較不明顯缺失 L0 來區分，建議改為明顯缺失 XX 及較不明顯缺失 X 來區分；第 5 類其他錯誤請於下次工作會議提出此類包含何種錯誤(以影像顯示)並進行討論；第 7 及 8 分類之圖片有誤，請交換此 2 類圖片；一邊 2 個 e 扣夾為道叉段之扣件型式，將列為明年工作項目，增加此分類。
- (二) 軌道扣件缺失報表建議可顯示並查詢某站~某站之間缺失，例如大甲站至日南站軌道扣件缺失。
- (三)宜蘭段負樣本建議再檢核，擷取適用於臺中段之負樣本納入資料庫。
- (四)斷軌或鋼軌裂縫負樣本請臺鐵臺中段提供上視影像。
- (五)雨天軌道扣件影像拍攝方案，目前建議使用 2 條 10 公尺長之 USB 線連接攝影機及筆電，筆電於工程維修車上使用，GPS 接收器置於可接收處(如平車加篷架，則需於篷架外)，請大同大學研議設備防水性及設置方式。
- (六)4 月 18 日影片請儘速完成辨識。
- (七)即時辨識程式及 2 臺攝影機同時錄影程式請儘速修正，修正後程式讓臺中段下載並置換筆電內程式，即時辨識程式發現缺失之聲音提示請加入且音量需足夠。
- (八)GoPro 之 GPS 定位資料錯誤，請大同大學提供臺鐵臺中段 GoPro 之 GPS 定位官方繪圖軟體，並告知如何使用及測試。
- (九)請大同大學將期中報告依本所出版品格式修改，於下次工作會議時提出並檢視。

八、散會：中午 12 時 10 分。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件
缺失辨識系統精進驗證」合作研究案 8 月份工作會議

時間：109 年 8 月 28 日(星期五)上午 10 時

地點：臺鐵局大甲分駐所會議室(臺中市大甲區中山路1段812巷2-1號)

主持人：蔡立宏主任 賴瑞雄代

單位	簽名
本所港研中心	賴瑞雄 林雅雯 莊凱迪
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊瓊智 何國祥 郭俞均 徐震騰 江鴻偉
合作研究單位： 大同大學	謝冠同 杜宇豪 郭尚琳 沈碧云

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g軌道扣件巡檢系統建置
(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」合作研究案9月
份工作會議

二、時間：109年9月28日(星期一)下午3時

三、地點：本所港研中心5樓第2會議室(視訊會議)

四、主持人：蔡立宏主任(賴瑞應科長代) 紀錄：
林雅雯

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.扣件缺失即時辨識系統加入使用者(UI)介面。
- 2.網站更新與辨識核心精進。
- 3.4月19日及9月19日已完成軌道影像拍攝。
- 4.海報、影片、投稿及教育訓練規劃。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.扣件缺失即時辨識系統加入使用者(UI)介面。
- 2.網站更新與辨識核心精進。
- 3.4月19日及9月19日軌道影像拍攝問題。
- 4.海報、影片、投稿及教育訓練內容。

七、結論：

- (一)扣件缺失即時辨識系統加入使用者(UI)介面後辨識速度變慢，
請大同大學研析解決方法，並請於辨識到缺失扣件時加聲音
提示。
- (二)請臺鐵大甲分駐所蒐集版式軌道扣件之負樣本。
- (三)請大同大學輸出報表加入缺失扣件影像檔案之路徑超連結。

- (四)由於軌面負樣本極少，請大同大學以找出非正樣本之方式進行辨識。
- (五)隧道定位問題請大同大學與陀螺儀廠商討論並於長公路隧道測試陀螺儀性能，俾利了解定位偏移問題原因，另速度計亦請研究並善加運用。
- (六)資料擷取器之防水盒(下方具散熱孔洞)請大同大學研議準備。
- (七)請大同大學錄影程式加入閃退前存檔功能，網頁請修改以辨識錄影程式之影片。
- (八)海報請加入緣起、辨識扣件缺失分類、辨識率、網頁、缺失定位及查詢缺失結果等，軌道及扣件介紹建議可不放入，重點在於簡單扼要敘明計畫及成果展現。
- (九)下次工作會議期末報告檔案請依本所出版品格式修改，並於工作會議中檢視。
- (十)教育訓練對象為臺鐵臺中工務段人員，於平車上以標準作業程序(大甲分駐所與大同大學共同撰寫)進行儀器安裝，不進行軌道實際拍攝，學員以手機版系統 App 上傳小段軌道影片進行影像辨識並查看缺失扣件及其定位，手機版系統 App 請大同大學儘速完成。
- (十一)成本效益分析請大同大學進行撰寫。

八、散會：下午 5 時。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件
缺失辨識系統精進驗證」合作研究案 9 月份工作會議

時間：109 年 9 月 28 日(星期一)下午 3 時

地點：本所港研中心5樓第2會議室(視訊會議)

主持人：蔡立宏主任 賴瑞雄代

單位	簽名
本所港研中心	林雅雯
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊復智 蔡翠玲 何昭洋 嚴武 郭俞均
合作研究單位： 大同大學	賈漢文 徐國雲 謝頌同

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」合作研究案10月份工作會議

二、時間：109 年 10 月 27 日(星期二)上午 10 時

三、地點：本所港研中心 5 樓第二會議室(視訊會議)

四、主持人：蔡立宏主任(賴瑞應科長代) 紀
錄：林雅雯

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

- 1.完成扣件缺失辨識系統使用手冊。
- 2.10 月 16 日完成教育訓練。
- 3.影片電子檔製作中。
- 4.完成 Yolo v4 與 SSD 辨識比較。
- 5.完成陀螺儀新店隧道及雪山隧道測試。
- 6.10 月 23 日於第十四屆鋪面材料再生及再利用學術研討會暨 2020 永續與創新基礎建設國際研討會發表論文。
- 7.完成本案之成本效益分析。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. Yolo v4 與 SSD 辨識結果。
- 2.軌面斷軌缺失負樣本製作。
- 3.即時辨識 UI 介面改善。
- 4.陀螺儀累積誤差。
- 5.成本效益分析結果。

七、結論：

(一)針對 Yolo v4 與 SSD 辨識結果，缺失辨識為正常(FN)部份，

請大同大學研析辨識錯誤原因並找出解決方法。

(二)軌面斷軌缺失負樣本請大同大學製作裂縫大於 1mm 之負樣本。

(三)即時辨識 UI 介面請大同大學提升現場使用之筆記型電腦效能，解決延遲問題。

(四)請大同大學修改成本效益分析內容，徒步查道總人數為 26 人，AI 設備請增加發電機及平車費用，GoPro 攝影機請以最新版估價。

(五)影片請依所提意見修改。

八、散會：上午 11 時 50 分。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H1CB001g 軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件
缺失辨識系統精進驗證」合作研究案 10 月份工作會議

時間：109 年 10 月 27 日(星期二)上午 10 時

地點：本所港研中心5樓第二會議室(視訊會議)

主持人：蔡立宏主任 賴瑞璽 代

單位	簽名
本所港研中心	賴瑞璽 林雅雯
交通部臺灣鐵路管理局 臺中工務段	莊建智 何智偉 郭所均 戴銘武 徐震騰
合作研究單位： 大同大學	郭祖同 賈漢文 郭尚斌 杜宇豪 徐周雲

附錄七

期末報告簡報資料

軌道扣件巡檢系統建置(2/2)- 扣件缺失辨識系統精進驗證 期末報告



報告人: 謝禎問 教授
列席: 黃維信 教授、謝尚琳 教授
大同大學資工系

Nov. 5, 2020

簡報大綱

- 研究目的
- 計畫工作項目
- 研究方法
- 系統架構
- 實測結果
- 成本效益分析
- 結論

台灣現況

- 為解決巡查人力不足的問題，臺鐵也引進軌道檢測車，由美國Plasser American Corp. 公司出產的**EM-80軌道檢測車**
- EM-80必須負責環繞全台，每個工務段一季只能檢測一次，且該檢測車自1980年開始使用至今，也已超過當時設定的使用年限。
- 為解決道工班人力不足，及EM-80軌道**檢測車巡檢頻率較低**的問題。
- 臺鐵也嘗試使用工程維修車以協助巡檢作業
- 利用車頭前的**探照燈**提供巡查時必要之**光線**。
- **巡查人員**則站在前方的平台（如圖2- 3所示）中以**目視**方式進行檢測。



軌道維護

- 為確保扣件的正常運作，**非常仰賴人工巡檢**。
- 傳統鐵路軌道扣件巡檢方式係採用人工，以**目視方式**進行巡檢，而人工目視巡檢受限於**巡檢車速及視察角度**等問題，至今並無法有效快速進行。
- 希望能利用**人工智慧**（Artificial Intelligence, AI）方式來協助完成巡檢任務，可有效提升巡檢效率，降低巡檢人員視察侷限等問題。



研究目的

- 配合交通部鐵路工程局鐵道**巡檢工作自動化**之需求，利用電腦視覺辨識方式進行影像擷取及分析，檢測鐵路軌道扣件是否脫落，建立一套**扣件影像巡檢系統**。
- 影像擷取的部份，規劃利用照相機或**攝影機搭配AI深度學習方法**，作為鐵路軌道扣件自動判釋分析之用途，**替代目前人工巡檢工作**，達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的。

軌道扣件巡檢1.0
錄影的苦甘



軌道扣件巡檢2.0
快樂的出航



甘特圖

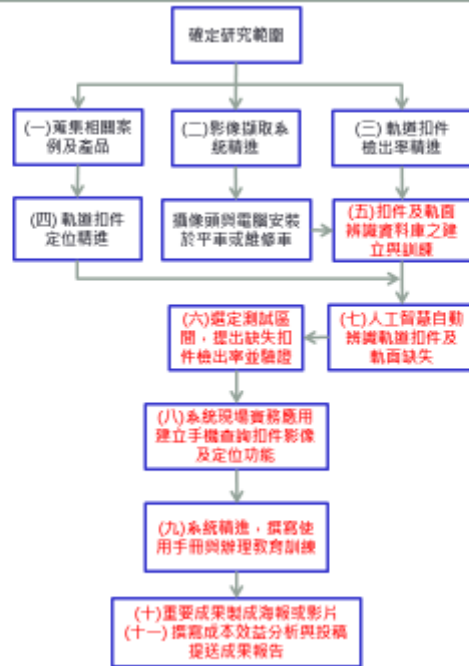
工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月
1.蒐集國內外相關案例及產品，分析其技術、方法及國內適用性。	***	***								
2.軌道扣件攝影相關設備構建，達到穩定長時間拍攝及即時辨識，另探討側面拍攝之需求及拍攝方法。	***	***	***							
3.軌道扣件檢測系統辨識準確度構建。		***	***	***						
4.軌道扣件定位方式構建，研析穩定定位方法，有效定位出有問題的扣件。				***	***					
5.建立扣件及軌道缺失之辨識原則，於辨識資料庫之建立與訓練。			***	***	***	***				
6.選定一段路軌區間進行實測，提出正常扣件及缺失扣件輸出率指標。			***	***	***	***	***			
7.利用人工智慧進行影像辨識，識別軌道扣件及軌道缺失。			***	***	***	***	***			
8.建立即時扣件及軌道缺失辨識系統，以及手機APP查詢缺失扣件及定位，可應用於實務現場。					***	***	***	***		
9.撰寫使用手冊並辦理教育訓練暨座談會1場次。									***	***
10.製作1則可展示之海報或影片電子檔，展現計畫重要成果或執行過程。							***	***		
11.撰寫本計畫成果分析，計畫成果投稿運輸季刊、國內外期刊或學術研討會至少1篇。								***	***	***
12.撰寫KPIs研究計畫合適量化或質化績效指標，說明本計畫主要研究成果及重大突破，附申、附註審查。					***					***
預定進度累計百分比(%)	6	12	24	40	52	65	75	85	90	100

計畫工作項目

- (一) 蒐集國內外軌道檢測案例及商業化產品，並分析其設備、方法及國內適用性。
- (二) 軌道扣件攝影及照明設備等影像擷取系統精進，除時速30公里以上拍攝外，需達到系統穩定、長時間拍攝及影像即時傳輸之目的，另探討側向拍攝之需求及拍攝方法研析。
- (三) 軌道扣件檢測系統辨識準確度精進。
- (四) 軌道扣件定位方式精進，研析隧道段定位方法，有效定位出有問題的扣件位置。
- (五) 建立扣件及軌面缺失之辨識準則，物件辨識資料庫之建立與訓練。
- (六) 選定一鐵路軌道區(含隧道段、版式軌道段)進行扣件檢測系統之實地應用及驗證(里程至少70公里)，提出正常扣件檢出率及缺失扣件檢出率並驗證。
- (七) 利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，辨識軌道扣件缺失及軌面缺失(鋼軌裂縫及踏面不整)。
- (八) 建立即時扣件及軌面缺失辨識系統並於現場實務應用，建立手機查詢缺失扣件影像及定位搜尋功能。
- (九) 扣件缺失辨識系統精進，撰寫使用手冊並辦理教育訓練暨座談會1場次。
- (十) 針對計畫重要成果或執行過程，製作1則可供展示之海報或影片電子檔。
- (十一) 撰寫本案成本效益分析，並將研究/計畫成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會至少1篇。
- (十二) 參考「政府研究資訊系統(GRB) <http://www.grb.gov.tw>」- 研究計畫管理 - 實際成果 (研究計畫績效指標項目) 中之「績效」及「佐證資料」。

研究方法與工作流程

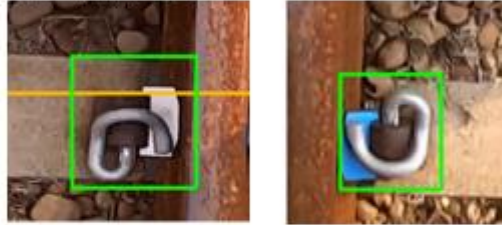
研究方法



(五)扣件及軌面辨識資料庫之建立與訓練

建立扣件及軌面缺失之辨識準則

- X:較不明顯之損壞



- XX:明顯的損壞



扣件資料庫之建立與訓練

- 上一期計畫，缺失扣件資料庫 3800張
- 本期缺失扣件資料集增加為5,600張(4,480訓練+ 1,120 測試)，來源為上期計畫所收集到的，再加上本期109年4月11、4月19日、9月19日所拍攝張片，取出GoPro 7/8所攝得有缺失的扣件照片
- 手機以相同角度與解析度拍攝所得軌面與版式扣件，再加以Data Augmentation增加300張。

建立扣件及軌面缺失之分類準則

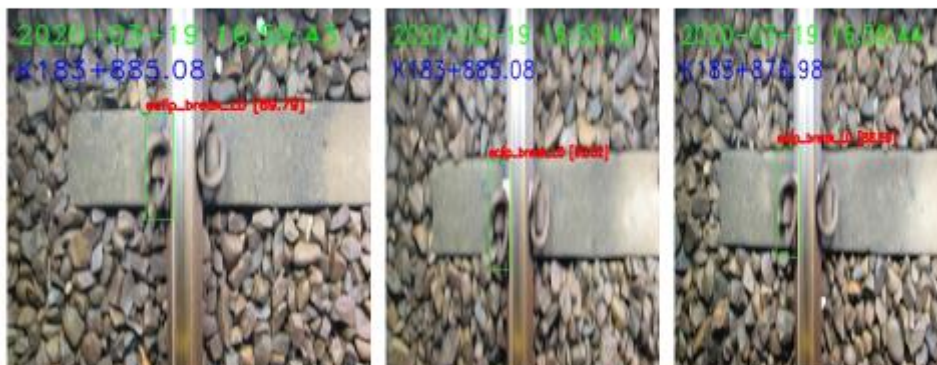
#1 樣本已依照要求對訓練與測試資料進行對應的尺寸縮放

#2 本次資料樣本來源為前一期+本期+軌面+版式軌道

編號	扣件分類	圖片	說明
1	e扣夾缺失X		位置偏離、未定位
2	e扣夾缺失XX		遺失、斷裂
3	道釘缺失X		位置偏離、未定位
4	道釘缺失XX		遺失、斷裂
5	其他錯誤		軌道上其他異物、錯誤
6	元件被遮蔽X		扣件因線路、道渣、植物等原因遭到遮蔽

編號	扣件分類	圖片	說明
7	軌面缺失X		踏面損傷: 軌面中間凹陷、邊緣裂縫
8	軌面缺失XX		鋼軌裂縫
9	版式e扣夾缺失X		扣夾位置偏離、未定位 螺栓鬆動
10	版式e扣夾缺失XX		扣夾遺失、斷裂 螺栓遺失

1. e扣夾X類型圖例



2. e扣夾XX類型圖例



3. 道釘X圖例



4. 道釘XX圖例



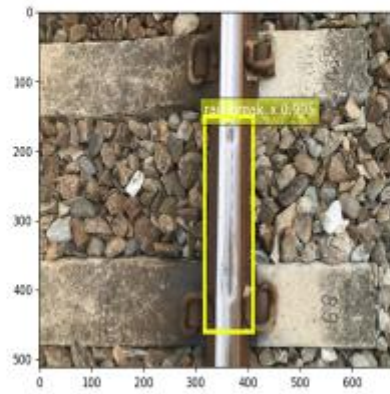
5. 其他錯誤



6. 元件被遮蔽圖例



7. RAIL_BREAK_X



8. RAIL_BREAK_XX



9. Slab_track_eClip_X 無有效負樣本

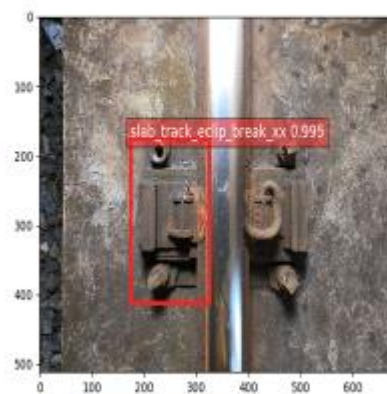
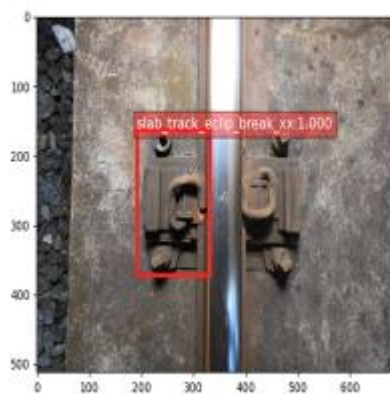
因垂直拍攝，無法看出道釘鬆脫



唯一清楚看出鬆脫的圖卻又因沒有eclip而被歸類到xx



10. Slab_track_eClip_XX



Yolov4訓練結果

Recall rate=TP/(TP+FN)=0.96
Precision=TP/(TP+FP)=0.81

	辨識損毀	辨識正常
實際損毀	511(TP)	20(FN)
實際正常	117(FP)	X(TN)

- eclip_break_x : ap=99.82% , precision=96% , recall=100%
- eclip_break_xx : ap=99.15% , precision=97% , recall=100%
- railspike_break_x : ap=91.94% , precision=68% , recall=94%
- railspike_break_xx : ap=99.06% , precision=74% , recall=100%
- others_break : ap=68.39% , precision=61% , recall=58%
- covered : ap=92.99% , precision=78% , recall=96%
- rail_break_x : ap=100.00% , precision=100% , recall=80%
- rail_break_xx : ap=100.00% , precision=68% , recall=100%
- slab_track_eclip_break_x : ap=28.00% , precision=25% , recall=50%
- Slab_track_eclip_break_xx : ap=88.81% , precision=67% , recall=100%

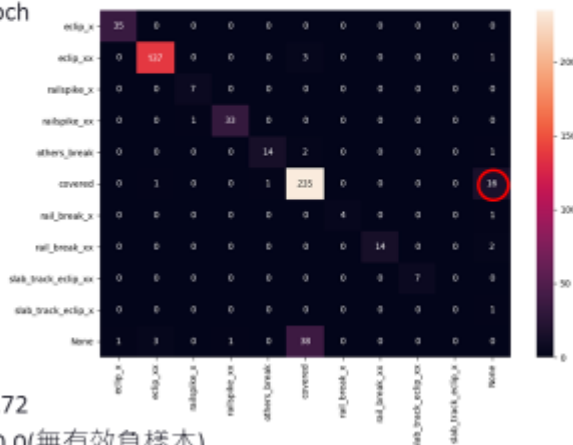
SSD 訓練結果

confusion matrix
 測試圖片張數:200

大幅增加訓練時間至5000 Epoch

各類別準確率

- eclip_break_x=0.99
- eclip_break_xx=0.89
- railspike_break_x=1.0
- railspike_break_xx=0.97
- others_break=1.0
- Covered=0.87
- Rail_break_x=0.96
- Rail_break_xx=0.81
- Slab_track_eclip_break_x=0.72
- Slab_track_eclip_break_xx=0.0(無有效負樣本)
- mAP=0.82



SSD VS YOLOv4

	SSD	YOLOv4
辨識速度	0.056s	0.015s
Recall	87%	96%
mAP	84%	86.81%
Precision	92%	81%

(六)選定測試區間，提出缺失扣件
檢出率並驗證

選定測試區間驗證缺失扣件檢出率

- 大甲 – 台中港
- GoPro 7 vs. GoPro 8 vs. Human
- GoPro 8 > GoPro 7 (照片品質 · 檢出率亦同)
- 目前GoPro 8的GPX官方未釋出開放程式碼 · 故延誤開發時程

檔案	軌別	方向	備註
gopro7-1	東側	北	
gopro7-2	東側	南	
gopro7-3	西側	北	
gopro7-4	西側	南	
gopro8-1	西側	北	
gopro8-2	西側	南	GPS異常
gopro8-3	東側	北	
gopro8-4	東側	南	



選定測試區間驗證缺失扣件檢出率

- 大甲 – 台中港

檔案	總偵測物件數	偵測到的L1	L1為真
Gopro7(1)	2529	8	7
Gopro7(2)	2647	13	12
Gopro7(3)	1285	20	18
Gopro7(4)	1251	20	17
檔案	總偵測物件數	偵測到的L1	L1為真
Gopro8(1)	1559	11	11
Gopro8(2)	1634	14	14
Gopro8(3)	1279	9	8
Gopro8(4)	1679	9	9

46/52(人力檢出)= 0.88%
超出 Ground truth 7個缺失扣件

42/52(人力檢出)= 0.81%
超出 Ground truth 4個缺失扣件

↑
誤報率降低

↑
同一扣件拍攝多張

GoPro7影片

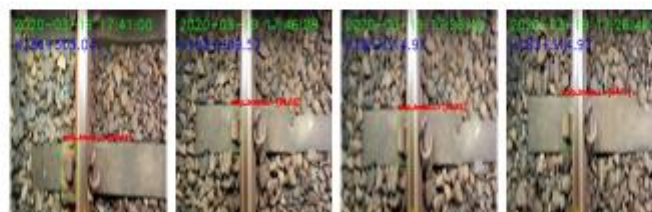


里程	線別	枕木	偵測類型	參照
K180+246.21	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (a)
K180+492.48	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (b)
K181+357.4	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (c)
K183+295.03	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (d)
K183+297.8	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (e)
K183+304.91	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (f)
K183+449.32	西正線	PC枕	嚴重損壞(遺失)	圖4-20 (g)

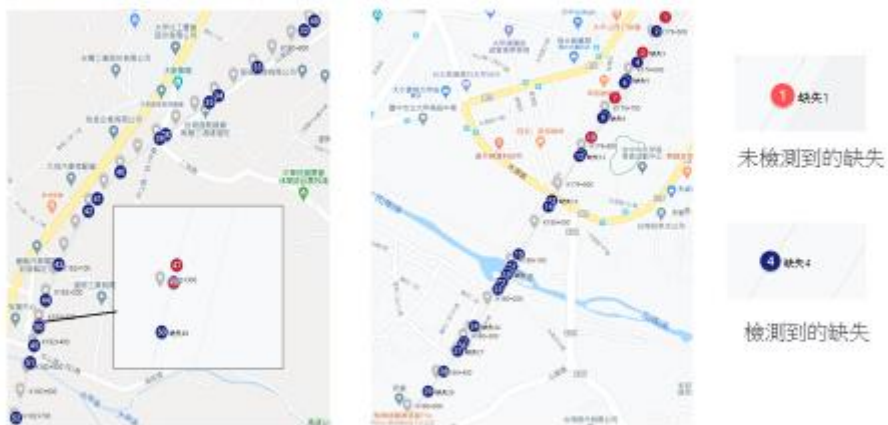
GoPro8影片

- 因GoPro8(2).mp4定位資料損壞
- 僅使用(1)、(3)、(4)三影片檔案
- 於52個錯誤中找到35個，額外找到4個嚴重缺失

	額外嚴重缺失
E扣夾_損壞_L1	2020/3/19 17:41 K180+505.04
E扣夾_損壞_L1	2020/3/19 17:46 K183+309.57
E扣夾_損壞_L1	2020/3/19 17:26 K183+314.97
E扣夾_損壞_L1	2020/3/19 17:26 K183+314.97



缺失扣件位置圖



(七)人工智慧自動辨識軌道扣件及軌面缺失

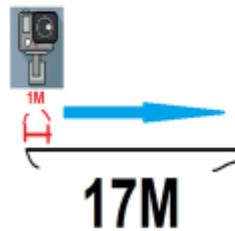
多路段辨識結果

類別 影像	E和夾-攝重損壞(偵測)	E和夾-攝重損壞(人工確認)	龍釘-攝重損壞(偵測)	龍釘-攝重損壞(人工確認)	準確率
大甲-過分西正線左軌1	13	13	1	1	100%
大甲-過分西正線左軌2	7	5	0	0	71%
大甲-過分西正線左軌3	7	6	0	0	86%
大甲-過分西正線左軌4	1	1	1	0	50%
過分-彰化車正線左軌1	19	19	0	0	100%
清水-大甲車正線左軌1	11	9	7	7	89%
清水-大甲車正線左軌2	8	6	0	0	75%
彰化-清水西正線左軌1	10	7	0	0	70%
彰化-清水西正線左軌2	16	13	0	0	81%
彰化-清水西正線左軌3	6	5	0	0	83%
彰化-清水西正線左軌4	2	2	0	0	100%
總計	100	86	9	8	86%

(八)系統現場實務應用建立手機查詢扣件影像及定位功能

軌道扣件檢測速度精進

- 即時影像辨識需求分析
- 實驗假設，列車以時速60公里/小時速度進行辨識與移動，則移動距離為60x1000，60000公尺，每秒移動17公尺，攝影機拍攝長度為1公尺，則至少需每秒完成辨識17張圖片。
- 此外，本實驗需同時進行兩個攝影機畫面的同時輸入處理並同步顯示，故即為需要兩倍的執行速度，即為**每秒34張照片**(或0.029秒內完成單張圖片)的處理。



執行緒架構與處理流程



即時辨識UI介面改善

- 原先的UI介面讀取影片會有延遲問題。
- 改善後的UI介面，將顯示畫面跟UI拆成兩個視窗顯示，減緩延遲問題。
- 改善後的FPS = 39.32222



原始的UI介面圖



改善的UI介面圖

即時辨識速度

- 假設攝影機拍攝的畫面有效範圍為長1.5公尺(枕木與枕木間距70公分，枕木短邊長20公分，移動速度為30km/H)，則需要每秒完成9張影像的處理
- 鐵軌具有左右兩軌，故需要使用兩台攝影機進行同時拍攝，即為效能需求每秒處理18張影像。

參數	解析度416*416	解析度320*320	對比(416比320)
FPS(單畫面)	35.82	45.78	127%
mAP	91%	89%	98%
Recall	86%	85%	99%
TP	141	140	99%
FP	26	22	85%
FN	23	24	104%
F1-score	85%	86%	101%
Threshold	50%		
測試相片張數:824，系統為AMD 2700X、NVIDIA2080TI、CUDA10.2、CUDNN7.6.5、OpenCV4.3.0			

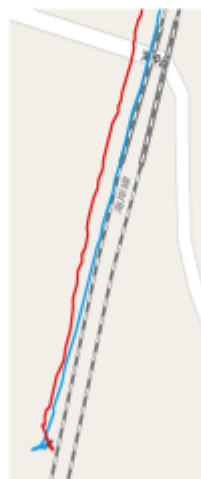
不同電腦硬體執行比較

表 5.8 系統連續運作的溫度與效能變化^{a)}

項目 ^{a)}	參數 ^{a)}		
電腦 ^{a)}	筆電 A ^{a)}	桌機 B ^{a)}	筆電 C ^{a)}
硬體規格 ^{a)}	CPU: INTEL 7700hq ^{a)}	CPU: AMD 2700X ^{a)}	CPU: INTEL I9-10980HK ^{a)}
	GPU: NV1060-6G ^{a)}	GPU: NV2080Ti ^{a)}	GPU: NV2080Super(MaxQ) ^{a)}
	RAM: 16G DDR4-2666 ^{a)}	RAM: 16G DDR4-3600 ^{a)}	RAM: 32G DDR4-3200 ^{a)}
	儲存裝置: SSD ^{a)}	儲存裝置: HDD ^{a)}	儲存裝置: NVMESSD ^{a)}
測試網路 ^{a)}	解析度 320*320 版本 ^{a)}		
測試時間 ^{a)}	連續運作 5 分鐘 ^{a)}		
執行速度 ^{a)}	22.1 ^{a)}	69.3 ^{a)}	64.5 ^{a)}
系統溫度 ^{a)}	78 ^{a)}	62 ^{a)}	88 ^{a)}
測試時間 ^{a)}	連續運作 30 分鐘後 ^{a)}		
執行速度 ^{a)}	22.8 ^{a)}	70.1 ^{a)}	63.01 ^{a)}
系統溫度 ^{a)}	88 ^{a)}	65 ^{a)}	94 ^{a)}
測試網路 ^{a)}	解析度 416*416 版本 ^{a)}		
測試時間 ^{a)}	連續運作 5 分鐘 ^{a)}		
執行速度 ^{a)}	17.9 ^{a)}	53.6 ^{a)}	53.82 ^{a)}
系統溫度 ^{a)}	77 ^{a)}	65 ^{a)}	87 ^{a)}
測試時間 ^{a)}	連續運作 30 分鐘後 ^{a)}		
執行速度 ^{a)}	17.1 ^{a)}	52.36 ^{a)}	49.81 ^{a)}
系統溫度 ^{a)}	86 ^{a)}	65 ^{a)}	95 ^{a)}
備註 ^{a)}	速度單位為 FPS，溫度單位為攝氏度 ^{a)}		

GoPro7/8 定位比較(I)

- 紅線-GoPro7，藍線-GoPro8
- 同時錄影，0-70M
- 剛開機時兩機均有飄移現象，在定位穩固後座標貼近鐵軌
- 剛開機時GoPro7的位移方位正確，但定位稍微偏西側



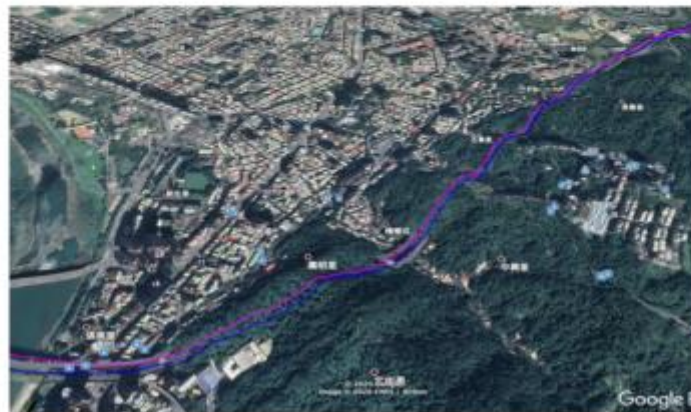
GoPro7/8 定位比較(2)

- 紅線-GoPro7，藍線-GoPro8
- 同時錄影，1.45km-1.8km
- 運行一段時間後，7與8的定位基本貼合，僅偶有向東或西側的漂移現象



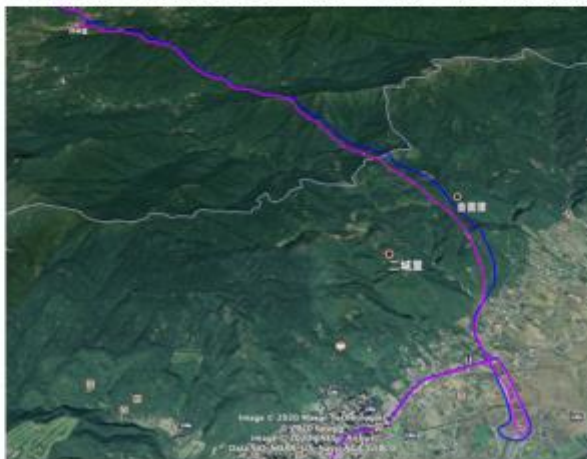
陀螺儀測試(一)

- 在雙北市安裝測試正常，綠線是GPS定位，藍線是GPS+IMU導航。
- 圖4-25為3號國道新店隧道段，藍色是由中和到宜蘭（去程），紫色是由宜蘭到中和（回程）實測路線，可以發現在隧道內藍色線都位於紫色線右側，結果不錯。



陀螺儀測試(二)

- 圖4-26為5號國道雪山隧道段，藍色是由中和到宜蘭（去程），紫色是由宜蘭到中和（回程）實測路線，可以發現在隧道外部很精確，但是進入隧道內即開始偏移，在坪林進雪山隧道時，藍色線是正確的，但是隨著時間增加，就開始累積誤差；同理，在宜蘭進入雪山隧道時，紫色線是正確的，但也隨著時間增加，誤差也跟著累積，但是一出隧道，馬上可以用GPS校正位置，結果符合預期。



2020/11/10

(九) 扣件缺失辨識系統精進，撰寫使用手冊並辦理教育訓練暨座談會1場次

- 撰寫使用手冊 → 完成



[illegible]

「執運扣件經檢驗系統建置(2/2)扣件缺失辨識系統請進驗證」

附錄 7-24

(十)針對計畫重要成果或執行過程，製作1則可供展示之海報或影片電子檔

(十一)撰寫本案成本效益分析，並將研究/計畫成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會至少1篇

- 表4-15為不同查道方式每次查道的人事成本
- 假設每周查道1次，1年查道52次
- AI查道方式相對於徒步查道方式其人事成本每年可省下約300萬(57,255*52)，相對於2部維修車查道方式也可省下約44萬(8,529*52)。
- AI查道方式除人力外尚須購置設備，所需費用如表4-16所示共65.5萬元。
- 整體而言，AI查道方式之精確率略高於徒步查道方式，明顯高於2部維修車查道方式。
- 若用AI查道方式來替代徒步查道方式，2.6個月節省下的人事成本便可購置所需的設備；
- 若用AI查道方式來替代2部維修車查道方式，則是1.5年節省下的人事成本即可購置所需的設備。

項目	總人數	常班人數	日薪(NT\$)	工作人數	日薪(NT\$)	合計(NT\$)	相對AI查道之成本差異
查道方式							
AI查道	5	1	3,047	4	2,741	14,011	0
2部維修車查道	8	2	3,047	6	2,741	22,540	8,529
徒步查道	26	0		26	2,741	71,266	57,255

品項	單價(NT\$)	數量	小計(NT\$)
平車	400,000	1	400,000
發電機	35,000	1	35,000
高效能筆電	100,000	1	100,000
高階伺服器	68,000	1	68,000
GoPro攝影機	20,000	2	40,000
高功率LED投光燈	3,000	4	12,000
總計			655,000

(十一) 撰寫本案成本效益分析，並將研究/計畫成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會至少1篇

- 第十四屆鋪面材料再生及再利用學術研討會暨2020永續與創新基礎建設ICSII2020國際研討會 (10/22-24)
- Sensors and Materials (published), 2019 Impact Factor 0.685



結論

- 已蒐集國內外軌道檢監測案例及商業化產品共6項，並分析其設備、方法及國內適用性，詳參見第二章，並有相關AI扣件檢測技術文獻。
- 軌道扣件攝影及照明設備等影像擷取系統精進，除時速30公里以上拍攝外，需達到系統穩定、長時間拍攝及影像即時傳輸之目的。經過109年3月20日、4月11日、4月18日、9月19日，夜間實測後，GoPro 7/8均可長時間錄影。另109年5月29日、10月16日測試GoPro7/8/工業攝影機，均可即時傳輸至前端電腦辨識，正常運作。
- 側向拍攝之需求，主要是魚尾鉸的檢測，拍攝方法研析，詳參見4.1.2節。
- 軌道扣件檢測系統辨識準確度精進，在前一期以YOLO v3驗證，扣件辨識率82.5%，扣件缺失檢出率74.5%，雖可達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的，但是仍然有進步的空間。本期計畫採用YOLO v4，訓練方式改用缺失扣件資料，扣件缺失檢出率(Recall rate)提升至96%，類別平均準確率(mAP)提升為86.8%，辨識系統速度更高達55張/秒(在表4-15筆電C)。SSD的辨識模型初步驗證效果也不錯，經過調校後，也跟YOLO v4不相上下。
- 軌道扣件定位方式精進，研析隧道段定位方法，採用慣性測量儀器，有效將GPS飄移現象修正，且利用車速資訊，可以更精確地定位出有問題的扣件位置，目前測試高速公路隧道是可以用的，未來將測試火車隧道。

結論

6. 建立扣件缺失之辨識準則，將目前較少見的缺失扣件排除，如滑床板、護軌墊板，並將常見扣件缺失細分為輕微缺失X和嚴重損壞XX，總共為10類，詳參4.2.1節，並建立扣件缺失資料庫，以供後續訓練與測試。
7. 建立軌面缺失之辨識準則，分為2類軌面缺失(鋼軌裂縫XX及踏面不整X)，詳參4.2.2節，此部分資料目前較少，後續將逐步累積欠缺的缺失樣本。
8. 選定一鐵路軌道區(含隧道段、版式軌道段)進行扣件檢測系統之實地應用及驗證(里程至少70公里)，提出正常扣件檢出率及缺失扣件檢出率並驗證。目前於9/19完成全部軌道攝影，共約70段影片，含有隧道段、版式軌道段等，目前AI測試的結果，缺失扣件的辨識率為86%。
9. 利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，辨識軌道扣件缺失及軌面缺失，目前已可正確辨識軌面缺失，惟資料相較於其它缺失扣件，數量少很多，可以持續累積資料量。
10. 建立即時扣件(不含軌面缺失)辨識系統並於現場實務應用，建立筆電與手機APP查詢缺失扣件影像及地圖定位搜尋功能。
11. 撰寫本案成本效益分析，參見4.7節，並已將研究/計畫成果投稿國外期刊(Sensors and Materials, SCI impact factor 0.56)、學術研討會各1篇(ICSII 2020)，均獲接受與刊登。

Q & A
