

112-007-7D24

MOTC-IOT-111-H1CB001g

# 軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用－ 系統擴建與宜蘭段現地測試



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

112-007-7D24

MOTC-IOT-111-H1CB001g

# 軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用－ 系統擴建與宜蘭段現地測試

著者：李忠剛、鄭登鍵、賴瑞應、李宜儒、陳冠州、陳翰群、  
施丞宥、陳建瑋、張旗晏、郭峻因

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用-系統擴建  
與宜蘭段現地測試/李忠剛, 鄭登鍵, 賴瑞應,  
李宜儒, 陳冠州, 陳翰群, 施丞宥, 陳建瑋,  
張旗晏, 郭峻因著. -- 初版. -- 臺北市: 交  
通部運輸研究所, 民 112. 03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-473-6(平裝)

1. CST: 鐵軌 2. CST: 影像分析 3. CST: 運輸  
安全 4. CST: 人工智慧

442.52

112000938

軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用-系統擴建與宜蘭段現地測試

著 者: 李忠剛、鄭登鍵、賴瑞應、李宜儒、陳冠州、陳翰群、施丞宥、陳  
建瑋、張旗晏、郭峻因

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](http://www.iot.gov.tw) (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話: (04)2658-7200

出版年月: 中華民國 112 年 3 月

印刷者: OOOOOOOOO

版(刷)次冊數: 初版一刷 50 冊

書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價: 150 元

展 售 處:

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話: (02)2349-6789

國家書店松江門市: 104472 臺北市中山區松江路 209 號 • 電話: (02)2518-0207

五南文化廣場: 400002 臺中市區中山路 6 號 • 電話: (04)2226-0330

GPN: 1011200149 ISBN: 978-986-531-473-6 (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：軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用-系統擴建與宜蘭段現地測試			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-473-6(平裝)	政府出版品統一編號 1011200149	運輸研究所出版品編號 112-007-7D24	計畫編號 MOTC-IOT-111-H1CB001g
本所主辦單位： 港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：賴瑞應 研究人員：鄭登鍵 聯絡電話：04-2658-7178 傳真號碼：04-2656-4418		合作研究/共同研究單位：緯創資通股份有限公司 計畫主持人：李忠剛 研究人員：施映男、許惠琇、李宜儒、張旗晏、陳冠州 地址：300 新竹科學園區新竹市新安路 5 號 聯絡電話：02-66169999 分機 11644	
研究期間 自 111 年 2 月 至 111 年 11 月			
關鍵詞：鐵道巡查、人工智慧、辨識、軌道缺失			
<p>摘要：</p> <p>軌道運輸為臺灣地區最重要的大眾運輸工具之一，包含臺鐵、高鐵、各縣市捷運及輕軌建設，已遍布全臺；至 2020 年底為止，臺鐵局的營運總距離超過 1000 公里，總軌道長度更是超過 2000 公里(交通部臺灣鐵路管理局，2020)，軌道安全已成為現今交通運輸最重要的議題之一。影響軌道安全的因素眾多，軌道巡查作業擔負了維持軌道運輸安全的重要任務，傳統上多採用人工目視方式進行巡檢，因此受限於車速、目視角度及人眼辨識能力等諸多挑戰，因此自動化安全防護系統已成為發展主流趨勢。本計畫旨在協助交通部臺灣鐵路管理局鐵道巡查工作自動化之需求，規劃利用影像採集設備，搭配人工智慧深度學習演算法，做為軌道鐵路構件自動判別分析，用來輔助目前人工巡查工作，達到自動化軌道巡查之目的。</p> <p>本期計畫延續前期(108-110 年)成果，採用 YOLOv4-Tiny 演算法開發軌道構件缺失辨識模型，並進一步蒐集臺鐵局臺中工務段及宜蘭工務段之實地軌道資料，擴建缺失物件圖資資料庫及精進軌道缺失辨識系統，使本計畫系統之可用範圍自平原區擴展至丘陵區；本計畫亦首度加入影像處理技術，增加物件圖資之隨機性，以解決缺失物件圖資不足的情形。藉由宜蘭段與臺中段之現地測試，足以證實本系統的可行性與穩定性，同時確認了利用精準定位工具得以克服地形因素，加強缺失物件之定位效果。未來或可延續本期計畫之成果持續推廣，以利快速並有效地輔助提升軌道巡檢之技術發展。</p> <p>成果效益與應用情形：</p> <p>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，做為後續維護與補強軌道之參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
112 年 3 月	180 頁	150	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 : Railway Track Defect Inspection System by Artificial Intelligence- System Expansion and Field Test in Yilan Section.			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-473-6	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200149	IOT SERIAL NUMBER 112-007-7D24	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111-H1CB001g
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jui-Ying Lai PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng PHONE: 04-2658-7178 FAX: 04-2656-4418			PROJECT PERIOD FROM February 2022 TO November 2022
RESEARCH AGENCY: Wistron Corporation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Kang Li PROJECT STAFF: Ying-Nan Shih; Huei-Hsiu Hsu; Yi-Ru Li; Chi-Yen Chang; Kuan-Chou Chen ADDRESS: No. 5, Xin'an Rd., East Dist., Hsinchu City 30076, Taiwan (R.O.C.) PHONE: 02-66169999			
KEY WORDS: Railway inspection, Artificial intelligence, Detection, Railway defect			
<p>ABSTRACT:</p> <p>Railway transportation is one of the most important public transportation services in Taiwan. It includes Taiwan Railways(TRA), Taiwan High Speed Rail (THSR), MRT and Light Rail, and has been provided all over Taiwan. Especially TRA has become the most important one. By the end of 2020, the total distance under operation of TRA has exceeded 1,000 km and total track length was more than 2,000 km (Taiwan Railway Administration, Ministry of Transportation and Communications, 2020). Therefore, rail safety issue has become one of the most important issues of transportation nowadays. Track inspection takes up the important task of maintaining the safety. Traditionally, most of the inspection is carried out by manual visual inspection, which is limited by speed, visual angle and human eye recognition ability. So the automated safety protection system has become the trend. In order to support current manual inspection work, this project aims to assist the TRA in developing automatic rail inspection tools within Artificial Intelligence (AI).</p> <p>This project followed the results of the previous projects in 2019-2021 to develop a model for detecting defect components on the railway with YOLOv4-Tiny, and collected the field data of the Taichung and Yilan section of TRA to expand the database. The track inspection system were also been refined in this year, to extend the usable area from the plain area to the hilly area. In order to solve the problem of insufficient defect object data, CV augmentation method was applied to increase the amount and randomness of data. The field tests in the Yilan and Taichung sections had confirmed the feasibility and stability of the system, and also proved that using HDPS product can enhance the effect positioning. In the future, we may continue to promote the results of this project in order to enhance the technical development of track inspection tools.</p>			
BENEFITS AND APPLICATIONS:			
The findings of this study can be provided as reference for the Ministry of Transportation and Communications or the Taiwan Rail Administration in routine track inspections to effectively manage railway safety and for subsequent track maintenance and reinforcement.			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2023	NUMBER OF PAGES 180	PRICE 150	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用

## —系統擴建與宜蘭段現地測試

### 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 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
1.6 研究期程.....	1-6
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 軌道構件檢測演算法.....	2-1
2.2 國內外軌道檢測系統回顧.....	2-3
2.2.1 瑞士 RailCheck 計畫.....	2-4
2.2.2 美國 ENSCO.....	2-5
2.2.3 加拿大 LRAIL.....	2-8
2.2.4 日本 Doctor Yellow.....	2-10
2.2.5 臺灣仲碩科技鐵路軌道巡軌機器人.....	2-12

2.2.6 運研所軌道扣件缺失人工智慧辨識系統(108-110 年)...	2-12
2.2.7 國內外軌道檢測系統綜合比較.....	2-13
2.3 精準定位系統回顧.....	2-14
第三章 軌道構件缺失辨識系統精進.....	3-1
3.1 前期計畫成果分析.....	3-1
3.1.1 軌道構件缺失辨識系統分析.....	3-2
3.1.2 軌道構件辨識演算法分析.....	3-4
3.1.3 軌道構件前期圖資分析.....	3-5
3.2 系統精進規劃.....	3-7
3.2.1 系統設計與架構.....	3-7
3.2.2 影像採集裝置.....	3-8
3.2.3 缺失定位.....	3-14
3.2.4 系統運行環境.....	3-22
3.2.5 Web API .....	3-23
3.2.6 軌道構件缺失辨識系統.....	3-24
第四章 軌道構件缺失辨識系統驗證.....	4-1
4.1 影像採集設備安裝.....	4-1
4.2 缺失辨識準則與資料庫建置.....	4-8
4.3 演算法訓練與精進.....	4-12
4.3.1 資料標記作業.....	4-12
4.3.2 增添圖資豐富度.....	4-13
4.3.3 單一模型可行性評估.....	4-15
4.3.4 模型發展進程.....	4-18
4.4 定位系統.....	4-20

4.5 系統現地驗證.....	4-24
4.5.1 第一階段臺中段資料蒐集.....	4-25
4.5.2 第二階段宜蘭段系統測試.....	4-28
4.5.3 第三階段臺中段現地驗證.....	4-33
4.6 系統教育訓練.....	4-39
4.7 學術期刊撰寫.....	4-41
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
5.3 研究成果與效益.....	5-7
5.4 應用情形.....	5-7
參考文獻.....	參-1
附錄一 工業電腦規格.....	附錄 1-1
附錄二 期中報告審查意見及處理情形表.....	附錄 2-1
附錄三 期末報告審查意見及處理情形表.....	附錄 3-1
附錄四 期末報告簡報資料.....	附錄 4-1



## 圖目錄

圖 1.1 本計畫研究流程.....	1-5
圖 2.1 IoU 定義示意圖.....	2-3
圖 2.2 軌道缺失檢測流程.....	2-4
圖 2.3 RailCheck 計畫執行流程.....	2-4
圖 2.4 超音波軌道裂縫檢測.....	2-6
圖 2.5 軌道量測系統.....	2-6
圖 2.6 軌道影像系統.....	2-7
圖 2.7 軌道系統檢測車.....	2-7
圖 2.8 LRAIL 感測裝置.....	2-8
圖 2.9 LRAIL 感測裝置安裝自由.....	2-8
圖 2.10 LRAIL 偵測結果(軌道幾何偵測).....	2-10
圖 2.11 DEC741 列車外觀.....	2-11
圖 2.12 DEC741 列車總計設有 64 組攝影設備.....	2-11
圖 2.13 軌道巡軌機器人運作原理.....	2-12
圖 2.14 巡軌無人機實機與功能介紹.....	2-12
圖 2.15 前期計畫平車設備安裝設計.....	2-13
圖 3.1 前期計畫成果取得資料-程式碼及已標記資料.....	3-1
圖 3.2 前期計畫成果取得資料-未標記資料.....	3-1
圖 3.3 地(車)端應用服務重建紀錄.....	3-3
圖 3.4 雲端伺服器應用服務重建紀錄.....	3-3
圖 3.5 YOLOv4-tiny 與其他模型效能比較圖.....	3-5
圖 3.6 軌道巡檢系統架構圖.....	3-8
圖 3.7 場勘作業車輛-復興號車廂.....	3-9

圖 3.8 復興號車廂外掛機構規劃與點位示意圖 .....	3-9
圖 3.9 復興號車廂外掛點位-車廂踏板位置 .....	3-10
圖 3.10 軌道構件巡檢檢測實驗機架 .....	3-11
圖 3.11 模擬感測設備攝影機角度變化示意圖 .....	3-11
圖 3.12 左、右側的軌道腹部與踏面影像畫面 .....	3-12
圖 3.13 軌道構件檢視對照實驗室清晰軌面影像 .....	3-12
圖 3.14 軌道構件單軌檢測模組側視圖 .....	3-13
圖 3.15 軌道構件單軌檢測模組上視圖 .....	3-13
圖 3.16 軌道構件雙軌檢測模組前視圖 .....	3-14
圖 3.17 精準定位系統架構 .....	3-15
圖 3.18 精準定位系統組成 .....	3-16
圖 3.19 全球衛星定位系統 .....	3-16
圖 3.20 四大衛星定位系統 .....	3-17
圖 3.21 即時動態定位技術 .....	3-18
圖 3.22 衛星定位系統於都會區使用之挑戰 .....	3-18
圖 3.23 慣性導航系統 .....	3-19
圖 3.24 里程表 .....	3-20
圖 3.25 多元路測裝置 .....	3-20
圖 3.26 結合多元感測器之定位應用 .....	3-21
圖 3.27 精準定位系統特色 .....	3-21
圖 3.28 精準定位系統可能應用 .....	3-22
圖 3.29 資料視覺化 Web GUI .....	3-25
圖 3.30 Web API 系統架構 .....	3-25
圖 3.31 Web GUI 支援各類裝置使用 .....	3-26

圖 3.32 類別篩選工具 .....	3-27
圖 3.33 軌道構件 Web GUI 案件資訊卡介面示意圖 .....	3-28
圖 4.1 復興號實車安裝影像採集機構.....	4-1
圖 4.2 影像採集機構安裝相機與燈光.....	4-2
圖 4.3 影像採集設備之實測畫面.....	4-2
圖 4.4 本計畫選用設備圖示-攝影設備 .....	4-3
圖 4.5 本計畫選用設備圖示-補光燈設備 .....	4-3
圖 4.6 本計畫選用設備圖示-電池設備 .....	4-4
圖 4.7 本計畫選用設備圖示-電源逆變器設備 .....	4-4
圖 4.8 運算主機設備 AVA5500 .....	4-5
圖 4.9 本計畫選用設備圖示-自組邊緣運算設備 .....	4-5
圖 4.10 相機畫面 FOV .....	4-6
圖 4.11 相機擷取參數設定 .....	4-7
圖 4.12 圖資標記作業示意 .....	4-13
圖 4.13 合成軌腹裂縫示意圖 .....	4-14
圖 4.14 合成銲接處裂縫示意圖 .....	4-14
圖 4.15 合成魚尾鈹裂縫示意圖 .....	4-14
圖 4.16 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-調整亮度 .....	4-17
圖 4.17 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-旋轉角度 .....	4-17
圖 4.18 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-拉近距離 .....	4-17
圖 4.19 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-Mosaic .....	4-17
圖 4.20 宜蘭段現地測試定位疊圖 .....	4-20
圖 4.21 隧道段定位結果.....	4-21
圖 4.22 長隧道定位結果.....	4-21

圖 4.23	長隧道定位結果.....	4-22
圖 4.24	隧道段定位結果比較.....	4-23
圖 4.25	空曠段定位結果比較.....	4-23
圖 4.26	臺鐵局臺中工務段影像採集範圍.....	4-26
圖 4.27	扣件連續影像.....	4-27
圖 4.28	魚尾鈹連續影像.....	4-27
圖 4.29	軌道 e 扣夾缺失與位移.....	4-27
圖 4.30	軌道異物.....	4-28
圖 4.31	疑似道釘缺失.....	4-28
圖 4.32	疑似真實裂痕.....	4-28
圖 4.33	臺鐵局宜蘭工務段現地測試過程影像採集範圍.....	4-29
圖 4.34	宜蘭段現地測試檢出物件空間分佈情形.....	4-30
圖 4.35	隧道內模擬檢測軌道變異後融合定位資訊呈現圖.....	4-31
圖 4.36	實際檢測軌道變異融合定位資訊呈現圖(一).....	4-32
圖 4.37	實際檢測軌道變異融合定位資訊呈現圖(二).....	4-32
圖 4.38	第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—e 扣夾缺失.....	4-34
圖 4.39	第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—e 扣夾缺失(續).....	4-35
圖 4.40	第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—魚尾鈹缺失.....	4-35
圖 4.41	第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—鋼軌裂縫(模擬).....	4-35
圖 4.42	現地驗證誤判情形—鐵軌銲接處誤判為鋼軌裂縫.....	4-36
圖 4.43	現地驗證誤判情形—油漬痕跡誤判為鋼軌裂縫.....	4-37
圖 4.44	現地驗證誤判情形—小石塊誤判為 e 扣夾缺失.....	4-37
圖 4.45	教育訓練活動紀錄(一).....	4-40
圖 4.46	教育訓練活動紀錄(二).....	4-40

圖 5.1 巡查作業流程建議.....	5-3
圖 5.2 缺失辨識系統設計精進方向建議—連線狀態警示燈.....	5-5



## 表目錄

表 1-1 繳交成果及繳驗時程 .....	1-6
表 1-2 進度甘特圖(Gantt Chart).....	1-7
表 2-1 混淆矩陣(confusion matrix).....	2-1
表 2-2 國內外軌道檢測系統綜合比較 .....	2-14
表 3-1 前期計畫成果重建情形 .....	3-2
表 3-2 正向圖資訓練成果平均準確率(AP)比較.....	3-6
表 3-3 側向圖資訓練成果平均準確率(AP)比較.....	3-6
表 3-4 前期計畫報告與圖資資料庫內容差異 .....	3-6
表 4-1 相機擷取參數設定對應表 .....	4-7
表 4-2 前期計畫(P1 版)16 類物件分類說明 .....	4-8
表 4-3 前期計畫(P1 版)與本期初步統整(P2 版)圖資類型比較 .....	4-9
表 4-4 最終版本(P3 版)物件類別與數量 .....	4-9
表 4-5 最終版本(P3 版)物件類別圖例 .....	4-10
表 4-6 DB Schema .....	4-12
表 4-7 軌道瑕疵缺陷物件數量分布(經過 CV Aug.前後比較) .....	4-15
表 4-8 不同模型與圖資來源訓練準確率比較(AP) .....	4-16
表 4-9 P3 模型各類物件資料集數量 .....	4-18
表 4-10 各階段模型訓練準確度(Darknet 框架，Threshold: 0.25).....	4-18
表 4-11 P3 以上階段模型訓練準確度(PyTorch 框架，Threshold: 0.001) .....	4-19
表 4-12 初版系統現地驗證作業規劃 .....	4-24
表 4-13 第二版系統線地驗證規劃作業 .....	4-24
表 4-14 第二版系統現地驗證規劃作業備案 .....	4-25

表 4-15 本計畫影像蒐集與系統實地驗證紀錄 .....	4-25
表 4-16 本計畫影像蒐集與系統驗證紀錄 .....	4-33
表 4-17 臺中段 9 月 23 日現地驗證檢出準確率統計 .....	4-38
表 4-18 模型調整效果比較 .....	4-39
表 4-19 教育訓練議程.....	4-39

# 第一章 緒論

## 1.1 背景分析

國家的交通道路建設除能便捷國民交通之外，更與國家社會經濟發展息息相關，故而道路之規模與服務品質，也常被做為評估社會經濟發展之重要參考指標，隨著經濟發展，安全、便捷與舒適之道路品質，也逐漸成為國人用路之最基本要求。然而，軌道運輸為臺灣地區主要的大眾交通運輸工具之一，交通部臺灣鐵路管理局(以下簡稱臺鐵局)以西部幹線、東部幹線、南迴線構成環島鐵路網路，為臺鐵局的核心營運路線，還包含其他運量較小的支線鐵路。至 2020 年底為止，臺鐵局的營運距離總數超過 1000 公里，車站總數高達 200 多座，總軌道長度更是超過 2000 公里之多<sup>[20]</sup>。2014 年交通部宣示推動 10 年鐵道復興計畫，其中與鐵道直接相關的包含雙線及多線網路以及建設新路線等，可預見對於軌道維護及缺失偵測需求將會更高。

影響軌道安全的因素有自然環境因素(地震、颱風、豪雨、落石、地層下陷、邊坡滑動等)、人為因素(操作失誤、過勞、破壞設備、爆裂物、暴力攻擊、劫機、恐怖攻擊等)、設備異常(軌道形變、號誌系統故障、道岔故障、列車轉向架故障、電車線脫垂、集電弓故障等)，鐵道形變直接影響軌道運輸安全，軌道扣件及構件負責固定鐵軌於枕木上，除了固定鋼軌維持線形外，並具有乘載荷重、提供適當彈性及絕緣的功能。因此，「定期巡查、精確發現、立即改善」是維持良好鐵道品質與維護國家經濟發展的不二法門，其中「定期巡查」更是重中之重的首要工作。為了避免軌道鬆脫變形，軌道的巡察擔負軌道運輸安全的重要任務，傳統上軌道扣件巡查方式係採用人工以目視方式進行巡查，然而人工目視巡查受限於巡查車速、視察角度及眼力疲乏等諸多問題，至今仍無法有效快速進行。

本計畫配合臺鐵局軌道巡查工作自動化之需求，提供以人工智慧達到自動化判別鐵路軌道構件是否牢固、缺損，以降低人工巡查人力及時間，並配合現地驗證將此技術落地推廣應用。

在前期(2019-2021年)計畫中，已利用攝影器材獲取足以AI辨識之影像，辨識及定位出有缺失之構件，建立起臺鐵局臺中工務段基礎軌道構件缺失辨識系統，整體發展歷程如下：

1. 2019年「軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究」合作研究案利用攝影器材獲取足供AI判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之扣件，初步建立一套自動化檢測系統。
2. 2020年「軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」合作研究案改善攝影機當機之情形、軌道實測範圍由一般道碴段擴及到隧道及版式軌道段，辨識對象由扣件缺失擴及到軌面缺失，辨識系統由攝影後辨識擴增可即時辨識。
3. 2021年「軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究」合作研究案建立臺鐵局臺中工務段轄區物件辨識資料庫，精進系統並提升辨識準確度，除原軌道正上方拍攝，增加側向拍攝。辨識對象由扣件、道釘、鋼軌軌面等缺失，擴及魚尾銼、鋼軌側面等缺失。

然而，綜觀上列計畫軌道巡檢系統，仍然存在著許多有待解決的問題，需投入資源進行更縝密的發展，例如斷軌影像資訊畢竟取得不易，很多發展視覺智能辨識技術往往阻礙於事故研究資料的取得，但事故發生的當下，也等同於將國民或乘客的安全拿來當做進行技術發展的博弈籌碼，此實在有違科技進步發展之初衷。因此，本期計畫除了宜蘭段指定路段的現地資料收集與測試外，亦藉由難得取得的道路場域，進行相關的科技研發試驗，期望能發掘合適的市場化產品與技術，導入本次宜蘭段的實驗場域，以快速並且有效地提升軌道巡檢的技術發展。

## 1.2 研究目的

本計畫配合交通部臺鐵局鐵道巡查工作自動化之需求，利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，檢測鐵路軌道構件缺失，建立一套自動化檢測系統。在前期計畫已利用攝影器材獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之構件，建立臺鐵局臺中工務段軌道構件缺失辨識系統。今年針對宜蘭工務段建置軌道構件缺失辨識系統，將原系統的適用範圍由平原區擴大至丘陵區，做為未來將再進一步擴大適用範圍至臺鐵局全路段之基礎。

考量宜蘭段地形特殊，路線小曲線半徑多，且設有防脫護軌，另長、短隧道亦多，地形地貌與臺中區不同，故本計畫採用宜蘭段做為測試場域。

## 1.3 工作項目

本計畫完成以下工作項目：

1. 資料蒐集分析：蒐集最新國內外鐵路軌道檢監測巡查文獻及商業化產品，綜整比較前期計畫研發的軌道構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉸)缺失辨識系統與其他國內外各鐵路軌道檢監測設備之差異或優缺點。
2. 現地測試：
  - (1) 在臺鐵局宜蘭工務段工程維修車拖行之平車上裝設攝影機、照明、通訊、運算系統及定位等相關設備。
  - (2) 在臺鐵局宜蘭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)利用設備於夜間臺鐵局工程維修車(行進速度至少於 30km/hr)獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之構件(扣件、軌面及軌腹)，提出辨識檢出率(Recall rate)及辨識準確率(Precision rate)並驗證。

### 3. 辨識系統擴建：

- (1) 建立臺鐵局宜蘭工務段構件(扣件、軌面及軌腹)缺失之辨識原則，納入原物件辨識資料庫，並進行辨識訓練。
- (2) 建立臺鐵局宜蘭工務段軌道構件影像缺失辨識及定位系統，分析、判斷及定位構件缺失(包含鋼軌裂縫與踏面不整、軌腹側面裂縫、魚尾鈹缺失)，並產製缺失報告。
- (3) 建立臺鐵局宜蘭工務段即時構件缺失辨識系統並於現場實務應用，建立手機查詢缺失影像及定位搜尋功能。
- (4) 維護前期建置之臺鐵局工務段軌道構件影像缺失辨識系統，並精進其物件辨識資料庫。

### 4. 計畫相關配合項目：

- (1) 針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。
- (2) 研究成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會至少 1 篇。
- (3) 辦理學術活動：辦理 1 場次軌道構件檢測系統教育訓練。
- (4) 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」，就本計畫成果之特性，填寫合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。本計畫績效指標項目至少包括下列項目：
  - 論文：提供至少 1 篇可供投稿之學術論文。(國內、外重要學術研討會或期刊論文)
  - 研究報告：完成 1 本研究報告。
  - 辦理學術活動：辦理 1 場次軌道構件檢測系統教育訓練。
  - 培育及延攬人才：碩士生或博士生 1 人，畢業後即可從事應用人工智慧辨識影像等資訊相關行業。

## 1.4 研究流程

本計畫在第一階段首先就前期計畫成果進行分析，包含軌道特徵之圖資、資訊平台與演算法，同步執行演算法及相關檢測系統之文獻回顧工作，並完成攝影設備之機構設計與安裝作業。

第二階段中，則是開始進行軌道構建缺失辨識系統之調整，包含缺失資料庫之更新、資料標記與模型訓練等作業，此外，由於前期計畫完成的資訊平台之重建與維護具有困難性(詳細說明請參考 3.1 節)，本計畫亦準備一簡易平台，以利後續呈現相關成果；在系統調整以外，同步配合臺鐵局臺中工務段及宜蘭工務段之作業安排，進行實地測試與驗證。

第三階段則進入計畫成果之彙整，包含相關研究成果報告撰寫、辦理教育訓練，以及籌備學術論文之投稿或發表文件，本計畫研究流程如圖 1.1 所示。

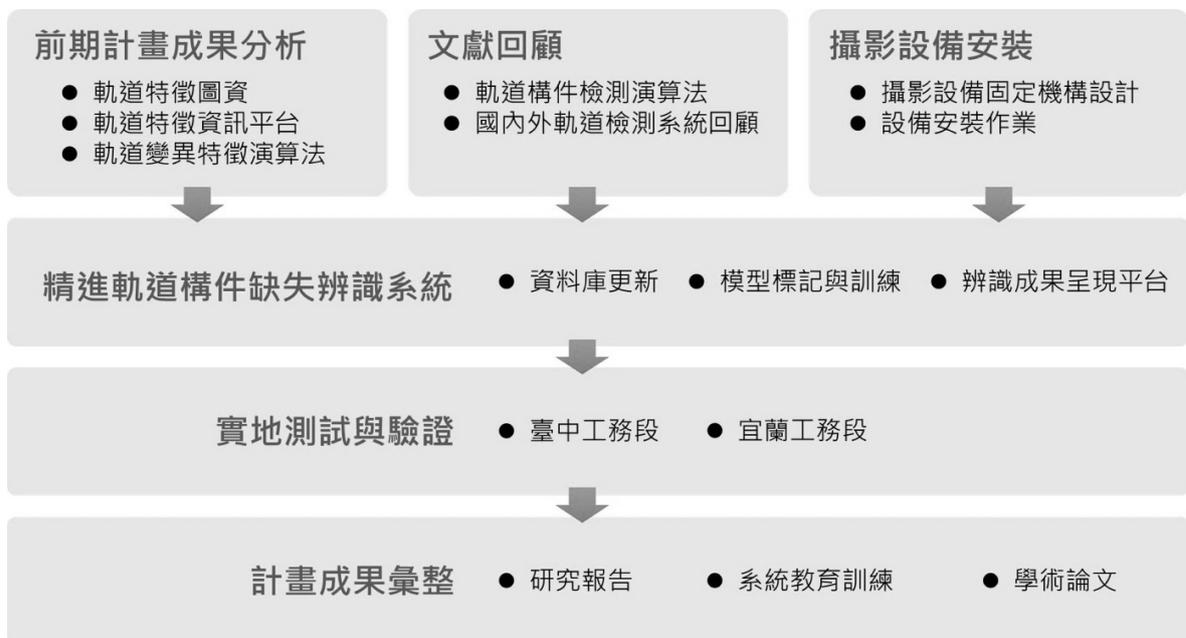


圖 1.1 本計畫研究流程

## 1.5 研究範圍

本計畫之前期計畫，業已利用攝影設備取得一定量之影像資料供人工智慧辨識系統進行訓練，並建立扣件及軌道踏面缺失辨識系統，本計畫將基於前期成果，於宜蘭工務段進行實證。

本計畫於交通部臺灣鐵道管理局宜蘭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)進行扣件檢測系統之實地應用及驗證，利用臺鐵局提供之指定車輛，裝設攝影機、補光燈、工業電腦、衛星定位等設備，於夜間獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之構件並驗證。且為確保實地驗證順利，本計畫於臺中工務段範圍內擇定一定範圍，進行資料採集設備機構測試及基礎資料採集工作，並完成初步系統流程驗證。

## 1.6 研究期程

本計畫工作期程自簽約日起至 111 年 12 月 31 日止，依工作時程規定完成各工作項目預定之成果進度，依本計畫之期程安排各階段工作目標及成果如表 1-1，執行進度甘特圖(Gantt Chart)如表 1-2。

表 1-1 繳交成果及繳驗時程

項次	預計完成時程	階段性目標暨成果
※1	契約生效 後 30 日內	上網完成政府部門研究計畫基本資料表登錄
※2	111 年 6 月 29 日	完成現地場勘、設備安裝完畢文獻及案例蒐集、完成相關圖資採集至少 70 公里、部分特徵標籤及初步模型，並交付期中報告書
※3	111 年 10 月 26 日	完成宜蘭工務段構建缺失辨識及定位系統、相關成果投稿及辦理學術活動，並交付期末報告書及內部成果展示之海報或影片電子檔。

表 1-2 進度甘特圖(Gantt Chart)

工作項目	111 年										備 註
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
資料蒐集分析	※1										
現地測試				※2							
辨識系統擴建				※2							
計畫相關配合項目								※3			
工作進度估計百分比(累積數)	17%	30%	39%	48%	63%	77%	87%	100%			
預定查核點	※1：合約生效後 30 日內，完成政府部門研究計畫基本資料表登錄										
	※2：期中報告書										
	※3：交付期末報告書										
<p>說明:(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究/計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。</p> <p>(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。「預定查核點」除了標明期中/期末/期末修正定稿提送日期外，尚須具體加列其他重要工作項目，例如：工作會議、階段性成果宣導展示、專家座談會或技術移轉教育訓練等。</p>											



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 軌道構件檢測演算法

隨著人工智慧科技蓬勃發展，研發自動化道路鐵路巡檢系統已經逐漸受到關注。目前文獻上已有透過影像處理檢測路面的方法，例如，Jo 與 Ryu 等人<sup>[1]</sup>提出使用商用黑盒子相機檢測道路坑洞的系統，以及 Chun 等人<sup>[2]</sup>提出 Naive Bayes based machine-learning approach 路面裂縫自動檢測技術等，近年來研究文獻發表使用類神經網路可以準確的檢測路面破損區域，如 Zhang 等人<sup>[3]</sup>提出 CrackNet 可以使用 Pixel-wise 的分類來檢測道路品質。但此方法只針對道路損壞的有無，儘管也有些研究針對道路破損類型進行分類<sup>[4-6]</sup>(Zalama, 2014; Akarsu, 2016; Kawano, 2017)，但大多數研究集中在幾種道路破損之間，因此，需要可以檢測不同道路破損的檢測模型。相同地，在鐵路巡檢相關的研究上，早期 Karakose, Mehmetl, Sawadisavi, Steven<sup>[10, 12]</sup>等人使用電腦視覺方法檢測鐵路上的瑕疵與破損，近期則有研究使用深度學習模型來檢測鐵路品質，相關研究如同 Chen, Junwen<sup>[8]</sup>等人提出使用深度卷積模型檢測扣件缺失、損壞，以及 Gibert, Xavier<sup>[9]</sup>等人使用 Multi-task deep learning 深度學習模型於鐵路品質自動巡檢上，此外，也有相關研究針對鐵路燈號檢測，如 Ritika, S., Shruti Mittal<sup>[11]</sup>等人所提出。

一般在機器學習中，評估一模型之精確率 AP (Average Precision) 須同時考量檢出率 (Recall rate) 及準確率 (Precision rate) 指標，其中根據預測結果與實際情形之混淆矩陣，如表 2-1，檢出率 (Recall rate) 及準確率 (Precision rate) 計算公式如 (1-1)、(1-2) 式<sup>[35]</sup>。

表 2-1 混淆矩陣(confusion matrix)

	預測結果(Predicted class)	
	預測為真 (Positive)	預測為假 (Negative)
實際情形 (Actual class)	實際為真 (Positive)	True positives (TP) False Negatives (FN)
	(實際為假) Negative	False positives (FP) True Negatives (TN)

一般機器學習模型在預測結果時會有四種情況：

- (1) 情況為真且模型判斷為真：True Positive
- (2) 情況為真且模型判斷為假：False Negative
- (3) 情況為假且模型判斷為真：False Positive
- (4) 情況為假且模型判斷為假：True Negative

檢出率(Recall Rate)之定義為「實際為真的情況下，有多少被正確判斷出來」。

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1-1)$$

準確率(Precision Rate)之定義為「判斷為真的情況下，有多少是真的真」。

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1-2)$$

其中，Recall Rate 與是否遺漏真實(miss)相關，Precision Rate 則與是否正確判斷(false alarm)有關<sup>[36]</sup>。

本計畫主要研究以物件偵測演算法為主，與一般演算法或分類器之判斷邏輯不同，並非用於判定結果之真與假，因此須同時考量演算法對物件之位置偵測與分類，此時須考量 IoU (Intersection over Union, 交並比)概念。

在物件偵測演算法中，IoU 之計算與 Bounding Box (定界框)之位置與面積有關，影像辨識物件偵測模型中，界定物件位置與區域之框限稱為 Bounding Box，在標記階段會透過數個矩形，界定須偵測物件之位置，又稱為 Ground-Truth Bounding Box，而經模型推論階段過後之辨識結果也會透過 Bounding Box 框出預測的物件位置結果，亦稱為 Predicted Bounding Box。

IoU 之定義為實際物件與預測物件之交集區域除以聯集區域面積之比例，如圖 2.1 所示。由於越準確的模型其預測範圍與實際物件位置越相近，因此，IoU 越靠近 1 之結果，表示越準確，越靠近 0 的結果，表示預測結果越不準確，一般以  $IoU > 0.5$  認定為該物件預測結果準確 (True Positive)。

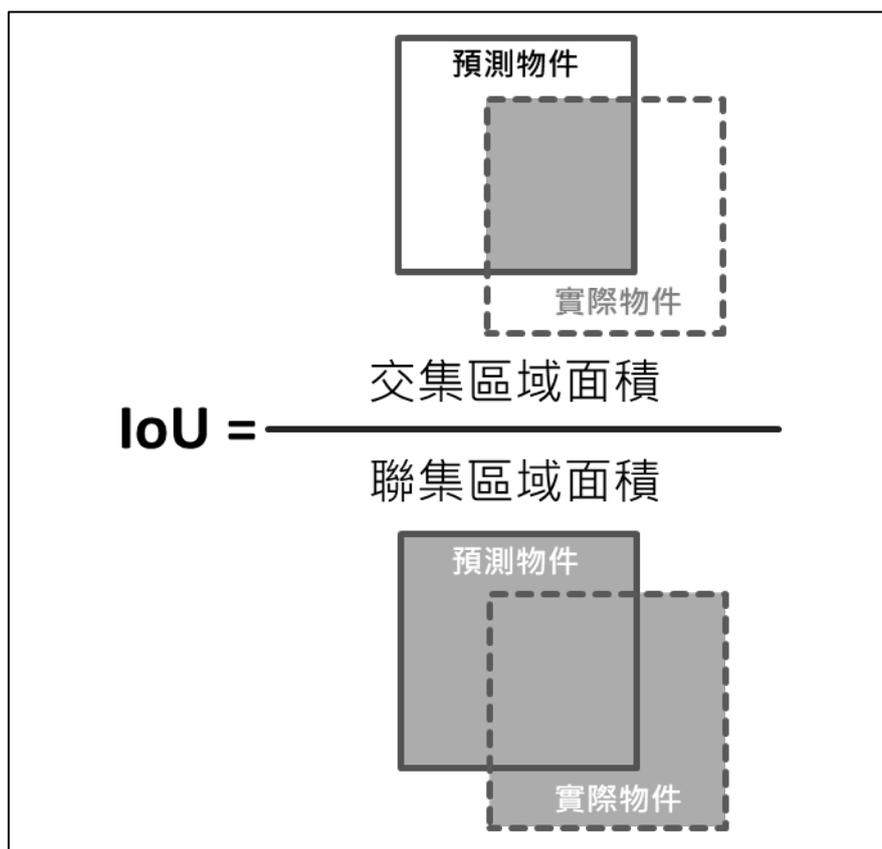


圖 2.1 IoU 定義示意圖

AP 為本計畫用於評估一模型對各類物件是否準確的方法之一，主要透過預測結果之 IoU 與信心程度 (Confidence) 排列後，計算出的 Precision Rate 與 Recall Rate，取 Confidence 高於設定門檻值之物件後，換算出模型中個別物件之預測精確率 AP。單一模型中所有不同物件之 AP，取其平均值集為 mAP，可視為該模型之精準度。

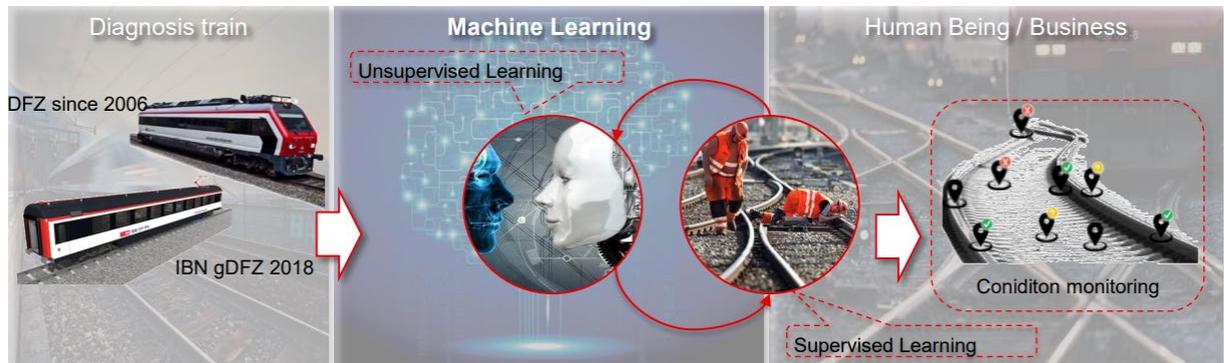
## 2.2 國內外軌道檢測系統回顧

延續前期計畫成果，本計畫彙整世界各國目前較為成熟的軌道檢測系統，並與前期計畫成果進行比較。

### 2.2.1 瑞士 RailCheck 計畫

瑞士聯邦鐵路公司(Swiss Federal Railway, SBB)為瑞士聯邦的國營鐵路公司，總計管理 10,671 列車與 3,232 公里鐵路，為服務每天 126 萬總旅客數。然而傳統的鐵路巡檢策略，需要依靠大量人力進行，隨著時間演進，部分軌道甚至長達 10 年未能妥善檢視與維護。為了確保行車安全，SBB 與瑞士電子和微技術中心(Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, CSEM)合作啟動了”RailCheck”計畫。

SBB 與 CSEM 合作發展出的檢測車上，裝載多個高畫質攝影機與各式偵測器，可以在時速 160 公里下，取得各類軌道資料，再透過大數據與深度學習模型，辨識出軌道上的缺失，並即時回報處理。由於鐵路環境的獨特性，需要大量專家投入缺失辨識與標記工作，為了降低人力需求並確保未來持續成長性，採用了半監督式學習方法，透過初步篩選可能具有缺失的少量資料後，於網路上透過群眾外包的方式，由鐵路相關專家以多數決的方式進行標記，流程如圖 2.2、圖 2.3。



資料來源：CSEM 網站

圖 2.2 軌道缺失檢測流程



資料來源：CSEM 網站

圖 2.3 RailCheck 計畫執行流程

該計畫執行過程中，SBB 規劃了大量資料蒐集，紀錄不同天氣條件(如下雨、下雪、結冰)及非軌道物件(如樹葉、泥土等)的影像資料。所有影像資料透過以「區域卷積神經網路」(Region Convolution Neural Network, R-CNN)為基礎的模型，將需要進行辨識的區域選取出來，如：鐵軌及扣件。取得的資料再利用「生成對抗網路」(Generative Adversarial Network, GAN)將先進行分類，確認該部位為何種類型的構件，並進一步比對構件正常的樣貌與異常樣貌，篩選出異常資料。異常資料則再投入錯誤的偵測與分類，執行研究團隊在此階段將常見錯誤分類由傳統的 20 種濃縮為 5 種，分別為：焊接、接頭、表面缺陷、踏面擦傷、車輪滑移。最後再將所有分類後資料放上網路，交給鐵道專家進行資料標記作業。這套流程為計畫執行團隊提供了一個明確且自動化的方法，在人工智慧與鐵路專家的合作下，不斷的進行模型在訓練，使準確度持續提高，達成了終身機器學習(Lifelong Machine Learning)的效果。

### 2.2.2 美國 ENSCO

ENSCO(Energy Service Company)為長期為美國企業與政府提供航太、國土安全、鐵路交通與資訊安全服務的企業，有各式商品與服務，協助確保其客戶營運之安全性、可靠性及效率。

在鐵路檢測上，針對軌道缺失異常檢測，ENSCO 提供了各許多不同種類的檢測工具，包含超音波軌道裂縫檢測 Ultrasonic Rail Flaw System (URFS)、軌道量測系統 Track Measurement Systems(TMS)及軌道影像系統 Track Imaging Systems(TIS)，如圖 2.4、圖 2.5、圖 2.6 所示。



資料來源：ENSCO 網站

**圖 2.4 超音波軌道裂縫檢測**

URFS 為 ENSCO 的產品基礎，以超音波方式檢測軌道損傷情形，以防止斷軌及脫軌問題。



資料來源：ENSCO 網站

**圖 2.5 軌道量測系統**

TMS 系統下許多不同工具，主要透過雷射感測技術，提供準確可靠的軌道數據，包含軌道輪廓、枕木、焊接點、連接點、乘車品質、鋼軌品質等量測，可針對鋼軌磨損、枕木弱點...等提供即時回報。



資料來源：ENSCO 網站

**圖 2.6 軌道影像系統**

TIS 系統則是主要以高畫質攝影機搭配影像處理技術，透過影像辨識的方式找出各類軌道缺失問題，包含魚尾鈹、枕木、扣件、軌頭等部位。其中包含主要負責魚尾鈹裂紋檢測的焊接點檢測 Joint Bar Inspection System (JBIS)、負責軌道扣件與枕木檢測的軌道構件檢測系統 Track Component Imaging System (TCIS)、以高速線掃描成像(Line Scan)進行鋼軌表面狀態檢查的 Rail Surface Imaging System (RSIS)。

ENSCO 長期服務美國鐵路機構，相關檢測設備皆可選購安裝，亦協助客戶打造各類巡檢車(如圖 2.7 所示)。除此之外，ENSCO 也提供單純的鐵路巡檢服務，為沒有巡檢車輛的業者提供軌道安全確認。



資料來源：ENSCO 網站

**圖 2.7 軌道系統檢測車**

### 2.2.3 加拿大 LRAIL

由加拿大公司 Pavemetrics 開發的 Laser Rail Inspection System (LRAIL) 為一組由兩個感測裝置所組成軌道檢測系統(如圖 2.8 所示)，該裝置依客戶需求可安裝於不同位置，如軌道工程車之車頭車尾、高軌卡車(High-Rail Truck)、拖車等(如圖 2.9 所示)。



資料來源：Pavemetrics 網站

圖 2.8 LRAIL 感測裝置



安裝於巡檢車輛



安裝於拖車

資料來源：Pavemetrics 網站

圖 2.9 LRAIL 感測裝置安裝自由

LRAIL 產品最大特色還有在一次行程中可以完成 2D 取像及 3D 掃描，並透過人工智慧進行圖像套疊，再配合內建的精準定位系統，可在一次掃描內，取得精準的掃描結果(如圖 2.10 所示)。產品亦能提供完整的鐵道檢測結果，包含以下項目：

1. 變動檢測 Change detection
2. 木質枕木檢查(位置、歪斜角度、裂縫、斷裂、腐爛、缺少道釘)
3. 混凝土枕木檢查(位置、歪斜角度、裂縫長度、裂縫深度、裂縫寬度)
4. 扣件檢查(位置、種類、鬆脫、缺失、破壞、遮蔽)
5. 岔心檢測(位置、TPOC、磨損)
6. 尖軌檢測(位置、趾端偵測、踵端偵測)鋼軌表面
7. 鋼軌接頭偵測與縫隙檢查
8. 鋼軌踏面缺失(剝離、裂縫)
9. 軌道軌距、水平、方向及高低檢測
10. 軌頭及軌腹磨損

LRAIL 產品為符合軌道營運之需求，檢測時速可達 180 公里，並具有可精準定位、輕量化、低功耗且高儲存量等特色；目前已在全球 25 個國家提供服務。



資料來源：Pavemetrics 網站

圖 2.10 LRAIL 偵測結果(軌道幾何偵測)

#### 2.2.4 日本 Doctor Yellow

在日本，鐵路乘載了大量運輸服務，因此，大量採用採用了「電氣軌道總合試驗車」做為整體軌道及相關儀器檢查的重要工具，由於鮮黃色的車身以及為鐵路服務檢查「疑難雜症」的特色，電氣軌道總合試驗車也被稱作 Doctor Yellow。

2000 年起，新幹線採用了 700 系為技術基礎的 923 型列車，行駛速率可達每小時 270 公里，且搭載了大量的數位化檢測儀器，包含列車兩端的電器、電纜、變電、信號測定儀器，以及檢測專用集電弓。車頂亦設有觀測圓頂窗口，除提供人員進行目視觀察外，也有攝影機長時間拍攝集電弓運作情形，車底則有雷射軌道檢測裝置，車頭處也設有錄影機拍攝行進狀態。

然而，在車頂線路、集電弓、軌側設備的狀態，仍以目視檢查為主流。因此，2021 年西日本鐵道公司(JR West)宣布投入採用 AI 影像辨識進行。全新的 DEC741 列車(如圖 2.11 所示)，僅有兩節車廂，在車頂、車側與車底總計裝設 64 組攝影機與 44 組補光設備(如圖 2.12 所示)，

可在運行速率 100km/hr 環境下，對軌道、電氣設施與號誌設備進行取像，並透過人工智慧辨識軌道及其他設備缺失。



資料來源：日本每日新聞網<sup>[24]</sup>

圖 2.11 DEC741 列車外觀



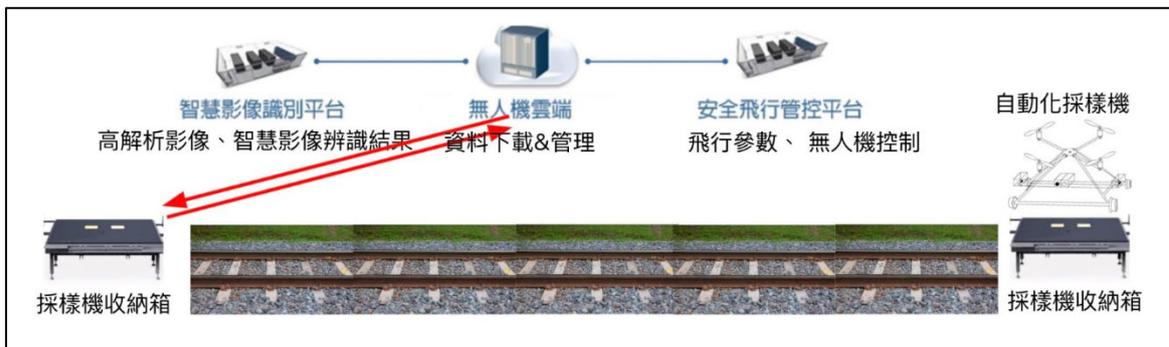
資料來源：日本每日新聞網<sup>[24]</sup>

圖 2.12 DEC741 列車總計設有 64 組攝影設備

### 2.2.5 臺灣仲碩科技鐵路軌道巡軌機器人

仲碩科技為國內 AI 影像辨識與無人載具之供應商，於 2021 年起投入軌道巡軌機器人之研發工作，主要採用無人飛行載具執行巡軌作業，並能辨識出以下缺失類別：軌道損壞、軌道錯位、軌道磨損、軌道部件檢查、軌道延伸變形檢查及軌道部件檢查。執行過程中，採樣機會將沿途取得之軌道圖資即時上傳至雲端，並傳送至智慧影像平臺進行辨識，以取得即時的辨識成果。(如圖 2.13、圖 2.14 所示)

此產品經過資訊查詢與電訪作業，僅獲知有與相關應用單位進行測試，但尚未有實際商轉營運場域。



資料來源：仲碩科技<sup>[27]</sup>

圖 2.13 軌道巡軌機器人運作原理



資料來源：仲碩科技<sup>[33]</sup>

圖 2.14 巡軌無人機實機與功能介紹

### 2.2.6 運研所軌道扣件缺失人工智慧辨識系統(2019-2021 年)

前期計畫所完成之「軌道扣件缺失人工智慧辨識系統」，應用影像辨識方法，協助臺鐵局日常軌道檢測作業。於本年度計畫啟動前，前期

計畫已初步建立資料庫，納入軌道扣件、道釘、軌面、魚尾鉸與側軌資料庫；從實地驗證中，已確認該系統可在時速 30 公里以下之夜間環境中，取得清晰度足以辨識的影像資料，經即時影像辨識後，可將辨識結果上傳至雲端平台，提供後續確認之用。

由於本系列計畫尚屬研究實證階段，運行上，主要利用臺鐵局提供之平車設施，透過支架將 GoPro9 攝影機、補光燈、定位設備、電腦及發電機等設施固定於平車上(如圖 2.15 所示)，安裝與架設具有一定困難度。且由於本技術發展上在實證階段，僅蒐集少量圖資，難以累積錯誤樣本，因此，準確度仍有待逐步提升。



資料來源：交通部運輸研究所<sup>[19]</sup>

圖 2.15 前期計畫平車設備安裝設計

### 2.2.7 國內外軌道檢測系統綜合比較

經檢視國內外軌道檢測系統之發展，截至 2021 年底，統整綜合比較，如表 2-2，顯示影像辨識技術已逐漸成為軌道檢測之重要工具，且多數檢測工具已能涵蓋大多數軌道常見的缺失問題，容許在較高的運行速度下運作。軌道檢測系統移動方式仍透過既有或新造車輛進行移動，以確保移動速度及電力保障。

表 2-2 國內外軌道檢測系統綜合比較

	移動方式	偵測技術	偵測物件	即時性	運行速度
瑞士 RailCheck	專用檢測車	攝影機與 其他感測器	鋼軌及扣件	即時	160 km/hr
美國 ENSCO	專用檢測車輛， 提供客製化服務	超音波、雷射、 攝影機、線掃描成像	鋼軌及扣件	即時	高速
加拿大 LRAIL	安裝於任何 車輛	攝影機與雷射	鋼軌及扣件	即時	180 km/hr
日本 Doctor Yellow	專用檢測列車	電氣感測設備、 攝影機	鋼軌、集電弓 與軌側設備	即時	100 km/hr
台灣 仲碩科技	無人飛行載具	攝影機	鋼軌及扣件	無提供	無提供
運研所 (2019-2021)	工程維修用平車 改裝	攝影機	鋼軌及扣件	部分即時	30 km/hr

### 2.3 精準定位系統回顧

在軌道構件檢測系統中，完成軌道缺失辨識之外，亦須透過精準的定位資訊，將缺失發生位置準確地呈現出來。依據臺鐵局「以多元通訊為架構之行車控制 4.0 系統」採購案之規格需求書說明，符合臺鐵局運行所需之定位系統，需在列車行進時速於 130 公里/小時(含)時，同時滿足下列功能需求：

1. 軌道區間及行駛方向正確率為 100%
2. 列車位置精度需小於正負 3 公尺
3. 精準定位輸出頻率為 20Hz

緯創資通股份有限公司其他產品團隊過去曾結合市售品，配合現地狀況進行調整開發，發展精準定位系統演算法，並多次於新竹六家線進行場域測試，已驗證在理想運行環境下，可達上述臺鐵局的列車定位需求，顯示市售產品中已有可達臺鐵局運作標準之標準化產品可供選購。

### 第三章 軌道構件缺失辨識系統精進

#### 3.1 前期計畫成果分析

前期計畫之成果，應包含軌道構件圖資蒐集、演算法訓練與軌道構件缺失辨識系統等內容，實際取得之相關原始碼、資料集與操作說明等資料，如圖 3.1、圖 3.2 所示。



圖 3.1 前期計畫成果取得資料-程式碼及已標記資料



圖 3.2 前期計畫成果取得資料-未標記資料

本計畫利用所取得之檔案文件，嘗試進行復原重建，經多次努力後發現具有一定困難度，彙整重建成果，如表 3-1 所示。

**表 3-1 前期計畫成果重建情形**

	前期成果項目	重建情形說明
1	軌道構件圖資	圖資分為正向與側向資料集，詳與報告書數量有所出入。
2	軌道地(車)端應用服務	原始碼無法進行重建作業。
3	軌道雲端伺服器應用服務	原始碼無法進行重建作業，既有編譯設定與連線資訊均未詳載。
4	軌道應用資料庫	因無法完成連線作業與資訊提供，故無法查閱資料庫內容與設計。
5	軌道構件辨識演算法	提供正向與側向兩種辨識演算法，經原生演算法匯入圖資進行訓練。

### 3.1.1 軌道構件缺失辨識系統分析

依前期計畫報告書所示，軌道構件缺失辨識系統可分為三部分，包含地(車)端應用服務、雲端伺服器及資料庫等。本計畫多次嘗試執行復原建置作業，但礙於原始編譯設定與系統相關連線資訊，包括網路位址、帳號與密碼...等，皆未符合契約規範的內容提供原則。因此，前期計畫遺留的相關成果，包括系統原始碼皆無法進行重建作業，同時也發現原先規劃應用於本期計畫的雲端連線伺服器，其中的編碼與儲存資料庫均設置於外部伺服器，目前已無法與原伺服器系統取得連線，過程紀錄如圖 3.3 及圖 3.4 所示。

```

+ CategoryInfo          : OperationStopped: (:) [], RuntimeException
+ FullyQualifiedErrorId : ScriptHalted

PS G:\MyUI\darknet> .\build.ps1 -UseVCPKG -EnableOPENCV -EnableCUDA -EnableCUDNN
已啟動轉譯，輸出檔為 G:\MyUI\darknet\build.log
Build script version 1.9.8
PowerShell version:
Major Minor Build Revision
-----
5      1      22000 282
VCPKG bootstrap script: bootstrap-vcpkg.bat
CUDA is enabled
CUDNN is enabled
OPENCV is enabled
OPENCV with CUDA extension is not enabled, you can enable it passing -EnableOPENCV_CUDA
VCPKG is enabled
VCPKG will be updated to latest version if found
VisualStudio integration is enabled, please pass -DoNotSetupVS to the script to disable
Yolo C# wrapper integration is disabled, please pass -EnableCSharpWrapper to the script to enable. You must be on Window
s!
Ninja is enabled, please pass -DoNotUseNinja to the script to disable
ForceCPP build mode is disabled, please pass -ForceCPP to the script to enable
Using git from C:\Program Files\Git\cmd\git.exe
Darknet has been cloned with git and supports self-updating mechanism
Darknet will self-update sources, please pass -DoNotUpdateDARKNET to the script to disable
Already up to date.
Using CMake from C:\Program Files\CMake\bin\cmake.exe
cmake version 3.23.0-rc3

CMake suite maintained and supported by Kitware (kitware.com/cmake).
Using Ninja from G:\MyUI\darknet\ninja\ninja.exe
Ninja version 1.10.2
Found vcpkg in VCPKG_ROOT: G:\MyUI\darknet\vcpkg
Already up to date.
Downloading https://github.com/microsoft/vcpkg-tool/releases/download/2022-03-09/vcpkg.exe -> G:\MyUI\darknet\vcpkg\vcpk
g.exe... done.
Validating signature... done.

Warning: no Full Visual Studio setup has been found, extending search to include also partial installations
Warning: no full Visual Studio setup has been found, extending search to include also pre-release installations
could not locate any installation of Visual Studio
Press any key to continue...
ScriptHalted
位於 G:\MyUI\darknet\build.ps1:187 字元:5
+ ~~~~~
+ throw
+ ~~~~~
+ CategoryInfo          : OperationStopped: (:) [], RuntimeException
+ FullyQualifiedErrorId : ScriptHalted

```

圖 3.3 地(車)端應用服務重建紀錄

```

gr1226@vsdeep0:~/wlstron/darknet$ python3 server.py
[2022-03-21 19:48:24] [INFO] init the TRA detector server
[2022-03-21 19:48:24] [INFO] checking DB connector
[2022-03-21 19:48:24] [ERROR] !!!-->error!--!!!
[2022-03-21 19:48:24] [ERROR] <class 'pymysql.err.OperationalError'>
[2022-03-21 19:48:24] [ERROR] (2003, "Can't connect to MySQL server on '127.0.0.1' ([Errno 111] Connection refused)")
*** Logging on ***
Traceback (most recent call last):
  File "/home/gr1226/.local/lib/python3.6/site-packages/pymysql/connections.py", line 614, in connect
    (self.host, self.port), self.connect_timeout, **kwargs
  File "/usr/lib/python3.6/socket.py", line 724, in create_connection
    raise err
  File "/usr/lib/python3.6/socket.py", line 713, in create_connection
    sock.connect(sa)
ConnectionRefusedError: [Errno 111] Connection refused

During handling of the above exception, another exception occurred:

Traceback (most recent call last):
  File "server.py", line 431, in checker
    users=db["user"], passwords=db["password"])
  File "/home/gr1226/wlstron/darknet/dbcc.py", line 7, in __init__
    self.db = pymysql.connect(autoconnect=True, host=host, port=port, user=user, password=password, database=database, charset='utf8')
  File "/home/gr1226/.local/lib/python3.6/site-packages/pymysql/connections.py", line 353, in __init__
    self.connect()
  File "/home/gr1226/.local/lib/python3.6/site-packages/pymysql/connections.py", line 664, in connect
    raise err
pymysql.err.OperationalError: (2003, "Can't connect to MySQL server on '127.0.0.1' ([Errno 111] Connection refused)")

During handling of the above exception, another exception occurred:

Traceback (most recent call last):
  File "/usr/lib/python3.6/logging/_init_.py", line 994, in emit
    msg = self.format(record)
  File "/usr/lib/python3.6/logging/_init_.py", line 840, in format
    return fmt.format(record)
  File "/usr/lib/python3.6/logging/_init_.py", line 577, in format
    record.message = record.getMessage()
  File "/usr/lib/python3.6/logging/_init_.py", line 338, in getMessage
    msg = msg % self.args
TypeError: not all arguments converted during string formatting

*** Logging on ***
Last Stack:
  File "server.py", line 474, in <module>
    main()
  File "server.py", line 467, in main
    runflg, db = checker(logger, sqlc, serverc)
  File "server.py", line 453, in checker
    logger.error('function[module->]', traceback.tb_frame.f_code.co_name)
Message: 'function[module->]'
Arguments: ('checker',)
*** Logging on ***
Traceback (most recent call last):
  File "/home/gr1226/.local/lib/python3.6/site-packages/pymysql/connections.py", line 614, in connect
    (self.host, self.port), self.connect_timeout, **kwargs
  File "/usr/lib/python3.6/socket.py", line 724, in create_connection
    raise err
  File "/usr/lib/python3.6/socket.py", line 713, in create_connection
    sock.connect(sa)
ConnectionRefusedError: [Errno 111] Connection refused

```

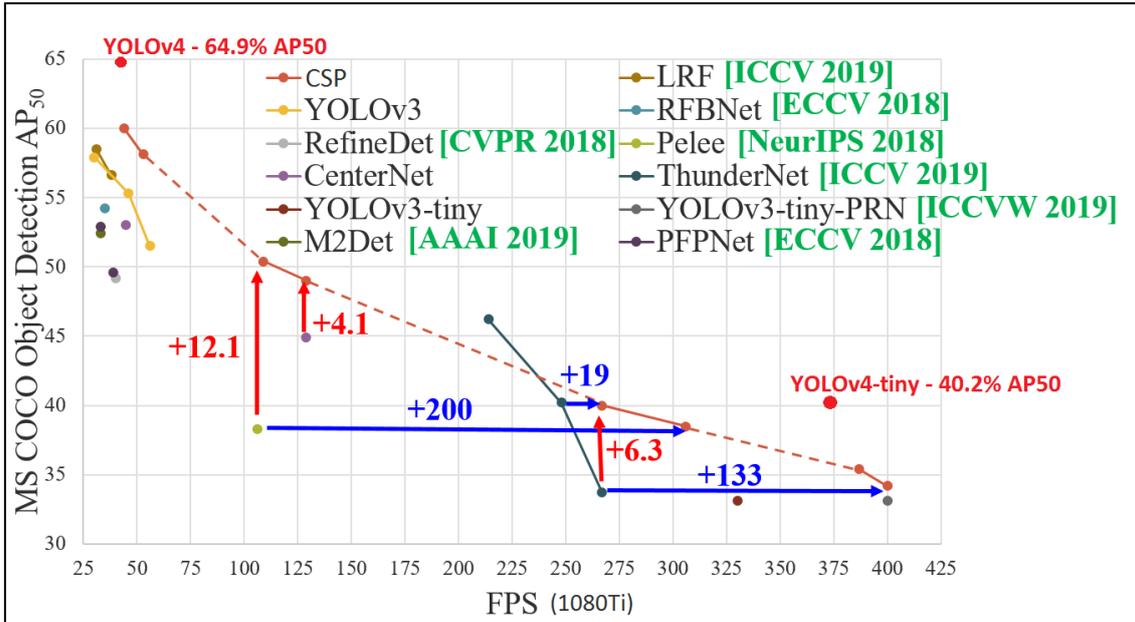
圖 3.4 雲端伺服器應用服務重建紀錄

由於前期計畫成果所提供之缺失辨識系統無法完全延續應用，為了展示本期計畫之研究成果，本計畫啟動風險應變計畫，特諮詢緯創資通公司尋求可用資源，最後規劃以其他公路應用的巡檢應用之平台為基礎模板，根據軌道巡檢使用需求進行大幅改造後，重新架設一應用服務，包含地端邊緣運算辨識功能及雲端圖形化顯示介面，以利後續於臺鐵局宜蘭工務段進行實地測試之用。

### 3.1.2 軌道構件辨識演算法分析

前期計畫使用 YOLOv4-tiny 建置軌道構件缺失辨識模型，同時又分成兩個模型來偵測鐵道軌面正面與側面之可能瑕疵處。而本計畫在進行前期計畫成果重現分析後，也決定於本期計畫進行過程中延續採用 YOLOv4-tiny 進行本計畫的精進研究，以利後續對照評估。

YOLOv4-tiny 演算法是基於 YOLOv4 的精簡版，模型架構之參數只有 600 萬相當於原來的十分之一，YOLOv4-tiny 大幅縮減神經網路中關於特徵抽取網路之架構，以達到模型加速效果，相較其他演算法具有運算速度更快的好處，如圖 3.5 所示。同時 YOLOv4-tiny 整體網路架構共有 38 層，具備有多任務、端到端、注意力機制和多尺度的特點。多任務意即同時間可以完成目標的分類與回歸，實現參數共享避免過擬合，否則會造成此模型於實際場域運行時效果不佳的現象；端到端即模型接收圖像數據後，直接給出分類與回歸的預測結果；注意力機制是重點關注意標區域特徵進行詳細處理，可以提高處理速度；多尺度的特點是將經過下採樣和上採樣的數據相互融合，其作用是能夠分割出多種尺度大小的目標。



資料來源：AlexeyAB<sup>[31]</sup>

圖 3.5 YOLOv4-tiny 與其他模型效能比較圖

### 3.1.3 軌道構件前期圖資分析

前期計畫發展之軌道缺失特徵圖資資料庫，在辨識正向軌道與側向軌道時，同時使用了兩個 YOLOv4-tiny 進行訓練智慧模型作業，因此本期計畫先依據同樣方法進行重建作業，以利在確認前期計畫資訊的正確性後，可進行延續的發展應用。本計畫分別針對正向軌道與側向軌道的模型進行重建，基於前期計畫所得到之圖資投入訓練，結果分別彙整統計，如表 3-2 與表 3-3 所示。

最後，經過分析實驗數據，可以發現訓練數據結果不如前期計畫報告成果，更進一步分析後發現前期計畫結案報告之說明與實際交付之圖資數量存在落差，在前期計畫結案報告中，其正向視角的已標記圖資(含訓練及驗證樣本)總計達 3800 張，然而圖資資料庫中已標記樣本僅 2493 張，其中 1533 張為正向視角，960 張為側向視角，如表 3-4 所示。由於圖資資料庫中可用之樣本數量少於前期計畫報告所述，且許多圖資內容品質有所缺漏，因此，本期計畫執行之初，即確認無法完全直接複製出前期計畫之準確度。爰此，本計畫執行團隊啟動風險管理計畫，

直接針對前期圖資重新進行整理並優化模型訓練程序，以期有效解決此問題，相關執行細節請參考 4.2 節說明。

**表 3-2 正向圖資訓練成果平均準確率(AP)比較**

正向視角	本期初步重現數據	前期計畫報告數據
e 扣夾輕微缺失	68.55%	71.88%
e 扣夾嚴重缺失	87.68%	97.24%
道釘輕微缺失	57.36%	97.37%
道釘嚴重缺失	46.48%	100%
軌面輕微缺失	17.46%	98.58%
軌面嚴重缺失	34.29%	92.04%
版式軌道道釘輕微缺失	98.24%	92.48%
版式軌道道釘嚴重缺失	99.96%	100%
其他缺失	100%	100%
元件被遮蔽	98.35%	93.30%
mAP@0.5	70.84%	94.47

**表 3-3 側向圖資訓練成果平均準確率(AP)比較**

側向視角	本期初步重現數據	前期計畫報告數據
焊接處裂縫	99.05%	100%
魚尾鈹裂縫	100%	100%
鋼軌裂縫	42.51%	100%
魚尾鈹螺栓脫落	54.72%	96.15%
焊接處正常	82.93%	98.82%
魚尾鈹正常	67.31%	100%
mAP@0.5	74.42%	99.16%

**表 3-4 前期計畫報告與圖資資料庫內容差異**

	前期計畫報告內容數量	圖資資料庫實際數量
正面視角	訓練樣本 3420 張 測試樣本 380 張	已標記樣本 1533 張
側面視角	報告內未加以說明	已標記樣本 960 張

## 3.2 系統精進規劃

### 3.2.1 系統設計與架構

本計畫啟動之初，系統設計方面規劃延續並且維護前期計畫成果，採用邊緣計算方式設計，搭配本期計畫於臺鐵局臺中工務段與宜蘭工務段軌道採集的新圖資以擴增軌道樣本資料庫，並投入 AI 影像辨識模型再訓練流程；辨識結果之呈現方式亦延續前期計畫完成之資訊平台串接地端辨識成果，並配合現地實際應用需求進行些許微調，以完成本計畫之預期目標。

然而，在完成 3.1 節所進行的前期計畫成果分析後，本計畫必須重新規劃系統設計與架構，最終保留雲地混和概念，於巡軌車輛上安裝邊緣運算設備做為地端系統，並於雲端架設伺服器建立辨識成果資料庫與視覺化查詢平台，如圖 3.6 所示。如此設計方法只須確保地端(巡軌車)辨識設備具備足夠的算力資源，可執行多路攝影機即時運算，並將成果送達雲端資料庫，就可能做到即時呈現的效果，此架構亦可有效降低網路傳輸風險與傳輸費用需求，適合在行進中巡查車輛上運作。

地端辨識設備會擷取軌道巡檢所需資料，包括來自攝影機的影像資料以及定位設備提供的即時定位資訊，當地端辨識設備即時發現軌道構件缺失時，就會立即融合定位經緯度座標產生一筆完整「構件缺失」資料。該筆缺失資料會透過無線通訊傳遞至雲端伺服器，由雲端系統寫入物件的辨識成果資料庫，供查詢系統使用。而使用者則可以透過網路通訊設備，包含手持式行動裝置或電腦，進入查詢系統調閱軌道構件缺失巡查結果，雲端系統會根據使用者輸入條件，自資料庫中提取相應的缺失紀錄，呈現於網路介面中。系統中會保留完整的歷次巡檢紀錄，後續可透過歷史事件發生特徵進行進一步的分析，提供後續軌道維護單位做為預防保養規劃的分析依據。

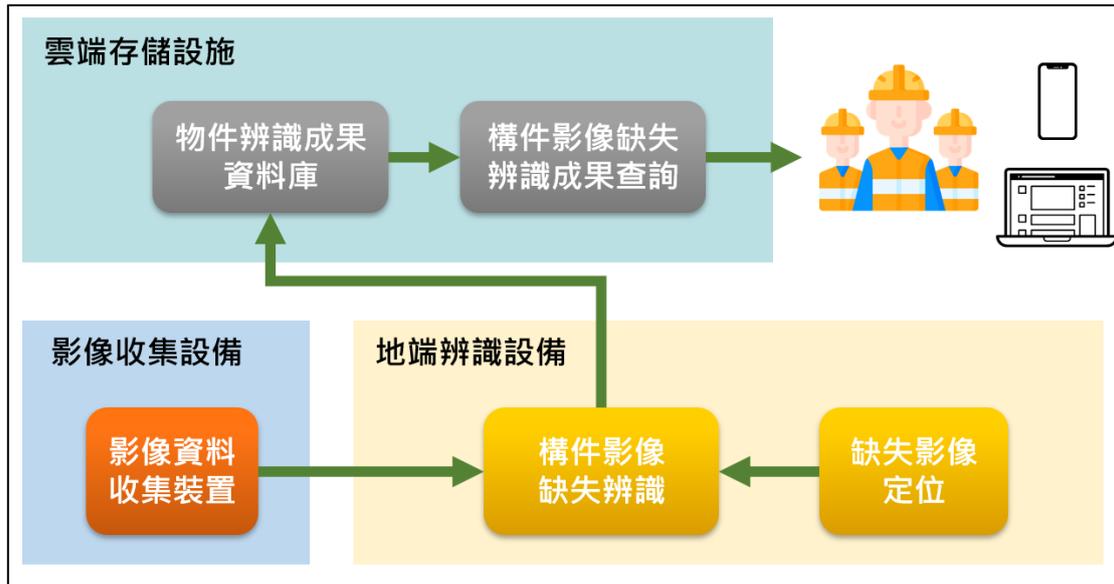


圖 3.6 軌道巡檢系統架構圖

### 3.2.2 影像採集裝置

影像採集裝置為本計畫最重要的硬體設備之一，包含攝影機、補光燈及其固定裝置。首先勘查後續實際使用的復興號車廂(如圖 3.7 所示)，了解到本次固定裝置之結構設計須滿足 2 大前提：

- 1.配合臺鐵局資產管理作業，不得破壞車廂箱體及外觀。
- 2.配合車廂例行保養維護作業，需可活動拆裝。

因此，本計畫提出可快速拆裝的模組化架構設計，中心支架利用重物固定於復興號車廂內部，向外延伸一組左右支撐架，做為攝影機及補光燈加裝固定之用，軌道構件巡檢模組的設計與安裝規劃(如圖 3.8、圖 3.9 所示)，實際安裝成果，請參考第 4.1 節。



圖 3.7 場勘作業車輛-復興號車廂

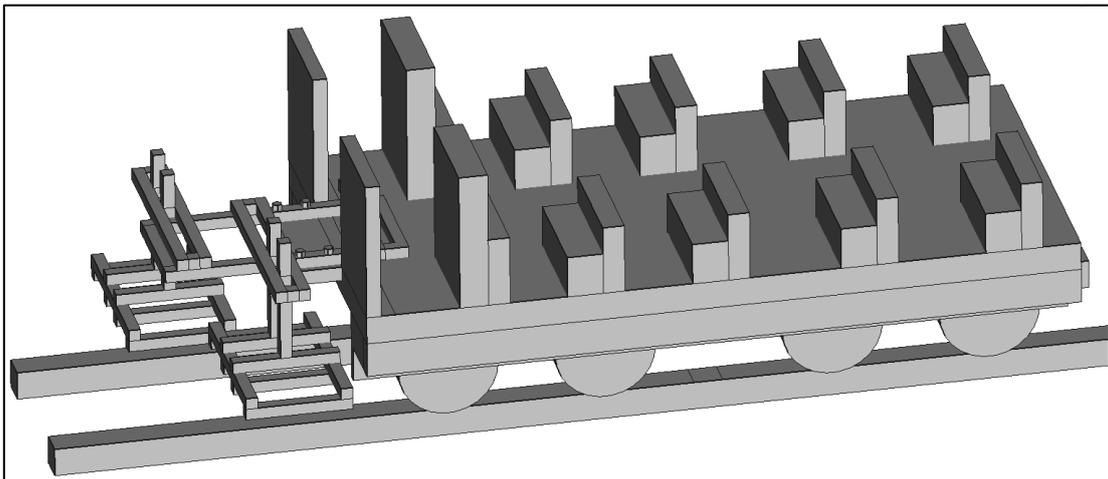


圖 3.8 復興號車廂外掛機構規劃與點位示意圖



車踏板安裝時會分離



圖 3.9 復興號車廂外掛點位-車廂踏板位置

為了確保實際安裝時可以順利執行、降低測試與安裝所需時間，在協調臺鐵局車廂與申請作業進行的同時，先於本計畫專屬的研究實驗室內，透過一組自製的模擬實驗裝置，進行初期模擬收集軌道影像燈光與取像視角的研究，如圖 3.10 所示，其中可以先行研究項目包含攝影機角度變化、燈光角度、檢測高度與取像感測設備的實際對應 FOV(Field of View，即視野範圍)的變化研究，如圖 3.11 所示。

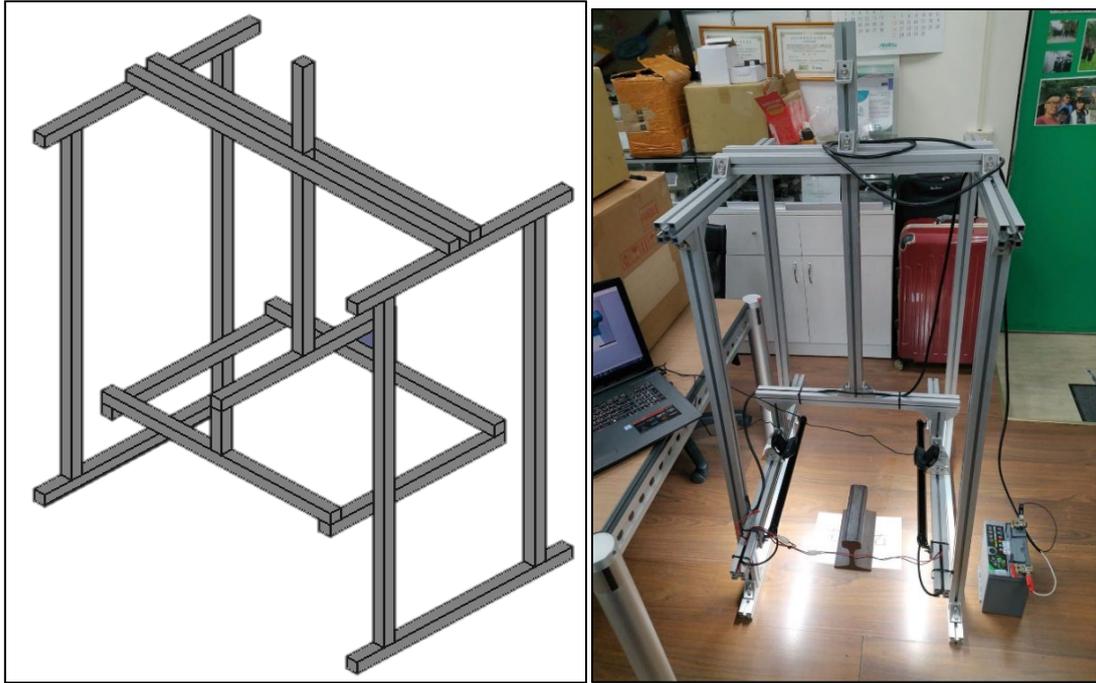


圖 3.10 軌道構件巡檢檢測實驗機架

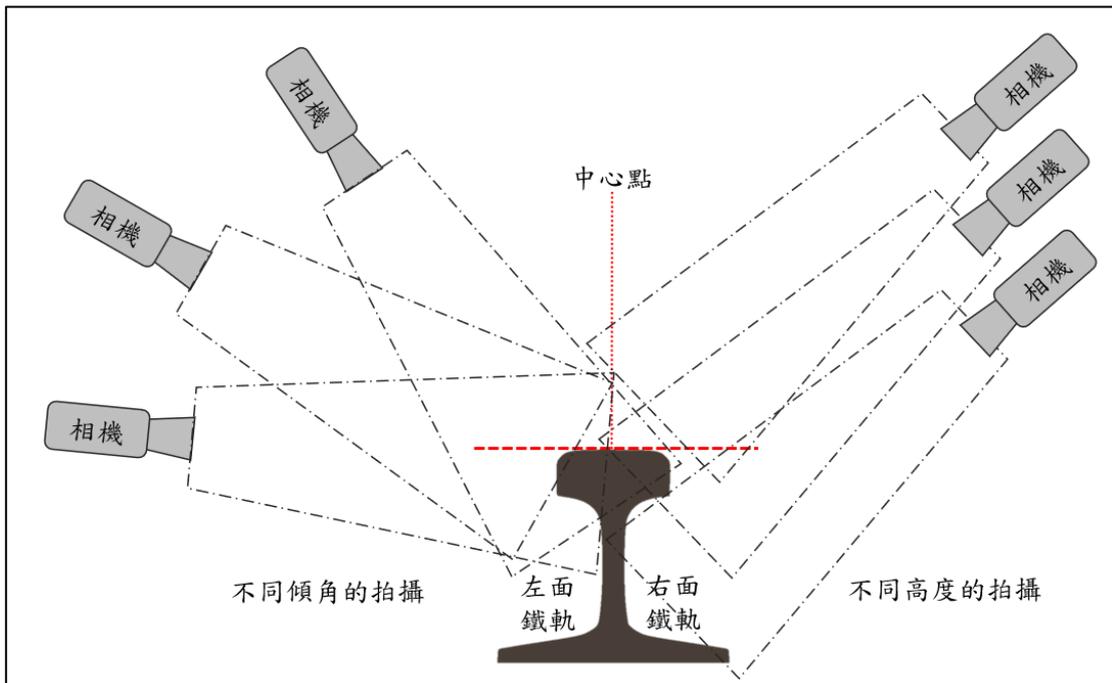


圖 3.11 模擬感測設備攝影機角度變化示意圖

利用實驗室的設備，在接下來真正於軌道作業之前就可以先利用取景影像調整出合適的角度與高度，可以直接透過攝影機畫面，依據專

案應用需求可以看到鐵軌左右側的軌道腹部與軌道踏面資訊，如圖 3.12 與圖 3.13 所示。



圖 3.12 左、右側的軌道腹部與踏面影像畫面

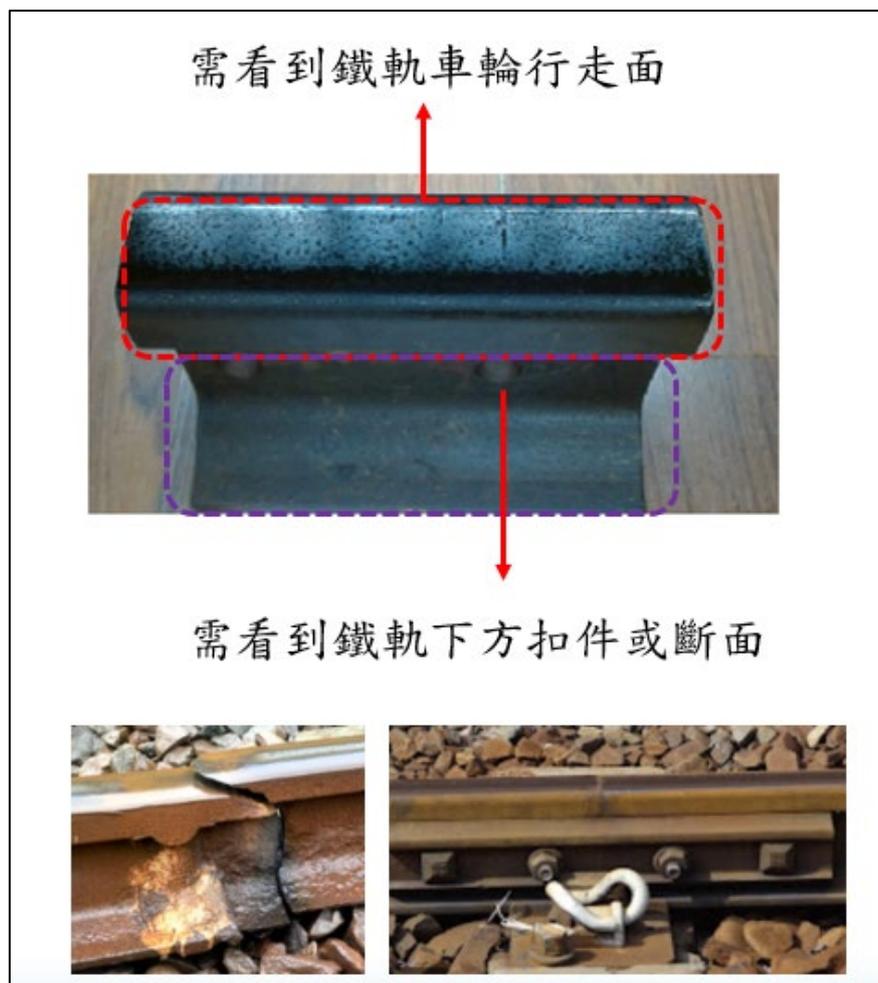


圖 3.13 軌道構件檢視對照實驗室清晰軌面影像

承上，在軌道構件的影像採集機構部分，本計畫規劃單邊鐵軌將使用二路攝影機並同時搭配 2 至 4 盞補光燈，進行軌道影像蒐集與辨識之用；在與臺中工務段成員的需求訪談中了解到，在前期計畫中有發現軌道巡檢作業需要大量補光設備，因此額外準備 2 盞補光燈，在進行後續軌道作業時，將會視現場採集資料需求，再針對影像前後方向進行光線補強作業，如圖 3.14 與圖 3.15 所示。期中階段，本計畫針對採集機構設計進行再優化，設計出一組可同時提供影像採集設備安裝之結構，並安裝足量補光燈，如圖 3.16 所示。

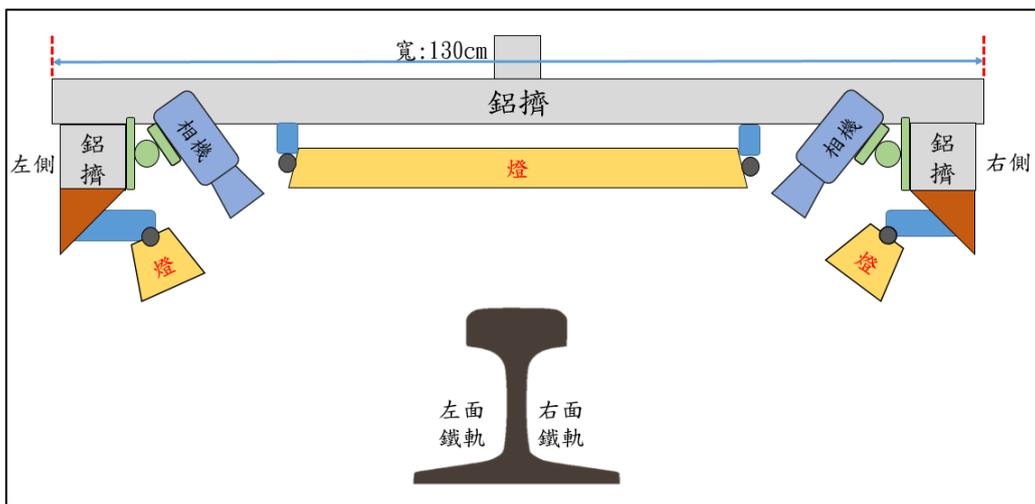


圖 3.14 軌道構件單軌檢測模組側視圖

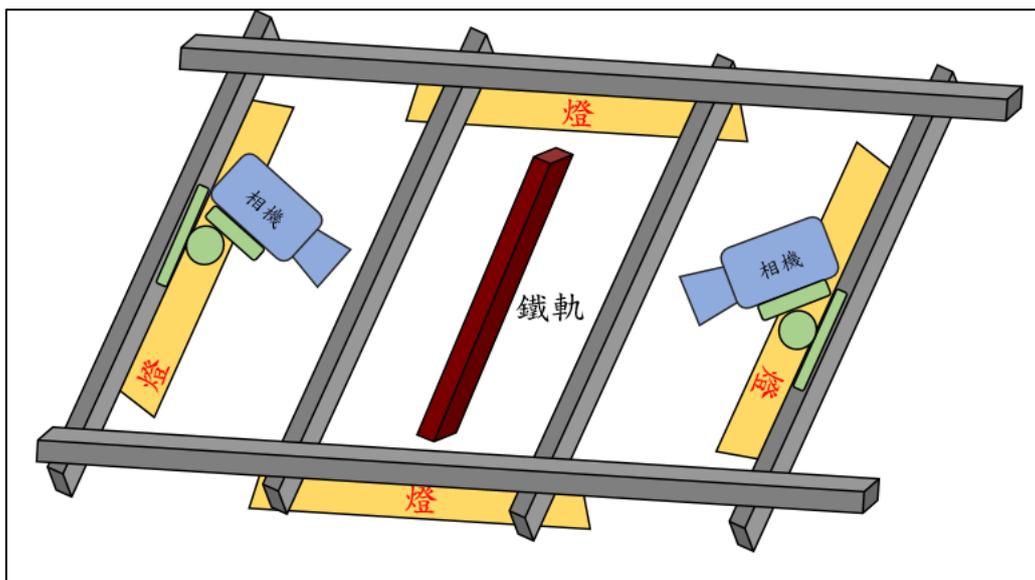


圖 3.15 軌道構件單軌檢測模組上視圖

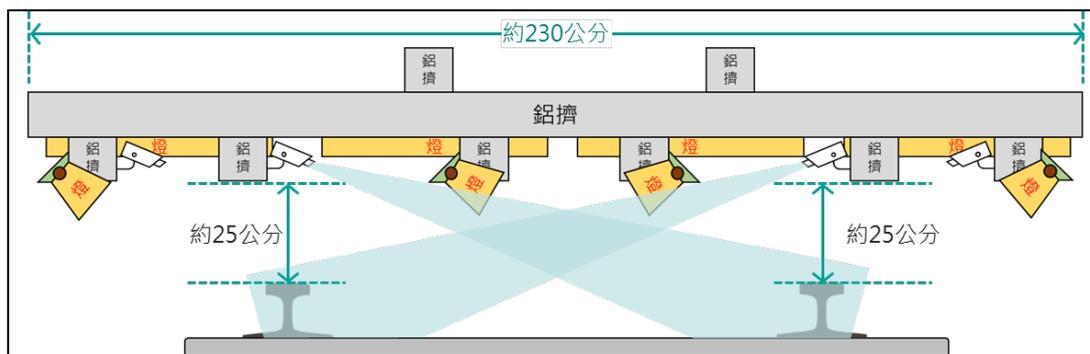


圖 3.16 軌道構件雙軌檢測模組前視圖

機構之設計與安裝要點，須同時考量物件檢測之需求與軌道安全，總結本計畫執行經驗如下：

1. 攝影機安裝角度須同時拍攝到軌面與軌腹，拍攝對象須盡量維持於畫面中央。
2. 補光燈需照亮畫面範圍，並同時確認畫面亮度，盡量避免嚴重反光影響辨識成效。
3. 支架寬度不得寬於維修車輛，例如：本計畫配合復興號車廂設置，整體寬度設定為 230 公分。
4. 必須確保鋼軌上方 15 公分淨空，考慮燈光與攝影機安裝可能低於鋁擠支架，建議支架最下緣須距離鋼軌 25 公分。

### 3.2.3 缺失定位

本計畫使用的定位設備，主要透過多感應器融合架構類型系統，以達成具備抗環境干擾且能滿足及時度與穩健度的列車精準定位系統，解決現實環境多樣的環境變化問題(如圖 3.17 所示)；目前規劃需採用之精準定位系統融合了多個感應器如下：

1. 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)：GNSS 為覆蓋全球的自主授時及空間定位系統，使用者藉由自有衛星訊號接收機(GNSS Receiver)，即時獲取衛星資訊以計算當下所在位置(經度、緯度和高度)及精確時間。本設備亦採用實時動態技術(Real Time Kinematic, RTK)，通過基準站和流動站的同步觀測，並利用載波相位觀測值，快速取得高精度定位資訊。

2. 慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)：INS 為慣性測量元件(Inertial Measurement Unit, IMU)與計算單元組成的整合系統，為相對定位導航技術，藉由三軸加速度計及三軸陀螺儀取得物體加速度及姿態角速率等慣性觀測量，藉以推算車輛位移、速度及方向資訊。
3. 軌道圖資(Vector Map)：精準定位用軌道圖資需包含鐵路軌道沿線線形數值資料(如軌道中心線向量資訊)，可來源於工程用軌道圖資轉置，或由專業測繪業者圖資繪製，其平面位置誤差小於等於 50 公分絕對精度。軌道圖資可做為列車精準定位的約制條件，使最終定位解符合實際運行狀態。

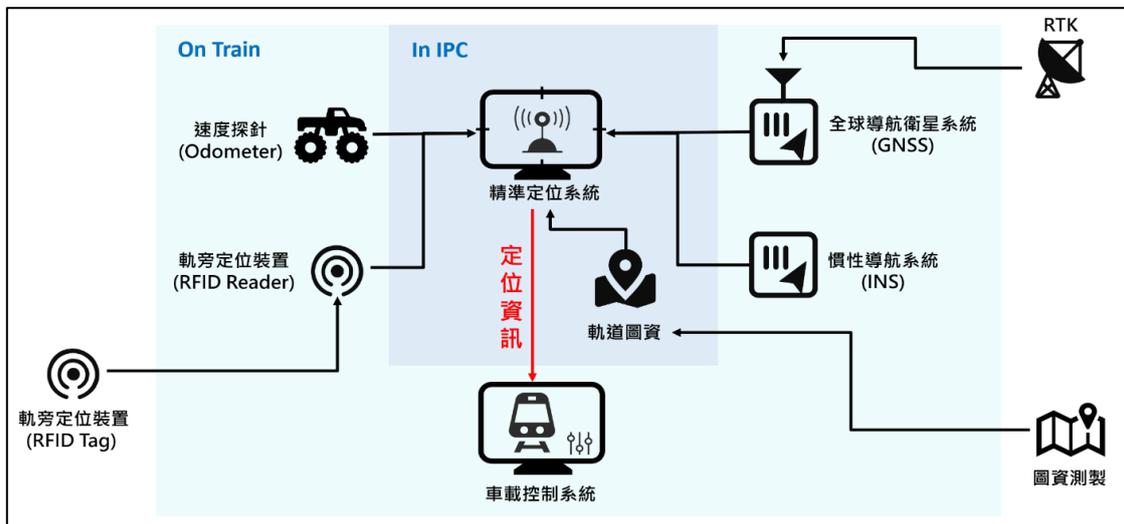


圖 3.17 精準定位系統架構

精準定位系統是基於感測器融合之整合位置解決方案，其資料來源主要包含：全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)、無線射頻辨識(Radio Frequency Identification, RFID)、軌道圖資(Vector Map)、里程表(Odometer)、攝影機(Camera)等(如圖 3.18 所示)。本計畫使用之精準定位系統原理及介紹如下：

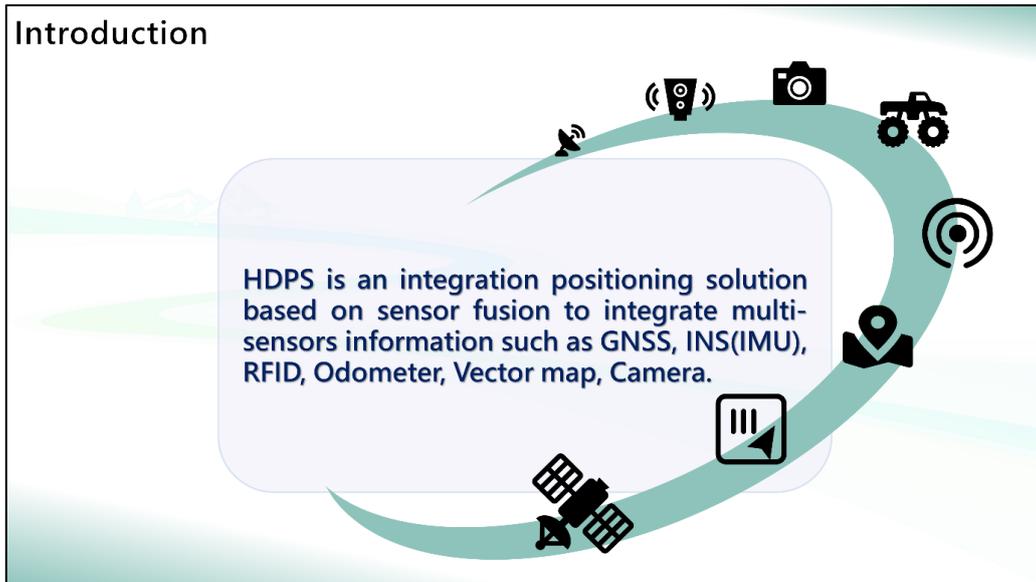


圖 3.18 精準定位系統組成

### 1. 全球導航衛星系統

全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)是覆蓋全球的自主空間定位系統，允許接受器確定它的所在位置，經由衛星廣播沿著視線方向傳送的時間訊號精準到十公尺左右的範圍內，接收器藉此計算出精確時間及位置，可做為定位的參考(如圖 3.19 所示)。

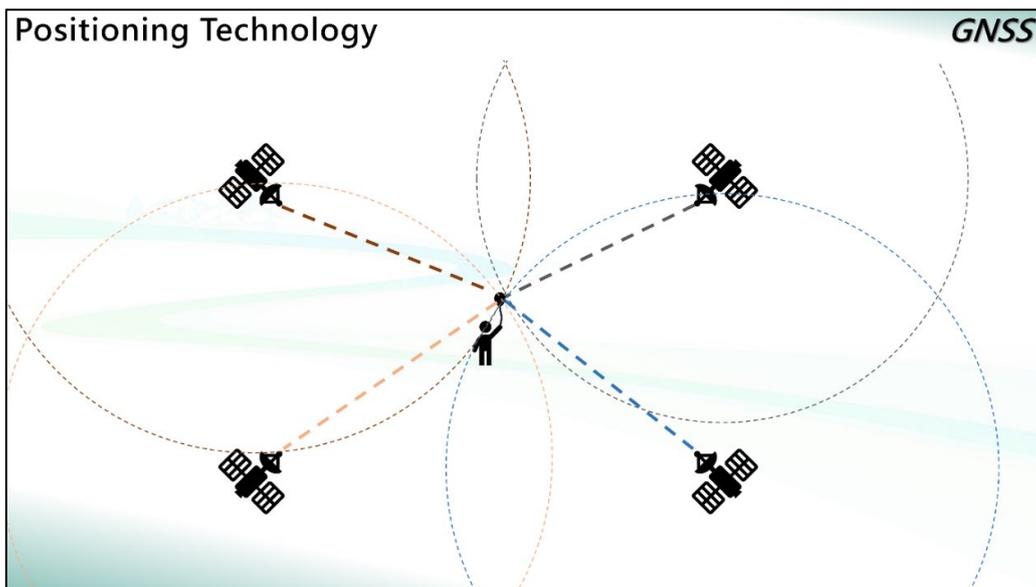


圖 3.19 全球衛星定位系統

目前世界上主要有四大系統，美國全球定位系統(Global Positioning System, GPS)、俄國的格洛納斯系統(Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, GLONASS)、中國北斗衛星導航系統(BeiDou Navigation Satellite System, BDS)與歐盟的伽利略定位系統(Galileo)，都可以算是一種 GNSS(如圖 3.20 所示)。

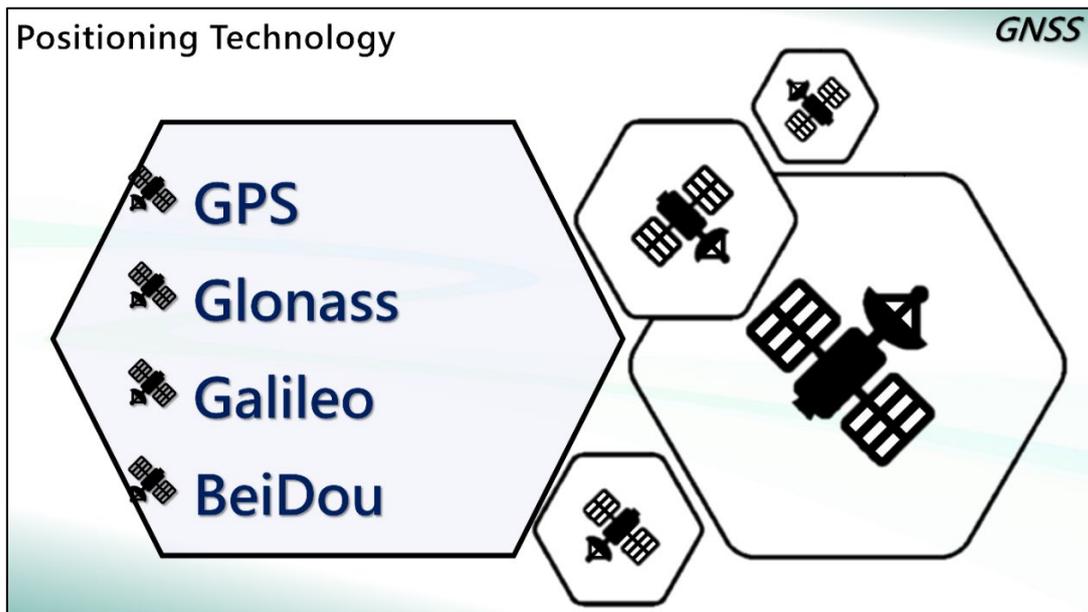


圖 3.20 四大衛星定位系統

## 2. 即時動態定位技術(Real Time Kinematic, RTK)

即時動態定位技術乃利用衛星達到即時精準定位的一種技術，方式為同時在參考站與移動站接收衛星資料，透過通訊設備，將參考站的觀測資料傳送給移動站，移動站再透過差分計算，可以在移動時及時獲取精準的定位座標(如圖 3.21 所示)。

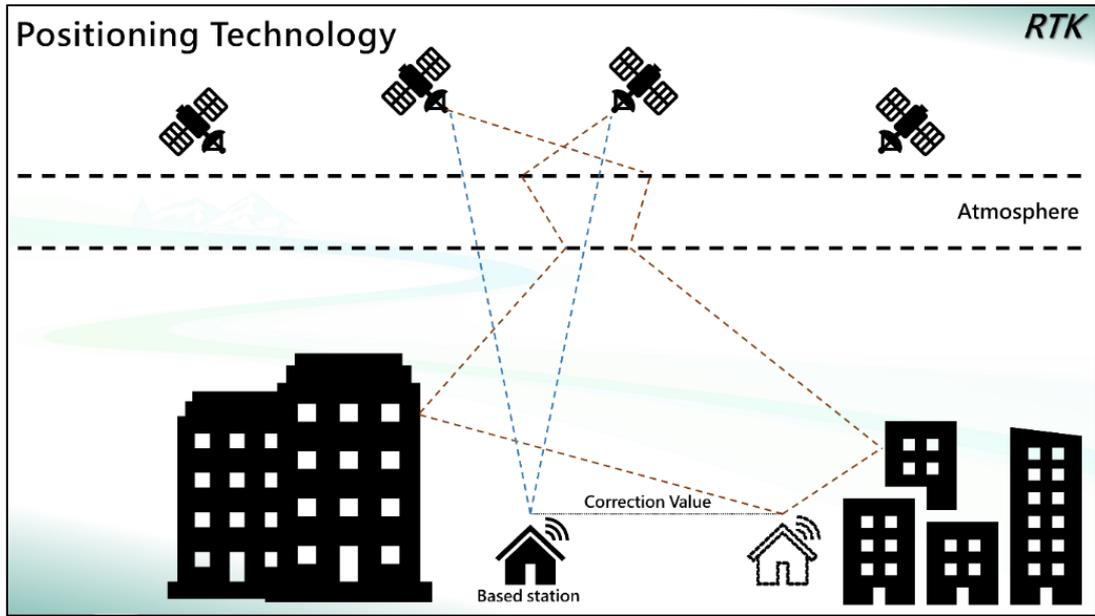


圖 3.21 即時動態定位技術

然而在都市中大樓林立，接收器接收之衛星訊號可能不是直接來自於衛星，可能是經由大樓間反射或是各種障礙物反射得來，由於接收器是藉由訊號傳遞時間藉此得出位置，障礙物反射回來的訊號已有相當的誤差，這也是衛星定位在都會區常會定位不準的主要原因之一(如圖 3.22 所示)。

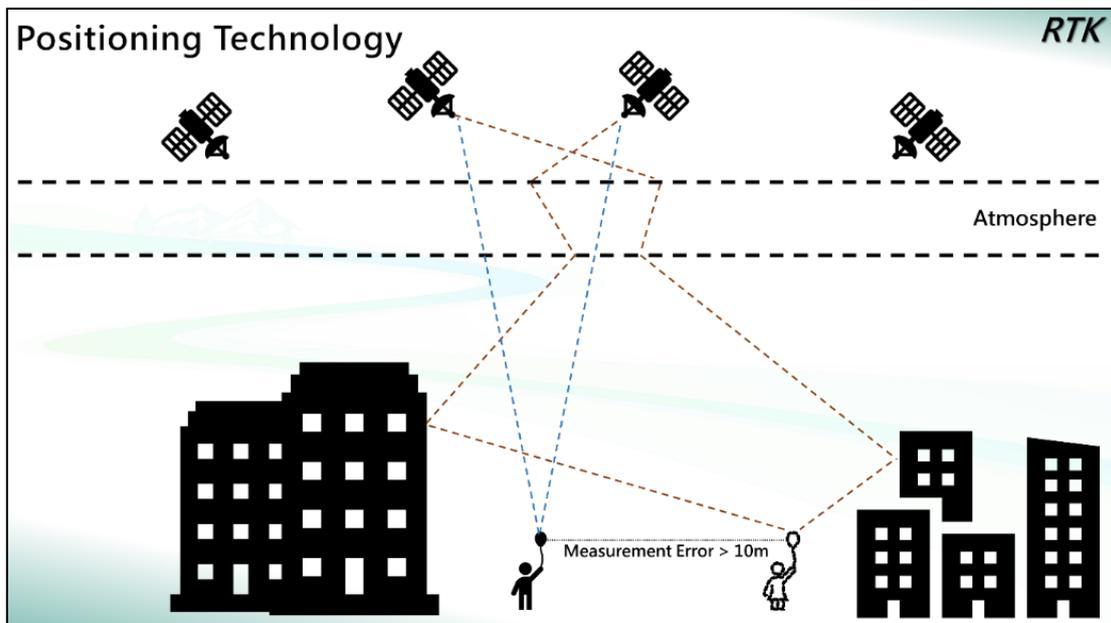


圖 3.22 衛星定位系統於都會區使用之挑戰

### 3. 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物體的加速度和角速度，並用電腦來連續估算運動物體位置、姿態和速度的輔助導航系統。它不需要一個外部參考系，因此，在衛星導航系統失效或是進入沒有訊號的區間時，將接替衛星導航系統繼續提供精準定位系統位置資訊(如圖 3.23 所示)。

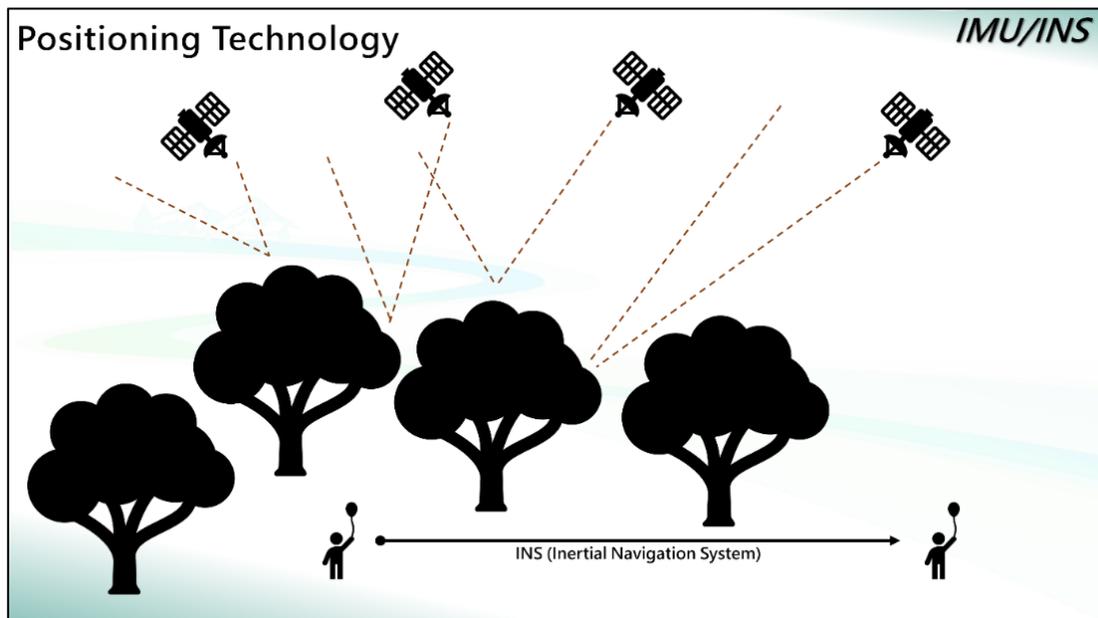


圖 3.23 慣性導航系統

### 4. 里程表(Odometer)又或是速度計

里程表是車輛儀錶板上其中一個儀錶，顯示一輛車從出廠以來行走過的總距離，通常在車速錶下面顯示，在鐵路系統中一般是由輪速計加上輪徑資料獲取速度及里程。配合專業測繪業者所製作之軌道圖資及路線單一性，亦可提供資訊供精準定位系統使用(如圖 3.24 所示)。

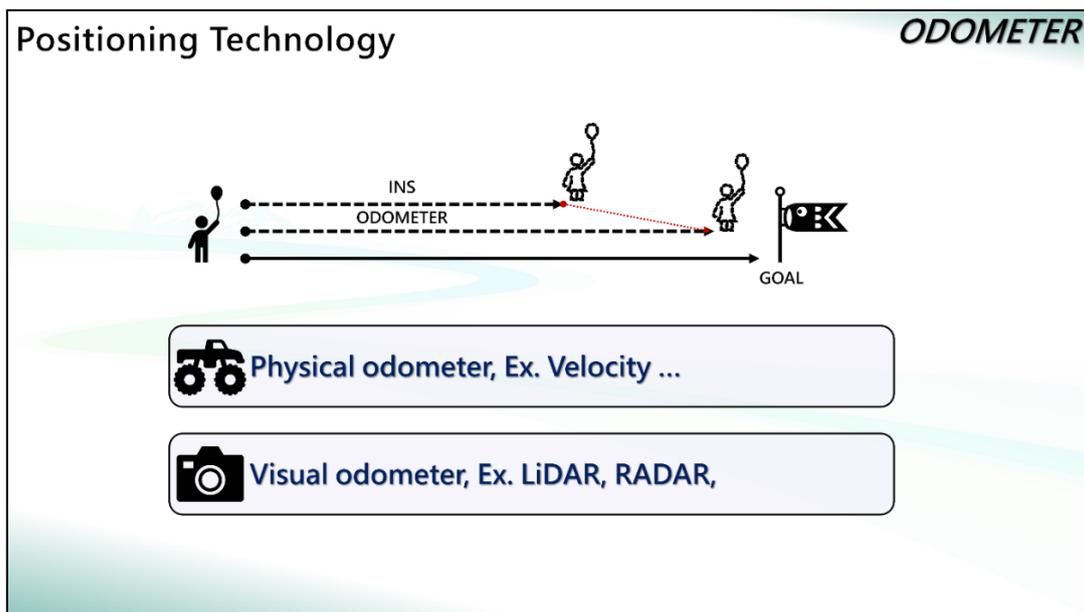


圖 3.24 里程表

除上述主要幾項車載感測器外，鐵道旁的路側裝置(Road Side Unit, RSU) 也可做為多元感測器的資料來源，如無線射頻辨識(Radio Frequency Identification, RFID)、信標(Beacon)、無線網路基地台(Wi-Fi AP)等(如圖 3.25 所示)。

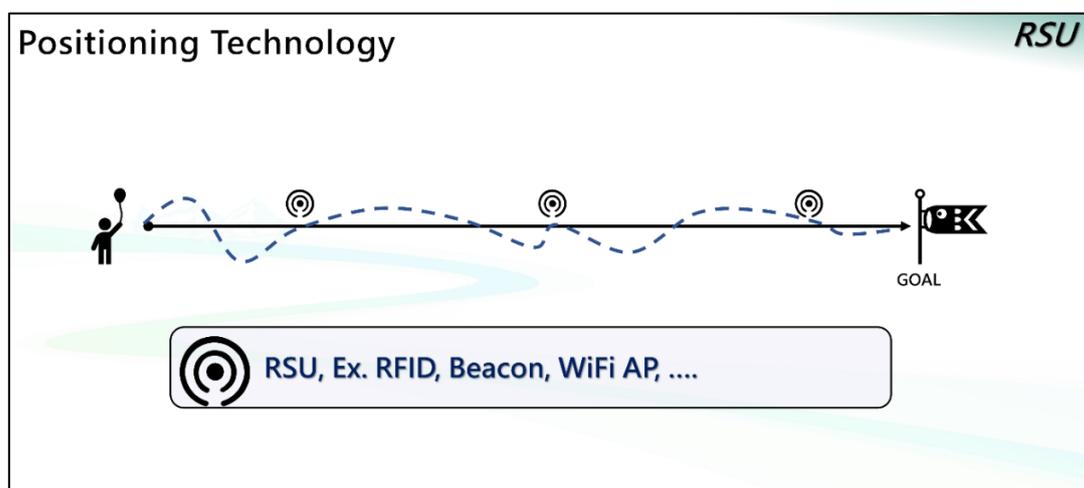


圖 3.25 多元路測裝置

整個精準定位系統將會根據不同環境狀況、感測器資料獲取狀態配合融合演算法動態地調整各個感測器的權重，使得列車無論在開闊空地、都會區、遮蔽區間、隧道皆能取得位置(如圖 3.26 所示)。

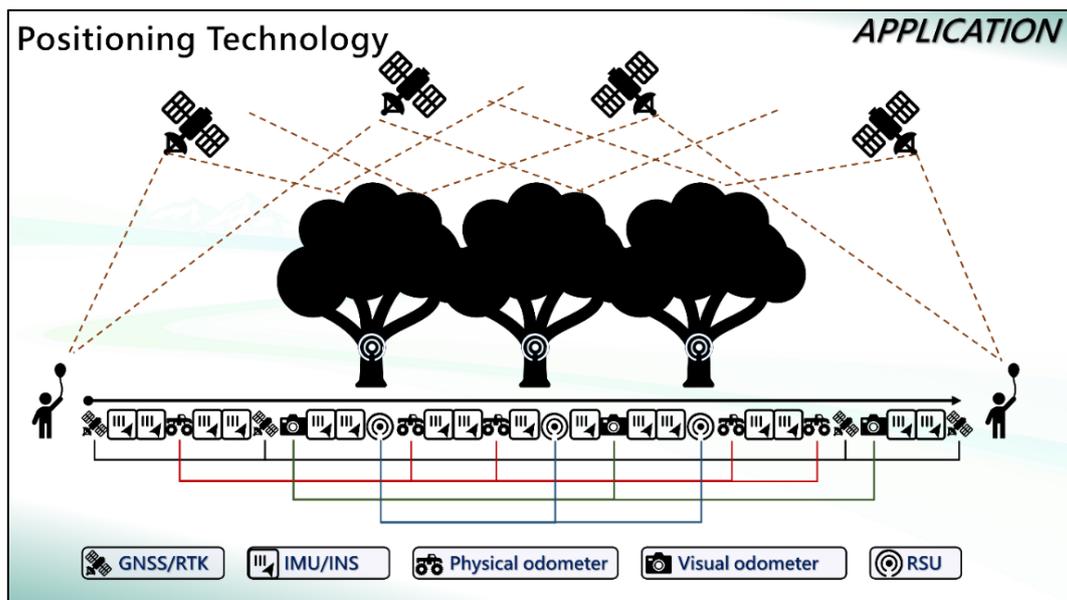


圖 3.26 結合多元感測器之定位應用

精準定位系統除了在各種環境下皆能提供高精準的定位資訊外，也可提供高達每秒超過 20 次的位置回報頻率，在理想的環境及設備條件下，更可達到公分級的定位精度以及 3 公尺誤差範圍內的準確度在隧道、地下室及都會區環境(如圖 3.27 所示)。

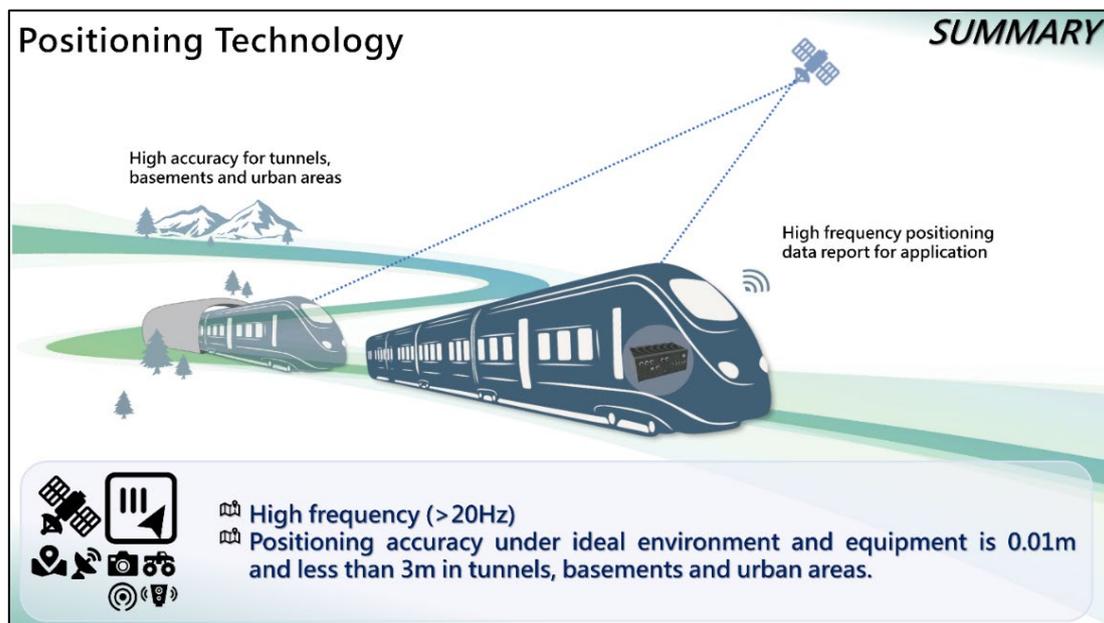


圖 3.27 精準定位系統特色

在應用上除了可提供基本的精準定位資訊外，配合其他應用如本計畫軌道瑕疵檢測，可在發生瑕疵的當下同時記錄下位置，對日後維修養護及管理將會有相當的助益(如圖 3.28 所示)。

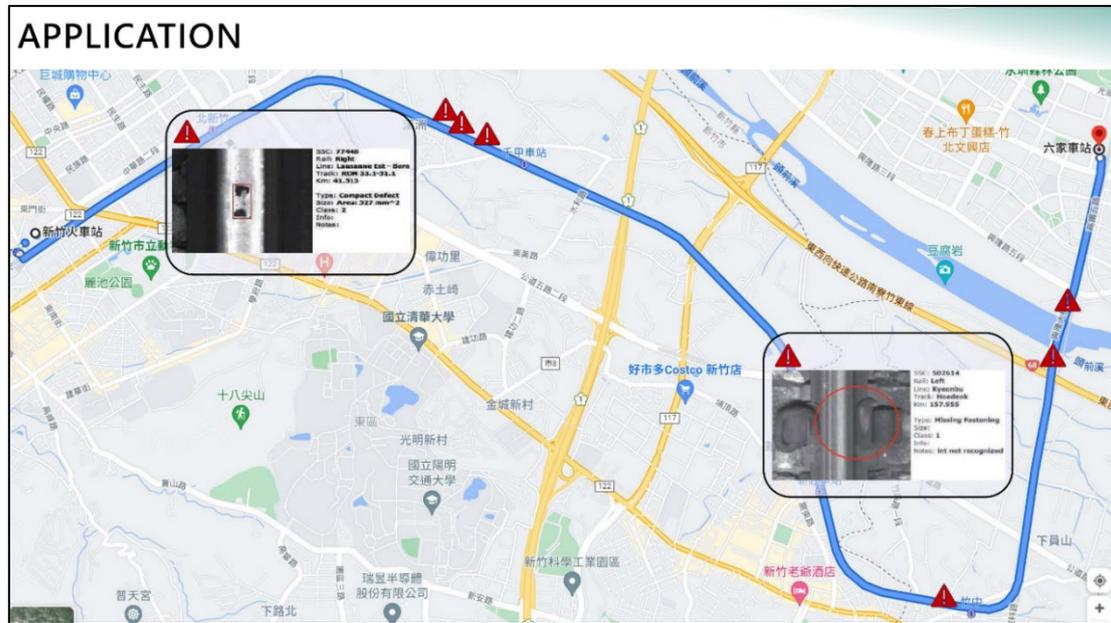


圖 3.28 精準定位系統可能應用

### 3.2.4 系統運行環境

為達成本計畫規劃之系統架構，並符合運作需求，分別擬訂地端(巡軌車)系統運行環境及雲端系統運行環境。計畫於期初階段時規劃運行環境如下：

#### 1. 地端(巡軌車)：

- (1)硬體設備：ADLink AVA5500 (設備詳細說明，請參考附錄)
- (2)作業系統：Ubuntu 18.04
- (3)程式語言：Python
- (4)Deep learning framework：Darknet

#### 2. 雲端系統：

- (1)硬體設備：x64 架構伺服器
- (2)作業系統：Ubuntu 18.04 or later
- (3)程式語言：JavaScript、TypeScript

(4) Server Runtime : Node.js 16.15.x LTS

(5) Frontend framework : React v18

本計畫執行期間，經軌道實地驗證測試，確認 ADLink AVA5500 之效能需要額外的調校作業，初步無法支援同時 4 路攝影機串流即時運算，加上目前採購期間需要長達半年以上的交貨期。因此，建議未來如要將本計畫研究成果應用於正式營運列車，則須依據攝影機數量增加車端上運算設備。本計畫研究主要是利用退役復興號車輛，故於本計畫研究期間，更換為自組運算電腦，同時於電腦系統當中搭載單獨顯示卡 (Nvidia RTX 3090)，因此，本計畫研究最後地端運算設備規格如下：

### 3. 地端(巡軌車)：

(1) 硬體設備：Intel i7-12700, DDR4-3200 16G\*2, 1TB M.2 SSD, 1000W 電源供應器, Nvidia RTX 3090

(2) 作業系統：ubuntu 22.04

(3) 程式語言：python

(4) Deep learning framework: darknet

#### 3.2.5 Web API

本計畫規劃的軌道構件缺失辨識系統，其所偵測到的每一筆可能瑕疵，將會被封裝成符合 OpenAPI 規範<sup>[註 1]</sup>的資料封包，透過行動網路上傳至 RESTful<sup>[註 2]</sup>雲端伺服器進行處理。規劃巡檢裝置所上傳內容包含但不限定於：該瑕疵的 GPS 座標、瑕疵類型、實地圖片等等資料，資料上傳至雲端伺服器後，每一筆軌道瑕疵資料將儲存在 SQL 資料庫中，以提供未來使用者進行查詢及調閱作業，系統架構如圖 3.29 所示。

本計畫使用的雲端伺服器採用 NestJS 開源框架開發，該架構基於 Node.js，相較於 C++、PHP 與 Java 等傳統網路伺服器常用的程式架構，此框架更能勝任高密度資料 I/O 處理、以及非同步資料傳輸的作業需求。該框架可穩定維持每秒 100 次以上的數據連線與資料上傳作業，在多個巡檢裝置同時運作時，可大幅避免伺服器過載導致資料遺漏的情形發生。

伺服器所使用的 SQL 資料庫，乃透過 Prisma ORM 進行資料映射與管理，除了可以有效阻止駭客透過 SQL Injection<sup>[註 3]</sup>攻擊手段進行竊取伺服器資料之外，系統管理員也能根據需求快速切換不同的資料庫類型，例如：容易遷移與維護的 SQLite；或是功能更全面、效能更穩健的企業級資料庫，如 MySQL、PostgreSQL 等。

註 1：OpenAPI 規範(以前稱為 Swagger 規範)是一種機器可讀接口文件的規範，用於描述，生成，使用和可視化 RESTful Web 服務。它以前是 Swagger 框架的一部分，在 2016 年成為一個獨立的项目，受到 Linux 基金會的一個開源協作項目 OpenAPI Initiative 的監督。<sup>[28]</sup>

註 2：RESTful 其中的 REST 是 Representational State Transfer 的縮寫，可譯為「具象狀態傳輸」。由 Roy Fielding 博士在 2000 年的博士論文中所提出。他同時也是 HTTP 規範的主要作者之一。符合 REST 風格的網站架構可以稱為 RESTful。REST 是一種軟體架構風格(並非標準)，目的是幫助在世界各地不同軟體、程式在網際網路中能夠互相傳遞訊息。每一個網頁都可視為一個資源(resource)提供使用者使用，而你可以透過 URL(Uniform Resource Locator)，也就是這些資源的地址，來取得這些資源並在你的瀏覽器上使用。<sup>[29]</sup>

註 3：SQL Injection 是發生於應用程式與資料庫層的漏洞。簡而言之，是在輸入的字串之中夾帶 SQL 指令，在設計不良的程式當中忽略了字元檢查，那麼這些夾帶進去的惡意指令就會被資料庫伺服器誤認為是正常的 SQL 指令而執行，因此遭到破壞或是入侵。<sup>[30]</sup>

### 3.2.6 軌道構件缺失辨識系統

承 3.1 節，前期計畫成果分析說明，由於前期計畫成果所提供之缺失辨識系統完全無法延續應用，為了有效展示本期計畫的研究成果，研究團隊啟動風險應變計畫，經企業內部資源之探詢，採用道路路面巡檢平台之 Web GUI(Graphical User Interface，圖形使用者介面)設計為基礎進行微調，做為本計畫成果展示與臺鐵局宜蘭工務段實地測試之用。

基於使用者友善考量，本計畫優先以資料視覺化方式呈現軌道構件缺失辨識成果(如圖 3.29 所示)，以利完成本期計畫所規劃的工作項目。系統執行流程架構，如圖 3.30 所示，透過攝影機蒐集軌道影像資料，經過本計畫所發展之 AI 辨識模型判定軌道瑕疵資訊，將瑕疵資訊與位置資訊同步存入後端資料庫，並透過 3.2.5 小節所述之 Web API 將軌道缺失資訊傳送至前端 GUI，逐一於地圖上標記相應位置。後續如果能持續發展該應用，則相關人員未來可直接透過一般網頁瀏覽器直接在電腦、平板、手機上進行查看軌道瑕疵資訊(如圖 3.31 所示)。

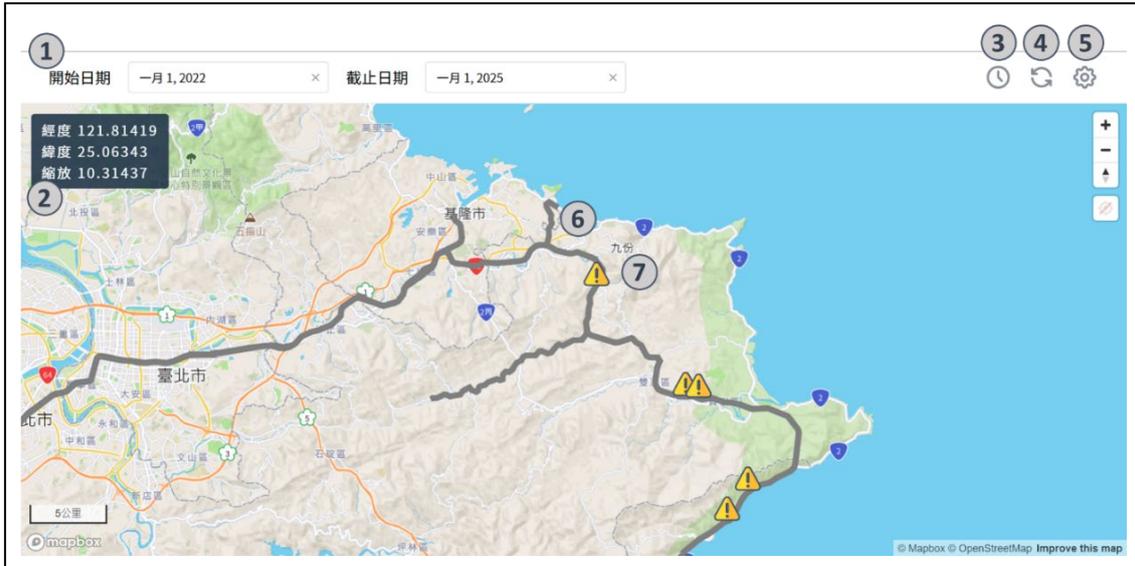


圖 3.29 資料視覺化 Web GUI

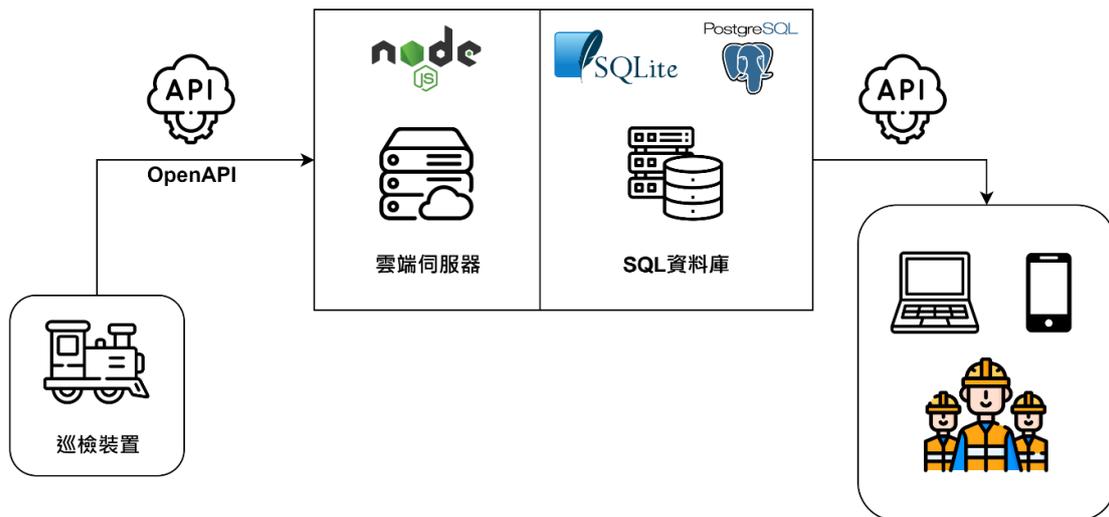


圖 3.30 Web API 系統架構

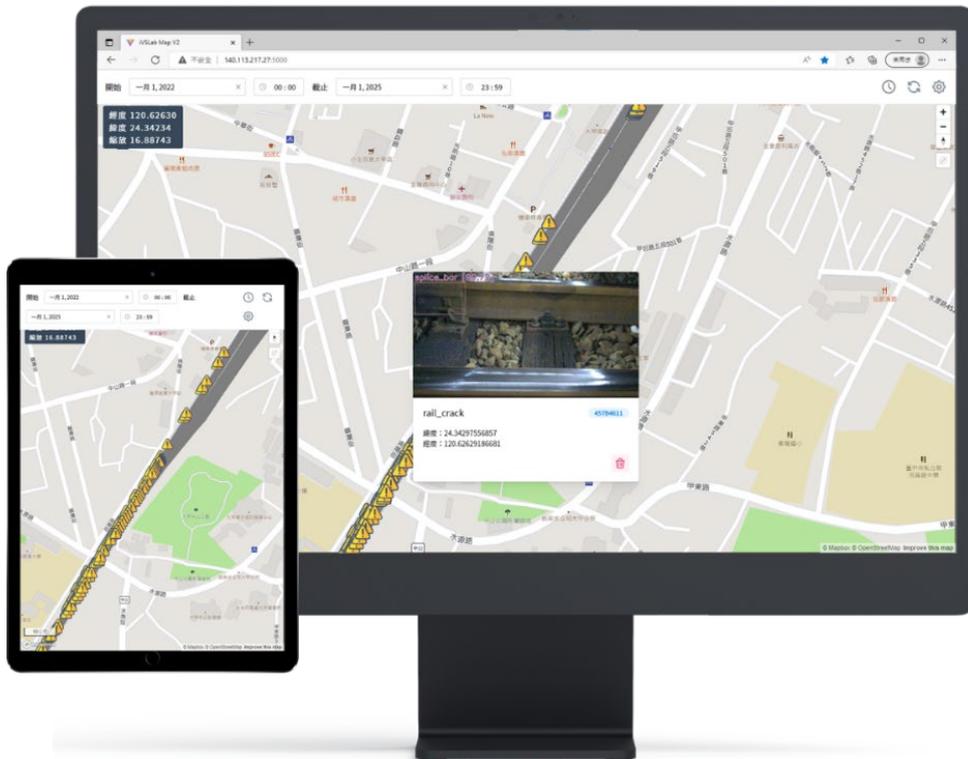


圖 3.31 Web GUI 支援各類裝置使用

本計畫使用之 Web GUI 提供以下功能，對應圖 3.29 中編號說明如下：

1. 時間篩選：瑕疵在上傳時會自動記錄立案時間，使用者可設定起始、終止時間，過濾掉介於該時間段以外的瑕疵，方便進行管理。
2. 地圖位置：呈現目前地圖畫面之座標與縮放比例。
3. 資料更新頻率：使用者可以更改自動取得最新資料的頻率，可設定為 1 秒、5 秒、10 秒或 30 秒更新一次。
4. 手動更新資料：點選後即立刻更新為最新資料。
5. 物件類別篩選：經本計畫發展的 AI 模型共可辨識 8 種物件類別，透過本功能可設定需顯示的物件類別，以利使用者快速尋找所欲查詢之物件類別(如圖 3.32 所示)。

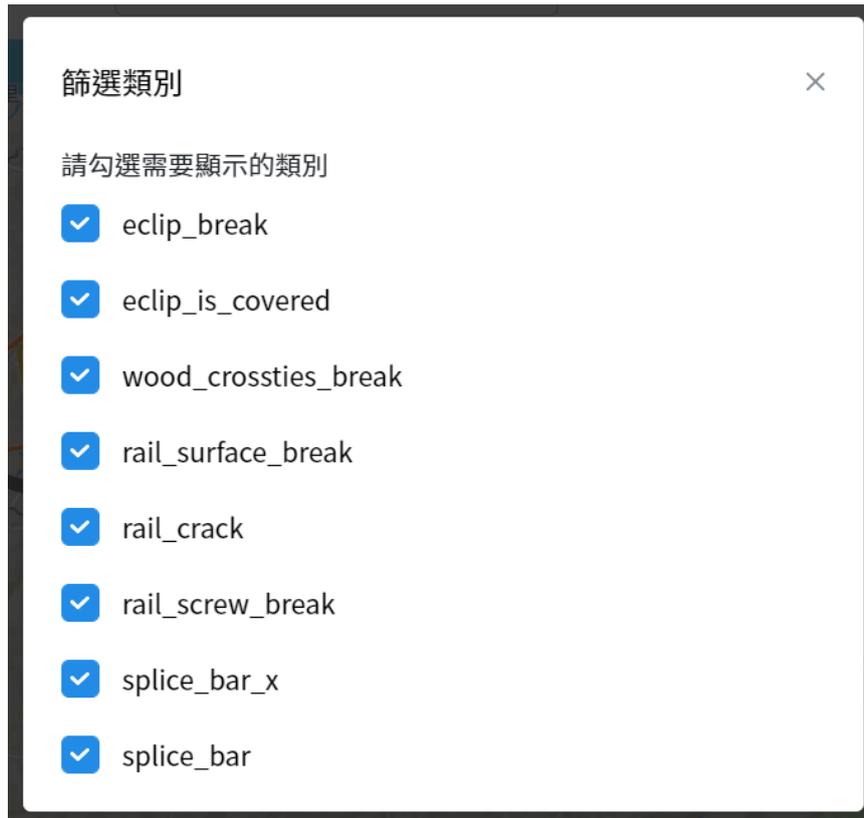


圖 3.32 類別篩選工具

6. 向量鐵路路線：地圖中的鐵路路線是由向量地圖資料儲存，在縮小地圖時路線始終清晰可見；放大地圖時則能夠保持平滑、精確。
7. 標註缺失所在地點：地端巡檢裝置所成立的缺失案件將會以黃色警告標誌呈現地圖上對應位置，使用者可以點擊圖示檢視詳細訊息。

軌道巡查人員利用復興號車輛進行軌道構件缺失巡查作業後，系統即可即時將收錄的影像傳輸至地端模型，進行缺失構件的影像辨識，再經由檢視辨識結果，最後可以再由巡檢人員的專業經驗，將系統檢出的缺失分類為真實缺失(True Positive)與假性缺失(False Positive)類別。針對蒐集所得的反饋資訊並將真實缺失項目納入後續維修事項，假性缺失則納入後續 AI 之參考訓練資料庫；若有發現新缺失項目則在累積一定次數與數量之後，可以考量新增為獨立類別。這些辨識所得圖片，

將依照類別新增至構件資料集當中，當累積到一定的足夠數量，即可以安排啟動訓練機制，更新構件辨識的 AI 模型權重檔。

以上之 AI 訓練發展作業，將可以擬定規劃成為一定程度的程序化，訂出作業的每一步驟，俾利每次巡查後之資料庫更新，提出軌道構件缺失檢出率(Recall rate)及準確率(Precision rate)，檢視各項數據是否精進，以利評估是否需要重新訓練 AI 模型。

綜上說明，軌道巡查人員可直接透過前述 Web GUI 查看案件現場情況，點擊黃色警告圖示，即可展開該警示的詳情案件卡(如圖 3.33 所示)，後續由專業人員進行人工再審查作業。

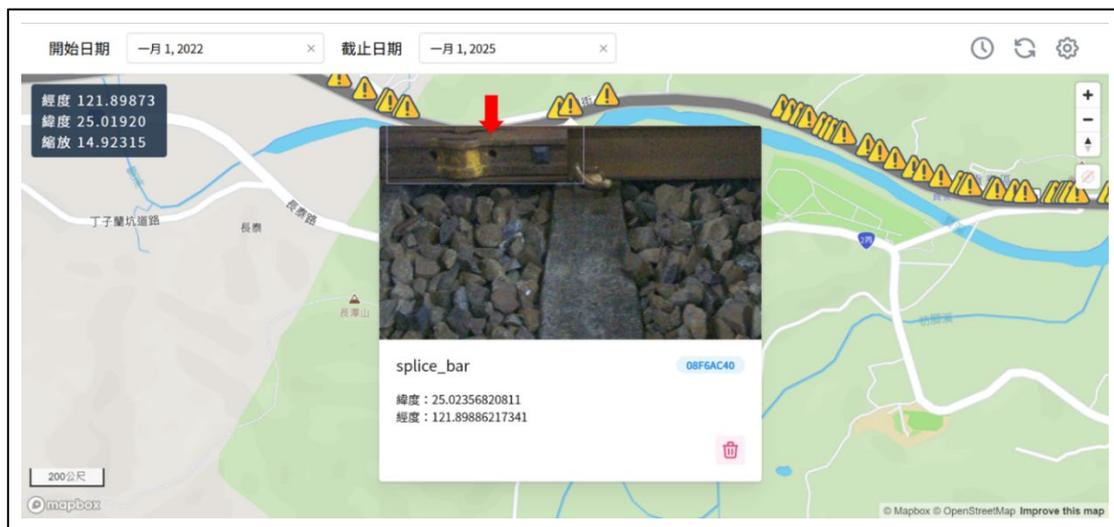


圖 3.33 軌道構件 Web GUI 案件資訊卡介面示意圖

後續一旦發現 AI 誤判的假性瑕疵(False Positive)，使用者可以即時點擊案件卡右下的刪除按鈕，向伺服器回報該筆假性瑕疵，同時該筆假性瑕疵並會從地圖上隱藏。當回報為誤判之案件照片累計到一定數量之後，抑或規範一個固定期間，模型維護人員可以再利用反饋資訊作重新訓練，更新 AI 模型。最終地圖上保留的 True Positive，即為缺失構件位置資訊，提供臺鐵局安排人員至缺失現場進行維修工作參考。

## 第四章 軌道構件缺失辨識系統驗證

### 4.1 影像採集設備安裝

本計畫所規劃的軌道構件缺失辨識系統安裝於臺鐵局復興號車輛上(如圖 4.1 所示)，並於 2022 年 5 月，配合臺鐵局臺中工務段，安裝補光燈與相機後進行實車安裝影像採集設備檢測軌道構件作業(如圖 4.2 所示)，車內錄製軌道構件影像畫面，如圖 4.3 所示。依本計畫安裝經驗，若支架機構已預先安裝於車廂，純架設相機與燈光和電腦電源設備，約需 2 個小時之內的工作時間可完成。未來如若依據本計畫提供的固定架設位置規劃，出發前的準備作業預估將可大幅下降至 1 個小時內完成。



圖 4.1 復興號實車安裝影像採集機構



圖 4.2 影像採集機構安裝相機與燈光

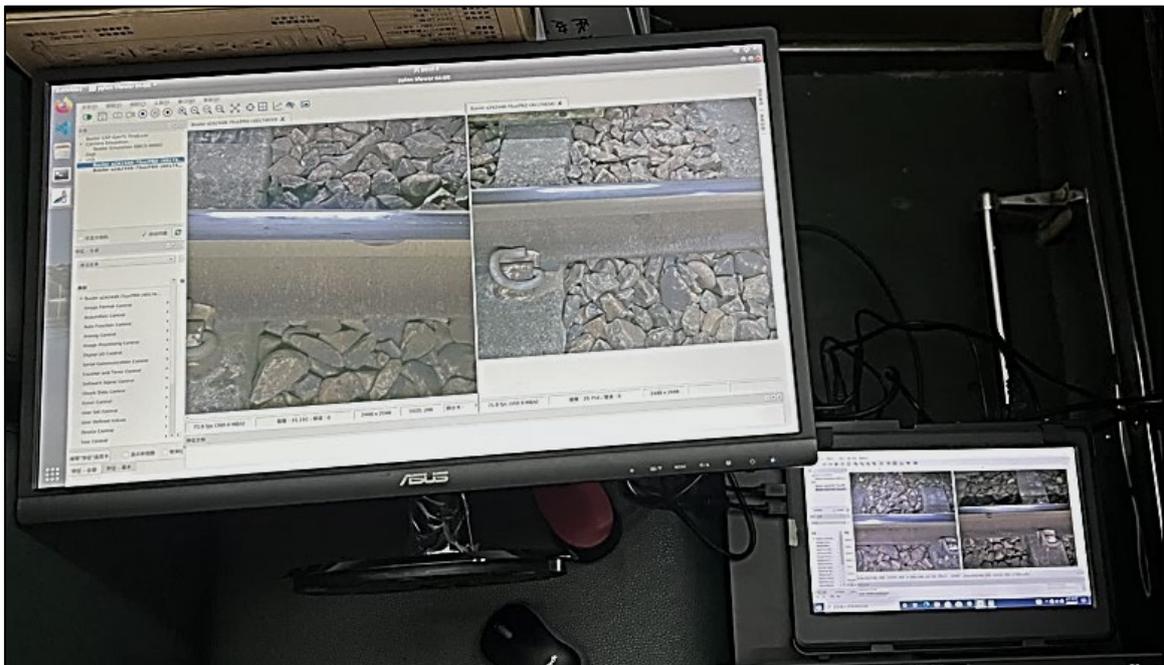


圖 4.3 影像採集設備之實測畫面

本計畫採用的檢測設備部分，針對影像擷取設備是採用 Basler\_a2A2448-75ucPRO 型號的攝影機，該設備接口為 USB3.0，相機配有 Sony IMX547 CMOS 芯片，幀速率達 70 fps 以上，分辨率達 500 萬像素，並搭配 8mm 的鏡頭，配合使用原廠 5 公尺 USB 傳輸線(如圖 4.4 所示)。



圖 4.4 本計畫選用設備圖示-攝影設備

因鐵軌物件屬於長型狀物件，故補光燈將選用長度達 48 公分的 45 瓦白光長排燈，燈光光源配合鐵軌物件可以均勻散佈在鐵軌踏面與腹部面積之上(如圖 4.5 所示)。



圖 4.5 本計畫選用設備圖示-補光燈設備

電源部分選擇使用湯淺牌的深循環電池，型號規格為 NPA155-12IFR，電池具備 12V 155AH 的容量大小，此電池容易保養，不會洩漏電解液，有防爆設計因此有很大的安全性(如圖 4.6 所示)。本電池因為具備一定的長效供電能力，故設備本身具備一定的重量，未來如果使用單位方便直接提供車上電力系統，將可以自行選擇替換供電方式，以便縮減人力搬運以及後續的蓄電作業。



圖 4.6 本計畫選用設備圖示-電池設備

在電源逆變器的部分，選用的型號為 SU-1600W 純正弦波的電源轉換器，其具備全方位保護：輸出短路、輸入高壓、低壓超載、過溫保護，也因為是正弦波所以對電器供電效果相對比較好，也讓設備的使用壽命可以更長久，該設備瞬間功率可達 3200W(如圖 4.7 所示)。



圖 4.7 本計畫選用設備圖示-電源逆變器設備

最後，本計畫的運算設備，原規劃選擇使用工業電腦 ADLINK 型號 AVA5500，搭載 Ubuntu 16.04 作業系統，附掛使用 RTX3000 顯示卡，此設備通過 EN50155 standard, method EN61373: 2010, Category 1 Class B 的振動測試與 EN50155 standard, method EN61373: 2010, Category 1

Class A & Class B 的搖晃測試，AVA5500 應可完全適用於軌道交通的應用需求，設備外觀如圖 4.8 所示。(詳細規格可參閱附錄一)



圖 4.8 運算主機設備 AVA5500

經過在臺鐵局臺中段測試過後，由於該硬體具備一定的採購成本且採購期程恰逢國際缺原物料導致無法於案內完成實作驗證，加上本計畫非應用於正式提供載客的營運列車上，因此，最終優先改以自組邊緣運算設備，搭載獨立顯示卡(Nvidia RTX 3090) 搭載 Ubuntu 16.04 作業系統(如圖 4.9 所示)。



圖 4.9 本計畫選用設備圖示-自組邊緣運算設備

設備安裝後，透過臺鐵局臺中工務段大甲分駐所同仁，協助向臺鐵路局路段管理單位，申請臺中工務段大甲站至沙鹿站的軌道上進行本計畫軌道構件缺失辨識系統的感測設備上軌驗證作業。由維修車頭以拖拉復興號車廂以時速 30km 至 60km 的速度進行錄製影像作業，後續將影像加入辨識資料庫進行擴建作業，並且提取提供 AI 模型進行訓練使用。後續提取影像資訊進行分析，該提取的影像畫面主要會針對軌道踏面、軌道腹部、魚尾鉸與鐵軌扣件的缺失為主，並且陸續在每月例行會議當中積極蒐集軌道巡查知識，依客戶使用者需求將其餘部分再納入檢測方案。

分析相機設備錄取之影像資料，透過計算可以得知 60km/hr 的車速與相機取像關係，可以得知當時速 60km 時每秒的移動距離為 1667cm(四捨五入計算)，再透過現場測量使用的相機感測器的 FOV 寬度為 58cm(如圖 4.10 所示)，經由計算後得知後續相機感測器設備至少要能達到每 34.4 毫秒擷取一張照片，如(3-2)式所示；時速 30km 相關計算公式亦如(3-1)式，提供參考。本計畫初期選擇使用的設備可經由電腦透過測試與設定可以穩定擷取每 27 毫秒一張的照片(如圖 4.11 所示)，表示當系統能以每時間單位內穩定的擷取影像的條件下，連續影像幀與幀之間的内容資料將會具備重疊的特性，當然後續調整系統機構時，FOV 如有改變異動時也可以透過如表 4-1 的表格做調整擷取影像參數。



圖 4.10 相機畫面 FOV

$$30\text{km/hr 車速} = \frac{1000 \text{ 毫秒}}{\frac{834\text{cm}}{58\text{cm FOV 寬}}} = 69.5 \text{ 毫秒要擷取一張影像} \quad (3-1)$$

$$60\text{km/hr 車速} = \frac{1000 \text{ 毫秒}}{\frac{1667\text{cm}}{58\text{cm FOV 寬}}} = 34.4 \text{ 毫秒要擷取一張影像} \quad (3-2)$$

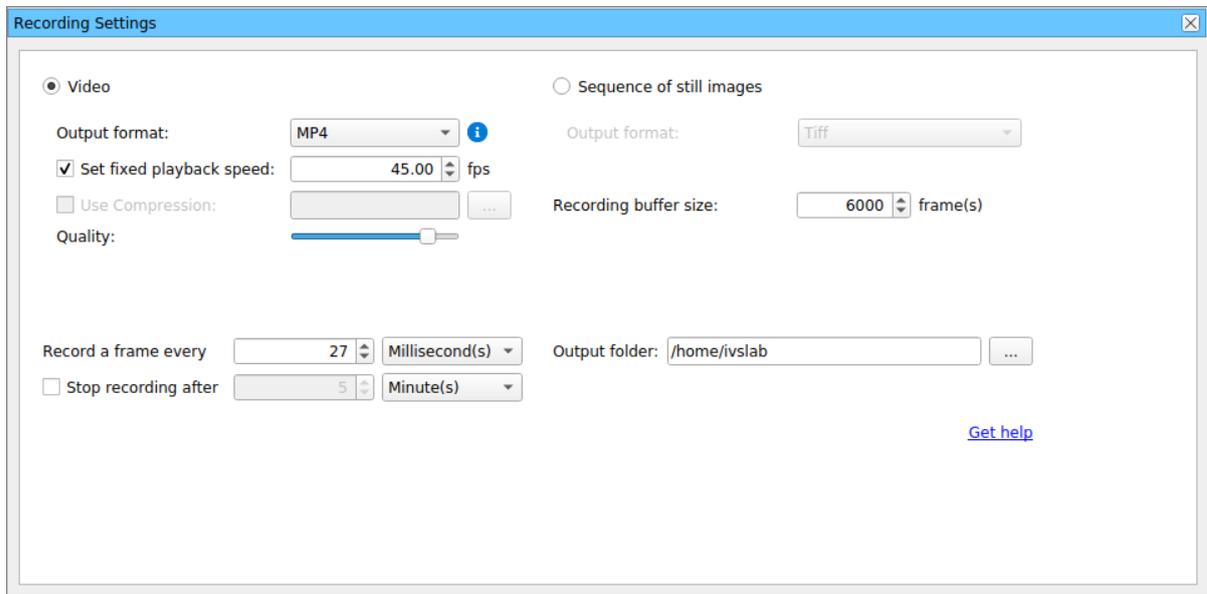


圖 4.11 相機擷取參數設定

表 4-1 相機擷取參數設定對應表

時速60KM(移動1667cm/s)			時速60KM(移動1667cm/s)			時速60KM(移動1667cm/s)		
FOV(cm)	取像速度(ms)	FPS	FOV(cm)	取像速度(ms)	FPS	FOV(cm)	取像速度(ms)	FPS
40	23	42	50	29	34	60	35	28
41	24	41	51	30	33	61	35	28
42	25	40	52	30	33	62	37	27
43	25	39	53	31	32	63	37	27
44	26	38	54	32	32	64	37	27
45	26	38	55	32	31	65	38	26
46	27	37	56	33	30	66	38	26
47	27	36	57	33	30	67	40	25
48	28	35	58	34	29	68	40	25
49	28	35	59	34	29	69	40	25

## 4.2 缺失辨識準則與資料庫建置

在缺失辨識部分，需要有正確圖資與缺失圖資相互比對，並建立與分類缺失物件種類，以利標記人員作物件種類的標記，也讓 AI 訓練人員方便訓練。

首先在第一階段版本(下稱 P1 版)，檢視前期計畫模型設計，可知其辨識物件共可分為 16 類(如表 4-2 所示)，其中部分類別的物件屬於相似缺失，但缺失嚴重程度不同，造成部分類別的物件之圖資數量過低，具有過度擬合的風險，準確度堪慮。故於第二階段版本(下稱 P2 版)，於發展單一 YOLOv4-Tiny 模型同時，重新整理圖資特性及篩選圖資內容，改分為 9 類，以利能夠更濃縮缺失圖資，優先以找出真實缺失為真正的系統目的(如表 4-3 所示)。最後，最終在第三階段版本(下稱 P3 版)由於 others\_break 類別物件過少，初步分析後認為該類別會影響模組發展，為避免模型於訓練過程中出現過度擬合現象，故暫時移出模型類別，待後續圖資累積到一定程度後，可以再額外歸納分出單一類別，進一步進行訓練。

表 4-2 前期計畫(P1 版)16 類物件分類說明

圖資分類	物件分類	說明	數量
正向視角	eclip_x	e 扣夾輕微缺失	62
	eclip_xx	e 扣夾嚴重缺失	317
	railspike_x	道釘輕微缺失	148
	railspike_xx	道釘嚴重缺失	74
	rail_x	軌面輕微缺失	114
	rail_xx	軌面嚴重缺失	186
	slab_track_eclip_x	版式軌道道釘輕微缺失	67
	slab_track_eclip_xx	版式軌道道釘嚴重缺失	74
	others_break	其他缺失	43
側向視角	eclip_is_covered	元件被遮蔽	750
	rail_welding_xx	焊接處裂縫	20
	splice_bar_xx	魚尾銲裂縫	37
	rail_xx	鋼軌裂縫	108
	splice_bar_x	魚尾銲螺栓脫落	87
	rail_welding	焊接處正常	514
	splice_bar	魚尾銲正常	350

**表 4-3 前期計畫(P1 版)與本期初步統整(P2 版)圖資類型比較**

前期計畫(P1 版)		初步統整(P2 版)	
物件類別	數量	物件類別	數量
eclip x	62	eclip_break	413
eclip xx	317		
slab track eclip x	67		
slab track eclip xx	74		
eclip is covered	750	eclip is covered	623
railspike x	148	wood_crossties_break	172
railspike xx	74		
rail x	114	rail surface break	103
rail xx	186	rail_crack	261
rail welding xx	20		
splice bar xx	37		
rail xx	108		
splice bar x	87	splice bar x	69
splice bar	350	splice bar	276
rail_welding(移除分類)	514	rail_screw_break(新增分類)	66
others break	43	others break	48

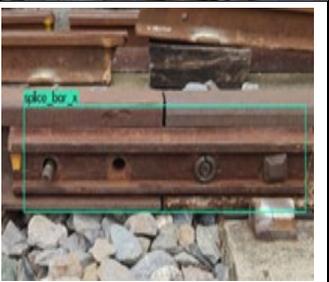
本計畫於第三階段起，在週期性訓練過程中，為各類別物件增加訓練圖資，逐步投入訓練，故又可分為 P3-8 版、P3-9-1 版等數個版本，各階段物件類別與數量如表 4-4。本計畫最終將模型歸納彙整成可辨識的 8 種物件類型，此 8 種物件類型圖例可參考表 4-5。

**表 4-4 最終版本(P3 版)物件類別與數量**

物件類別	數量(依版本別)			
	P3-8 版	P3-9-1 版	P3-9-2 版	P3-9-3 版
eclip break	413	445	451	503
eclip is covered	623	623	623	623
wood crossties break	172	172	172	172
rail surface break	103	103	103	103
rail crack	261	261	261	332
splice bar x	69	69	69	69
splice_bar	276	369	742	951
rail screw break	66	214	288	294

表 4-5 最終版本(P3 版)物件類別圖例

物件名稱	正常圖資	異常圖資	異常說明
e clip_break e 扣夾缺失			夾扣位移
			護片斷裂
e clip_is_covered e 扣夾被遮蔽			道碴遮蔽
wood_crossties_break 枕木缺失			枕木扣件位移
rail_surface_break 軌面缺失			軌面損傷

物件名稱	正常圖資	異常圖資	異常說明
rail_crack 鋼軌裂縫			軌腹鋼軌裂縫
splice_bar_x 魚尾鉸缺失			魚尾鉸裂縫
splice_bar 正常魚尾鉸			螺栓脫落
rail_screw_break 道釘缺失			道釘缺失

除圖資分類資料庫外，本計畫提供之軌道構件缺失辨識系統後端採用 SQL 資料庫，由單一表格記錄所有回報為瑕疵的案件內容，另外可修改/prisma/schema.prisma 檔案，快速更換不同類型的資料庫，對應 SQL Table 欄位定義、各資料庫對應型別，如表 4-6，其中灰底表示非強制欄位，可保留空白。

表 4-6 DB Schema

欄位名稱	欄位說明	SQLite	PostgreSQL	MySQL
uid	此案件的唯一編號	TEXT	text	varchar(191)
objectId	對應影像資料的檔案名稱	INTEGER	integer	INT
createdAt	案件上傳時間	NUMERIC	timestamp(3)	DATETIME(3)
type	該瑕疵的類型	TEXT	text	varchar(191)
latitude	瑕疵所在緯度	REAL	double precision	DOUBLE
longitude	瑕疵所在經度	REAL	double precision	DOUBLE
isFP	此瑕疵是否為 False Positive	INTEGER	boolean	TINYINT(1)
bbox_x1	檢測框左上 x 座標	INTEGER	integer	INT
bbox_y1	檢測框左上 y 座標	INTEGER	integer	INT
bbox_x2	檢測框右下 x 座標	INTEGER	integer	INT
bbox_y2	檢測框右下 y 座標	INTEGER	integer	INT
confidence	AI 信心百分比	REAL	double precision	DOUBLE
description	案件補充說明	TEXT	text	varchar(191)

## 4.3 演算法訓練與精進

### 4.3.1 資料標記作業

在完成影像資料採集與缺失辨識準則確立後，所採取之資料必須透過標記作業，將所需辨識的物件位置與類型標示出來，方能投入訓練與驗證作業。

本計畫自 2022 年 5 月起分別於臺鐵局臺中段及宜蘭段蒐集大量圖資後進行標記，標記軟體會將影片逐幀顯示於螢幕上，標記人員需確認畫面中的物件是否為目標物件，再利用框選工具將畫面中需要標記的物件框出位置，並為此物件選擇所屬類別；單一畫面中若存在兩個以上不同的物件，則需要分別框選位置與標記類別，標記作業如圖 4.12 所示。



圖 4.12 圖資標記作業示意

目前業界有許多開放式標記軟體可供選用，包含由 Intel 發展的 Computer Vision Annotation Tool(CVAT)、MIT 提供的 LabelME Video (LabelME V)、由 HeartexLabs 開發的 Labelimg 或 Microsoft 所屬的 VoTT...，後續計畫可依使用者應用需求選用不同的標記工具。

#### 4.3.2 增添圖資豐富度

為使 AI 模型可以更準確，需要使各類型物件數量更為平均、瑕疵類型更豐富。然而，由於目前道班同仁軌道維護狀態良好，所蒐集之影像中幾乎無法找到軌腹、銲接處與魚尾鈹之裂縫圖資。因此，在臺鐵局的鐵路專家協助下，本計畫參考國內外軌道構件缺失紀錄照片，透過影像合成方式，在本期計畫中所蒐集的圖資上增加軌腹、銲接處與魚尾鈹裂縫資料(如圖 4.13、圖 4.14、圖 4.15 所示)。



圖 4.13 合成軌腹裂縫示意圖



圖 4.14 合成銲接處裂縫示意圖



圖 4.15 合成魚尾鉸裂縫示意圖

### 4.3.3 單一模型可行性評估

本計畫將前期計畫使用的 2 個 YOLOv4-tiny 偵測正/側向鐵軌，合併為單一 YOLOv4-tiny 的應用，如此，可以同時偵測正/側向鐵軌。在進行演算法訓練時首先採用前期計畫所得的軌道圖資進行投入，訓練時首先統計資料集內各類別資料數量，發現原始的資料集內不同類別的分布相當不平均，這對模型的訓練會造成一定程度的影響，導致模型對資料較多的類別產生過擬合現象，而過擬合會使模型對資料量較少的類別判別能力下降。因此，AI 工程師將首先需平衡每個類別的資料量，且為了避免產生每個類別裡的資料過於相似的問題，本計畫在訓練過程中使用，於背景程式中制自動執行 CV Augmentation 方法(以下簡稱 CV Aug.)來增加資料的隨機性，以防止模型訓練出太單一的辨識方式。為確保該方法可行性，故利用前期計畫成果進行驗證，利用前期計畫資料經 CV Aug.前後所得圖資數量(如表 4-7 所示)，並確認由 CV Aug.處理後可以提升少量物件的準確度(如表 4-8 所示)。由此可知，只要各類別物件數量足夠且分布平均，採用單一 YOLOv4-tiny 模型具有可行性，本計畫後續之發展及驗證皆採取單一模型進行，用來有效率進行鐵道軌面正面與側面之瑕疵偵測的應用。

CV Aug. 方法主要為影像辨識類的 AI 模型而誕生，常見的 CV Aug. 手法有空間變換、色彩變換及噪點與模糊等方式，包括翻轉、裁切、縮放、平移、旋轉、放射或擦除等方式。本計畫所使用的手法有旋轉、偏移與複製等(如圖 4.16、圖 4.17 及圖 4.18 所示)，此外亦大量採用 Mosaic(馬賽克)方法，主要透過拼貼方式，將多張訓練用的圖片合成在一起投入訓練(如圖 4.19 所示)，除增加圖資的豐富程度外，亦可有助於平均化各類別物件所投入之訓練數量。

表 4-7 軌道瑕疵缺陷物件數量分布(經過 CV Aug.前後比較)

物件類型	未經 CV Aug.	經過 CV Aug.
e 扣夾輕微缺失	62	992
e 扣夾嚴重缺失	317	1177
道釘輕微缺失	148	1492
道釘嚴重缺失	74	944

軌面輕微缺失	114	932
軌面嚴重缺失	186	768
版式軌道道釘輕微缺失	67	1172
版式軌道道釘嚴重缺失	74	741
其他缺失	43	1392
元件被遮蔽	750	1361
焊接處裂縫	20	953
魚尾鈹裂縫	37	1246
鋼軌裂縫	108	864
魚尾鈹螺栓脫落	87	1392
焊接處正常	514	1028
魚尾鈹正常	350	822

表 4-8 不同模型與圖資來源訓練準確率比較(AP)

數據來源	引自前期報告	本期復原結果	CV Aug. 圖資
物件類型 \ 模型與圖資組合	前期模型與前期圖資	前期模型與前期圖資	本期模型與前期圖資 (經 CV Aug.)
e 扣夾輕微缺失	71.88%	68.55%	99.97%
e 扣夾嚴重缺失	97.24%	87.68%	97.33%
道釘輕微缺失	97.37%	57.36%	99.99%
道釘嚴重缺失	100%	46.48%	99.86%
軌面輕微缺失	98.58%	17.46%	100%
軌面嚴重缺失	92.04%	34.29%	89.20%
版式軌道道釘輕微缺失	92.48%	98.24%	100%
版式軌道道釘嚴重缺失	100%	99.96%	99.97%
其他缺失	100%	100%	99.96%
元件被遮蔽	93.30%	98.35%	95.36%
焊接處裂縫	100%	99.05%	100%
魚尾鈹裂縫	100%	100%	100%
鋼軌裂縫	100%	42.51%	100%
魚尾鈹螺栓脫落	96.15%	54.72%	100%
焊接處正常	98.82%	82.93%	99.64%
魚尾鈹正常	100%	67.31%	99.99%
mAP	96.12%	72.18%	98.83%



圖 4.16 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-調整亮度



圖 4.17 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-旋轉角度



圖 4.18 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-拉近距離

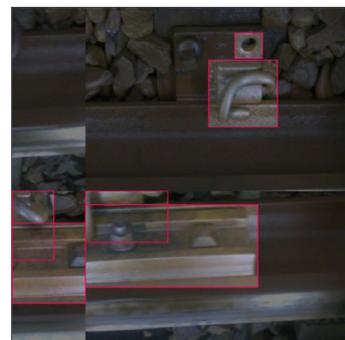
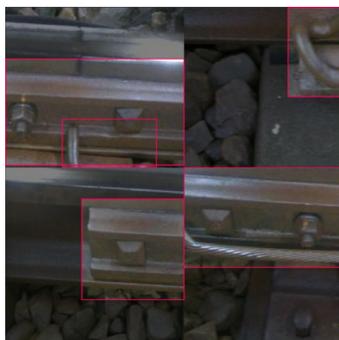
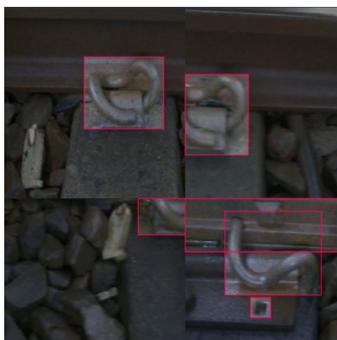


圖 4.19 軌道構件圖資 CV Augmentation 示意圖-Mosaic

#### 4.3.4 模型發展進程

透過 4.3.3 小節驗證採用單一模型進行軌道構件缺失辨識具有可行性，並完成物件類別之篩選與整併後(詳如 4.2 節說明)，本計畫採用第三階段(P3)之物件分類模式投入訓練。訓練過程中，又將資料集分別為訓練集與驗證集投入，以計算模型準確度，資料集分布數量如表 4-9 所示。

**表 4-9 P3 模型各類物件資料集數量**

物件類別	驗證集	訓練集(依版本別進行圖資累計)			
		P3-8	P3-9-1	P3-9-2	P3-9-3
eclip_break	115	413	445	451	503
eclip_is_covered	172	623	623	623	623
wood_crossties_break	46	172	172	172	172
rail_surface_break	23	103	103	103	103
rail_crack	65	261	261	261	332
rail_screw_break	19	66	214	288	294
splice_bar_x	18	69	69	69	69
splice_bar	74	276	369	742	951

除透過訓練集與驗證集自動比對外，為確保最終成效具有說服力，本計畫隨機擷取一段影片進行人工比對驗證，驗證標的影片總長 4 分 17 秒，距離約 4,284 公尺，透過人工先行檢視物件內容，與 AI 模型檢出結果互相比對。由於影片為隨機挑選並且現階段軌道維護良好，為避免檢測項目無缺失項目，故針對魚尾鉸項目進行單獨識別，本次經人工檢視共計 23 處魚尾鉸，各階段模型驗證成果，如表 4-10 所示。

**表 4-10 各階段模型訓練準確度(Darknet 框架，Threshold: 0.25)**

版本	電腦 AI 訓練數據資料 (Darknet / Threshold:0.25)			比對人工檢驗數據 (共計 23 處魚尾鉸)	
	Precision (%)	Recall (%)	mAP (%)	魚尾鉸 檢出量(個)	魚尾鉸 檢出率(%)
P1 版本	99 %	92 %	96.1 %	1	4.3 %
P2 版本	97 %	91 %	95.4 %	0	0 %
P3-8 版本	98 %	91 %	95.8 %	2	8.7 %
P3-9-1 版本	99 %	94 %	96.8 %	17	73.9 %

本計畫初步採用 Darknet 框架進行模型訓練並將信心指數門檻 (Confidence Threshold) 設定為 0.25。顯示電腦 AI 之訓練數據準確度顯示 mAP 介於 95.4%~96.8%，然而其成果與人工檢驗比對，仍有一段差距。進一步檢視其中數據發現，期中 P1 及 P2 版本由於皆為前期圖資初步合併歸納，並未進行模型調校，故檢出效益不佳；而 P3-8 以上版本則逐步納入新圖資，檢出率已出現成長。

考量鐵道安全性，寧可誤判正常構件優於漏掉缺失構件，本計畫認為原先使用的框架對於實際運算模擬出來的檢出率 (Recall Rate) 與準確率 (Precision Rate) 與實際套入應用後有所背離。因此，改採用更新世代的模型框架為 Pytorch，此框架對於之信心水準門檻 (Confidence Threshold) 之計算會更貼合應用，且採取預設的框架門檻值，可在降低部分準確率 (Precision Rate) 情形下，提升召回率 (Recall Rate)。由於 P1 及 P2 模型版本屬於較早期模型，考量執行期程因素，因此將研究的資源能量，優先投入新型模型版本進行作業，最後將 P3-8 以上版本投入模型訓練後取得訓練結果，如表 4-11 所示。

**表 4-11 P3 以上階段模型訓練準確度 (PyTorch 框架，Threshold: 0.001)**

版本	電腦 AI 訓練數據資料 (PyTorch / Threshold:0.001)			比對人工檢驗數據 (共計 23 處魚尾鈑)	
	Precision (%)	Recall (%)	mAP (%)	魚尾鈑 檢出量(個)	魚尾鈑 檢出率(%)
P3-8 版本	71.9 %	98.2 %	95.7 %	2	8.7 %
P3-9-1 版本	81.6 %	97.5 %	96.8 %	17	73.9 %
P3-9-2 版本	81.3 %	97.7 %	96.5 %	18	78.2 %
P3-9-3 版本	79.6 %	96.7 %	96.2 %	21	91.3 %

由表 4-11 中可以觀察到，採用 PyTorch 框架之模型訓練效果在犧牲少量準確率 (Precision Rate) 後取得召回率 (Recall Rate) 提升的效果，更重要的是對比人工檢驗數據，其檢出率有長足進步。基於鐵道安全維護的考量，本計畫衡量在誤判 (準確率偏低) 與遺漏缺失物件 (檢出率偏低) 中，選擇優先確保不會遺漏缺失物件，因此，後續驗證將持續採用 PyTorch 框架執行模型訓練。

## 4.4 定位系統

參考前期計畫成果，除了訓練模型辨識軌道缺失此一重點外，辨識出來瑕疵的定位點也是非常重要的一部分，尤其此次測試路段又為宜蘭段，多隧道段及彎道是其特色之一，對於定位系統的挑戰可以說是相當嚴苛。本計畫借鏡過去緯創資通公司在其他領域之發展經驗，採用了外部精準定位產品進行缺失定位之用，以驗證精準定位系統於臺灣軌道環境之有效性。以下利用市售 GoPro 設備與本計畫採用之精準定位系統，比較兩者在同樣條件下定位效果之差異。

宜蘭段現地測試時定位設備所記錄之經緯度，經過初步處理後疊在 Google Earth，如圖 4.20 所示，其中藍色代表本次所使用精準定位系統之結果，紅色為 GoPro 定位之結果(下同)，可以發現有些紅點散布於地圖上，可認定此為定位訊號不穩定導致定位漂離軌道，而藍色點位則沒有此狀況發生。

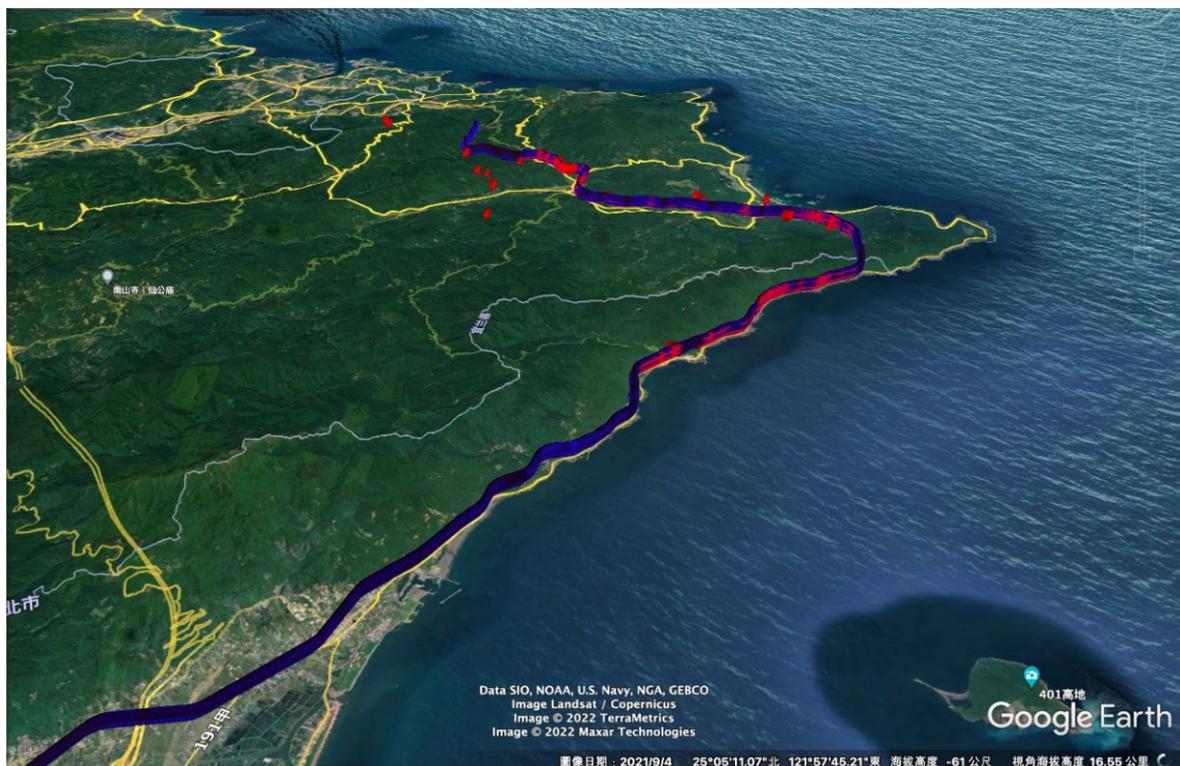


圖 4.20 宜蘭段現地測試定位疊圖

如圖 4.21 所示，可發現紅色點於隧道段出現中斷，因此可推測 GoPro 系統在隧道段無法有效定位，而藍色點位仍穩定記錄定位資訊，主因為本計畫所採用各式感測器融合之定位系統，因此，在隧道中單一 GPS 訊號失效，並不會完全喪失定位功能，於沒有 GPS 訊號之環境下，依然可以提供高精準度的定位資訊。於長隧道中，也不影響本計畫多感測器資料融合的定位效果，可持續提供相對高品質的定位資訊。(如圖 4.22 所示)



圖 4.21 隧道段定位結果



圖 4.22 長隧道定位結果

如圖 4.23 經過一段相當長的隧道，精準定位系統依然可以持續提供定位資訊，由於損失衛星定位來源，定位誤差隨著時間持續累積，但於離開隧道進入透空區域後，隨即又修正恢復至正常軌跡。

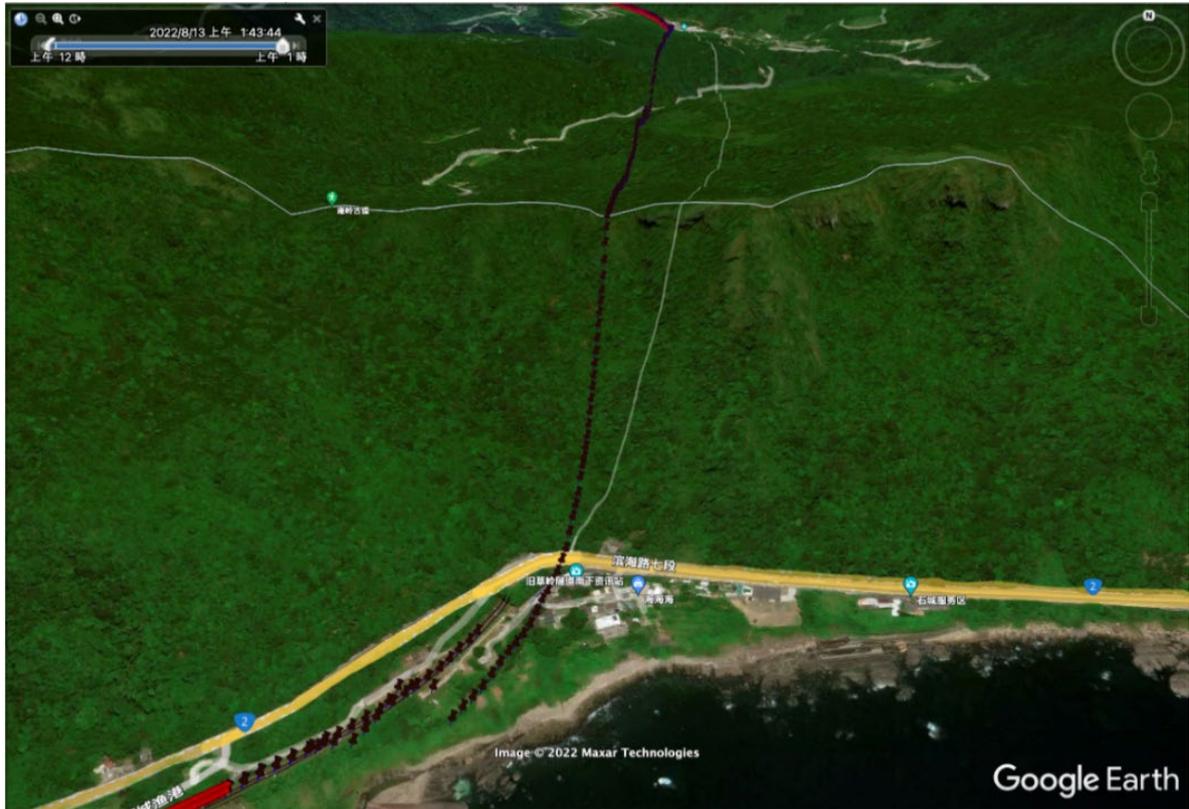


圖 4.23 長隧道定位結果

如圖 4.24 所示，於隧道段中精準定位系統持續提供定位資訊，但 GoPro 於進出隧道段產生嚴重的偏移，無法維持行進軌跡之準確性。



圖 4.24 隧道段定位結果比較

如圖 4.25 所示，於福隆車站無遮蔽處雙方定位之結果可得知，於沒有遮蔽的環境下，精準定位系統與 GoPro 的表現差異不大，皆能給出品質良好的定位資訊。



圖 4.25 空曠段定位結果比較

## 4.5 系統現地驗證

本計畫原擬定以下 3 個階段之現地驗證，如表 4-12 說明：

**表 4-12 初版系統現地驗證作業規劃**

階段	現地驗證說明	地點
第一階段	舊系統搭配新資料擷取設備進行驗證作業。	臺中段
第二階段	利用舊系統加入新資料樣本重新訓練後，搭配新資料擷取設備進行驗證作業。	臺中段
第三階段	利用第二階段驗證結果進行改良後，進行驗證作業。	宜蘭段

執行過程陸續承接執行成果之後，首先針對舊系統進行分析作業。礙於原專案成果經過一段時間進行分析後，除了 AI 模型仍可運行之外，其餘既有程式皆無法完成編譯復原，須重新建立軌道巡檢專用之辨識系統，因此，配合本計畫之執行現況，針對現地驗證計畫重新規劃，如表 4-13 說明：

**表 4-13 第二版系統線地驗證規劃作業**

階段	現地驗證說明	地點
第一階段	利用基本系統模板進行調整作業後，嘗試與新資料擷取設備進行連線驗證作業。	實驗室 內部測試
第二階段	利用新資料擷取設備擷取軌道影像資料重新訓練 AI 模型，後續搭配新系統於軌道進行現地驗證作業。	臺中段
第三階段	首先利用新資料擷取設備進行宜蘭段軌道資料收集作業，後續利用所收集資料進行模型訓練後將於軌道進行驗證作業。	宜蘭段

同時考量本計畫使用復興號車廂進行軌道巡檢研究作業，然復興號車廂因為需要配合臺鐵局進行車輛廂體的使用申請作業，且臺鐵局各段需單獨各自進行申請作業。因此，後續亦完成與宜蘭段雙方的溝通作業，並於期末之前已完成第三階段時期的規劃目標，將復興號車廂調往宜蘭段進行現地測試作業。雖然於此之前，也預先規劃備案現地驗證作業，用以確保在本計畫執行期間，可以充分利用專案提供的環境與資源，達到最大研發效益與成果，後續也最大化實現本計畫現地驗證資源，進一步返回臺中工務段進行驗證作業，針對備案現地驗證規劃，如表 4-14 說明。

**表 4-14 第二版系統現地驗證規劃作業備案**

階段	現地驗證說明	地點
第一階段	利用基本系統模板進行調整作業後，嘗試與新資料擷取設備進行連線驗證作業。	實驗室 內部測試
第二階段	利用新資料擷取設備擷取軌道影像資料重新訓練 AI 模型，後續搭配新系統於軌道進行現地驗證作業。	臺中段
第三階段	首先利用新資料擷取設備進行宜蘭段軌道資料收集作業，或者利用宜蘭段提供的樣本照片進行模型訓練後，將於可利用的軌道進行驗證作業。	宜蘭段 或 臺中段

最終，本計畫之影像資料蒐集與系統驗證等軌道現地作業分為 3 階段共執行 6 次，包含期初階段至臺中工務段執行硬體設備測試及圖資蒐集、期中階段至宜蘭段執行系統現地測試及期末階段返回臺中段進一步驗證系統穩定性，詳細執行紀錄，如表 4-15。

**表 4-15 本計畫影像蒐集與系統實地驗證紀錄**

階段	日期	執行路段	距離 (來回)	車速 (km/hr)	執行目的
第一階段	2022/5/6	大甲至白沙屯	約 60 km	30-60	驗證設備可行性、圖資蒐集
	2022/5/27	大甲至沙鹿	約 30 km	30-60	圖資蒐集
	2022/7/8	后里至新烏日	約 60 km	30-60	系統第一次驗證、圖資蒐集
第二階段	2022/8/12	瑞芳至蘇澳新 (東線)	約 80 km	30-60	系統現地測試、定位系統測試、圖資蒐集
	2022/8/19	瑞芳至蘇澳新 (西線)	約 80 km	30-60	系統現地測試、定位系統測試、圖資蒐集
第三階段	2022/9/23	大甲至臺中港	約 9 km	30-60	AI 模型現地驗證

#### 4.5.1 第一階段臺中段資料蒐集

本期計畫期初階段，於臺鐵路臺中工務段完成 2 次軌道現場作業，主要目標為硬體設備規格與安裝驗證及初步圖資蒐集，範圍包含臺中工務段段內山線及海線軌道(如圖 4.26 所示)，來回總計里程達 80 公里，累計圖資共 259,168 張，將同步彙整歸檔於軌道圖資資料庫。



圖 4.26 臺鐵路臺中工務段影像採集範圍

於 5 月 6 日初次安裝驗證時期，發現補光設備與相機 FOV 尚有改進之處，因此於 5 月 27 日第 2 次軌上作業期間，將原本備用的補光燈進行安裝，原始規劃單軌的補光燈由 2 盞擴增至 4 盞，並且採納臺中段同仁的專業建議，配合調整攝影高度距離踏面約 15-20cm 處，以利能看到更多軌腹資訊。

過程中，配合臺鐵路臺中段協助支援，將復興號維持在車速 60km 的影像連續性驗證部分，分別為扣件連續性與魚尾鉸進行連續性驗證，如圖 4.27 及圖 4.28 所示，足證參數設定的正確性。透過以上圖資收集現況，可以大致確定在車速 60km/hr 的圖資收集與畫面的呈現結果上，對於後續軌道構件缺失辨識系統於軌道巡查作業的應用，初步評估是具備可用性。



圖 4.27 扣件連續影像

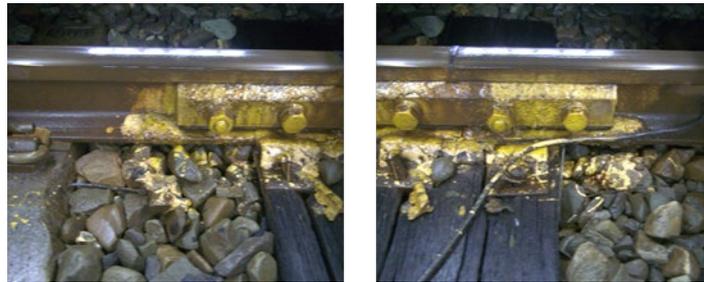


圖 4.28 魚尾板連續影像

經過臺中段的 2 次實際的軌道現地作業，透過擷取部分影像圖資的分析，發現可以看出有部分疑似 e 扣夾缺失、軌道異物、疑似道釘缺失，如圖 4.29、圖 4.30 及圖 4.31 所示，另外也包含四孔魚尾板前後端疑似有裂痕瑕疵現象部分，如圖 4.32 所示。因此，也間接驗證本計畫初步規劃的可行性。



圖 4.29 軌道 e 扣夾缺失與位移



圖 4.30 軌道異物

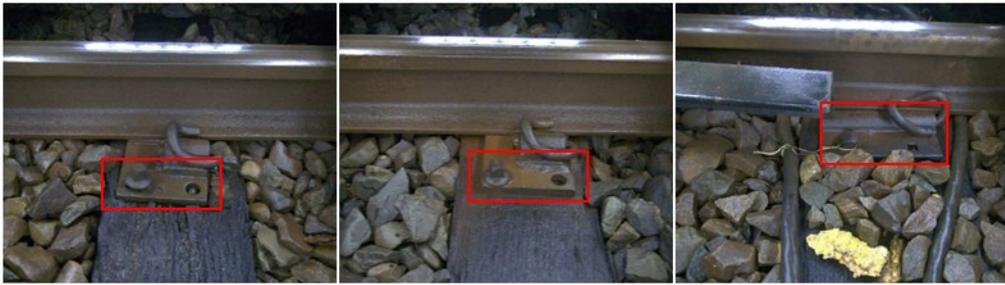


圖 4.31 疑似道釘缺失



圖 4.32 疑似真實裂痕

#### 4.5.2 第二階段宜蘭段系統測試

承接期初於臺中段場域的測試過後，於 2022 年 8 月特別委託臺鐵路宜蘭段安排，於宜蘭工務段場域進行現場測試作業。本階段作業，主要執行目標為軌道構件缺失辨識系統現地測試及宜蘭段特殊軌道圖資資料的蒐集作業，當然其中更包含測試本計畫中所選用的定位系統精確度。

於本次宜蘭段作業過程中，與臺鐵路宜蘭段單位主管機關召開工作說明會議，並且於會議過程說明本計畫研究的目的與範圍。臺鐵路宜蘭段協助 2 次宜蘭段的現地測試作業，並且全程支援調度車輛與軌道通行的相關配合。2 次現地測試作業分別為不同路徑，第 1 次路徑為宜

蘭段東線路徑，第 2 次作業則為宜蘭段西線路徑。每次作業所支援的作業範圍均相同，起點自瑞芳站至終點蘇澳新站，如圖 4.33 所示，單趟距離總計里程達 80 公里，因此兩次作業累計里程達 160 公里。為有效利用場域，故將每次上軌作業一分為二，前 40 公里的里程進行系統測試作業，後 40 公里的里程進行軌道資料收集作業，以利後續持續發展進步 AI 模型的參考資料使用。當然，對於本計畫收集所得的軌道圖資勢必無法於本計畫執行期間完全消化作業，因此將首先隨機摘錄部分圖資納入訓練資料，並於本計畫結束後將其影像檔案資料皆歸檔於軌道圖資資料庫中，以利後續持續性的發展利用。



圖 4.33 臺鐵局宜蘭工務段現地測試過程影像採集範圍

本次系統測試與檢驗結果說明如下：

1. 檢測範圍：瑞芳站至龜山站。
2. 檢測目的：系統穩定性、定位系統可行性為主。

3.檢測標的：缺失物件項目及非缺失之正常魚尾鈸。

4.檢測結果：未發現缺失物件，非缺失之正常魚尾鈸分佈如圖 4.34 所示。

本計畫於系統測試與檢測作業執行前，即已了解到由於本次測試區域為臺鐵路日常營運之軌道，其保養情形良好且不適合以人工建立模擬缺失物件，預期可檢測出之缺失物件數量不多，在物件過於少且分散的情形下，難以隨時確認整體模組可用性。因此，經多方協調後提出以「正常魚尾鈸」做為本次檢測標的，以利驗證整體構件缺失辨識系統之穩定性與可用性。檢測結果如預期，在瑞芳站至龜山站間，並未檢出缺失物件項目，而正常魚尾鈸之檢測分佈情形如圖 4.34 所示，足可說明 AI 模組於正式軌道上的可行性。

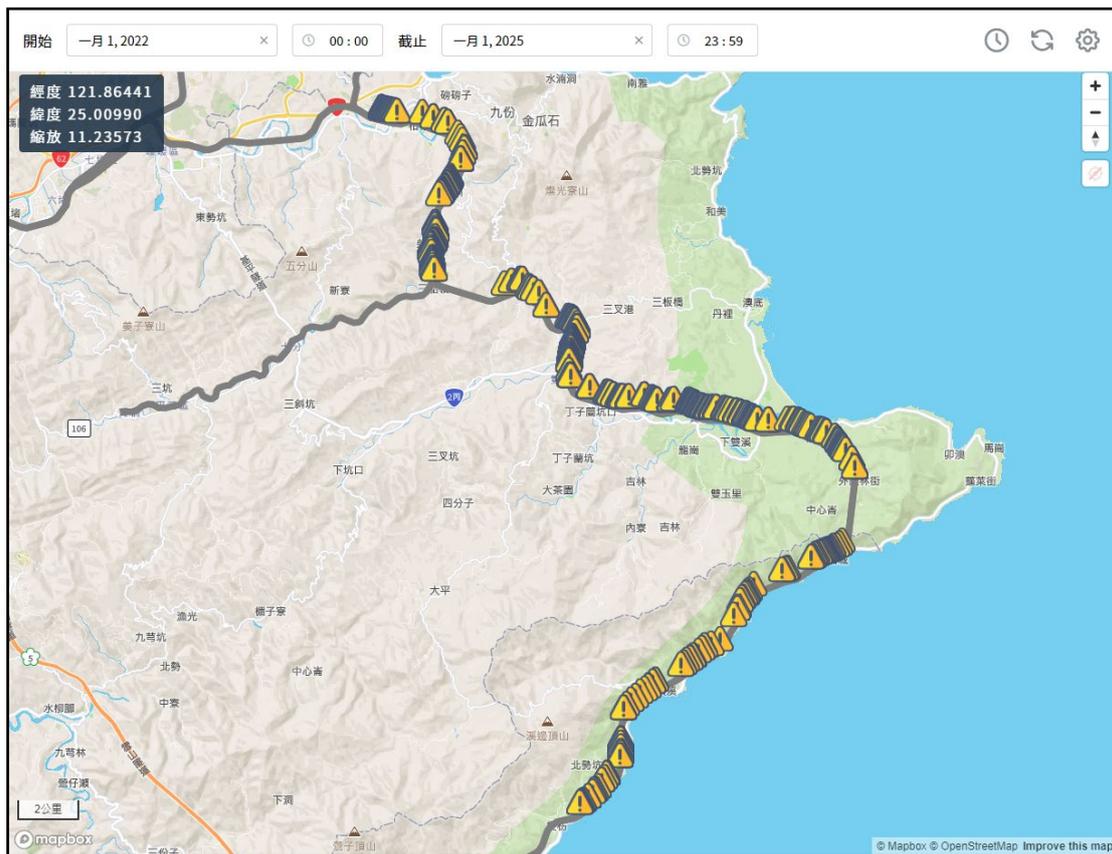


圖 4.34 宜蘭段現地測試檢出物件空間分佈情形

本計畫又自宜蘭段之測試路段中，隨機抽樣一段 4 分 17 秒影片回到實驗室進一步測試，攝影距離總計 4,284 公尺，由於影片中並無其他

瑕疵物件，故以正常魚尾鉸之檢出情形做為系統測試標的；其中，魚尾鉸數量經人工計算，共找到 23 處。將影片利用 P3-8 版本模型進行測試，總計檢出 2 處魚尾鉸，檢出率約為 8.7%。透過投入更多資料，產生第 P3-9-1 版本模型，其魚尾鉸檢出數提出至 17 個，檢出率約為 73.9%，詳細資料及其他測試紀錄，請參考表 4-10 及表 4-11。

此外，於宜蘭段現地測試作業中，其中一項重要的測試內容為定位項目。分別針對長距離隧道內進行模擬假變異資料後，融合定位系統的經緯度向雲端系統嘗試發送擷取到軌道變異資訊，從後續的模擬變異成果展示於本計畫提供的圖資平台，可以觀察出本計畫使用的定位系統具備一定的精準特性，不會因為阻斷 GPS 訊號後，定位系統因此而有所遠距離的飄移特性(如圖 4.35 所示)。當然在正常情況之下，本計畫系統利用 AI 模組所擷取疑似軌道變異資訊的定位訊號(即並非模擬軌道變異)，藉由融合定位系統提供的經緯度資訊，依據系統地圖提供的距離比例尺，亦可觀察到相關軌道變異訊息均定位於軌道旁附近 3 公尺範圍內(如圖 4.36、圖 4.37 所示)。



圖 4.35 隧道內模擬檢測軌道變異後融合定位資訊呈現圖

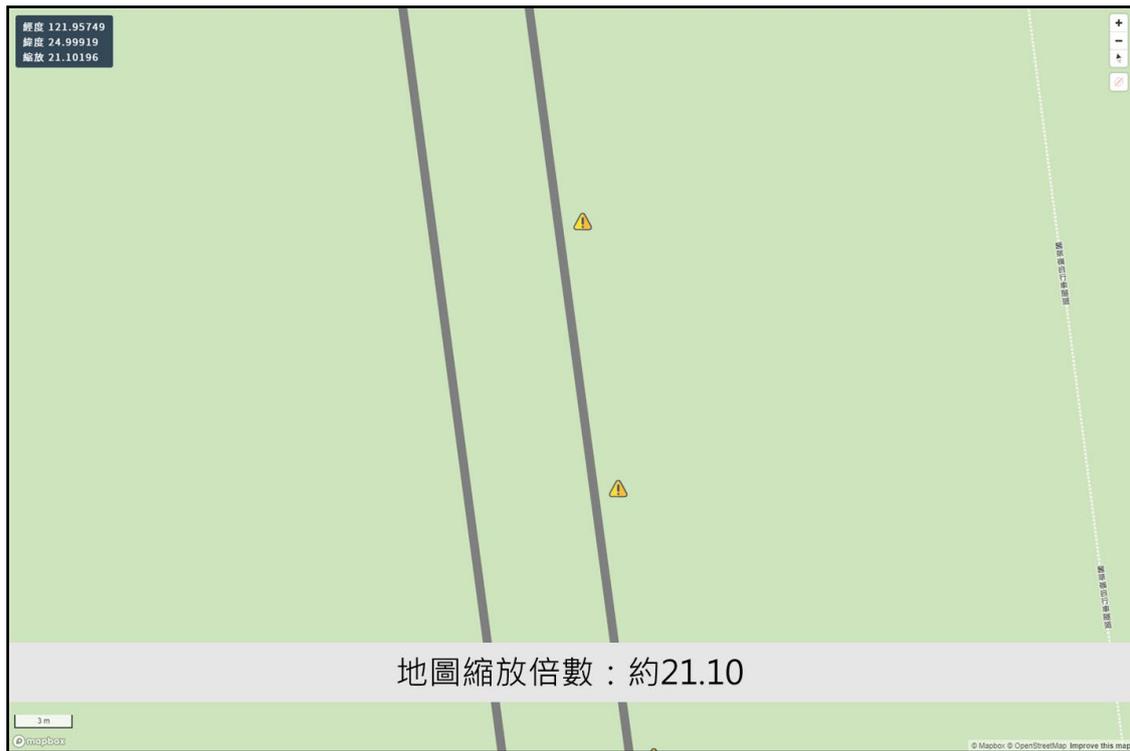


圖 4.36 實際檢測軌道變異融合定位資訊呈現圖(一)



圖 4.37 實際檢測軌道變異融合定位資訊呈現圖(二)

### 4.5.3 第三階段臺中段現地驗證

最後，為進一步驗證現階段所訓練的 AI 模組成果，特別委託臺中段協助於本年度 9 月 23 日，進行現地軌道模擬驗證作業。本次現地驗證將由臺中工務段維護人員先行佈建 3 種類的軌道缺失，包括 e 扣夾缺失、魚尾銲缺失與模擬裂縫缺失數個，在本系統未先獲取缺失資訊時進行檢驗作業，藉此得知本計畫發展的成果。詳細缺失資料與對照實際檢出項目，如表 4-16 所示，並統整本次實際檢出之各項缺失圖像，如圖 4.38~4.41 所示。

表 4-16 本計畫影像蒐集與系統驗證紀錄

缺失項目 A：e 扣夾缺失					
#	方向	里程座標	經緯度座標	缺失數量	檢出數量
1	東向	K181+026	24°19'59"N 120°37'02"E	2	0
2	東向	K181+973	24°19'39"N 120°36'37"E	1	1
3	西向	K180+860	24°20'02"N 120°37'06"E	1	1
4	西向	K181+096	24°19'58"N 120°36'59"E	1	1
5	西向	K182+374	24°19'27"N 120°36'32"E	2	2
6	西向	K182+405	24°19'26"N 120°36'31"E	1	1
7	西向	K183+704	24°18'46"N 120°36'19"E	1	1
缺失項目 B：魚尾銲缺失					
1	14A	岔後	24°34'07"N 120°62'47"E	1	1
2	14B	岔後	24°34'11"N 120°62'50"E	1	1
缺失項目 C：鋼軌裂縫(模擬)					
1	東向	K181+247	24°19'56"N 120°36'55"E	1	1
2	西向	K181+327	24°19'54"N 120°36'53"E	1	1
3	西向	K182+300	24°19'30"N 120°36'32"E	1	1



圖 4.38 第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—e 扣夾缺失



圖 4.39 第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—e 扣夾缺失(續)



圖 4.40 第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—魚尾鈹缺失



圖 4.41 第三階段臺中現地驗證檢出紀錄—鋼軌裂縫(模擬)

本次驗證過程中亦發現本系統具有一定的誤判情形發生，進一步分析誤判事件，歸納常見的誤判情形統整如下：

### 1. 鐵軌銲接處誤判為鋼軌裂縫

軌道銲接處經由補光後產生的光影現象，與鋼軌裂縫樣態具有相同特徵(如圖 4.42 所示)，可透過投入更多鋼軌裂縫圖資進行訓練以降低誤判情形，然而考量到軌道銲接處為裂隙好發位置，鋼軌裂縫具較高風險性，建議初期儘量持不可錯放的原則，待累積圖資進行調整訓練。



圖 4.42 現地驗證誤判情形—鐵軌銲接處誤判為鋼軌裂縫

### 2. 油漬痕跡誤判為鋼軌裂縫

在本次現地驗證中，發現部分油漬痕跡因其形狀分布與鋼軌裂縫模擬圖相似而被判斷為鋼軌裂縫的情形(如圖 4.43 所示)，除納入更多圖資以進行訓練外，後續可以利用調整模型時的權重值進行調整優化，雖然無法完全規避該誤判的發生，但是一定能有效降低誤判機率。



圖 4.43 現地驗證誤判情形—油漬痕跡誤判為鋼軌裂縫

### 3. 小石塊誤判為 e 扣夾缺失

由於 e 扣夾缺失之枕木扣環與道渣石塊樣貌相似(如圖 4.44 所示)，容易遭到誤判。因此，可以利用系統規劃的反饋功能，收納更多導致誤判的圖資進行模型的再訓練作業，以利提升精準度。

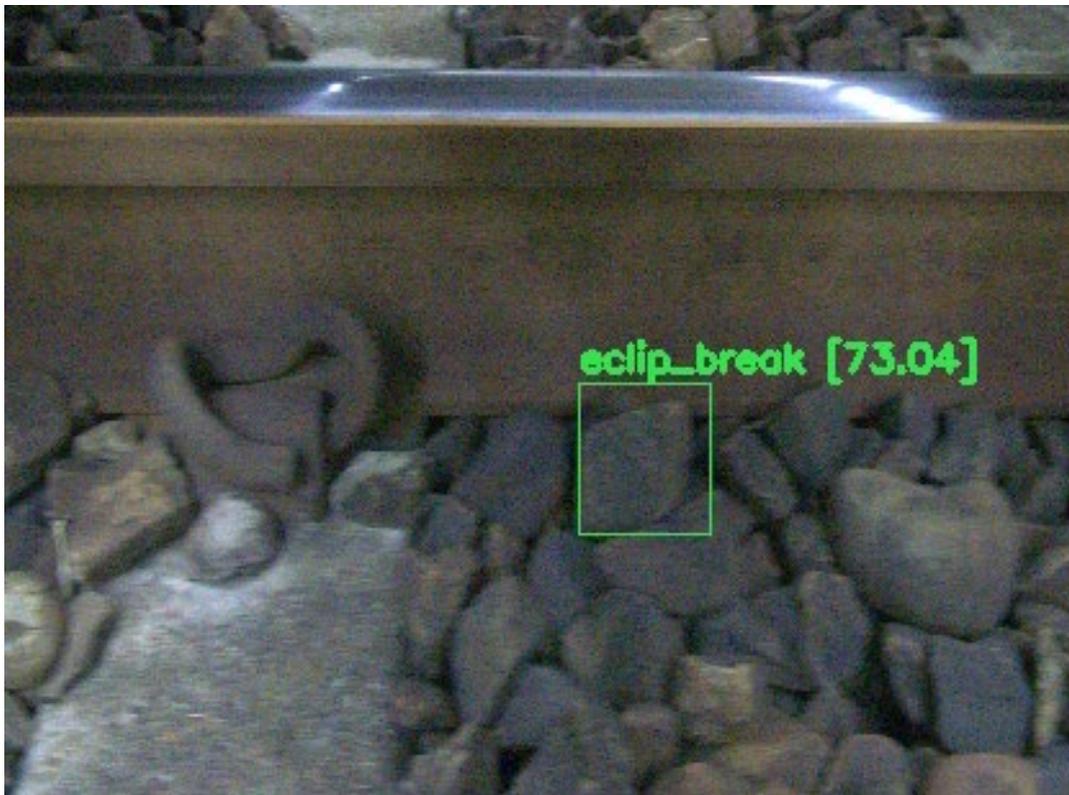


圖 4.44 現地驗證誤判情形—小石塊誤判為 e 扣夾缺失

為檢驗 AI 影像辨識模型之成效，本計畫依下列公式計算本次驗證分數，其中 TP、FP、FN 定義請參考第 2.1 節之表 2-1 說明。

$$\text{準確率(Precision rate)} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) ;$$

$$\text{檢出率(Recall rate)} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) ;$$

本次驗證由臺鐵局臺中段人員隨機設置包含 e 扣夾缺失、魚尾鉸缺失及鋼軌裂縫 3 類共 12 處軌道缺失項目，9 月 23 日現地驗證系統檢出缺失數量共 108 處，集中真實缺失物件 14 處，包含 12 處預先設置之模擬缺失項目及 2 處額外非人為設置的 e 扣夾缺失，以及 94 處非實際缺失項目與 2 處應檢出但未檢出的缺失。總計缺失項目包含 14 處人為設置的與 2 處非人為設置，總計 16 處缺失項目，據此計算準確率與檢出率如表 4-17 所示。

**表 4-17 臺中段 9 月 23 日現地驗證檢出準確率統計**

	P3-9-3 版本	
	正確	錯誤
eclip_break	9	36
rail_crack	3	58
splice_bar_x	2	0
Precision rate	12.9%	
Recall rate	87.5%	

備註：本次測試路線長度 9 公里，構件總數達 54000 個以上。

從評分結果觀察，可以發現本次實地驗證中具有準確率偏低問題，然而從真實的軌道巡查場景來看，軌道每公里平均分布約有 6000~7200 個構件，本次驗證路線上東西線來回合計共約 9 公里，總計應有超過 54000 個構件。經此證明，系統已可自數萬個構件中檢出 108 處疑似缺失，軌道巡檢人員所需檢視的範圍已限縮至此 108 處疑似缺失中，實已有效降低人員負擔，提升巡檢效率。

根據本次實地驗證成果，並觀察誤判情形，建議未來可針對本次主要發生誤判之案例，進一步投入更多同類型圖資進行訓練，並調整 AI 節點權重值，以逐步改善模型之辨識精準度。為驗證此推論，於期末階段進一步針對本次發生誤判之情形，自既有影像中尋找類似的易誤判圖資投入訓練，訓練一個新版模型進行比較。本次測試利用 2022 年 9

月 23 日現地驗證當天所額外錄製之影片於實驗室中進行，表 4-18 為 P3-9-3 版本模型與後續調整版本之辨識成果。自比較結果可以發現，再投入更多類似圖資後，已可有效提升 Precision Rate，但 Recall Rate 卻略有下降，未來仍須透過圖資之蒐集及權重值調整等方式，進行模型改良。

**表 4-18 模型調整效果比較**

模型版本 數值	P3-9-3 版 (9/23 現地驗證)	比較組
Precision (mAP)	11.89%	42.22%
Recall	83.33%	61.67%

## 4.6 系統教育訓練

本計畫於 2022 年 11 月 10 日(四)13:20 假臺鐵局臺中工務段辦理教育訓練活動，教育訓練議程安排如下表 4-19 所示，活動紀錄照片如圖 4.45 及圖 4.46。

**表 4-19 教育訓練議程**

時間	講題	主講人	主持人
13:20~13:30	人員報到入場		
13:30~13:40	開幕與主持人致詞		蔡立宏
13:40~13:45	AI 軌道構件缺失辨識系統研究歷程簡介	鄭登鍵 副研究員 交通部運輸研究所	賴瑞應
13:50~14:20	111 年 AI 軌道構件缺失辨識系統研究成果說明	施映男 經理 緯創資通股份有限公司	賴瑞應
14:20~14:30	休息		
14:30~15:00	AI 概念及原理介紹	施映男 經理 緯創資通股份有限公司	賴瑞應
15:00~15:30	平台實作操作及交流時間		賴瑞應
	教育訓練結束		



圖 4.45 教育訓練活動紀錄(一)



圖 4.46 教育訓練活動紀錄(二)

## 4.7 學術期刊撰寫

綜觀本計畫整體研究規劃與目標，本計畫的研究成果應具備創新性與產業應用性，有學術論文發表的潛力。因此，規劃將計畫之研究成果進行彙整之後，集結整理投稿到國內外期刊論文或研討會論文，論文主軸會結合人工智慧、鐵路自動巡檢應用等元素，考量論文主題所屬學術領域與產業特色，暫以中華民國運輸學會 2023 年會暨學術論文國際研討會為投稿目標擬定文稿。標題暫定為「以影像辨識輔助軌道巡查作業—臺灣鐵路宜蘭段及臺中段實證研究」，摘要如下：

本計畫透過實證研究方法，探討應用人工智慧影像辨識是否有助於軌道巡查作業。由於國內軌道巡檢作業尚以人力目視檢查為主，容易受到行進速度、光線角度與視線角度影響，造成遺漏或誤判，且每日巡查進度有限，因此，亟需發展一套自動化輔助巡檢系統輔助巡查工作。本計畫透過一系列文獻回顧、系統設計、實地測試與資料蒐集、模型訓練與實地驗證等流程，發展了一套軌道構件缺失辨識系統。經過多次進入臺灣鐵路營運與養護之軌道環境進行資料蒐集與系統驗證，確認本系統在夜間環境且行駛速度達 30km/hr 至 60km/hr 情況下，具有一定的檢出率與準確度。綜合本計畫研究結果，人工智慧影像辨識方法的確有助於軌道巡檢作業，研究成果亦可做為輔助軌道巡查作業之發展基礎。



## 第五章 結論與建議

本計畫協助臺鐵局鐵道巡查工作自動化之需求，利用影像採集設備搭配人工智慧深度學習演算法，做為軌道鐵路構件自動判別分析，輔助人工巡查工作以達到自動化軌道巡查之目的。本計畫蒐集臺鐵局臺中工務段及宜蘭工務段之實地軌道資料，擴建缺失物件圖資資料庫及精進軌道缺失辨識系統，使本計畫系統之可用範圍自平原區擴展至丘陵區，並首度加入影像處理技術，增加物件圖資之隨機性，以解決缺失物件圖資不足的情形。藉由宜蘭段與臺中段之現地測試，證實本系統的可行性與穩定性，同時確認精準定位工具得以克服地形因素，加強缺失物件之定位效果。本計畫之各工作項目之進度和研究成果已說明於第四章，本章則做個結論以及建議未來之工作內容與系統精進。

### 5.1 結論

本計畫透過文獻回顧、系統分析與精進、資料庫擴充、演算法優化及現地驗證等一系列流程，完成軌道構件缺失辨識系統之建置，並確認無論在臺中段或宜蘭段，皆具有一定的檢測準確率，相信未來發展到一定程度後，足以協助軌道巡檢人員以自動化檢測的方式，提升巡檢工作效率。

首先透過文獻回顧，本計畫確立了現階段學界已可利用的智慧學習，應用在軌道等交通運輸場景，利用以人工智慧進行影像辨識，尋找瑕疵與缺失，並分析業界實際產品的發展進程與技術，證明本計畫的構想具有可行性，亦進一步參考現有技術與產品優點，做為軌道構件缺失巡檢系統之改進方向。由於前期計畫尚留有部分文件做為參考，然而經過分析，其中僅部分圖資及演算法得以沿用，原系統平台則因必要資訊與參數等檔案的缺乏，導致無法進行重建作業，進而無法利用。因此，為了確保本計畫得以順利進行，另行建置一簡單的系統平台，提供本計畫現地驗證與成果展示應用。

本計畫針對軌道構件缺失辨識系統完成精進，全新搭建的平台主要採用雲地混和的系統設計架構，透過復興號車廂外部安裝攝影及補光設備，連接至運算設備，經即時運算後將辨識結果連同座標資訊一併上傳至雲端儲存，並以 Web GUI 呈現圖像化資訊供使用者參考。現階段在軟硬體設備建置上，雖然僅提供初版的驗證型架構，當未來整體架構完善到一定程度後，相信能提供安全、簡單及便利的安裝與操作方法，提升使用者接受度，並在現地驗證中取得第一線巡檢人員的認可。

影像辨識演算法精進為本計畫之重點工作之一，除延續前期計畫中採用的 YOLOv4-Tiny 演算法外，在本期計畫中，更將前期計畫的軌面與軌腹 2 個模型，合併為單一模型，以節省運算資源。為提升辨識準確率並避免過度擬合問題，本計畫重新分類了既有的辨識物件項目，改為 e 扣夾缺失、e 扣夾被遮蔽、枕木缺失、軌面缺失、鋼軌裂縫、魚尾鈹缺失、正常魚尾鈹、道釘缺失...等 8 大類。為增加訓練資料集，透過多次上軌機會蒐集的大量圖資資料做為基礎，再利用 CV Augmentation 方法進一步擴增構件缺失資料庫，持續提升模型辨識準確程度。

本期計畫軌道構件缺失辨識系統完成了 6 次現地資料蒐集及測試驗證，包含期初階段於臺鐵局臺中段進行系統設備測試與資料蒐集、期中階段於臺鐵局宜蘭段執行區間總計 160 公里以上系統驗證，以及最後再次回臺中段以人工製造缺失方式進行現地驗證，經過一系列現地實測，足證本計畫發展之系統可於夜間行進速度至少 30~60 公里以上進行影像擷取、辨識與定位缺失構件，達成本計畫的預期目標。系統之軟硬體設備在設計與規劃階段，已考量到正常營運時可能面對的各項環境，例如：雨天、颶風等，然而計畫執行時間有限，極端的氣候狀態可遇而不可求，因此，特殊情境下的強固性試驗，將有待後續計畫中再行驗證。

最後在期末階段，本計畫並配合「政府研究資訊系統(GRB)」中相關績效需求，完成可供投稿的學術論文一篇，後續將擇時配合完成投稿作業。為培育人工智慧相關人才，本計畫延攬 1 名國立陽明交通大學

博士生，全程參與影像辨識演算法發展與系統設計工作，其畢業後將持續從事相關領域研發工作。

本計畫完成了軌道構件缺失辨識系統之精進，包含臺鐵局臺中工務段及臺鐵局宜蘭段系統之資料庫擴建與現地驗證工作，提供一組確實可以提高軌道構件巡查效率的自動化輔助巡查系統，可供未來持續精進及推廣之用。

## 5.2 建議

本計畫所發展之軌道構件缺失辨識系統可輔助軌道巡檢現場作業，若能推廣至全臺，預計將帶來以下效益：

1. 利用人工智慧影像辨識技術，建構軌道構件缺失辨識系統，輔助第一線軌道巡檢作業，提升巡檢效率及整體維修管理效能。
2. 協助臺鐵局等軌道相關主管機關及營運單位導入本計畫研究成果，透過蒐集更多軌道營運樣態及錯誤類別，提供各類軌道巡檢實務應用之未來性。

本計畫並對後續推廣計畫提出以下建議：

1. 軌道構件缺失辨識系統納入巡檢作業，建立標準化作業流程：  
(巡查作業流程建議如圖 5.1 所示)

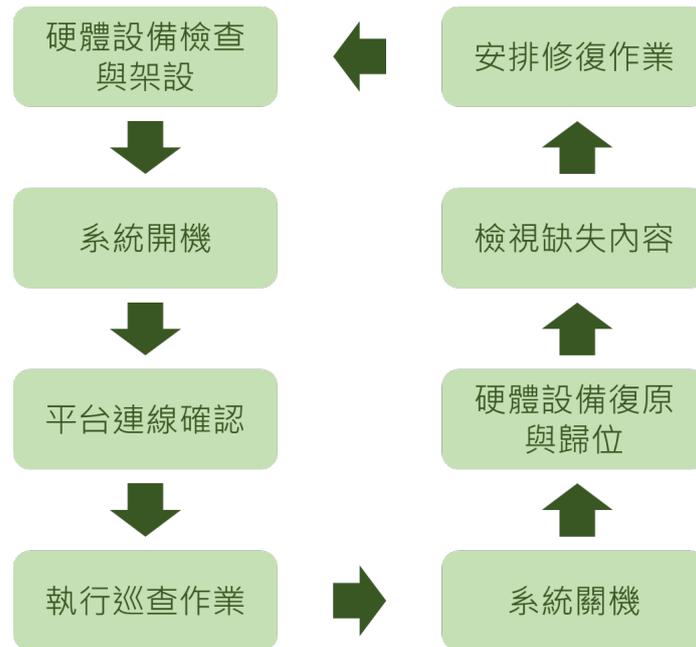


圖 5.1 巡查作業流程建議

- (1) 硬體設備檢查與架設：目視檢查相關硬體設備是否完善，並依指定角度與距離安裝於巡檢車輛。
- (2) 系統開機：一鍵啟動軟硬體設備。
- (3) 平台連線確認：透過平板及手機等移動設備連線至雲端平台系統，確認硬體設備已完成連線，可已啟動巡查作業。
- (4) 執行巡查作業：配合例常的軌道巡查作業計畫，辨識並收集軌道缺失項目。
- (5) 系統關機：巡查作業完畢後，一鍵關閉巡查設備。
- (6) 硬體設備復原與歸位：拆卸硬體設備，清潔檢查外觀無異常後歸位存放。(若常態固定之，則可節省每次作業的安裝與卸除作業。)
- (7) 檢視缺失內容：透過平台檢視缺失內容，若為誤報或分類錯誤，則進行錯誤回報作業。(藉此收集更多圖資，以利模型的再訓練作業)
- (8) 安排修復：依風險程度安排缺失修復。

2. 配合標準化作業流程與使用者需求，改進缺失辨識系統設計，建議如下：

- (1) 一鍵開機與一鍵關機功能：簡化現場硬體設備啟動流程，自動啟動相關設備連線與網路功能。
- (2) 連線狀態警示燈：於 Web GUI 增加連線狀態警示燈，提供使用者確認連線狀態，了解是否可以開始巡查作業(如圖 5.2 所示)。



圖 5.2 缺失辨識系統設計精進方向建議—連線狀態警示燈

- (3) 檢視事件清單功能：除了透過地圖呈現事件所在位置，新增清單模式則可有助於快速瀏覽所有事件之初步訊息。
- (4) 百公尺座標資訊：將針對物件缺失事件發生位置，轉換為維修人員常用之百公尺座標系統，以利快速找到事件位置。
- (5) 座標分段篩選器：針對百公尺座標資訊進行篩選，以利各工務段維修人員就其責任區段篩選事件。
- (6) 事件熱點分析：同一位置於短期間若發生多次物件缺失事件，表示其非表面可見之處有較高機率發生問題，如地基流失等，透過熱點分析，則有助於預防更嚴重的安全事故。

### 3. 訪談與調查各單位需求，設計符合各類巡查場景的安裝機構：

本計畫使用之硬體設備安裝機構乃以復興號車廂為設計參考，然而考量未來將推廣給臺鐵局轄下各單位，應妥善訪談與調查各單位之巡查需求與車輛差異，並以 30 分鐘內安裝完畢之設計條件，設計合適的安裝方式。

### 4. 持續精進缺失物件辨識模型：

經過第 3 階段臺中段現地驗證過後，本計畫初步透過圖資增量方法已確認增加圖資資料有機會提升模型精確性(詳閱第 4.5.3 節說明)。因此未來必須持續蒐集缺失物件圖資，待相關資料累積至一定數量，並佐以專業的模型調校訓練，模型之精確度至少可達七成，此階段模型已可堪先行佈建應用，並透過長期系統運作與收集，持續精進模型辨識之準確度。

此外，亦可透過影像處理技巧(如採用 HSB 色彩模式)使軌道及扣建與背景、道碴與枕木之影像分離，或可降低誤判問題。

### 5. 後續研發與推廣資源建議：

本計畫所開發之軌道構件缺失辨識系統，除人工智慧辨識模型外，亦包含地端(巡軌車)相關支架、硬體與系統及雲端伺服器、資料庫與顯示介面等各部分，如圖 3.6 所示。

後續研發作業上，除投入專業的系統開發人力及人工智慧模型開發人力以外，建議須預留 2~3 位以上經過專業訓練的軌道領域專家投入物件標記工作；在實際投入開發前，亦須重新釐清與明確定義所需進行辨識之物件項目與缺失類型，以確保標記與開發流程順利。

而推廣應用時，則須考量整體系統架構如何應用於臺鐵局局全臺 7 個工務段之設計需求，包含：雲端機房之架設或租用方式選擇及是否跨段共用、影像採集設備之架設方式與數量、地端辨識系統

數量與硬體規格、現地場域之巡軌作業車輛與支架選用設計...等。

相關發展需求皆完全釐清後，透過諮詢相關專業服務單位，方可設計出最適用於臺鐵局需求之完整的軌道構件缺失辨識系統產品。

### 5.3 研究成果與效益

1. 研發並提供一軌道構件缺失輔助巡檢系統，協助軌道構件巡檢判釋，提高軌道構件巡檢效率及即時追蹤維修等管理效能。
2. 完成臺鐵局宜蘭工務段軌道區構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉸)缺失辨識系統之現地測試及驗證，並完成精準定位系統之測試。
3. 完成臺鐵局臺中工務段軌道構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉸)影像缺失辨識系統及其物件辨識資料庫精進。

### 5.4 應用情形

1. 本計畫研發之軌道構件缺失辨識系統，經驗證可有效協助軌道構件巡查判釋，提高軌道構件巡查及管理效能。
2. 本系統可提供臺鐵局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應用。



## 參考文獻

1. Jo, Youngtae, and Seungki Ryu. "Pothole detection system using a black-box camera." *Sensors* 15.11 (2015): 29316-29331.
2. Chun, Pang-jo, et al. "Asphalt pavement crack detection using image processing and naive bayes based machine learning approach." *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. E1 (Pavement Engineering)* 70.3 (2015).
3. Zhang, Allen, et al. "Automated pixel-level pavement crack detection on 3D asphalt surfaces using a deep-learning network." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32.10 (2017): 805-819.
4. Zalama, Eduardo, et al. "Road crack detection using visual features extracted by Gabor filters." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29.5 (2014): 342-358.
5. Akarsu, Büşra, et al. "A fast and adaptive road defect detection approach using computer vision with real time implementation." *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers Special Issue-1* (2016): 290-295.
6. Kawano, Makoto, et al. "Road marking blur detection with drive recorder." *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2017.
7. Bochkovskiy, Alexey, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. "Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection." *arXiv preprint arXiv:2004.10934* (2020).
8. Chen, Junwen, et al. "Automatic defect detection of fasteners on the catenary support device using deep convolutional neural network." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67.2 (2017): 257-269.

9. Gibert, Xavier, Vishal M. Patel, and Rama Chellappa. "Deep multitask learning for railway track inspection." *IEEE transactions on intelligent transportation systems* 18.1 (2016): 153-164.
10. Karakose, Mehmet, et al. "A new computer vision based method for rail track detection and fault diagnosis in railways." *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 6.1 (2017): 22-17.
11. Ritika, S., Shruti Mittal, and Dattaraj Rao. "Railway track specific traffic signal selection using deep learning." *arXiv preprint arXiv:1712.06107* (2017).
12. Sawadisavi, Steven, et al. "Machine-vision inspection of railroad track." *Proceedings of the TRB 88th Annual Meeting, Washington, DC. 2009.*
13. Goodfellow, Ian, et al. "Generative adversarial nets." *Advances in neural information processing systems* 27 (2014).
14. Cunningham, Pádraig, Matthieu Cord, and Sarah Jane Delany. "Supervised learning." *Machine learning techniques for multimedia.* Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. 21-49.
15. Zhou, Xueyuan, and Mikhail Belkin. "Semi-supervised learning." *Academic Press Library in Signal Processing. Vol. 1.* Elsevier, 2014. 1239-1269.
16. Ge, Zheng, et al. "Yolox: Exceeding yolo series in 2021." *arXiv preprint arXiv:2107.08430* (2021).
17. 林雅雯、謝禎罔、黃維信、謝尚琳、洪瑋宏、李明德，「軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究」，交通部運輸研究所，2019。
18. 謝禎罔、黃維信、謝尚琳、林雅雯、洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文、徐偶雲，「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，2020。

19. 謝禎罔、蔡立宏、賴瑞應、謝幼屏、黃維信、謝尚琳、鄭登鍵、徐侗雲、杜宇豪、賈漢文，「軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究」，交通部運輸研究所，2021。
20. 交通部鐵路管理局，109 年統計年報(2020)。
21. CSEM. “HOW SWISS FEDERAL RAILWAY IS IMPROVING PASSENGER SAFETY WITH THE POWER OF DEEP LEARNING.”  
<https://www.csem.ch/page.aspx?pid=50653>
22. ENSCO official websit. “<https://www.ensco.com/>”
23. Pavemetrics. “Laser Rail Inspection System (LRAIL™).”  
<https://www.pavemetrics.com/applications/rail-inspection/laser-rail-inspection-system/>
24. 日本每日新聞網， “JR West to roll out Japan's 1st AI inspection train on ordinary lines in FY2025.”  
<https://mainichi.jp/english/articles/20211029/p2a/00m/0bu/036000c>
25. 「Doctor Yellow —— 923 形新幹線電氣軌道總合試驗車」  
<https://reurl.cc/91K4An>
26. Nippon.com 「Doctor Yellow 為新幹線鐵路網提供安全健康保障」，  
<https://www.nippon.com/hk/column/m00107/>
27. 仲碩科技 「AI 自動化智慧巡檢服務」 <https://jctech.tw/product01>
28. Wikipedia, "OpenAPI Specification",  
[https://en.wikipedia.org/wiki/OpenAPI\\_Specification](https://en.wikipedia.org/wiki/OpenAPI_Specification)
29. ALPHAcamp, "什麼是 REST? 認識 RESTful API 路由語義化設計風格", <https://tw.alphacamp.co/blog/rest-restful-api>
30. Wikipedia, "SQL injection",  
[https://en.wikipedia.org/wiki/SQL\\_injection](https://en.wikipedia.org/wiki/SQL_injection)

31. AlexeyAB, “YOLOv4-tiny released: 40.2% AP50, 371 FPS (GTX 1080 Ti), 1770 FPS tkDNN/TensorRT”,  
<https://github.com/AlexeyAB/darknet/issues/6067>
32. Bubliiiiing, “睿智的目標檢測 28——YoloV4 當中的 Mosaic 數據增強方法”, <https://reurl.cc/Wq2GZD>
33. 仲碩科技, “鐵路安全 | AI 自動巡軌機器人介紹 002 | Taiwan "Automatic Track Inspection Robot" | 鐵道の安全 | JC TECH 仲碩科技”, <https://www.youtube.com/watch?v=tV5gdgRUrTw>
34. 仲碩科技, “鐵路安全 | AI 自動巡軌機器人介紹 | Taiwan "Automatic Track Inspection Robot" | 鐵道の安全 | JC TECH 仲碩科技”,  
<https://www.youtube.com/watch?v=fIgc4xZFsJA>
35. Yy's Program, “影像辨識常見的 IOU、AP、mAP 是什麼意思?”  
<http://yy-programer.blogspot.com/2020/06/iouapmap.html>
36. Ching Tien, “心理學和機器學習中的 Accuracy、Precision、Recall Rate 和 Confusion Matrix”, <https://reurl.cc/mZmDjl>
37. Railway-News, “Rail Flaw Detection”, <https://railway-news.com/products-services/rail-flaw-detection/>

附錄一  
工業電腦規格



## AVA-5500 Series

*Rugged, Fanless AIoT Platform for Real-time Video/Graphics Analytics*

### Features

- 6th/7th Gen Intel® Core™ i7 Processors
- GPU MXM 3.1 Type A/B module on PCI Express x16
- 8x M12 GbE (4x PoE), 4x RS-422, 4x USB 3.0, 1x DVI-I, 4x DisplayPort with lockable connectors
- Multiple storage options: 2x 2.5" SATA 6.0 Gb/s drive bays, 1x M.2 2280 slot, 1x CFast socket
- GNSS/3G/4G/WLAN support via 2x Mini PCIe slots and 2x USIM slots
- 4x isolated DI and 4x isolated DO
- MVB/CAN bus support through Mini PCIe add-on module
- Wide range DC input: 24VDC, 36VDC, 72VDC and 110VDC
- EN50155-compliant, rugged, fanless design for harsh operating environments

New



### Specifications

#### System

##### Processor

6th/7th Gen Intel® Core™ i7 processors (Formerly Skylake and Kaby Lake)  
 Intel® Core™ i7-6820EQ CPU, 2.8GHz  
 Intel® Core™ i7-7820EQ CPU, 3.0GHz

##### Memory

Dual channel DDR4-2133 SDRAM with dual SODIMM sockets, up to 32GB

##### BIOS

AMI UEFI

#### Storage

Up to 4x 2.5" SATA drive bays  
 (two for AVA-5500 series, four for AVA-5510 series)  
 1x CFast slot, externally accessible  
 1x M.2 2280 (SATA)

#### Graphics

2x DisplayPort from Intel processor  
 4x DisplayPort with lockable design from GPU MXM (SKU dependent)  
 1x DVI-I from Intel processor

#### Connectivity

##### Ethernet

2x RJ-45 1000BASE-T Ethernet ports  
 4x M12 X-coded 1000BASE-T Ethernet ports with PoE Class 2 (7W), 1.5kV isolation  
 4x M12 A-coded 1000BASE-T Ethernet ports, 1.5kV isolation

##### USB

4x USB 3.0 Type A ports  
 Additional 2x M12 USB ports in AVA-5510 series

##### Serial Port

4x DB-9 RS-232/422/485 ports (RS-422 by default)  
 2kVrms isolation

#### Digital I/O (optional)

4x isolated DI and 4x isolated DO via two DB-9 connectors, supported by add-on module (occupies one 2.5" drive space)  
 DI: 0-24V input voltage with 1500VDC isolation  
 DO: 3.3V-35VDC output voltage, 250mA/ch sink current, 1500VDC isolation

#### Audio

Mic-In/ Line-out ports

#### CAN/MVB

Supported by Mini PCIe card with two DB-9 outputs

#### Wireless

2x Mini PCIe card slots are available for cellular modem or WLAN modules  
 Compliant to Mini PCIe card spec v1.2 (PCIe and USB 2.0)  
 Each Mini PCIe slot supports one micro-SIM  
 4x RP-SMA antenna connector cutouts

#### In-system Expansion I/O

2x full size Mini PCI Express slots  
 1x Type A/B MXM slot on PCI Express x16 (P1000, P3000)  
 1x USB 2.0 wafer connector

#### External I/O

2x USIM slots  
 4x M12 GbE with PoE ports  
 4x M12 GbE ports  
 2x RJ-45 GbE ports  
 6x DisplayPorts  
 1x DVI-I port  
 4x USB 3.0 Type A ports  
 2x M12 USB 2.0 ports (in AVA-5510)  
 2x DB-9 connectors reserved for MVB or CAN Mini PCIe module  
 1x Mic-in port  
 1x Line-out port  
 Four antenna cutouts reserved  
 Reset button  
 Power button

資料來源：ADLINK 網站(<https://www.adlinktech.com/en/index.aspx>)

## Specifications

- **Miscellaneous**

**LEDs**

1x diagnostics, 1x storage, 1x WDT, 3x user defined

**Battery**

Coin cell CR2032 (change to rechargeable golden cap by request)

**Board Management**

ADLINK SEMA 3.0:

- Watch Dog
- Hardware monitor
- Runtime statistics
- Failsafe dual BIOS

**Power Supply**

One 4-pin S-coded M12 connector  
+24V/+36V/+72V/+110VDC nominal power input (16.8V to 137.5V, EN50155 compliant)

**Power Consumption**

- 149W on AVA-5500/6820/8G/P1000; 158W on AVA-5500/6820/8G/P3000 at
1. +24VDC in
  2. CPU 100% loading
  3. P1000 or P3000 100% loading

- **Mechanical**

**Dimension (WxDxH)**

360mm x 225.1mm x 88.8mm (for AVA-5500)

360mm x 225.1mm x 105.4mm (for AVA-5510)

**Weight**

6.3 kg

**Mounting**

Wall mount

- **Environmental**

**Operating Temperature**

Convection cooled

Class OT1: -25°C to 55°C with P3000 MXM module (supported by condition)

Class OT3: -25°C to 70°C with P1000 MXM module

**Storage Temperature**

-40°C to +85°C

**Humidity**

EN 50125-1, compliance EN 60068-2-78: 2012 Edition 2.0, Clause 4.2 at 40°C

**Vibration**

EN50155 standard, method EN61373: 2010, Category 1 Class B

**Shock**

EN50155 standard, method EN61373: 2010, Category 1 Class A & Class B

**Safety**

EN 50153

EN50124-1

**Fire Protection**

EN 45545-2:2013+A1:2015

**EMC**

EN 50121-3-2, EN50155

- **Operating System**

Windows 8, Windows 10

Ubuntu 16.04

資料來源：ADLINK 網站(<https://www.adlinktech.com/en/index.aspx>)

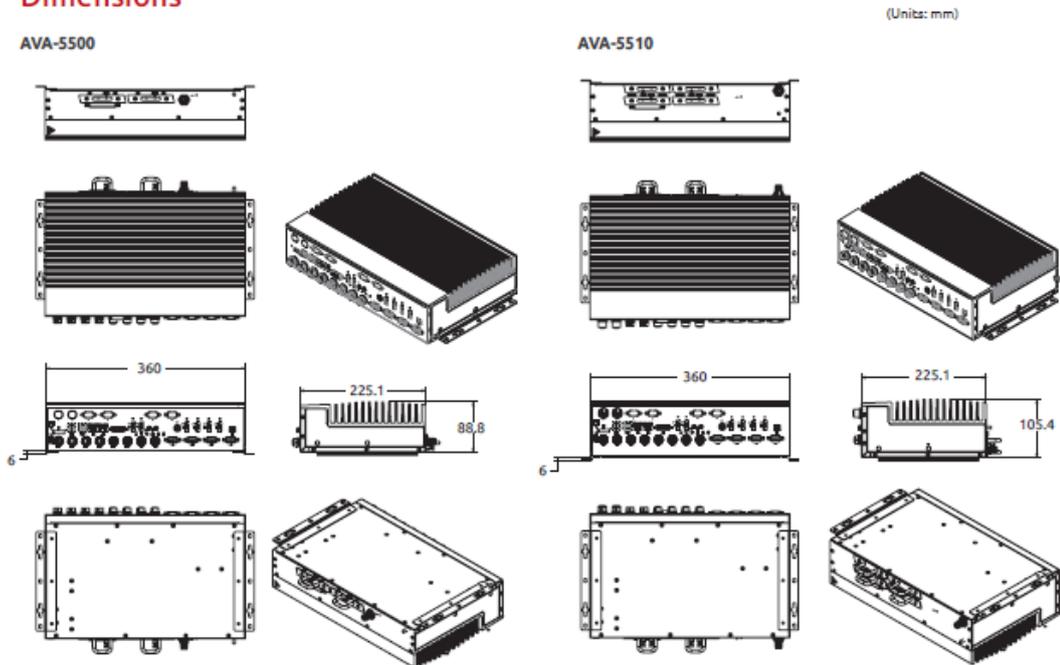
## Ordering Information

- AVA-5500/6820/16G**  
 Fanless railway computer with Intel® Core™ i7-6820EQ and 16GB DDR4 and two SATA bays (conformal coating by request; external cables and power adapter are excluded)
- AVA-5500/7820/32G/RTX3000**  
 Fanless railway computer with Intel® Core™ i7-7820EQ and 32GB DDR4 with RTX3000 MXM module and two SATA bays (conformal coating by request; external cables and power adapter are excluded)  
 \*Please contact your sales representative for P3000 support condition.
- AVA-5500/7820/32G/P3000**  
 Fanless railway computer with Intel® Core™ i7-7820EQ and 32GB DDR4 with P3000 MXM module and two SATA bays (conformal coating by request; external cables and power adapter are excluded)  
 \*Please contact your sales representative for P3000 support condition.
- AVA-5510/6820/16G/P1000**  
 Fanless railway computer with Intel® Core™ i7-6820EQ and 16GB DDR4 with P1000 MXM module and four SATA bays (conformal coating by request; external cables and power adapter are excluded)

## Optional Accessories

- Factory-installed industrial grade SSD**
- Mini PCIe card 3G/Wi-Fi/BT/GPS wireless kit**
- Mini PCIe card CAN bus Kit**
- Starter cable kit for AVA-5500**  
 4x PoE M12(X) to RJ-45 cable, 4x Ethernet M12 A(M) to RJ-45(F) cable, 1x PS/2 KB/MS Y cable and 1x M12(S) to DC power cable
- Starter cable kit for AVA-5510**  
 4x PoE M12(X) to RJ-45 cable, 4x Ethernet M12 A(M) to RJ-45(F) cable, 2x M12(A) to USB 2.0 type A cable, 1x PS/2 KB/MS Y cable and 1x M12(S) to DC power cable

## Dimensions



www.adlinktech.com  
 All products and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies.  
 Updated Dec. 18, 2020. ©2020 ADLINK Technology, Inc. All Rights Reserved.  
 All specifications are subject to change without further notice.

資料來源：ADLINK 網站(<https://www.adlinktech.com/en/index.aspx>)



附錄二  
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：軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用-系統擴建與宜蘭段現地測試

合作研究單位：緯創資通股份有限公司

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
<b>一、鍾志成委員</b>		
<p>(一) 本計畫為 108-110 年之後續計畫，經彙整與改進前期成果，本計畫有下列優點：</p> <p>1、 利用 CV augmentation 增加瑕疵影像（尤其是 Mosaic 技術），並解決資料不平衡的問題。利用條狀 LED 照明設備，增加影像影像穩定度。</p> <p>2、 利用單一 YOLOv4-tiny 建構深度學習模型。</p> <p>3、 採用 edge computing（邊緣計算）在地端進行瑕疵檢測。</p> <p>4、 利用 RESTful 架構建立雲端伺服器，提升 WEB API 效率。</p>	<p>感謝委員肯定，團隊會持續努力，以求如期、如質完成研究。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(一) 文獻中提及臺灣仲碩科技鐵路軌道巡軌機器人，請再加強說明（如相關檢測技術、限制、優點等）。</p>	<p>感謝委員意見，礙於開放資訊當中能擷取到的有用資訊有限，後面團隊將持續蒐集資料，若有更進一步資訊會再另行提供。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，請將相關內容於期末報告補充。</p>
<p>(二) 圖 3-1、3-2，表 3-4、3-5、3-12~3-22 均未在文章中提及。</p>	<p>修改內文圖 3-1、3-2，表 3-4、3-5 已新增於內文中。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(三) 缺失定位為本計畫之重點，報告中提及多種定位技術，各有其優缺點與精度。請問目前採用的定位方法及精度？是否有應用到軌道圖資(Vector map)？</p>	<p>感謝評委寶貴的意見，團隊目前於其他場域實驗結果若以完整的定位技術進行資料融合，本公司在其他場域實證結果，其精度可達兩米以內。惟礙於本案計畫標的應著重於軌道構件識別，因此本團隊特別額外導入緯創資通股份有限公司所發展的定位技術(非本案自行研發)使用 GNSS 及 IMU 進行資料融合，並配合使用軌道圖資</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

	進行定位。	
(四) 本計畫藉由 CV augmentation 增進本計畫之瑕疵影像數量，建議於報告中展示部分資料，並確認其可靠性與正確性。25 多萬張影像是否經由專家(臺鐵路)確認標記結果。	感謝評委的寶貴意見，團隊將新增 CV augmentation 瑕疵部分資料於 4-12 頁中，蒐集的 25 多萬張影像已陸續開始執行標記作業，目前尚未完全完成標記作業，因標記作業需要耗費大量的人力資源，因此為了不影響臺中段軌道維護同仁的日常維護作業，團隊均已臺中段的夥伴們進行頻繁的溝通與學習，初步由團隊先行以理解的標的進行初步的人工標記作業，待後續持續的發展過程中，隨時發現模擬兩可或者有賴更專業の確認時，將會更進一步詢問專家，以利已達到最有效率的作業模式。	同意合作研究單位處理情形，請於期末報告中展示並說明部分 CV augmentation 資料。
(五) 表 4-5 與第 4-12 頁的描述請再修訂(一致性！)	已修改種類描述保持一致性。	同意合作研究單位處理情形。
(六) 請依合約之工作項目提供混淆矩陣(conflict matrix)、檢出率 (Recall rate)及辨識準確率 (Precision)等資料。	團隊使用的物件偵測模型並無混淆矩陣(conflict matrix)，並新增檢出率 (Recall rate)及辨識準確率 (Precision)等資料於報告 4-15。	同意合作研究單位處理情形。
(七) 簡報中相關內容(如影像張數等)請補充於報告中。	簡報中的影像張數等等數據已在報告內文中	同意合作研究單位處理情形。
<b>二、蕭耀榮委員</b>		
(一) 各國建立軌道辨識系統，均採即時辨識；但本計畫採離線後端處理。報告中應將即時辨識與離線辨識之應用時機及利弊等陳述清楚。	感謝委員意見，本案之前三期發展確實是採離線後端辨識處理。但本案執行團隊，即我方團隊於本年度已將辨識模型導入車端系統，經由車端的即時辨識結果上傳至雲端系統後進行簡易的記錄作業，以供後續的維護作業人員進行調閱作業應用。已補充	同意合作研究單位處理情形。

	於章節 2.2.7。	
(二) 報告在文獻回顧部分之參考資料引述之格式與習用格式不符，應僅使用作者姓即可，應修正。	感謝委員意見，已調整。	同意合作研究單位處理情形。
(三) 報告之圖文標題應與圖表之內容相當。例如，圖 2 之標題應修正，且報告第 2-8 頁之”供應生”顯為錯誤，應修正。	感謝委員意見，已調整。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 表 2-1 之偵測物件之類別、項應說明清楚，才能對國內與國外計畫之結果差異性有明確了解。	感謝委員意見，已調整說明方式。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 系統定位方面，報告引述多種定位方法，但對於本計畫應有之定位方法卻無適當結論。若計畫中使用 RTK 技術，但因需要參考之基地台，未來在臺鐵之應用性不高。計畫應與臺鐵人員詳細討論，建置可行之定位方法。	感謝評委意見，團隊於本計畫所使用之定位技術非只採用單一方法，而是綜合多項進行資料融合所取得的整合解，而 RTK 技術為輔助功能。因本案裝設車輛因素，故未來會與臺鐵討論可行性，以利本案後續延伸研究的發展性。	同意合作研究單位處理情形，請持續與臺鐵人員討論巡軌工作對本案系統定位技術之需求，並於期末報告中明確說明本計畫使用的技術。
(六) 未來應用方面，因檢測系統需定位異常之扣件，故其定位精度應在一個軌枕距以內，但計畫目前尚位提出滿足精確度及未來可用性之定位方法。	感謝評委意見，團隊將會考量導入更符合需求的定位方法。但以目前現今已知定位技術來說應該還無法達成，無論現今市面上的硬體或者技術發展層面均無法支援。團隊當然也針對該面向議題進行深度思考作業，若真的有此需求或許可以考慮外在的資訊輔助作業，以期在技術尚無法支援到位前，先行輔助，例如在軌枕上進行簡易的編號作業，即可簡單的滿足此精確度，但評估過後初期確實值得在研究分析可行性。	同意合作研究單位處理情形，請持續與臺鐵人員討論巡軌工作對本案系統定位技術之需求，以確保未來實務應用之可用性。
(七) 本計畫報告提出多種方式之 AP	感謝評委寶貴的建議，團	同意合作研究單位處理

<p>準確度，但該準確度應是要與前期計畫成果之測試結果相比，而非僅以自己的訓練組和自己的驗證組相比，因本計畫內之驗證組與訓練組之相片來源相同，同質性高，其準確度用自己的2組相片相比，意義不大。應提出與前期實地測試之相片之辨識結果，而與前期計畫成果之測試結果相比，方能顯示與前期成果之精進結果。</p>	<p>隊非常認同，於本計畫期初也同評委建議般地進行規劃，因此本案執行前期團隊花了大量的人力想要復健前期成果，最後礙於由於前期研究成果遺留資料有部分嚴重的缺漏，難以覆現其成果，請參閱3.1章節說明。因此，團隊僅能利用可利用的繼承成果往下進行發展作業，以利儘速補上研究斷層之憾。</p>	<p>情形。</p>
<p>(八) 本報告未來為政府公開之報告，參考文獻中不應出現簡體字，應改為繁體字，請修正。</p>	<p>感謝委員意見，已調整。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(九) 雲端平台方面，因本計畫已開發新式平台，且對於舊平台有相容問題，應考慮在計畫合約規定下，究竟是要新成果納入舊平台，或是舊成果納入新平台，並將新平台之功能完善，以利後續臺鐵局使用。</p>	<p>感謝評委寶貴意見，本計畫以影像辨識技術與現地驗證為主；團隊初期曾嘗試重建前期計畫建立之系統，然而其系統之重建具有一定困難度，因此本計畫經與單位協調後，重建簡易平台以呈現本其研究原則，後續計畫執行並將以新平台為主。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>三、鍾志成委員</b></p>		
<p>(一) 本研究非常有意義，透過AI技術辨識軌道扣件的缺失，若能研發出經濟有效的工具，對鐵路營運機構而言可以減少檢測的人力。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(二) 依照計畫甘特圖，應該已完成現地測試及辨識系統擴建，目前看來計畫有一些延遲，建議未來能夠加速進行趕上進度。</p>	<p>感謝委員意見，由於本計畫須配合臺鐵局相關單位之行政管理作業流程，並爭取時間執行相關作業，以利如期如質完成本計畫的預期目標。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(三) 文獻回顧部分，對於臺灣仲碩科技的鐵路軌道巡軌機器人，建議能夠蒐集更多的資訊，以清楚了解其功能與運研所研發技術及效能上的差異。</p>	<p>感謝委員意見，團隊將持續蒐集資料，若有更進一步資訊會再另行提供。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，請於期末報告中補充相關資訊。</p>
<p>(四) 如表2-1所示，跟國內外檢測</p>	<p>感謝委員意見，本計畫之</p>	<p>同意合作研究單位處理</p>

<p>技術相比，本研究的檢測技術在即時性及營運速度上皆不如國外技術，是否研究目的僅要求非即時且限制 30 km/h 的速度？建議釐清，倘若這是技術上的限制，則繼續採用過去研究所使用的技術是否恰當，還是應該要採取其他檢測技術或方法？</p>	<p>規劃設計朝即時辨識及高速移動方向直行；包含採購高速攝影機可支援車輛移動速率自 30 km/h 提升至 60 km/h；並採地端辨識進行即時運算。後續持續驗證即時辨識運算之可行性，相關執行與驗證成果將於期末報告書呈現。</p>	<p>情形，關於提速後即時辨識之相關執行與驗證成果，請於期末報告中說明。</p>
<p>(五) AI 訓練的圖庫中，各種軌道缺失及正常狀態的樣本比例如何？由於軌道缺失的樣態很多，但相片圖集可能不足，這樣訓練出來的方法，在實務應用時，是否會容易產生偏誤？建議研究團隊也可以蒐集國內外其他軌道機構的缺失樣本來進行訓練。</p>	<p>感謝委員意見，初步目前僅有承續前三期的樣本資訊，然而團隊於期中階段亦剛開始進行標記作業不久，實在無法達到所謂一定程度的標記比例成效。因此，團隊將持續蒐集資料，並且利用研究方法，例如 Aug. 等方式將缺失樣態多做更多的變異動作，讓後續新系統針對實務應用提高可用性，同時也會採納評委建議如有國外樣本的取得也會評估後納入發展，後續若有更進一步資訊會再另行提供。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(六) 影像採集之後，理論上要經過專家標記各種缺失樣態，請問，所蒐集的相片花了多少時間進行標記？</p>	<p>感謝評委意見，團隊初步承續前期團隊成果，礙於各項風險的發生，目前於本計畫執行初期的缺失影像收集需要大量的時間人工挑選，大約一小時可以檢查約 900 張原始影像，再從其中挑出缺失的部分。當有初步的模型之後，可以運用模型加速人工挑選的過程。在標記的部分大約一小時可標記約 180 張左右。後續將持續於研究過程中，同步持續進行標記作業。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(七) 請問軌道焊接處跟斷軌可以清楚分別並辨識出來嗎？鋼軌接縫跟斷軌可以清楚辨識出來嗎？軌道沾染噴泥或髒汙是否</p>	<p>感謝委員意見，團隊研究認為焊接處的斷面是整平的，相較於斷軌斷面不整是可以利用大量的訓練達</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>造成誤判？實測結果，假性缺失的比例大概多少？</p>	<p>到辨識目的。關於軌道真染噴泥與髒污有太多種無數的組合，未來可於研究階段不斷地藉由收集更多資料與經驗將其分納歸類出辨別依據以利後續的模型訓練與發展作業。相關執行與驗證成果將於期末報告書呈現。</p>	
<p>(八) 相機與燈光的裝設角度，建議要有明確的規定，未來臺鐵要自行辦理時，才知道如何安裝效果最好。</p>	<p>感謝委員意見，團隊將會整理本期研究成果，並將成果與經驗完整的交付臺鐵單位，以利後續的實務的應用。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，相關設備規格、架設角度及建議，請驗證後於期末報告中呈現。</p>
<p>(九) 關於精準定位的部分，RFID 設置的密度為何？實測結果精準定位的誤差有多少？維修人員根據定位結果，在現場要花多少時間才找得到缺失的軌道及扣件？</p>	<p>感謝評委的建議，本計畫團隊礙於本計畫的執行時間規畫有限且所需回補的工項與本計畫待執行的工項有一定數量，針對本計畫性質與執行標的，要在軌道上施工佈建地上子實為不可能，但團隊提供的定位系統在臺鐵別的場域驗證過誤差可小於兩公尺。後續維修人員於現場只要隨著定位裝置精度的提升，則花費時間才能找到軌道缺失相信也會逐步縮短。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(十) 其他文字修正意見如下：  1、 報告第 1-1 頁第 2 段，”貴單位”建議改為運研所。  2、 報告第 1-2、4-6 頁，”Km/hr”、”km”建議改為 km/hr。  3、 報告第 3-5、3-7、3-9、3-10、3-31、4-1、4-17，”台”鐵建議改為臺鐵。  4、 報告第 5-1 頁，”會 drop 幾個 frame”建議以中文表示。  5、 報告第 5-2 頁第 3 小節，其他計畫配合項目應從(1)開始編號。  6、 報告第 5-3 頁第 5.3 節，應從 1.</p>	<p>感謝委員意見，團隊已針對意見進行修正，請參閱。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

開始編號。		
<b>四、朱我帆委員</b>		
(一) 報告第 1-1 頁，本案研究目的為臺鐵局道班同仁每周執行徒步查道時，受限於視線角度、時間、地形，同時還需避車等因素，造成軌道構件目視辨識成效有限，而改採辨識，以提升人員安全及工作效率，非巡檢人力不足。	感謝委員意見，已調整。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 報告第 1.2 節研究目的，運研所與本局今年選擇宜蘭段測試之原因，係因小曲線半徑多，且設有防脫護軌，另長、短隧道亦多，地形地貌與臺中區不同，故另啟動研究案。	感謝委員意見，已補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
(三) 報告第 2-1 頁，國內外軌道檢測系統回顧，經查國外軌道檢查車輛多以檢查路線幾何(如高低方向水平等)不整為主，車速快、可於營運時間內測試，臺鐵亦有 EM80 軌道檢查車。惟上述與本案辨識構件缺失之目的不同，請再釐清，亦不宜以表 2-1 比較。	感謝委員寶貴的補充意見，目前國外軌檢系統中確實於高速的標的之下大多以檢測線性幾何為主，惟有部分不只以檢查路線幾何為主，部分產品同時也包含扣件軌道構件及路側設備檢查。相關說明已調整完畢，請參照表 2-1。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 報告第 3-2 頁表 3-1，2 欄數據差異過大，請說明原因。	感謝委員意見，已補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 報告第 3-29、3-30 頁「風險等級」之意義為何？是否修正用詞？	感謝委員意見，已更新為困難等級。	同意合作研究單位處理情形。
(六) 報告第 3-31 頁，本案採用復興號車廂，係因希望測試車速能提高至時速 60 公里，後經運研所向臺鐵局提出需求，臺中工務段特邀集臺鐵局內相關單位召開會議，決議採用退役之復興號，並經現場會勘，決定借用之車號、車型，以加速本案之推動。(3)現況處理 1 請按上述重寫。	感謝委員意見，已調整。	同意合作研究單位處理情形，本案採用復興號車廂之原因、相關處理歷程及決議，請於期末報告中補充說明。
(七) 目前在臺中地區已利用夜間測試 3 次，請將測試日期、地	感謝委員意見，已補充說明。	同意合作研究單位處理情形，本案目前 3 次夜

<p>點、車速、成果等列表於報告內。</p>		<p>間測試及後續測試之日期、路段及工作內容請於期末報告中整理完整呈現。</p>
<p>(八) 方便安裝、耐候性佳、辨識率高、判讀容易、定位準度高、容易操作使用等，為本研究案轉移日後使用之目地，請研究團隊協助精進。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫將朝模組化及高易用性進行規劃與設計，然而因期程有限，團隊亦將努力於期末前，優先完成本計畫階段性目標為重點作業。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(九) 本案是否仍須利用大量負樣本以提高辨識率？因鋼軌裂縫無法人工模擬，亦無充足之負樣本，於日後測試是否影響辨識率？</p>	<p>感謝委員意見，本計畫針對模型發展確實仍須利用大量負樣本以提高辨識率，礙於負樣本於發展階段確實不易取得，尤其針對裂縫缺失，因此團隊後期將會配合模擬缺失手法，結合 Aug.手法模擬大量負樣本以利後續研究發展。相關執行與驗證成果將於期末報告書呈現。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(十) 本局目前組織架構為：工務處-臺中工務段-大甲分駐所(分支機構，非大甲段)，報告內用詞請修正。</p>	<p>感謝委員意見，已修正。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，請注意並統一報告內各單位、機關之正確名稱，避免誤用。</p>
<p>(十一) 現場實測意見 1、目前 AI 辨識系統進度及成效如何？之前資料庫影片及檔案能否續用，請說明？</p>	<p>感謝評委意見，團隊已將目前 AI 辨識系統進度及成效已於報告中呈現，並且之前資料庫影片可使用，但系統檔案則無法延續發展與不能使用，檔案無法使用在於無安裝說明，並且初判提供的檔案內容亦有缺失遺漏，因此無法重現安裝環境。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>2、目前照片是否可用於辨識？清晰度改進狀況？能否有近幾次的比較？</p>	<p>感謝評委意見，目前本計畫 3 次取得的軌道資訊圖資可用於辨識，清晰度改進狀況亦將陸續提供，最後並於期末報告書呈現。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>3、模組化為本次研究案主要目的之一，整體設備目前安裝時間請說明，是否會進行改良，以</p>	<p>感謝委員意見，雖本系列研究已歷經三期，但團隊確實於本年度三月第一次</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，模組化之架構請驗證後於期末報告中呈</p>

<p>更方便拆裝？</p>	<p>有機會進行場域的接觸作業，團隊本期用模組化的概念進行以往未加研究的機構項目進行實作試驗，因此針對未來的改良將有一定的想法與計畫，待裝設標的由機關確認後，將可依指定標的進行改良的調整作業。</p>	<p>現。</p>
<p>4、最近拍攝時因燈光角度造成鋼軌頭部反射嚴重，照明亮度是否符合 AI 系統辨識所需？並請說明現階段 AI 辨識軟體建議所需燈光亮度。</p>	<p>感謝評委意見，針對近期拍攝的照明亮度確實已夠符合 AI 辨識所需。本計畫使用的是工業相機，工業相機有光圈的功能可依環境光源配合軟體做調整，因此我們需要的是均光即可而非強光，而目前燈光瓦數每支實測為 45W 透過多支照射讓光源平均落在鐵軌，對於鋼軌鏡面反射部分燈光採取互照模式不直接照射鐵軌以減少反射，但目前因為鐵軌因為平常作業均是一種鏡面打磨的動作，因此軌道大多如同鏡面多少還是會有反光，未來將可以擴大 FOV 重疊的影像避開反光處進行檢測作業。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>5、目前設備安裝在車廂連結器外方，工程維修車不能調車，車輛牽引方向受限，來回必定一次須以推進方式，行車風險增加。</p>	<p>感謝委員意見，促進行車安全為本計畫之初衷，受限於目前模組化機構的設計，以及本計畫執行期程的限制，本期將著重於完成現地測試與相關資料庫完備之作業，團隊亦將於期末階段將於報告書提出機構改良說明，以利未來行車安全與日常檢測安裝便利為目標。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，調車為實務之必要需求，請將機構改良之建議方案於期末報告中說明呈現。</p>
<p><b>五、黃晟豪委員</b></p>		
<p>(一) 本報告中，說明攝影機高度與角度對所取得影像的適用性與</p>	<p>感謝委員意見，團隊將會對委員提供的寶貴意見於</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>訓練結果有顯著影響，因此有建議攝影機安裝角度。然本系統安裝於復興號車尾，於彎道中(特別是宜蘭段小半徑彎道較多)，因為車尾突出偏擺效應，攝影機將嚴重偏離軌道中心線，導致攝影角度改變，是否會對後續影像識別訓練結果產生影響，應作簡易評估。</p>	<p>相關實測結果與建議調整方向將於期末階段於報告書中提出說明。</p>	
<p>(二) 本研究案雖以軌道缺失辨識為主，但本案開發 GUI 與 APP 皆需要軌道缺失點位的定位資訊，本案已引入多項精準定位系統，後續尚有其他可能導入之系統以解決隧道內定位問題。後續引進其他定位系統時，宜考慮高速定位精準度(60-100KPH)，以保留為來整體系統量測車速提升時之可用性，避免產生影像辨識反應速度足夠，但卻受限於定位系統而無法提升檢測車速的問題。</p>	<p>感謝委員意見，團隊將納入委員寶貴建議於後續規劃考量。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(三) 報告多處強調，須避免系統產生過擬合現象，但最終系統之軌道缺失辨識項目過多，若都要達到一定精準度，反可能造成過擬合現象應對主要檢測項目(扣件、裂縫)探討系統是否產生過擬合狀況。</p>	<p>感謝委員意見，團隊於期中階段亦發現如同委員觀察，因此也逐步規劃後續的發展與驗證作業特別注意該現象，其相關執行與驗證成果將於期末報告書呈現。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(四) 本報告採用 CV augmentation 方法，增加影響數量協助訓練，但須考量所採用的方法(複製、旋轉、馬賽克等)，並未改變缺失的本質，反而是讓相同型態缺失重複出現部分辨識項目甚至複製多達 40 多倍之影像數量可能造成系統針對現有缺失過度訓練，未來對新的缺失接受度較低，需留意此問題，並考量未來系統如何分辨裂縫與伸縮縫等近似狀態之問題。</p>	<p>感謝委員意見，團隊將於接下來的執行階段手動模擬辨識物件的缺失，並將其納入訓練資料集內，以避免未來系統對於新缺失接受度較低的現象發生，相關執行與驗證成果將於期末報告書呈現。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(五) 本文採用之 FOV 約在 50~60 公分上下，於實務應用上，照片可能經常對扣件產生切割，對</p>	<p>感謝委員意見，基本上扣件產生切割，不會對辨識產生影響。當然如果擴大</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>辨識是否會產生影響？是否考慮適當調整 FOV 範圍與取樣率，以避免扣件遭到影像系統切割？</p>	<p>FOV 的調整，將會更有效的發展研究效能，礙於目前限制為現行機構的極限，故目前只能達到現有的 FOV，團隊亦會再針對擴大 FOV 進行相關研究作業。</p>	
<p>(六) 報告第 4-13 頁中，增加新標註影像的項目，辨識 AP 值皆下降，如何說明加入新標示影像，對系統訓練有正向幫助？</p>	<p>感謝委員意見，主要因為當前測試用的圖資為前期圖資，而本期新標註之圖資與前期圖資的角度、光源、攝影機皆有所不同，因此當模型逐漸加入新圖資訓練後，模型會逐步適合於新圖資之特性，所以使用前期圖資測試結果會下降，但在實際應用時會比只使用前期圖資訓練的模型效果更佳。相對的本系統未來將會對於新缺失物件也會更具備正向的幫助。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(七) 對於影像識別而言，CNN(捲積神經網路)可以提升辨識精準度，有利深度學習，報告的文獻回顧中，亦說明國外系統採用 R-CNN 作為演算法，但本報告中並未說明本案採用何種演算法，請說明本案採用之演算法，若不是採用 CNN，請適度比較貴報告演算法與 CNN 之差異，或採用 CNN 於本案可能造成的困難點。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫發展目標主要定於研續前期的模型進行發展，然本期計畫使用的 YOLOv4-Tiny 是屬於 CNN 模型。待團隊於本計畫告一段落後，當然也會投入其他演算法的研究分析，以利未來持續性的進步作業。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(八) 雖本案團隊盡可能希望達成於系統使用時，可以盡量達成提升車速並即時辨識的目標，但即時辨識可能需要較強的邊緣運算能力，後台辨識可能須有較強的資料貯存系統與傳輸能力，各有優缺點，建議對即時辨識與後台辨識的各自困難點進行比較，最終仍以辨識正確性成效為優先考量，給予最終建議。</p>	<p>感謝委員意見，團隊將會以此寶貴意見納入後續相關執行與驗證成果的發展目標。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>(九) 本案於其他項目中，尚包含邊緣運算，程式撰寫，資料貯存，GUI 介面...等問題，但此項目為執行機關緯創團隊之專長，目前執行狀況合理，後續計畫執行過程中，仍建議加強軌道缺失項目之識別能力，特別是針對計畫要求的扣件、裂縫、踏面不整等項目，並委請其他場段提供軌道缺失照片，提供給訓練完成之系統進行辨識，以確認系統辨識正確性與辨識能力，避免系統訓練過度傾向特定缺失情況之現象發生。</p>	<p>感謝委員意見，團隊亦非常認同系統發展應當廣泛納入各類資料將有助於提升 AI 辨識範圍，然而本期計畫時間有限，團隊將優先配合以臺中段與宜蘭段範圍之相關資料更新與驗證為主，以利專案目標進度。後續也將參考評委建議進行研究發展作業。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>六、本所港灣技術研究中心 賴瑞應科長</b></p>		
<p>(一) 報告第 3-18 頁提到精準定位系統，可達到公分級的定位，及隧道內誤差 3 公尺的範圍準確度，這是前期計畫較缺的部分，請問本期計畫是否已導入此精準定位系統。</p>	<p>感謝委員寶貴意見，團隊本期計畫將會導入此精準定位系統，並於現地場域進行驗證作業。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，導入之定位系統規格及功能、驗證後相關成果及後續建議，請於期末報告中呈現。</p>
<p>(二) 報告第 3-21 頁，表 3-4 鐵路物件 AP，其中焊接處裂縫、魚尾銲裂縫、鋼軌裂縫，其 AP 均為 100%，此應為模型訓練的結果，實測是否有如此高的準確率個人存疑，建議增加註解，說明此為系統訓練的結果，非實測的結果，以免讓人產生誤解。</p>	<p>感謝委員意見，截至本計畫期中階段僅完成實驗室訓練數據，本計畫後半段期間將詳以驗證，並將委員建議已進行初步的補充說明。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(三) 報告第 4-8 頁，圖 4.14 有關魚尾銲裂縫的疑似真實裂痕照片與報告第 4-10 頁魚尾銲的異常圖資照片應該是同一張，此魚尾銲照片是否為魚尾銲裂縫，團隊是否有確認。</p>	<p>感謝委員意見，團隊目前因為承續前期研究與本年度計畫所得圖資，確實為未有大量裂縫資訊，因此初步先將疑似裂縫圖資進行收集納入訓練集資料，後續會和專家再次確認，並以滾動研究方式對智慧模型加以學習訓練。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(四) 報告第 4-14 頁，表 4-6 有宜蘭段提供的構件圖資分類，因為有很多構件(如 EJ 伸縮接頭、</p>	<p>感謝委員意見，團隊於本執行本計畫過程中，將優先完成本期計畫標的。執</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>大枕、平交道版止撐、注油器、計軸器、道岔等構件)是前期計畫及本期計畫未納入之構件，研究團隊針對這些非計畫內規劃的辨識構件將有何建議或處置。</p>	<p>行過程中也不斷收集很多構件的檢測標的，除此亦將研究後提供未來研究使用，後續將可評估納入未來規劃考量。</p>	
<p>(五) 報告第 4-18 頁，提到系統後續教育訓練規劃，建議能規劃針對臺鐵局同仁能實際操作系統，再藉由操作者的反饋意見來精進系統，以利後續的移轉應用。</p>	<p>感謝委員意見，教育訓練將同步蒐集之臺鐵局同仁回饋意見，並納入後續規劃意見參考。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(六) 目前已完成辨識系統的建構及臺中工務段的 3 次實測，後續還有宜蘭段的實測、系統擴充及精進，請團隊留意研究期程，嚴控進度，以利如期如質完成本計畫的預期目標。</p>	<p>感謝委員意見，由於本計畫須配合臺鐵局相關單位之行政管理作業流程，並爭取時間執行相關作業，以利如期如質完成本計畫的預期目標。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，後續實測期程規劃，請與臺鐵局承辦人員預先討論安排。</p>
<p>(七) 報告格式請依本所出版品規定撰寫。</p>	<p>感謝委員意見，已配合修正。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>二、本所臺灣技術研究中心 蔡立宏主任</b></p>		
<p>(一) 本計畫之辨識系統在移轉給臺鐵局使用前，有哪些需精進及改善的工作項目？</p>	<p>感謝委員意見，團隊確實於執行過程中逐步收集臺鐵軌道維護人員的使用者習慣，並於本計畫執行過程中透過分析與觀察研究後進行相對應的研究，詳細的相關內容將於期末階段進行確認。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(二) 本系統未來預計推廣至臺鐵局全路段使用，系統開發請依據實際執行軌道巡檢人員之需求做設計，尤其是道班人員在安裝、操作，或後續圖資標註及反饋給系統持續訓練，使用上必須越簡便，並有一可遵循之標準操作流程。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫自設計規劃即以使用者友善為目標，期末階段前將透過教育訓練過程說明設備安裝與系統操作方式，並蒐集意見回饋，納入後續參考。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>



附錄三  
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：軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用-系統擴建與宜蘭段現地測試

合作研究單位：緯創資通股份有限公司

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
<b>一、朱我帆委員</b>		
(一) 本報告撰寫用心，資料蒐集完整，介面考慮周全、影像清晰度提升，於有限時間完成測試之任務。	感謝委員鼓勵。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 本次利用復興號車廂，設計開發模組化設備安裝於車廂末端，已較前期計畫有所突破，並將測試速度提高至時速 60 公里，後續可考量將設備裝設於其他車輛或車底空間，以擴大應用。	感謝委員鼓勵與認同。	同意合作研究單位處理情形，本計畫模組化架構已於報告中呈現，可考量未來實務之需求，調整安裝車輛及位置以擴大應用。
(三) 報告第 4-30 頁 4.5.2 節，宜蘭段系統「驗證」建議改成「測試」，報告中未列成果，請補充。	感謝委員意見，已修正報告書用詞，相關測試結果亦更新於 4.5.2 節。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 報告第 4-40 頁表 4-17，請增加驗證總里程數、構件總數，再做準確率分析。	感謝委員意見，由於若將構件總數計入本次準確率計算，雖可呈現較高準確率，卻容易造成誤解，以至於無法確實認知本計畫未來發展之進步方向，故於同頁下方提供補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 請補充整體測試流程、操作方式，以利未來實際落實應用於檢測工作，以取代人工目視檢查。	整體操作流程建議請參考圖 5.1 所示，本期已完成驗證各階段流程之完成可行性，團隊建議於未來計畫中可逐步實施自動化設計。	同意合作研究單位處理情形。
(六) 請補充各項設備經費以及可預期減少之人力，並將相關效率評估之成效列入結論章節。	感謝委員寶貴意見，本案初步均使用市售設備，採購單位均可依據採購數量向廠商索取報價；至於人力部分由於各工務段原本軌道維護的人力狀況就不同，較難以臺中段、宜蘭段之測試結果進行推估。建議未來推廣至各單位時，再依各工務段條件進行效益	同意合作研究單位處理情形。

	推估。	
<b>二、黃晟豪委員</b>		
(一) 本案基於前期 3 年計畫之成果，進行軌道構件缺失人工智慧辨識系統之優化，與提升可用性及可行性，並進行現地驗證，雖 Precision Rate 較低，但 Recall Rate 尚可接受，可使人工檢視量大幅降低，同時兼具可信賴之信心度，成果值得肯定。	感謝委員鼓勵。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 報告第 2-2 頁，Precision Rate 公式應為 $TP/(TP+FP)$ ，但報告內寫 Precision Rate = $TP/(TP+FN)$ ，請確認為單純筆誤，或為程式計算方式撰寫錯誤？若為程式撰寫有錯，請重新計算 Precision Rate。	感謝委員意見，已更正報告書。	同意合作研究單位處理情形，已修正。
(三) 報告第 1-3 頁，完成項目含宜蘭段測試，並提出 Recall Rate 與 Precision Rate，但最後的 Recall Rate 與 Precision Rate 為臺中段之測試結果，是否有宜蘭段之測試數據？或修正報告說明改為提供臺中段測試之數據結果。	感謝委員的意見，團隊於宜蘭段驗證時基於各種環境因素考量，故主要以驗證系統穩定性與定位系統的可行性為主，並輔以資料收集，已更新相關說明於第 4.5.2 節，請委員參考。	同意合作研究單位處理情形，已更新相關說明。
(四) 報告第 1-3 頁，完成項目含產製宜蘭段缺失報告，似乎並未提供於報告中？是否遺漏？請修正報告說明。	感謝委員的意見，團隊已修訂並且已更新相關說明於第 4.5.2 節。	同意合作研究單位處理情形，已更新相關說明。
(五) 報告 4-17 頁表 4-8，其中軌面嚴重缺失應是較易檢出之項目，但經過 CV Aug. 補強訓練後，AP 反而比前期報告低許多，可能原因為何？	感謝委員寶貴的意見，表 4-8 中呈現之前期報告數據與本期重建結果具有落差，透過進一步研究發現落差主因在於其交付之圖資資料與報告書記載不同，故 CV Aug 效果不應與前期報告進行比較。 本計畫透過 CV Aug. 提升並平均	同意合作研究單位處理情形。

	化各類別圖資數量，可以看到調整後軌面嚴重缺失 AP 與未進行 CV Aug.的圖資訓練成果已出現顯著提升。	
(六) 報告 4-21 頁表 4-11，既然認為提升 Recall Rate 比較重要(事實上，最後結果雖然 Precision Rate 較低，但 Recall Rate 尚可接受)，那為何不選擇 P3-8 版本進行現地測試？報告中並未明確說明版本間之主要差異，是否可補充各版本間差異，並說明未選擇 P3-8 版本之主要原因？	感謝委員寶貴的意見，團隊於以往發展人工智慧經驗中，理解到實驗室數據不能只用單一指標解讀；考量到新版本畢竟使用更多圖資進行訓練，故驗證後難免出現數據浮動。此外，現地測試工作之所以採用 P3-9-3 版本模型進行驗證，主因亦考量表 4-10 及表 4-11 之人工檢驗成果，在 P3-9-3 版本模型，其檢測效果與人工檢驗效果較為接近。	同意合作研究單位處理情形。
(七) 報告第 4-40 頁，本計畫缺失分類共有 8 項，最後僅挑 3 項做為驗證之考量為何？螺栓遺失應也可以人工製作，是否有進行測試驗證過？結果如何？	感謝委員寶貴的意見，團隊於臺中段進行現地之模擬缺失主要由臺中段道班同仁進行設計與布置，主要考量鐵道安全及設置難易度，及現場復原的時程需求，因此最後選擇魚尾銲缺失、鋼軌斷裂及 e 扣夾缺失等 3 種物件。	同意合作研究單位處理情形。
(八) 請說明於道岔段或有護軌路段，是否會影響判定結果？	感謝委員寶貴的意見，本計畫於宜蘭段蒐集資料時亦有收集到護軌等相關資料，並投入進行訓練。軌道中的各種變數必然均有可能會影響到判定結果，然而影響效果有限，在本計畫中尚未能觀測到差異。	同意合作研究單位處理情形。
(九) 報告內有許多地方語意不清，如：計畫初期、先期計畫、前期計畫等，建議可統一為本計畫、前期計畫，或其他容易辨別之用字。	感謝委員意見，團隊已更新報告書。	同意合作研究單位處理情形，已更新修正。
(十) 有許多格式或用字錯誤，請再次檢查修正： 1、報告第 2-2 頁，標號 (2)~(4)誤植為符號。 2、報告第 3-21 頁，應為設備詳細說明，請參考「附錄二」。 3、報告第 4-5 頁，「搭載獨	感謝委員意見，團隊已更新報告書。	同意合作研究單位處理情形，已更新修正。

<p>立顯示卡(型號)」應為「搭載獨立顯示卡(RTX3090)」。</p> <p>4、報告第 4-15 頁，故利用前「其」結果，應為故利用前「期」結果。</p> <p>5、報告第 4-32 頁，應為「請參考圖 4.36 與圖 4.37」。</p>		
<p>(十一) CV Aug.與影像合成，何者對系統訓練之幫助較大？</p>	<p>感謝委員詢問，CV Aug.與影像合成於訓練中所發揮效果不同，其中影像合成主要用於增加不同錯誤樣態之圖資，而 CV Aug.則以平均化圖資數量為主要，建議兩者須互相搭配使用以發揮最大效力。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>三、蕭耀榮委員</b></p>		
<p>(一) 本計畫報告應先將本系統應用時之限制條件，如車速、風力、陰雨、日夜等環境因素具體說明。</p>	<p>感謝委員提供的寶貴建議，團隊並未針對系統之使用條件與以嚴格限制。團隊藉由本期計畫經多次實際場域測試結果，目前已可達成在夜間車速 30~60km/hr 中蒐集到足夠清晰且足以判釋之資料，惟部分因素無法於本計畫內加以驗證，詳細相關說明可參考報告書第 5-2 頁。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已於報告 5-2 頁說明。</p>
<p>(二) 本系統依契約應建立一缺失辨識系統，故對於系統之操作程序 SOP、硬體配置等都應明確說明，以利未來應用推廣。但目前架設平台仍屬簡易之構件，穩定性略顯不足，系統運算設備仍非屬最適宜之設備。</p>	<p>感謝委員寶貴意見，團隊將會努力朝完備系統邁進。團隊目前由於前期系統與資料之沿用具有一定困難性，本計畫已針對未來後續應用與推廣提出一系列建議與說明，請參考報告書第 5.2 節，且各階段之實作方式皆已分段完成驗證，未來可朝向本計畫建議方向持續發展與推廣。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(三) 前期計畫所提供之圖資及伺服器等成果無法重建，此造成研發資源之浪費。本期成果在後續研究上，是否可確保讓後期研究者順利承接與重建？另本案之 cloud server 將建置於何處？</p>	<p>感謝委員寶貴的建議，本計畫依約將會交付相關原始資料及電腦軟體發展成果，使後續研究者得以延續發展應用。團隊將提供 Cloud server 之原始碼，未來單位可依需求建置於指定伺服器。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>(四) 計畫在定位部分未具體交代使用之感測融合方式，同時定位僅跟前期 GoPro 比較，但定位要求軌道區間及行駛方向正確率 100%，位置精度小於 3 公尺，定位輸出大於 20Hz，報告應明確說明試驗結果是否達此要求。</p>	<p>感謝委員寶貴建議，由於本計畫重點在於針對人工智慧辨識軌道構件缺失項目進行現地測試工作。定位系統主要用於現地驗證中輔助確認缺失地點之用。因此，本期計畫採用市售之精準定位產品，於理想環境下提供之定位資訊可符合軌道構件缺失維護管理所需。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(五) 目前最佳之準確率為 91%，部分缺失無法正確偵測，報告中應明確說明無法偵測到之缺失樣態及原因，是否屬於重大缺失？</p>	<p>感謝委員寶貴的建議，針對現地驗證部分，系統未檢出之缺失項目為 e 扣夾 2 處，並非重大缺失項目，詳細資訊可參考表 4-16。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已於表 4-16 說明呈現。</p>
<p>(六) 報告中應明確說明維護前期建置之系統，並精進其資料庫之工作項目之完成度。</p>	<p>感謝委員寶貴的意見，前建置之系統重建具有一定困難度，故本計畫另行快速建置一版工程版平台，用於本計畫之成果應用。相關說明請參考報告書第 3.2.6 節；針對資料庫部分，則考量物件圖資數量有限情形下進行篩選與合併，並完成臺中段及宜蘭段構件圖資之擴建，可參考表 4-9。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已於報告書 3.2.6 節說明。</p>
<p>(七) 目前系統整備時間需 1~2 小時，對實務應用單位而言，此準備時間過長，應予改善。</p>	<p>感謝委員寶貴的建議，本期團隊主要使用退役復興號車廂進行資料蒐集與測試工作，在車廂使用上，為了配合臺鐵財產保管與維護相關規範，不得有破壞車廂之行為，因此採用模組化設計。主要將設備機構加掛於車廂末端進行，整體安裝時間相較於前期計畫已大幅縮短。未來計畫若取得車廂使用同意後，得以針對車廂進行改裝，則可考慮加裝於車底，將可大幅縮減整備時間。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(八) 關於各類缺失之檢出在報告中應詳細交代，尤其欠缺軌面缺失之相關資訊。</p>	<p>感謝委員寶貴的意見，團隊將缺失檢測之測試方式已於第 4.5.2 及 4.5.3 節分別補充說明。再者，本計畫可能對於軌面缺失著力較少，主要由於軌道上較難觀測到軌面缺失事件，且國內亦有對於軌面缺失研究的技術團隊，未來有機會結合應用，如此才能達到</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已於報告書 4.5.2 及 4.5.3 節補充說明。</p>

	事半功倍的成效。	
(九) 對於本系統在推廣應用後之強健性(Robustness)應具體說明，確保此研究成果可落實應用。	感謝委員的建議，由於本期計畫之主要目的為驗證軌道構件缺失辨識系統，並透過 6 次軌道現地驗證作業，累積超過 300 公里之上軌作業，主要先一步證明本系統之軟硬體設計具有一定強健程度。未來若逐步落實應用，將可基於本計畫之設計，再行強化精進。	同意合作研究單位處理情形。
<b>四、洪士林委員</b>		
(一) 本研究藉由 CV Aug.以旋轉、偏移、縮放、複製及馬賽克(Mosaic) 等演算法增加訓練集案例。不但解決資料不平衡(Data balcing)的問題，且明顯提升模型辨識準確率。	非常感謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 報告第 3-22 頁與第 4-4 頁，關於目前地端(巡軌車)採用的硬體設備(電腦)之敘述有異，請說明並建議統一。	本計畫 110/9/23 於臺中段進行之現地測試採用自組電腦設備執行，並驗證其應用可行性。而 P4-4 主要說明原訂運算主機規格，並於 P4-5 說明規格調整之原因及結果。關於脫離原規劃使用的硬體設備之主因，主要是設備出貨時程無法配合專案期程，因此也建議未來計畫執行時，也需要考量採購設備的期程計畫。	同意合作研究單位處理情形。
(三) 報告第 4-9 頁，表 4-3 之物件類別建議以中文說明。	感謝委員的建議，團隊已對物件類別之中文說明進行補充，請參考表 4-5。	同意合作研究單位處理情形，已補充表 4-5 物件類別圖利說明。
(四) 本研究所採用的定位系統係融合了多個感知器，如 GNSS、INS 及 Vector Map，但其都有不同級別的精確度，如 GPS 達 10 公尺左右的誤差範圍。文中 4.4 節的結果顯示本研究採用的融合效果不錯，建議於報告中補充說明「各式感測器融合」的理論及方法。	感謝委員寶貴的建議，本計畫所採用之精準定位系統為市售產品，其感測器融合與運算方式或許能探訪到部分資訊，詳細商業內容則無法取得；經過本計畫於宜蘭段與臺中段之測試，已確知其定位成效可有助於扣件缺失定位之用。	同意合作研究單位處理情形。
(五) Darknet 為 YOLOv4 內建的 CNN 模型，本研究將物件偵測模型 (YOLOv4-	感謝委員寶貴的意見，團隊研究轉換框架後，在有限的研發期程之下，並未更動其初始權重值設	同意合作研究單位處理情形。

<p>tiny)的 Darknet 框架轉為 Pytorch 框架後辨識準確率提升很多(由 73.9%提升至 91.3%)。轉為 Pytorch 框架是指改變原有 Darknet 的初始權重(weights)? 改為 Pytorch 語言? 或是有變動模型架構(如層數(38)、模型參數(~600 萬)) ? 建議報告能再詳述相關內容, 以利理解其關聯性。</p>	<p>定, 故初始權重部分未經特別調整。於此, 團隊主要還是先利用最大原則, 提升模型辨識準確度方式, 主要透過投入更多圖資進行訓練。例如 P3-9-1 版模型在 Darknet 框架下與 Pytorch 框架下之 mAP 及人工檢驗檢出率相同, 但隨著投入更多訓練至 P3-9-3 版本後, 其檢出率才提升至 91.3%。</p>	
<p>(六) 現地測試結果, 漏檢了 2 個缺失, 誤判了 94 處缺失。就缺失檢測(defect detection)之目的而言, 已符合「檢測錯誤物件優於漏掉缺失物件(寧可錯殺, 不能漏放)」之原則。且相較於前期研究之成果, 準確率提升不少。雖於報告第 4-38~39 頁有提出說明, 但似乎不能完全解釋 94 個誤判的原因。請問是否是因模型 Overfitting 造成, 或是 CV-Aug. 所產生的虛擬案例所致? 另漏檢的 2 個缺失, 請補充說明其可能漏檢之原因, 並建議再分析是否有再增進模型辨識力的機制。</p>	<p>本計畫於臺中段之測試成果中具有 94 處誤判紀錄, 其造成原因主要來自於訓練用的缺失圖資資料不足, 初步研判在此階段 CV Aug. 與誤判問題較無絕對關係, 至於 Overfitting 初步認為機率較低, 但值得於日後進行更加深入分析。</p> <p>另外, 本次漏檢出之 2 個缺失項目為 e 扣夾缺失, 其漏檢原因有很多種可能, 包括但不限於: 攝影角度、遮蔽物、或者與現場驗證車輛是否有到達缺失位置有關。考量到部分 e 扣夾之缺失狀態難以完全利用側向視角進行, 因此未來可考慮針對檢查標的再檢討調整檢查的視角與方式擇優進行較佳。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(七) 表 3-1~3-4 得知前期計畫完成後之資料庫、車端應用系統、伺服器系統均無法正常重建。所以如何確保將研究成果完整移交給甲方, 或臺鐵局落實應用於軌道構件缺失檢測, 對於後續維護至關重要。建議研究單位能以圖 5-1 的 SOP 將本期完成(計畫工作範圍)之成果妥善建置完成, 以免上述問題再</p>	<p>感謝委員寶貴的建議, 本計畫團隊將會依約交付相關事項, 以利後續之應用。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

次出現。		
(八) 期末報告簡報第 29 頁、31 頁之 mAP 與 Recall Rate 數值與報告中有異，請於報告中補充說明。	感謝委員意見，針對簡報第 29 頁為第三階段臺中段現地驗證當天之測試成果，而簡報第 31 頁為後續調整測試之補充內容，已補充至報告書第 4.5.3 節中。	同意合作研究單位處理情形，已於報告書 4.5.3 節補充說明。
(九) 建議可利用影像處理技巧(如 RGB 外可採 HSB)，讓軌道與背景、道碴及枕木之影像分離，以解決誤判問題。	感謝委員意見，針對透過影像處理方法降低誤判之技巧，可納入未來改善方向，已補充至報告書中。	同意合作研究單位處理情形。
<b>五、鍾志成委員</b>		
(一) 本計畫在前期專案成果無法重建情況下，能夠順利完成合約工作項目，值得肯定。	非常感謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 本計畫雖為委託研究計畫，但在交通部運輸研究所的研究計畫分類應屬於「合作研究計畫」，亦即研究團隊實際上是包括該所港灣技術研究中心的同仁。因此，報告的文字應避免以緯創資通股份有限公司的角色來撰寫。關於此點，請全面檢視報告，適當修正用詞。	感謝委員意見，已重新檢視並修正報告書。	同意合作研究單位處理情形，已修正相關用詞。
(三) 台灣仲碩科技股份有限公司的鐵路軌道巡軌機器人是否有實際的應用案例？建議洽詢補充。	本計畫於期中過後曾進一步洽詢仲碩科技相關資訊，僅獲知有與相關應用單位進行測試，但尚未有實際商轉營運場域。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 本研究所建置及發展的軌道缺失偵測技術，所容許之最高列車運行速度是否僅為時速 60 公里？將來應用於正式營運列車(最高速度為時速 130 公里)的可行性以及應有的設備規格？建議補充說明。	感謝委員寶貴的意見，團隊透過室內實驗與軌道現地測試工作，本計畫認為影響運行速度之關鍵在於 FOV 及相機取樣率。而依目前現地測試經驗，已可支援夜間 60km/hr 運行，若要突破此運行速率，則建議透過增設或更換攝影設備，過大 FOV 並加快相機取樣率，則有機會用於更快速行進的車輛。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 報告 3.2.3 節提到的缺失定位技術，究竟本研究採	感謝委員寶貴的意見，團隊採用的市售精準定位設備提供融合多	同意合作研究單位處理情形。

<p>用哪些方法，實際佈設的密度為何，建議說明，例如 3-19 頁提到 RFID、Beacon、無線基地台等，在本研究都有佈建嗎？佈建的密度為何？</p>	<p>樣的感測功能。惟考量本計畫的實際執行期程，故本計畫使用之缺失定位技術僅有 GNSS 及 IMU，其他設備則沒有進行佈建，未來有機會可規劃於下一階段進行再驗證作業。</p>	
<p>(六) 報告提及本研究所建置及發展的軌道缺失定位技術，實際定位的誤差約在 3 公尺，已經會涵蓋到周圍的軌道(東正線與西正線)及相鄰扣件，故實務上維修人員根據定位結果，在現場要花多少時間才找到缺失的軌道及扣件？</p>	<p>回覆委員意見如下，團隊於本計畫選用之精準定位設備定位誤差在 3 公尺以內，基本上考量成本與效益的平衡點，3 公尺的精準度足可提供維修人員安排修復作業，雖然 3 公尺可能涵蓋雙線軌道，但利用本計畫系統規劃的即時回報架構，可以藉由跟車或者時間差，有經驗的維護同仁可以快速獲取缺失位置，意即利用優良的系統設計彌補經濟效益的選擇性。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(七) 地端硬體設備由原先規劃之 ADLink AVA5500 改成自組運算電腦，除了交貨期與調校時間的考量之外，就未來應用而言，是否有建議的設備與規格？</p>	<p>感謝委員的寶貴意見，依本計畫之系統架構設計，設備應足以支援 4 路攝影機同步辨識並將結合定位資訊後上傳至雲端資料庫中；考量 ADLink AVA5500 設備強調滿足軌道營運震動規範，並且足可支援 2 路攝影機輸入及辨識之用，因此 2 台以上同等級設備或與本計畫自組電腦同等級之設備即可作為未來軌道巡查使用，當然未來檢測標的數量提升，地端運算資源亦可等比例參考提升。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(八) 本研究所使用的向量鐵路路線地圖是採用甚麼平台？甚麼格式？來源為何？建議補充說明。</p>	<p>本計畫採用 Mapbox 公司所提供之 Mapbox GL JS API 作為系統地圖。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(九) 報告第 4-9 頁，表 4-3 物件類別，建議補充中文對照名稱。</p>	<p>物件類別之中文對照名稱可參考表 4-5。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已補充表 4-5 物件類別圖利說明。</p>
<p>(十) 報告第 4-13 頁，提出很多資料標記的軟體，本研究採用的是哪一個軟體？以及實際標記作業時，標記的速度為何？</p>	<p>感謝委員寶貴的意見，團隊於本計畫採用他案中自主開發之標記軟體，實務上採用任何標記軟體皆可應用於模型之訓練。實際標記速度則受到標記者的專業知識</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

	與經驗影響，然而大量圖資之標記的確花費許多時間，是影響本計畫的重要時間因素之一，熟稔的與非熟稔的標記者，進行標記的速度與正確性差異不一。	
(十一) 建議針對本研究所發展及建置的系統與平台，歸納系統的設備規格、安裝的規範(例如攝影機安裝的角度與距離要求、補光燈的角度與要求、固定的方式等)，以及操作說明，以方便未來臺鐵局之應用。	感謝委員寶貴的意見，團隊針對本計畫所發展之硬體支架設計進行補充說明，請參考報告書第3.2.2節。	同意合作研究單位處理情形，系統的設備規格、安裝的規範已於報告書第3.2.2節說明。
(十二) 結案時需有活動展示海報或影片電子檔，建議補充說明。	感謝委員寶貴的建議，團隊為了將教育訓練紀錄納入相關展示計畫中，故待相關活動告一段落後，彙整所有檔案，最後將會依約於計畫完成前提供。	同意合作研究單位處理情形。
<b>六、本所港灣技術研究中心 賴瑞應科長</b>		
(一) 報告第 1-4 頁，提到針對重要成果製作可供展示之海報或影片，請研究團隊於計畫結束前提供。	感謝科長寶貴的建議，團隊為了將教育訓練紀錄納入相關展示計畫中，故待相關活動告一段落後，彙整所有檔案，最後將會依約於計畫完成前提供。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 報告第 4-9 頁，表 4-3 顯示將 rail_welding( 移除分類)，原因請補充說明，是否會影響焊接處劣化的辨識。	感謝科長寶貴的意見，針對軌道焊接處屬於正常非缺失物件，且焊接並非一種固定的缺失樣式，模型訓練過程中為避免造成模型訓練之誤差，於發展初期暫將此類別移除。後續於臺中段驗證執行驗證中，模型辨識誤判的主因是光線造成的陰影區域與裂痕極度相似，因此兩者間並無直接關聯性。針對陰影導致的物片，初步研判可以多納入誤判圖資與調整訓練的權重值可以有效的改善。	同意合作研究單位處理情形。
(三) 報告第 4-41 頁，4.6 系統教育訓練，請於報告定稿時改為實際辦理的情形。	感謝科長意見，已補充於報告書中。	同意合作研究單位處理情形，已於報告書4.6節補充。
(四) 簡報第 31 頁有針對現地驗證成果及後續改進方向做說明，也針對初步調整	感謝科長意見，已補充於報告書中。	同意合作研究單位處理情形。

<p>方式，如投入與誤判情形類似的圖資資料進行測試重新訓練及測試，並說明驗證結果，建議將這些後續可精進方向納入定稿報告內。</p>		
<p>(五) 建議針對後續系統設備架構、所需經費及人力能提出相關的建議，以供本所及臺鐵局納入後續系統精進評估。</p>	<p>團隊目前僅提供針對以往的經驗進行討論。對於納入正式研究報告的內容，針對報告所需要具備的嚴謹性與可參考性實屬有待驗證與考量。另外，執行單位成本計算基準也是有著一定差異，例如企業與學校經營成本，人力成本與經驗本身就有一定的差異性。建議多方收集建議後，以分析方式進行平均評估，再偕同各單位進行討論為佳。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(六) 報告第 4-6 頁，下圖 4.10 所示，是否修正為上圖 4.10 所示，請確認。</p>	<p>感謝科長意見，已修正報告書。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>七、本所港灣技術研究中心 蔡立宏主任</p>		
<p>(一) 簡報中有提及後續本系統準確率及檢出率提升之建議及方法，請將相關內容納入報告中補充。其中提到除增加缺失樣本圖資之外，請說明是如何調整相關參數重新訓練而提升準確率。</p>	<p>感謝委員意見，已補充於報告書中。團隊於簡報 31 頁主要透過增加訓練圖資的方法進行調整，當然未來可再透過調整權重值方式進行模型優化，目前確實礙於專案執行期程因素尚未特別針對調整權重值增加準確度。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已於報告書 4.5.3 節補充。</p>
<p>(二) 本次因使用側向拍攝方式進行 e 扣夾缺失之辨識，而驗證後發現有許多誤判的情況，請問研究團隊會建議後續應如何改善此情形？是否應如前 3 期研究增加正向拍攝之視角，以提升辨識之準確率？相關建議再請納入報告中，後續精進建議之內容。</p>	<p>感謝主任提供的寶貴建議，團隊初步分析目前多數誤判紀錄來自於物體過度相似、外在影響模型辨識因素問題。當然納入正向視角絕對對於某些辨識項目，有助於成果的精進，然而增加辨識角度的同時，也需要同時考量設備經費與運算效能之取捨。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(三) 準確率及檢出率之數值互為相關，依照研究團隊過去開發 AI 系統之經驗，是否有一最佳之數值，當此 2</p>	<p>感謝主任寶貴的意見，團隊對於目前準確率及檢出率的成果確實認為具備有提升之空間，然而模型整體準確度之提升方法，包含</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>數值皆達到某一階段即為可實務應用之標準？</p>	<p>模型權重值調整與長期蒐集更多缺失圖資等方法，初步還是先已累積相關缺失圖資，同步再抽空調整權重值；實際效果仍有待未來計畫進一步執行與驗證。</p>	
<p>(四) 本計畫研究之目的即為希望未來讓臺鐵局能實務應用，故計畫執行中相關會議、訪談及教育訓練，臺鐵執行巡檢工作人員的反饋意見，希望能完整蒐集彙整，做為後續持續研發精進之參考依據。</p>	<p>感謝主任寶貴的建議，團隊於本計畫執行階段，將陸續所蒐集到的使用者意見納入設計參考，並且已補充於報告書中。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形，已於報告書 5.2 節中補充。</p>
<p><b>八、會議主持人本所陳天賜副所長</b></p>		
<p>(一) 缺失構件樣態種類由 13 類彙整為 8 類，而此 8 類是否已能滿足臺鐵局軌道巡檢項目之要求？若確定就是此 8 類，未來就針對此 8 類持續蒐集相關缺失樣態圖資及訓練，又此 8 類之構件缺失是否適合使用 AI 影像辨識之方法進行辨識？若後續缺失樣本蒐集數量足夠之後，可否分開表示各類別之準確率及檢出率？以檢視各類缺失之表現是否適合使用 AI 影像辨識之方式持續進行巡檢，或應採用其他巡軌技術或檢測工具補足。</p>	<p>感謝副所長提供的寶貴意見，物件分類方式需要在「滿足巡查工作需求」與「模型訓練準確度」中取得平衡。目前分類方式已諮詢過臺鐵工作人員，尚能滿足其需求。未來若有更多物件類別需要進行辨識，則可透過資料蒐集與標記後，視情形可將以收集的缺失圖資進行拆分後，再投入訓練並更新。本計畫主要延續前三年的研究應用，故本年度依舊延續採用單一 YOLOv4-Tiny 模型，為了解整體模型辨識效果故採用統一檢視。由於目前各類別驗證集圖資數量有限，難以透過分別計算準確率及檢出率進行比較。相信確實分類學習訓練，或者未來考量利用不同模型架構，有機會可以發展出更具備優勢的成果。此外，確實不同類別的軌道缺失適合的檢測方式不同，國外產品亦同時採用多重檢測器進行檢測以確保其精準度。未來計畫是否所有類別均合適利用 AI 影像進行缺失檢測，後續可以與實際應用單位進行討論與研擬。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>(二) 本案進行軌道圖資之蒐集，都是利用夜間無營運列車之情況，透過臺鐵</p>	<p>感謝副所長提供的寶貴意見，相關需求之討論可納入未來計畫之規劃中。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

<p>工務段申請路段封鎖後執行專案任務，可蒐集到穩定完整之圖資，若為增加圖資樣態欲取得白天的圖資，相關執行方式還需與臺鐵局討論其可行性，以不影響白天營運工作為主，且若如此蒐集到之圖資或許較不完整且不易執行，還需進行相關評估。</p>		
<p>(三) 感謝今年緯創資通股份有限公司願意承接本研究案，且在執行之進度及相關設備、人力之投入，及最後研究成果的呈現、報告的編撰都相當用心，亦顯示出本計畫研究案從實用面及產業面皆有相當正向之效益。</p>	<p>非常感激副所長的鼓勵。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>



附錄四  
期末報告簡報資料





# 111年度 軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用 系統擴建與宜蘭段現地測試 期末審查會議

- 委託單位 交通部運輸研究所
- 執行單位 緯創資通股份有限公司
- 簡報日期 2022/11/16

wistron

2

## 簡報內容

01 緒論與回顧

02 系統擴建成果

03 現地測試成果

04 總結

Think Great · Act Smart

wistron

# 01 緒論與回顧

wistron

## 研究計畫背景與目標

軌道安全為我國軌道發展重要方向

臺鐵軌道營業長度**1,065**公里，營業車站**241**座，鐵軌總長度**2,459**公里

傳統採用人力巡檢  
以目視檢查方式巡查

受限於巡查車速  
視察角度及眼力有限

以人工智慧影像辨識自動化輔助巡查為目前趨勢

### 系統精進

精進臺鐵臺中工務段軌道構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾板)影像缺失辨識系統，及其物件辨識資料庫

### 系統擴建

針對宜蘭工務段建置軌道構件缺失辨識系統，將原系統的適用範圍由平原區擴大至丘陵區。

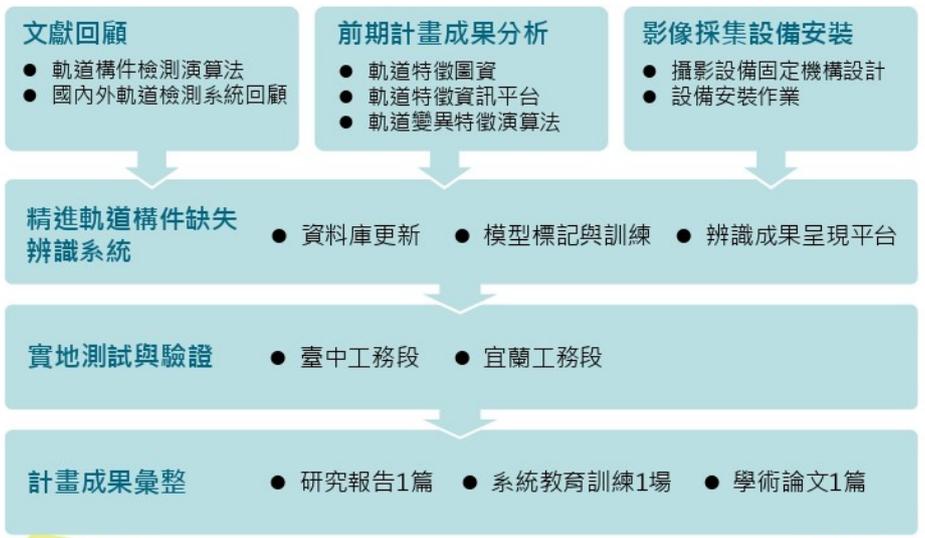
### 系統驗證

在臺鐵宜蘭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)完成實地場域驗證。

Think Great · Act Smart

wistron

## 研究計畫內容與工作項目



## 研究計畫範圍與對象



### 交通部臺灣鐵路管理局

臺中工務段 資料蒐集及系統驗證	宜蘭工務段 地形路線具特殊性
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 路段位處平原區域，軌道設計與狀態具有代表性。</li> <li>● 本計畫主要設備及系統測試、圖資蒐集場域。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 多處小曲線半徑彎曲路段，內軌設有防脫護軌，增加辨識難度。</li> <li>● 路段位處丘陵區，較多長短隧道，考驗定位技術。</li> <li>● 驗證系統整合及定位技術。</li> </ul>

## 研究計畫期程與進度

契約生效30日內  
完成GRB  
系統登錄

第一季  
場勘及設備  
安裝完畢

6/29  
蒐集案例、圖資  
交付期中報告

第二季  
模型建置與優化

10/26  
完成系統  
交付期末報告

分項計畫與工項	2022年月份											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
場勘暨施作規畫作業	※											
採集設備安裝作業		※										
資料採集作業					※							
差異分析作業												
告警顯示維護整合作業												
整合性串接驗證作業								※				
成果展示及學術活動												
期末報告作業									※			
結案驗收										※		
進度百分比	12%	24%	32%	40%	49%	64%	77%	87%	99%	100%		

※預計查核點

Think Great · Act Smart

wistron

前期計畫成果應用評估

## 資料庫與演算法分析

- 本計畫需重新建置訓練模型，方能投入後續應用
  - 取得圖資資料庫數量與說明不符
  - 前期報告內容數值難以重現

正向視角圖資

【前期報告內容】  
● 訓練樣本3420張  
● 測試樣本380張

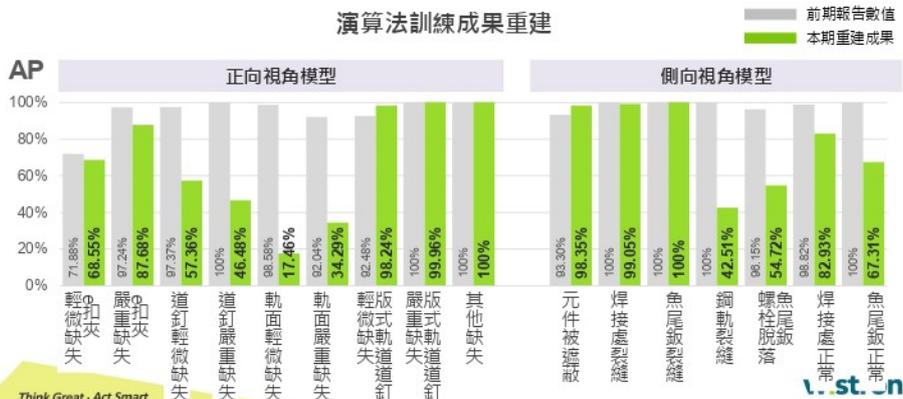
【圖資資料庫內容】  
● 已標記樣本1533張

側向視角圖資

【前期報告內容】  
● 未說明樣本數量

【圖資資料庫內容】  
● 已標記樣本960張

演算法訓練成果重建



Think Great · Act Smart

wistron

## 軌道構件缺失辨識系統重建



### 前期計畫成果應用評估結果摘要

前期成果項目	應用評估	說明
軌道構件圖資	部分沿用	圖資分為正向與側向資料集，詳與報告書數量有所出入。
軌道構件辨識演算法	可沿用	提供正向與側向兩種辨識演算法，經原生演算法匯入圖資進行訓練。
軌道地(車)端應用服務	無法沿用	原始碼無法進行重建作業。
軌道雲端伺服器應用服務	無法沿用	原始碼無法進行重建作業，既有編譯設定與連線資訊均未詳載。
軌道應用資料庫	無法沿用	因無法完成連線作業與資訊提供，故無法查閱資料庫內容與設計。

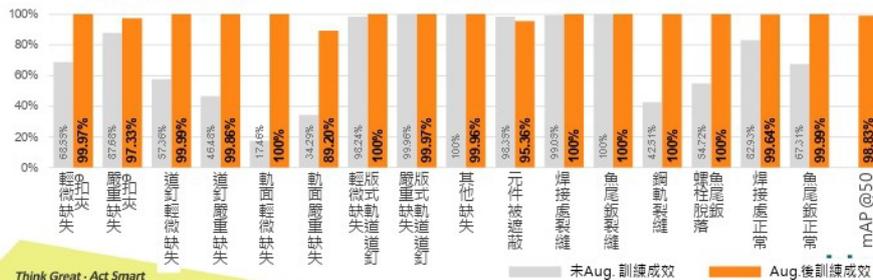
## 驗證模型合併



### CV Augmentation 可提升物件分類識別效果

CV Aug. 後圖資數量請參考報告書 P4-16

- 增加圖資數量並使各類物件的數量分布相近，以避免過度擬合而導致辨識效果降低。
- 實證合併模型具有可行性，而利用CV Aug.可以達成提升辨識準確度。



## 02 系統擴建成果

wistron

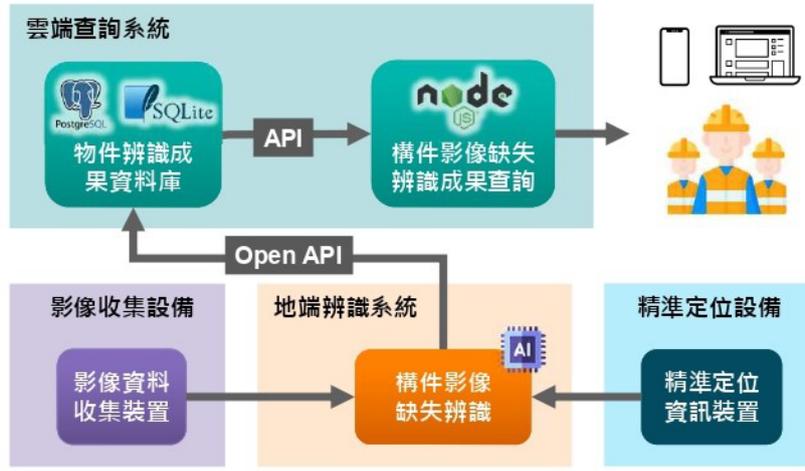
### 巡檢作業流程規劃建議



Think Great · Act Smart

wistron

### 辨識系統架構設計採雲地混和概念



採用地端辨識方案，可降低網路延遲問題及維護傳輸費用

Think Great · Act Smart

wistron

### 硬體設備清單

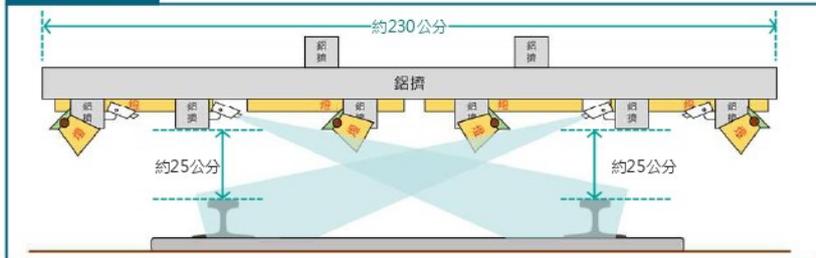
安裝於車內			安裝於車外支架
			
辨識運算設備	定位系統	路由器	
選擇性設備			
			
湯淺牌 深循環電池	純正弦波 電源轉換器	高畫質 工業攝影機	

Think Great · Act Smart

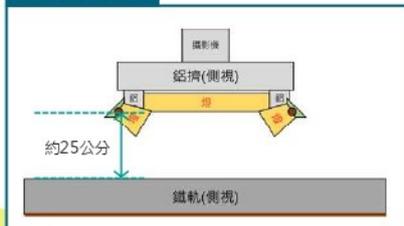
wistron

# 支架設計圖

設備支架正視圖

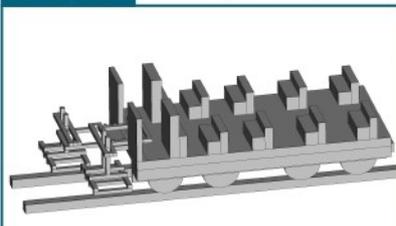


設備支架側視圖



支架安裝方式

● 支架固定於車廂內向外延伸。



Think Great · Act Smart

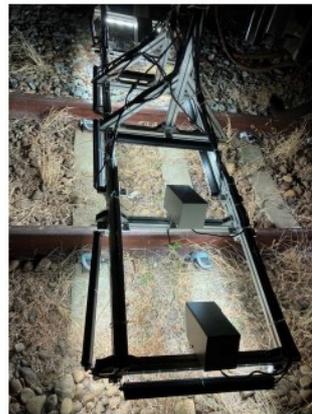
wistron

# 支架安裝



攝影支架實裝方式

- 避免破壞車廂，故先以使用重物固定支架。(未來可改良為鎖固於車廂)
- 支架全寬為230公分，安裝時請注意勿超過車廂範圍避免撞擊道側設備。



調整攝影機與燈光角度

- 請確認燈光有確實照亮畫面範圍。
- 鎖固燈光與角度後，下次安裝可直接沿用。

Think Great · Act Smart

wistron

## 訓練圖資集彙整

單一類型個數對模型訓練之精確度有所影響

P1版本

P3版本

P1版本變異種類	個數
eclip_x	62
eclip_xx	317
railspike_x	148
railspike_xx	74
rail_x	114
rail_xx	186
slab_track_eclip_x	67
slab_track_eclip_xx	74
others_break	43
eclip_is_covered	750
rail_welding_xx	20
splice_bar_xx	37
rail_xx	108
splice_bar_x	87
rail_welding	514
splice_bar	350

P3版本變異種類	個數
eclip_break	503
eclip_is_covered	623
wood_crossties_break	172
rail_surface_break	103
rail_crack	332
rail_screw_break	294
splice_bar_x	69
splice_bar	951

Precision

79.6%

Recall

96.7%

mAP

96.2%

### 缺失物件類型整合為 8 類

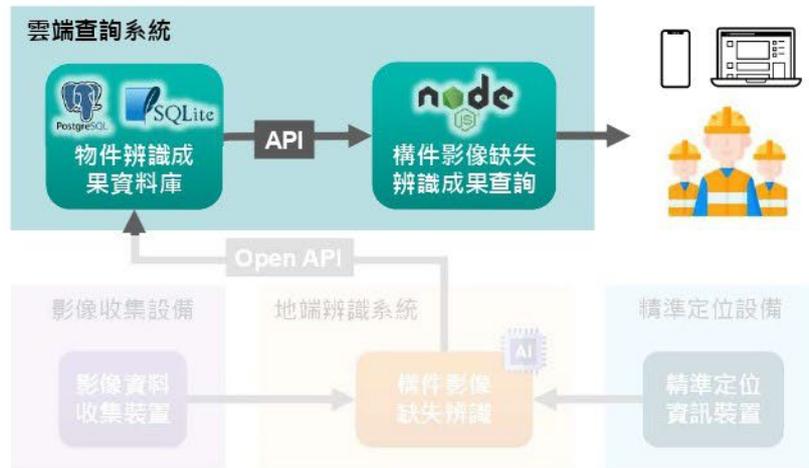
- 經重新篩選並整合圖資類型
- 投入現地蒐集圖資及缺失合成模擬圖資

## 增加圖資豐富度

- 為提升模型便是精準度，需要使各類型物件數量更為平均、瑕疵類型更豐富。
- 由於軌道維護狀態良好，所蒐集之圖資中幾乎無法找到軌腹、銲接處與魚尾鉸之裂縫圖片。
- 參考國內外軌道構件缺失紀錄照片，在臺鐵專家協助下，透過影像合成方式增加缺失資料。



## 辨識系統-雲端查詢系統



Think Great · Act Smart

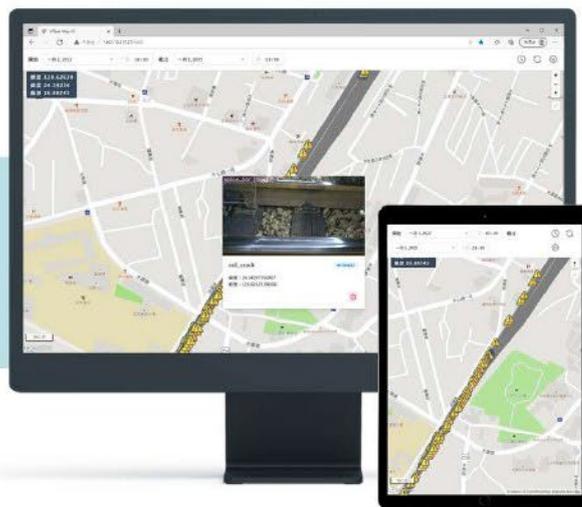
wistron

雲端查詢系統

## 巡查結果查詢介面

### 功能特色

- 套疊全國軌道向量地圖，依檢出座標顯示缺失所在位置。
- 預覽缺失影像，立即確認檢查缺失嚴重程度。
- 提供時間與類別篩選器，可快速鎖定檢測趟次與目標。



Think Great · Act Smart

wistron

# 巡查結果查詢介面-功能說明

**1 時間篩選**

**2 地圖位置**  
經度 120.62611  
緯度 24.34633  
縮放 13.89232

**3 資料更新頻率**

**4 手動更新資料**

**5 物件類別篩選**

**6 向量鐵路路線**

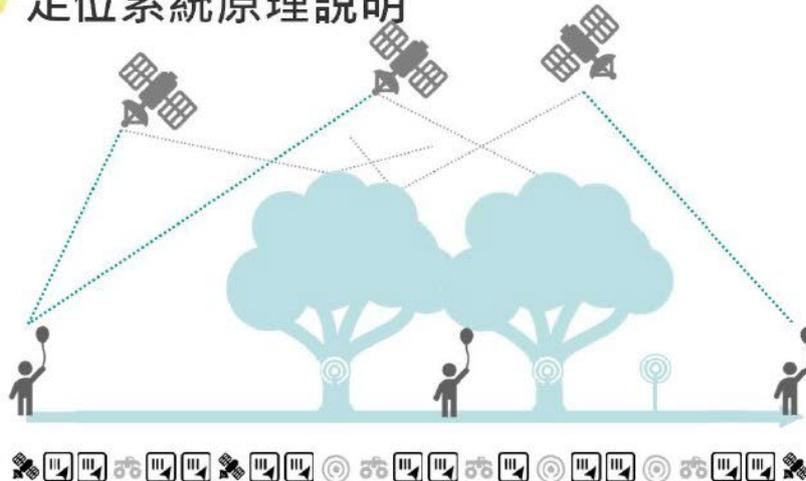
**7 缺失所在地點**

篩選類別  
請勿選需要顯示的類別

- eclips\_break
- eclips\_is\_covered
- wood\_crossties\_break
- rail\_surface\_break
- rail\_crack
- rail\_screw\_break
- splice\_bar\_x
- splice\_bar

Think Great · Act Smart

# 定位系統原理說明



- 市面上HDPS 精準定位功能利用多種感測器融合
- 由於環境限制，本研究僅以IMU輔助GNSS定位
- 定位精度依環境差異，理想環境下誤差小於3公尺

定位方式

- GNSS/RTK
- IMU/INS
- Physical odometer
- RSU

# 精準定位產品較一般產品穩定

宜蘭場域定位紀錄比較(利用Google Earth套疊實測)

圖例

- ◆ 精準定位產品
- ◆ Gopro



- Gopro 進入隧道段後路徑嚴重偏移且失去軌跡。
- 精準定位類產品在無信號的GPS隧道內亦可提供穩定的定位結果。

# 精準定位產品較一般產品穩定

宜蘭場域定位紀錄比較(利用Google Earth套疊實測)

圖例

- ◆ 精準定位產品
- ◆ Gopro



- Gopro 進入隧道段後路徑嚴重偏移且失去軌跡。
- 精準定位類產品在無信號的GPS隧道內亦可提供穩定的定位結果。

# 精準定位產品較一般產品穩定

宜蘭場域定位紀錄比較(利用Google Earth套疊實測)

圖例

- ✦ 精準定位產品
- ✦ Gopro



- Gopro 進入隧道段後路徑嚴重偏移且失去軌跡。
- 精準定位類產品在無信號的GPS隧道內亦可提供穩定的定位結果。

# 精準定位產品較一般產品穩定

宜蘭場域定位紀錄比較(利用Google Earth套疊實測)

圖例

- ✦ 精準定位產品
- ✦ Gopro



- Gopro 進入隧道段後路徑嚴重偏移且失去軌跡。
- 精準定位類產品在無信號的GPS隧道內亦可提供穩定的定位結果。

## 03 現地測試成果

wistron

28

### 本研究完成三階段現地驗證作業

階段	日期	執行路段	距離 (來回)	車速 (km/hr)	執行目的
一	2022/5/6	大甲至白沙屯	約60 km	30-60	驗證設備可行性、圖資蒐集
	2022/5/27	大甲至沙鹿	約30 km	30-60	圖資蒐集
	2022/7/8	后里至新烏日	約60 km	30-60	系統第一次驗證、圖資蒐集
二	2022/8/12	瑞芳至蘇澳新 (東線)	約80 km	30-60	系統現地驗證、定位系統驗證、圖資蒐集
	2022/8/19	瑞芳至蘇澳新 (西線)	約80 km	30-60	系統現地驗證、定位系統驗證、圖資蒐集
三	2022/9/23	大甲至日南	約9 km	30-60	AI模型現地驗證

Think Great · Act Smart

wistron

## 現地驗證成果說明

混淆矩陣	事實為真、預測為真	TP	FP	事實為假、預測為真
	事實為真、預測為假	FN	TN	事實為假、預測為假
現地情形	人工佈建模擬缺失	14處		
	非人為佈建缺失	2處 (由系統檢出)		
	總缺失數量	16處		
系統檢驗成果	人工佈建模擬缺失	12項 (TP)		
	非人為佈建缺失	2項 (TP)		
	非真實缺失項目	94項 (FP)		
	應檢出未檢出項目	2項 (FN)		

精確率(Precision) = TP / (TP+FP) = (12+2) / ((12+2)+94) = 12.9%

召回率(Recall) = TP / (TP+FN) = (12+2) / ((12+2)+2) = 87.5%

## 現地驗證誤判

未知類型、遮蔽、或者系統判定外觀相似(焊接陰影、雜草、油漬)等因素導致誤判。



## 現地驗證成果總結及後續改進

誤判因素

未知的物件類型

物件遮蔽

外觀相似

陰影

油漬

後續  
改進方向

- 蒐集更多未知的物件類型圖資，納入資料及重新訓練。
- 增加或調整AI關鍵節點的權重值，處理外觀相似的誤判案例。
- 陰影、雜草與油漬等誤判需納入更多圖資，可先調整關鍵節點權重值。

- 投入與誤判情形類似的圖資資料進行測試重新訓練及測試

初步調整  
成果驗證

數值 \ 模型版本	P3-9-3 版 (同9/23現地驗證)	比較組
Precision (mAP)	11.89%	42.22% ↑
Recall	83.33%	61.67% ↓

- 證明透過增加圖資可以提升Precision
- 透過蒐集更多圖資投入訓練可逐步提升模型效果

## 04 總結

## 教育訓練規劃與紀錄

時間 2022.11.10 (四) 13:30  
地點 臺中工務段



Think Great · Act Smart

wistron

## 研究計畫困難點與因應對策(1/2)

### 研究計畫困難點

前期計畫成果在使用及維護上存在特殊性及困難度(包含平台及圖資)

- 前期計畫成果僅物件辨識模型與部分臺中段訓練集資料可用於本研究計畫之執行。
- 原軌道構件缺失辨識系統因缺少連線設定及編譯資訊，導致無法沿用。

研究執行時間有限然而工作內容超乎預期範圍

- 面臨系統無法沿用問題，須加派人力建置簡易版平台以因應驗證所需。
- 系統平台尚須重新與硬體設施及定位系統完成整合，並驗證符合本研究計畫所需。

### 因應對策

建立軌道構件缺失辨識系統之替代方案作為驗證之用

1. 利用本期研究設備取得臺中段及宜蘭段現地圖資重新投入模型訓練。
2. 尋求團隊內部既有平台系統，修改後使其符合軌道巡檢之所需。
3. 本研究之驗證作業將使用替代平台執行。

對內協調支援資源，優先完成本研究計畫之所需

1. 重新盤點計畫工項之輕重緩急，以完成宜蘭段現地驗證為最終目標。
2. 尋求團隊內部資源，採用既有平台系統修改以避免重新建立系統所需的資源。

Think Great · Act Smart

wistron

## 研究計畫困難點與因應對策(2/2)

### 研究計畫困難點

#### 宜蘭段丘陵多山地形影響列車GPS定位結果

- 市售一般定位產品在隧道段中，因其GPS訊後受到遮蔽，導致定位效果容易失準。

#### 各類物件缺失之圖資張數仍有待增加

- 前期成果僅部分圖資內容可供延續使用。
- 現行軌道維護情形良好，難找到可供訓練之錯誤樣態圖資，導致訓練成效有限。

### 因應對策

#### 尋求市售精準定位產品並驗證可用於臺鐵運行環境

1. 尋找市售精準定位產品，整合至軌道構件缺失辨識系統中。
2. 妥善利用宜蘭段及臺中段驗證機會，實地驗證精準定位產品能在隧道段等特殊地形中，提供精準的定位成果。

#### 利用影像調整技術增加圖資量，並持續蒐集更多圖資

1. 利用宜蘭段及臺中段驗證機會，持續擴充圖資數量。
2. 在軌道專家指導下，使用影像合成技術增加錯誤樣態參考圖資。
3. 於訓練過程中導入CV Augmentation技術，增加並平均化各類別的圖資數量，以增進後續模型辨識準確度。

## 研究計畫結論



#### 影像辨識演算法

- 延續前期成果，使用YOLOv4-Tiny發展所有物件缺失辨識



#### 圖資資料庫擴充

- 增加臺中及宜蘭圖資資料
- 圖資資料篩選與歸納，以降低過擬合問題



#### 實地驗證作業

- 宜蘭段：160 公里
- 台中段：9 公里



#### 驗證技術可行性

- 目前設備已可支援車速30~60 km/h

## 未來發展建議-定義輔助巡查流程

- 配合道班人員日常軌道巡查與修復作業，重新定義利用自動化構件缺失辨識系統輔助巡查與維修的作業流程。
- 根據巡查流程需求，調整系統功能以符合其巡查流程之作業需求。



## 未來發展建議-平台功能精進方向

### 資訊連線狀態提示

### RWD設計

### 檢視事件清單

線型	事件	經度	緯度	公里標
台車	480A7E18	24.33316423094	121.6169968647	K381+630
台車	7034E148	24.33330568844	121.6172338659	K381+605
台車	578F7E7C	24.33567271555	121.6048629218	K381+573
台車	D37AC855	24.33483928933	121.61544407407	K380+880
台車	0F58B7F4	24.33154813934	121.61596561771	K381+090
台車	8E25A4C5	24.34176183095	121.62095352137	K382+114
台車	3F9A218E	24.34188453118	121.62035014238	K382+214
台車	188E7E4D	24.32834654743	121.62213273234	K382+400
台車	C94D37F3	24.32419531001	121.61186332115	K382+294
動車	F49E4E48	24.33229999353	121.61104484775	K381+247
動車	88E8D9C7	24.34010588933	121.62484138599	K381+247
動車	47E7E73F	24.34068119254	121.62488540256	K381+237

### 百公尺座標

### 分段篩選器

百里公尺座標

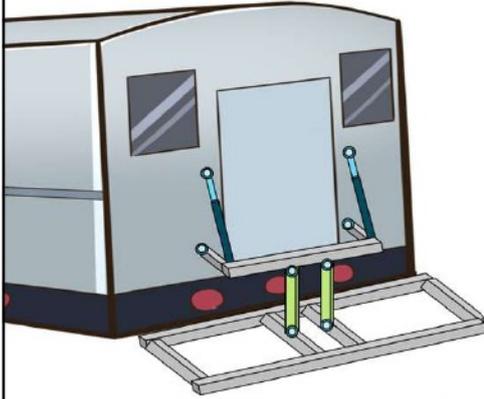
起點: 180K+20

終點: 193K+15

### 事件熱點分析

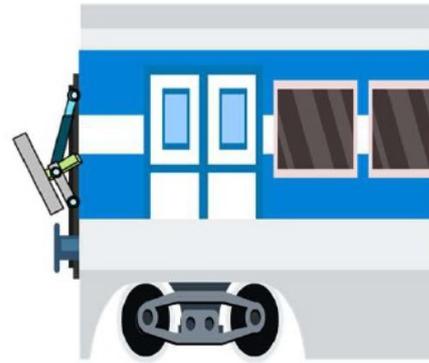
## 未來發展建議-機構設計規劃

- 採用收納式機構設計，收起後須可容納於動力機車與車廂間縫隙；於車廂前後各安裝一組，可隨時調轉方向。
- 配合各工務段巡查作業規劃個別設計。



機構設計(展開)斜視圖

Think Great · Act Smart



機構設計(收納)側視圖

wistron

簡報完畢 敬請指教

wistron