

109-021-7B68
MOTC-IOT-108-H1DB001i

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

中華民國 109 年 2 月

109-021-7B68
MOTC-IOT-108-H1DB001i

軌道扣件巡檢系統建置(1/2)- 扣件缺失辨識系統建置研究

著者：謝禎岡、黃維信、謝尚琳、林雅雯、
洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文

交通部運輸研究所

中華民國 109 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

軌道扣件巡檢系統建置. (1/2)：扣件缺失辨識系統
建置研究 / 謝禎岡等著. -- 初版. -- 臺北市：交
通部運研所，民 109.02

面；公分

ISBN 978-986-531-078-3(平裝)

1.鐵軌 2.牢繫物 3.鐵路工程

442.52

108023133

軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究

著者：謝禎岡、黃維信、謝尚琳、林雅雯、洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文

出版機關：交通部運輸研究所

地址：臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587191

出版年月：中華民國 109 年 2 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：150 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010900120 ISBN：978-986-531-078-3 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-078-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1010900120	運輸研究所出版品編號 109-021-7B68	計畫編號 MOTC-IOT-108-H1DB001i
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：林雅雯 研究人員：林雅雯 聯絡電話：04-26587191 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：大同大學 計畫主持人：謝禎岡 協同主持人：黃維信、謝尚琳 研究人員：洪瑋宏、杜宇豪、賈漢文 地址：臺北市中山區中山北路 3 段 40 號 聯絡電話：(02)2182-2928		研究期間 自 108 年 02 月 至 108 年 11 月
關鍵詞：鐵路軌道巡檢、軌道扣件、人工智慧、自動檢測、雲端服務			
摘要： 鐵軌扣件為軌道扣件系統最重要之組件，可將鐵軌緊扣在軌道上，對於列車能否平穩及安全的行駛影響至鉅。早期由道班工人員徒步進行軌道巡查與維修工作，逐步調整為利用軌道巡查車方式進行，但仍完全依賴人力目視檢視，但巡查時人員目視結果可能受限於巡檢車速及視察角度等問題，甚至長期目視而可能造成疲乏，而發生疏漏的問題。本研究除了收集瞭解國外軌道檢測相關之研究成果外，也建立軌道扣件影像的收集設備，包含影像記錄設備及照明設備，再依收集之軌道扣件資料，透過影像標記處理，採用 Yolo v3 進行深度學習模型訓練，再從測試資料驗證扣件缺失檢出率，以期建立一套扣件影像巡檢自動辨識系統，可用以檢測鐵路軌道扣件是否脫落。在實驗中，影像擷取的部份，採用運動型攝影機 GoPro 進行拍攝，共錄製 70 公里軌道扣件影像，扣件檢出率 82.5%，扣件缺失檢出率 74.5%，可達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的。為方便軌道巡檢人員尋找扣件，另開發雲端儲存、辨識、與查詢等功能，可在 Google Map 上顯示百公尺樁，容易定位缺失扣件，進行維修。 成果效益與應用情形： 本研究成果可提供交通部或臺灣鐵路管理局軌道維護單位，在日常軌道巡檢上，有效管理軌道安全，作為後續維護與補強軌道之參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
109 年 2 月	190	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。
機密等級： ☐限閱 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密【限】條件：☐ 年月日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒普通			
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 Fastener Inspection System Establishment (1/2) - A Research on the Establishment of a Defective Fasteners Detection System			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-078-3(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010900120	IOT SERIAL NUMBER 109-021-7B68	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-108-H1DB001i
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-Wen Lin PROJECT STAFF: Ya-Wen Lin PHONE: (04) 26587191 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2019 TO November 2019
RESEARCH AGENCY: Tatung University, Department of Computer Science and Engineering PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen-Chiung Hsieh, Wei-Shin Huang, and Shang-Lin Hsieh PROJECT STAFF: Wei-Hung Hung, Yu-Hao Du, and Han-Wen Jia ADDRESS: #40, Sec.3, Zhongshan N. Rd., Taipei, 104, Taiwan, R.O.C PHONE: (02)2182-2928			
KEY WORDS: Railway track inspection, Tack fastener, Artificial intelligence, Automatic inspection, Cloud service			
Abstract: The railway track fastener is used to fasten the railway track onto the crosstie to improve the train's stability and safety. Currently, there are some automatic detection systems developed for track safety; however, these systems are customized for different countries due to different types of track standards. The deployment methods range from traditional computer vision to deep learning based. In this study, we proposed using Yolo v3 instead of the earlier SSD, R-CNN, and faster R-CNN. We set up a fastener recording device on a flat track car by using sport cameras and LED lamps to capture images of track fasteners. Users could queue the fastener videos to the first buffer for upload, and the uploaded videos could be queued to the second buffer for defective track fastener detection. The trained Yolo v3 neural network classification module is encapsulated as a Web API for this task. In the experiments, a total of 70km track fastener videos were captured in a 1920*1080 resolution at a speed no more than 35km/hour due to low light at night. There are six types of normal fasteners and four defective types defined for inspection. We split the dataset into 80% as training and 20% for testing. The average detection rates for normal and defective fasteners were 82.5% and 74.5%, respectively, which achieved the goal of efficient inspection of railway track. Finally, the GPS position of the defective fastener interpolated in the captured video is used to find the nearest hundred meter of track which in turn is used to calculate the offset in order to search for the detected defective fastener. Through this way, human efforts could be greatly reduced. Benefits and Applications: The research results can serve as a reference for the Ministry of Transportation and Communications and or the Taiwan Railway's track maintenance unit in subsequent maintenance and reinforcement of tracks in order to effectively manage track safety in the daily track inspection.			
DATE OF PUBLICATION February 2020	NUMBER OF PAGES 190	PRICE 150	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

軌道扣件巡檢系統建置(1/2)- 扣件缺失辨識系統建置研究

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	X
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫背景分析.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-4
1.3 工作項目.....	1-4
1.4 研究流程.....	1-6
1.5 甘特圖及查核點.....	1-6
1.6 研究範圍.....	1-8
第二章 軌道檢測文獻回顧.....	2-1
2.1 軌道巡查與檢測現況.....	2-1
2.2 軌道扣件.....	2-3
2.3 AI 影像辨識.....	2-5
2.4 軌道影像辨識應用.....	2-10
第三章 軌道扣件系統與檢測設備之規劃與建置.....	3-1
3.1 系統運作架構規劃.....	3-1
3.2 軌道扣件影像記錄設備評估.....	3-6
3.3 照明設備與供電.....	3-11

3.4 平車製作與設備架設.....	3-13
3.4.1 平車製作.....	3-13
3.4.2 影像記錄與照明設備架設.....	3-16
3.4.3 加強版照明設備架設.....	3-19
3.5 缺失定位.....	3-21
3.5.1 GoPro GPS 資料解析.....	3-21
3.5.2 虛擬偵測圓.....	3-22
3.6 影像辨識網站前後端系統建置	3-24
3.6.1 AI 伺服器硬體.....	3-25
3.6.2 CUDA 加速器.....	3-27
3.6.3 YOLO 辨識軟體.....	3-29
3.6.4 YOLO Web API	3-32
3.6.5 扣件影像管理與辨識網站.....	3-36
3.7 未來軌面缺失可辨識種類	3-40
3.8 未來相關軟硬體設備成本	3-41
第四章 軌道扣件檢測成果	4-1
4.1 實測結果.....	4-1
4.1.1 GoPro 安裝實測	4-1
4.1.2 GoPro 長時間實測	4-4
4.1.3 夜間錄影實測.....	4-5
4.2 扣件分類與 AI 模型建立	4-8
4.2.1 扣件資料收集.....	4-8
4.2.2 訓練資料處理.....	4-11
4.2.3 AI 模型評估.....	4-12
4.2.4 扣件分類初步結果.....	4-14

4.2.5 側線實測扣件資料辨識.....	4-16
4.2.6 正線實測夜拍扣件辨識.....	4-18
4.3 正線 70km 場域測試	4-20
4.3.1 影片標註處理.....	4-20
4.3.2 AI 模型評估	4-21
4.4 論文發表.....	4-27
第五章 結論與建議	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-5
5.3 預期效益與應用情形.....	5-7
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表	附錄 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表	附錄 2-1
附錄三 軌道扣件缺失辨識系統使用手冊	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 鐵路路線構造	1-1
圖 1.2 研究流程圖	1-6
圖 2.1 EM-80 軌道檢測車	2-2
圖 2.2 工程維修車	2-2
圖 2.3 工程維修車前探照燈及巡查作業檢視平台	2-3
圖 2.4 軌道扣件	2-3
圖 2.5 Pandrol e 型扣件	2-5
圖 2.6 (a)CNN 經典模型，(b) RNN 經典模型，(c) GAN 經典模型 ..	2-6
圖 2.7(a)主機板元件 Mask R-CNN 辨識結果，(b)VIA 圈選辨識目標 示意圖	2-8
圖 2.8 物體辨識後標示結果	2-9
圖 2.9 軌道扣件辨識結果	2-9
圖 2.10 CSEM 自動診斷軌道系統架構	2-11
圖 2.11 LRAIL 架設方式（一）	2-12
圖 2.12 LRAIL 架設方式（二）	2-12
圖 2.13 LRAIL 檢測顯示結果	2-13
圖 2.14 1998-2009 年間最常造成脫軌之原因	2-15
圖 3.1 系統運作架構	3-2
圖 3.2 前端控制系統流程	3-4
圖 3.3 後端伺服器處理流程	3-6
圖 3.4 GoPro Hero7 Black	3-8
圖 3.5 FDR-X3000R	3-8
圖 3.6 DJI Osmo Pocket	3-9

圖 3.7 10W LED 探照燈	3-11
圖 3.8 200W 照明燈	3-12
圖 3.9 GoPro Hero7 Black 固定位置示意圖	3-14
圖 3.10 平車設計示意圖	3-14
圖 3.11 平車製作 (一)	3-14
圖 3.12 平車製作 (二)	3-15
圖 3.13 平車吊掛上貨車	3-15
圖 3.14 平車實測前安裝 GoPro	3-15
圖 3.15 平車組裝完成照片	3-16
圖 3.16 GoPro 寬管型固定座	3-16
圖 3.17 GoPro Hero7 Black 固定位置圖	3-17
圖 3.18 照明設備架設示意圖	3-18
圖 3.19 鋁擠型架規格尺寸	3-18
圖 3.20 以鋁擠型架固定燈具情形	3-19
圖 3.21 燈具架設不同位置之結果，(a)燈具位於兩側，(b)燈具位於 軌道上方，(c)一邊一盞 200W LED，再以發電機供電	3-19
圖 3.22 平車上照明設備組立情形	3-20
圖 3.23 (a) GPX 檔案內容，(b) GoPro 軌道扣件錄影檔案解析定位顯 示於 Google Map	3-22
圖 3.24 (a) 臺鐵路百公尺標，(b) 虛擬偵測圓	3-23
圖 3.25 大甲分駐所旁軌道側線拍攝軌道扣件定位測試，(a) Google Map 顯示，(b) 以測距儀(紅色圓圈)實地勘察	3-24
圖 3.26 系統架構包括前端子系統和後端存儲/分類伺服器	3-25
圖 3.27 AI 伺服器主機版與 CPU	3-26
圖 3.28 RTX2080TI 運算卡，(a)外觀具兩支風扇，(b)內部運算晶片	

.....	3-28
圖 3.29 不同類型運算卡表現效能	3-28
圖 3.30 NVIDIA 2080Ti AI 加速卡效能比較.....	3-29
圖 3.31 YOLO 演算法運算流程	3-30
圖 3.32 YOLO anchor box 示意圖.....	3-31
圖 3.33 YOLO V3 架構圖.....	3-32
圖 3.34 將 YOLO 包裝為 Web APP 的技術細項.....	3-34
圖 3.35 扣件影像管理與辨識網站-歷次檢測辨識進度.....	3-37
圖 3.36 扣件影像管理與辨識網站-辨識結果清單.....	3-38
圖 3.37 扣件影像管理與辨識網站-辨識結果內容.....	3-38
圖 3.38 扣件影像管理與辨識網站-原始影像檢視.....	3-39
圖 3.39 扣件影像管理與辨識網站-缺失位置顯示	3-39
圖 4.1 GoPro 固定	4-2
圖 4.2 GoPro 固定情形	4-2
圖 4.3 GoPro 固定後垂直拍攝軌道影像.....	4-3
圖 4.4 實測軌道扣件影像（一）	4-3
圖 4.5 實測軌道扣件影像（二）	4-3
圖 4.6 夜間實測吊掛平車	4-5
圖 4.7 調整夜間實測照明設備位置	4-6
圖 4.8 夜間實測影像，(a) 模糊， (b) 殘影嚴重	4-6
圖 4.9 加強夜間照明實測	4-7
圖 4.10 一邊兩盞 200W 照明燈而且降低光源，取像結果清晰可用.....	4-7
圖 4.11 雙開道岔.....	4-9
圖 4.12 雙開反位道岔	4-9
圖 4.13 左開關節式道岔分歧側	4-10

圖 4.14 軌道扣件負樣本（一）	4-10
圖 4.15 軌道扣件負樣本（二）	4-11
圖 4.16 YOLO 標籤製作工具	4-12
圖 4.17 IoU 含義	4-13
圖 4.18 臺鐵軌道扣件初步分類	4-14
圖 4.19 YOLO 訓練結果數據	4-15
圖 4.20 YOLO 辨識結果.....	4-16
圖 4.21 YOLO 進行側線辨識結果	4-17
圖 4.22 進行正線夜拍辨識結果，(a) normal(正常)，(b) break (損壞或 缺失).....	4-20
圖 4.23 AI 模型 Loss Funtion 收斂曲線圖	4-22
圖 4.24 進行正線夜拍辨識，normal 為正常，break 為損壞或遺失， (a) 均為 normal 正常，(b) 左側為扣件遺失，(c) 左邊扣件 遺失	4-23
圖 4.25 發表之論文(部份擷取).....	4-27
圖 4.26 論文發表之照片	4-27

表目錄

表 1-1 甘特圖及查核點	1-7
表 2-2 各國大廠扣件種類表	2-4
表 3-1 GoPro、Sony、DJI 運動型錄影機之比較	3-10
表 3-2 LED 探照燈規格	3-11
表 3-3 200W 照明燈規格	3-12
表 3-4 GoPro 寬管型固定座規格.....	3-17
表 3-5 設備架設問題與解決方式	3-20
表 3-6 軌面缺失可辨識種類	3-40
表 3-7 CAT 廠牌之 S61 型軍規智慧型手機規格	3-41
表 4-1 初步訓練成效	4-15
表 4-2 修正後軌道扣件分類	4-17
表 4-3 新增夜拍資料後軌道扣件辨識結果	4-19
表 4-4 正線 70km 夜拍影片標註處理	4-21
表 4-5 正線 70km AI 模型辨識結果	4-24
表 4-6 正線 70km AI 模型辨識結果	4-25
表 4-7 正線 70km AI 模型辨識結果	4-26
表 5-1 本計畫具體成果	5-1
表 5-2 本系統效益分析與比較	5-4

第一章 緒論

1.1 計畫背景分析

臺灣鐵路的發展一般以清朝臺灣首任巡撫劉銘傳於 1887 年成立「全臺鐵路商務總局」鋪設臺灣鐵路為開始，當時規劃的路線從雞籠（基隆）經臺北、竹塹（新竹）到臺南。但劉銘傳去職後繼任巡撫以臺灣財政困難為由，奏請清廷中止臺灣鐵路的興建，故在臺灣被日本統治前當時的鐵路只有基隆經臺北到新竹路段，整體發揮的效益有限，臺灣鐵路完整體系的發展主要是奠基於日治時期^{[1][2]}。

目前以西部幹線（包括縱貫線、臺中線、成追線、屏東線）、東部幹線（宜蘭線、北迴線、臺東線）、南迴線構成的環島鐵路路網，為臺鐵局主要的營運路線，其他還包括客運支線（如平溪線、集集線、內灣線……等等）、貨運支線（臺中港線、高雄港線、花蓮港線），營運總里程約 1,070 公里，軌道長度約 2,500 公里^[2]。

依據交通部臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵局）所稱，鐵路路線為列車或車輛運轉所必需的通路，包括軌道（Track）及承載軌道的路基（Roadbed）與橋涵等構造物。一般的軌道係由道碴、軌枕、鋼軌及扣件所組成，供列車及車輛通行的構造物。路線斷面如圖 1.1 所示^[3]。

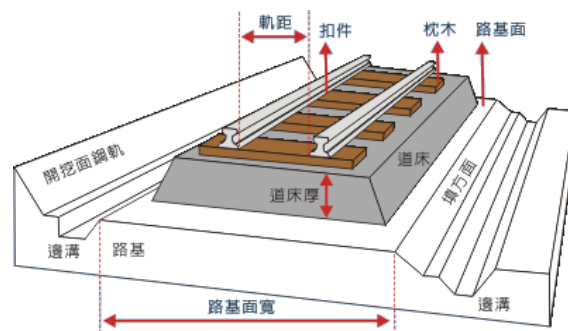


圖 1.1 鐵路路線構造^[3]

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

為確保扣件的正常運作，非常仰賴人工目視巡檢。早期由道班工作人員徒步進行軌道巡查與維修工作，2 人一組，其中一人扮演警戒角色，同時身上配有無線電，隨時接收列車進站或通行的訊息。但仍可能因為疏失而發生致命的意外，如 2014 年 7 月 7 日發生在龍井站的事故，不幸造成 2 名道班工執行例行軌道巡查時遭自強號撞死。在 2006 年 3 月 10 日凌晨，在花蓮崇德段也發生過類似的嚴重事故，不幸造成 5 名在鐵道軌上線修的道班工及電務工喪命，家屬悲慟不已。

為避免憾事一再發生，臺鐵局也做了許多的改善作業，如強化標準作業程序，讓警戒及提醒機制更為落實，也將巡查及維修作業調整於夜間無列車通行時段進行。雖然軌道巡查作業方式，也逐步調整為利用軌道維修車協助之方式進行，但仍完全依賴人力目視檢視，但巡查時人員目視結果可能受限於巡檢車速及視察角度等問題，甚至長期目視而可能造成疲乏，而發生疏漏的問題。為能減輕人員的工作負擔，並確保巡查檢視的準確性，實有必要結合科技力，提供更有效的解決方案。

2017 年 5 月在中國浙江省烏鎮舉辦的圍棋峰會上，AlphaGo 以 3:0 的成績打敗世界排名第一的柯潔。隨後 AlphaGo 也宣佈退役，不再與人類下棋。但在同年 10 月中旬，開發 AlphaGo 的 DeepMind 公司公佈了 AlphaGo 的升級版本 AlphaGo Zero，透過自我學習，經過 3 天的訓練，就以 100:0 的戰績完勝 AlphaGo，令世人相當震撼，也宣告 AI（人工智慧，Artificial Intelligence）世代正式降臨。

AI 發展至今已超過 60 年以上，為何到現在才開始大爆發呢？有人歸因為三大因素：資料量遽增、儲存成本降低及電腦運算速度大幅提昇、深度學習技術的突破。其中資料量遽增的部份，主要是因為網路、雲端及智慧型手機的普及，每人每日產生的數據資料遽增，所以更容易取得夠多的資料協助電腦進行訓練。近 60 年來電腦處理器的運算效能提升了一兆倍以上，再加上雲端儲存成本降低後，這代表遽增的資料不但有地方儲存，電腦也有能力去快速消化。最後深度學習技術的突破，讓電腦更可以用類似人類思考的類神經網絡進行學習，這也讓電腦的視覺、聽覺進步神速^[6]。

AI 雖然似乎可以協助解決許多現實環境中的問題，但更重要的是，AI 運作相當依賴訓練資料，當有越多越好的資料提供 AI 進行訓練時，就有可能提供更準確的判斷。因此本研究之目的在於，如何收集軌道扣件 AI 訓練所需的資料，再調校軌道扣件 AI 的辨識成果，以達到具實務應用價值之目的。本研究除透過文獻回顧，收集瞭解國外軌道檢測相關之研究成果外，也會建立軌道扣件影像的收集設備（包含影像記錄設備及照明設備等），再依收集之軌道扣件資料，透過影像標記處理，提供 AI 進行訓練，再從訓練結果確認扣件檢出率及扣件缺失辨識準確率能符合計畫所需。

1.2 研究目的

本研究係針對交通部臺灣鐵路管理局鐵道巡檢工作自動化之需求，利用人工視覺辨識方式進行影像擷取及分析，用以檢測鐵路軌道扣件是否脫落，期建立一套扣件影像巡檢自動辨識系統。

影像擷取的部份，以運動型攝影機 GoPro 進行軌道扣件影像拍攝，利用照相結果搭配 AI 深度學習方法，作為鐵路軌道扣件自動判釋分析之用途，用來替代目前人工巡檢工作，達到鐵路軌道扣件影像辨識檢測的目的。

1.3 工作項目

本研究之工作項目整理如下：

1. 蒐集國內外鐵路軌道扣件巡檢文獻及案例，敘述其檢測設備、方法及成效等。
2. 探討現行照相機或攝影機，安裝於臺鐵局工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵局工程維修車上，須滿足夜間臺鐵局工程維修車車行進速度至少於 30Km/hr 時仍可獲取足供 AI 判釋之清晰影像，並研提可行性分析。
3. 利用現行深度學習方式，提供軌道扣件判釋的快速解決方案。
4. 提供軌道定位解決方案，搭配上上述 AI 方式，有效定位出有問題的扣件位置。
5. 在臺鐵局臺中工務段工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵局工程維修車上裝設項目 2 之照相機或攝影機、照明及定位等相關設備。（如能裝設相關電腦設備同步分析更佳）
6. 進行物件辨識資料庫之建立與訓練。

7. 在臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區（來回里程總計至少 70 公里）利用項目 5 之設備獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之扣件，提出扣件檢出率及扣件缺失辨識準確率並驗證。
8. 建立扣件影像缺失辨識及定位系統，分析判斷及定位有缺失之扣件，並產製扣件缺失報告，研提系統使用手冊。
9. 利用所擷取軌道影像，提出未來軌面缺失可辨識種類及可行性。
10. 研提未來採購相關軟、硬體設備所需成本，依據合約規定期程進行期中及期末報告審查及依本所指示召開工作會議。

1.4 研究流程

本研究進行的研究流程如圖 1.2 所示。

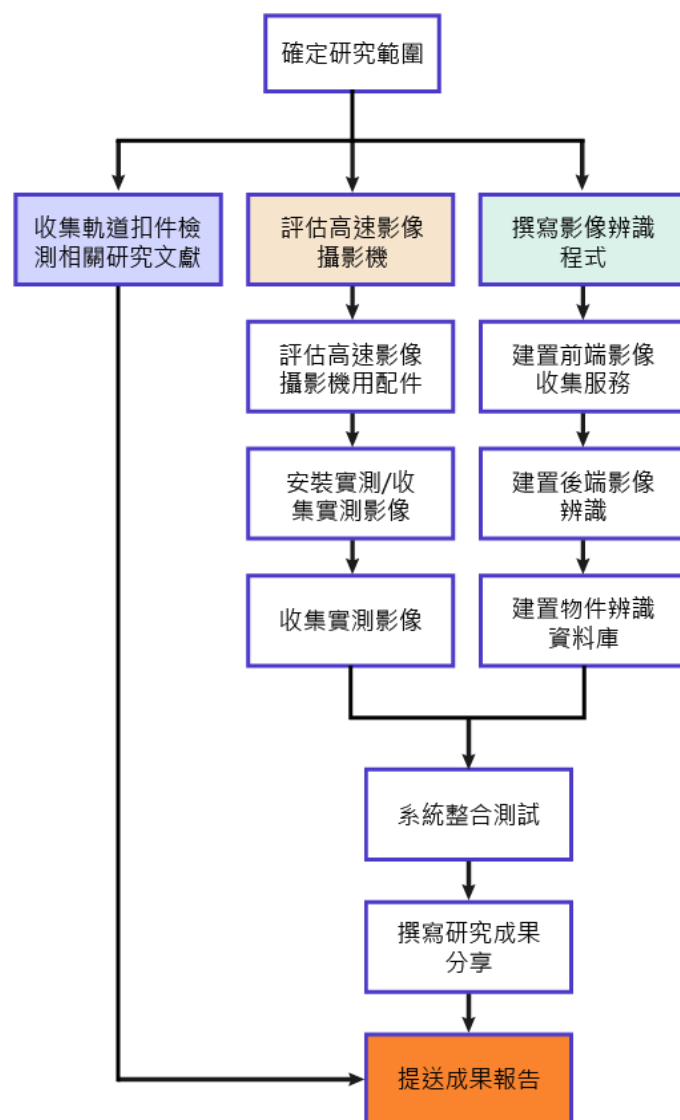


圖 1.2 研究流程圖

1.5 甘特圖及查核點

本研究的甘特圖及查核點如表 1-1 所示。

表1-1 甘特圖及查核點(▲)

工作項目與內容 \ 月次	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月
確認工作項目與內容	**									
(一)蒐集國內外鐵路軌道扣件巡檢文獻及案例，敘述檢測設備、方法及成效等	**	**	** ▲							
(二)探討現行照相機或攝影機，安裝於臺鐵局工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵局工程維修車上，須滿足夜間臺鐵局工程維修車車行進速度至少於 30Km/hr 時仍可獲取足供 AI 判釋之清晰影像，並研提可行性分析。		**	**	**	** ▲					
(三)利用現行深度學習方式，提供軌道扣件判釋的快速解決方案。				**	** ▲					
(四)提供軌道定位解決方案，搭配上上述 AI 方式，有效定位出有問題的扣件位置。			**	** ▲						
(五)在臺鐵局臺中工務段工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵局工程維修車上，裝設項目 2 之照相機或攝影機、照明及定位等相關設備。（如能裝設相關電腦設備同步分析更佳）。				**	** ▲					
(六)進行物件辨識資料庫之建立與訓練。					** ▲					
(七)在臺鐵局臺中工務段管轄範圍內選定一鐵路軌道區(來回里程總計至少 70 公里)利用項目 5 之設備獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位有缺失之扣件，提出扣件檢出					**	** ▲				

率及扣件缺失辨識準確率並驗證。										
(八)建立扣件影像缺失辨識及定位系統，分析判斷及定位有缺失之扣件，並產製扣件缺失報告，研提系統使用手冊。						**	** ▲			
(九)利用所擷取軌道影像，提出未來軌面缺失可辨識種類及可行性。							** ▲	**		
(十)研提未來採購相關軟、硬體設備所需成本，依據合約規定期程進行期中及期末報告審查及依本所指示召開工作會議。					** ▲		**	***	** ▲	
(十一)參考「科技計畫績效管考平台」之績效指標，填列量化或質化本研究成果。									***	** ▲
預定進度累計百分比(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

1.6 研究範圍

由於臺鐵局軌道所使用的扣件可能有許多種不同的型式及廠牌，本案與臺鐵局人員工作會議討論後，以重要性較高之扣件型式為研究範圍，包括 e-Clip、道釘、魚尾鉸、滑床鉸及護軌墊鉸。依本計畫之研究主題與重點所提測試路段為臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區（來回里程總計至少 70 公里）進行實測。

第二章 軌道檢測文獻回顧

2.1 軌道巡查與檢測現況

鐵路運輸每日運載的旅客及貨物量相當龐大，依據「交通部統計查詢網」公告的資料，2018 年全年的載運的旅客人數超過 2.3 億人次，平均每日搭乘人次超過 63 萬人次；運送的貨物噸數超過 770 萬噸，平均每日運送超過 2.1 萬噸。為確保旅客及貨物運送的安全，依據規定軌道每年至少舉行總檢查一次，包括軌道養護狀況、軌道現時狀況及養護作業方法，其檢查計分及獎懲由鐵路機構定之。

對於鐵道的巡查作業，現行作業每週至少一天，由道工班同仁進行徒步巡查，每月至少一天，由領班徒步巡查，並依據巡查情形填寫巡查紀錄簿，並於車站簽到證明有進行巡查。為確保道工班同仁的作業安全，都會盡量以夜間作業為主，且確定工作區間軌道上列車無運轉之情形。若進行日間巡查時，亦會要求巡查人員不能影響行車運轉，並以 1 人檢修、另 1 人瞭望的標準作業程序進行巡查作業。雖然道工班同仁大多已有多年工作經驗，但總會發生因為疏失而造成的遺憾事件。

在軌道檢測車的部份，目前臺鐵局僅有一輛由美國 Plasser American Corp. 公司出產的 EM-80 軌道檢測車（如圖 2.1 所示）。EM-80 必須負責環繞全臺，每個工務段一季只能檢測一次，且該檢測車自 1980 年開始使用至今，也已超過當時設定的使用年限。



圖 2.1 EM-80 軌道檢測車

為提昇人工查道之精確性及安全性，臺鐵局也嘗試使用工程維修車以協助巡檢作業（如圖 2.2 所示），並利用車頭前的探照燈提供巡查時必要之光線。巡查人員則站在前方的平台（如圖 2.3 所示）中以目視方式進行檢測，當發現缺失時予以記錄，並做為後續的改善參考。



圖 2.2 工程維修車

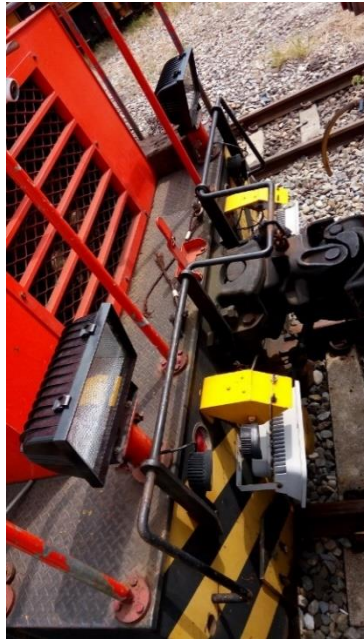


圖 2.3 工程維修車前探照燈及巡查作業檢視平台

2.2 軌道扣件

鐵軌扣件（如圖 2.4 所示）為軌道扣件系統最重要之組件，其直接將鐵軌緊扣在軌枕上，主要功能為提供鐵軌受垂直、縱向、側向等三向力時，有足夠之扣壓力，得以阻擋鋼軌因三向力所造成之三向（垂直、縱向、側向）變位不致過大，因此整個軌道扣件系統具備下列幾項功用：(1)對下部結構具有緩衝作用；(2)可抵抗鋼軌側翻擾動；(3)具電氣絕緣等功能，確保兩鐵軌間的軌距為一定值，來達到讓鐵軌能穩定固著於軌道承拖系統上，降低列車搖晃，提高行車舒適度^[4]。



圖 2.4 軌道扣件^[4]

市面上常用的軌道扣件形式相當多，而且外形差異頗大，而軌道扣件都與其他零組件搭配成獨立單元，直接固定鋼軌於整體扣件系統之上，以阻擋鋼軌因三向力（垂直、縱向、側向）所造成的三向變位不致過大。目前世界各國軌道所使用的扣件整理如表 2-1 所示^[7]。

表2-1 各國大廠扣件種類表^[7]

固定方式	外觀	扣件名稱
螺栓式	鋼條	德國 Vossloh W 型扣件
	鋼鈑	法國 Stedef Nabla 扣件、RN 扣件
		日本 102 型扣件等
	鋼塊	德國 K 型扣件
非螺栓式	鋼條	英國 Pandrol e 型扣件、PR 型扣件、FastClip
		荷蘭 DE 扣件
		美國 Sidewinder 扣件
		瑞士 Fist 扣件
		瑞典 Hambo 扣件
	鋼鈑	澳洲 Mc Kay Safelok 扣件
		英 Pandrol Safelok III 型扣件
		澳洲 Rex-Lok 扣件

其中英國 Pandrol International Limited 公司所生產的 Pandrol e 型扣件（如圖 2.5 所示），安裝方便且易於保養維修，廣泛使用於臺鐵路環島鐵路路網上^[7]。

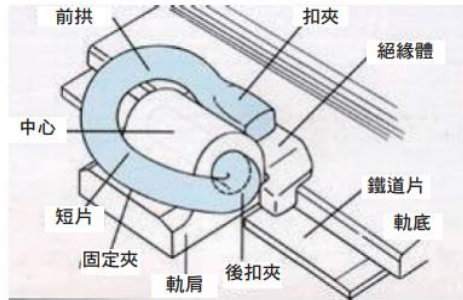


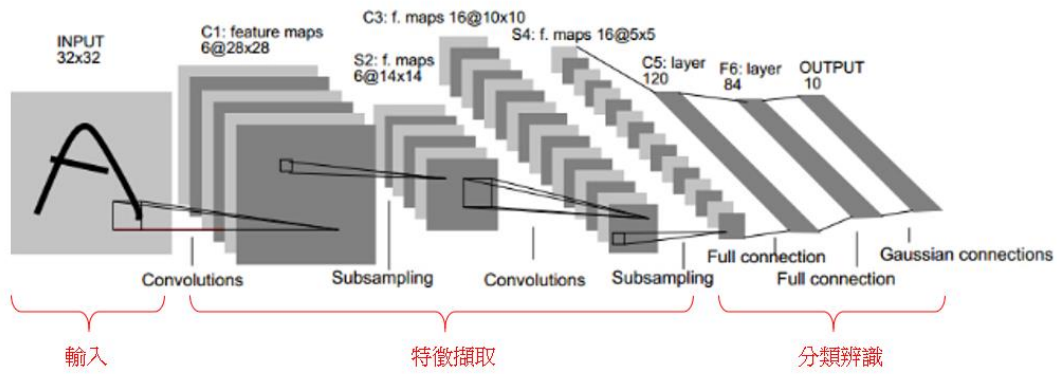
圖 2.5 Pandrol e 型扣件^[7]

除了 Pandrol e 型扣件外，臺鐵局還有使用其他類型的扣件，後續進行 AI 影像辨識時，須先建立各式扣件的影像資料庫，提供判斷分析使用。

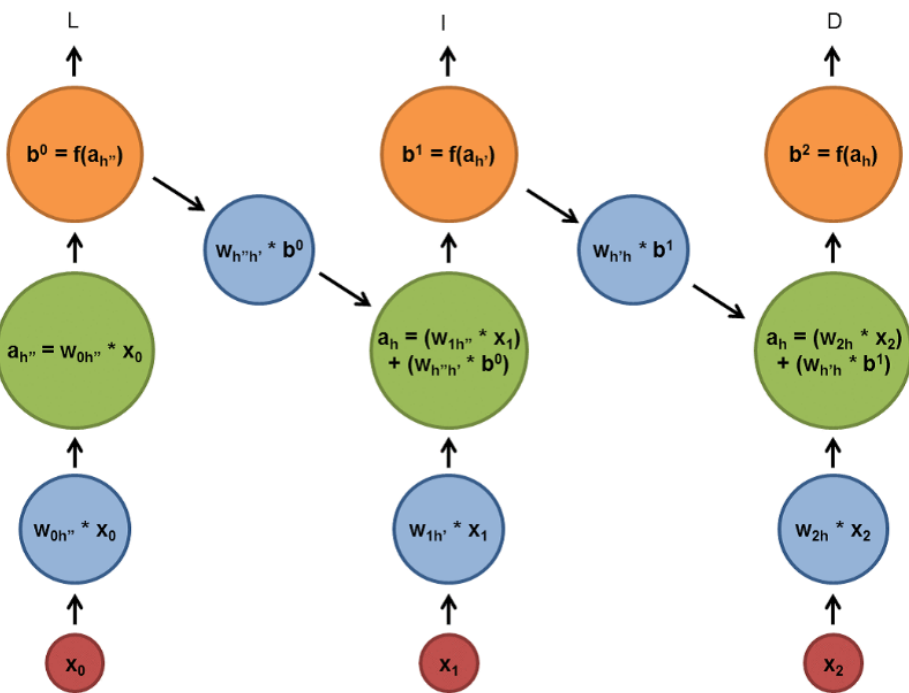
2.3 AI 影像辨識

近年來由於深度學習（Deep Learning）的類神經網路蓬勃發展，幾乎所有的生產製造及科技產業都圍繞著 AI 做發展智慧應用^[8]。目前常用的深度學習類神經網路結構，主流的作法有 CNN（Convolutional Neural Network, 卷積神經網路）^[9]、RNN（Recurrent Neural Network, 循環神經網路）^[10]及 GAN（Generative Adversarial Network, 生成式對抗網路）^[11]。

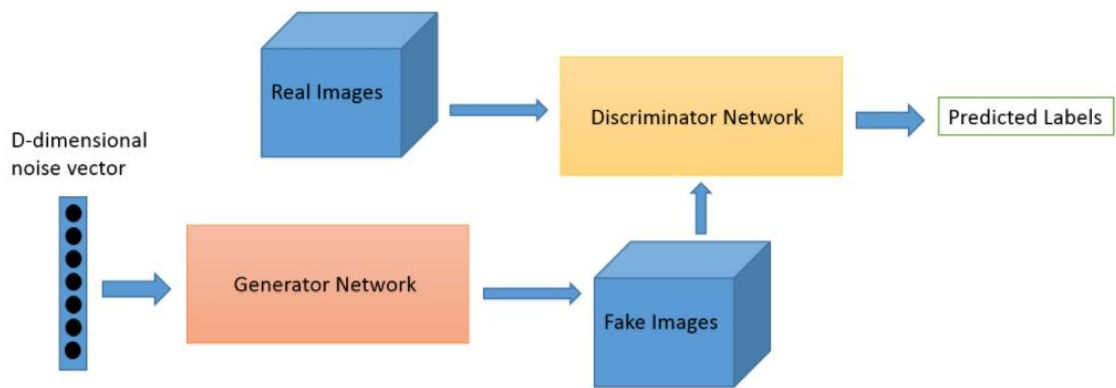
CNN 一直以來是深度學習中最重要的一部份，CNN 在影像辨識中甚至可以超越人類辨識的精準度，把 CNN 的概念理解過一遍之後，會發現其實 CNN 是一個很直觀的演算法，而且仔細想想，其實跟人類用眼睛去辨識有 87% 的相似，可用 CNN^[9]始祖 LeNet 來瞭解 CNN 是如何運作，如圖 2.6(a)。



(a)



(b)



(c)

圖 2.6 (a)CNN 經典模型^[9]，(b) RNN 經典模型，(c) GAN 經典模型

前述深度學習神經網路，是屬於前饋類神經網路（Feedforward Neural Networks，以下簡稱 FNN），每一層計算完成的輸出，只會單方向往前傳遞給下一層的輸入，也就是說輸入與輸出是獨立沒有關係的。而更進階的變化之一，就是遞歸神經網路（Recurrent Neural Network^[10]，以下簡稱 RNN）。RNN 與 FNN 之差異在於，RNN 可以將某層計算完成的輸出，再回傳給該層自己作為輸入。如圖 2.6(b)所示，藍色圓圈即為輸出，其同時也在下一個時間點（不是另一個隱藏層）成為自己的輸入之一。因此也有人說 RNN 具有記憶！

GAN^[11]是 2014 年蒙特婁大學博士生 Ian Goodfellow 提出來的，主要概念很簡單，一個是偽造者(counterfeiter)，另一個角色是警察，不斷從偽造者那邊拿到假鈔，判斷是真或假，偽造者就根據警察判斷結果的回饋，不斷改良，最後假鈔變成真假難辨，這就是 GAN 的概念。在 GAN 架構下，偽造者(counterfeiter)就稱為『生成模型』（generative model），警察稱為『判別模型』（discriminative model），簡單架構如圖 2.6(c)。

AI 影像辨識技術可以應用於軌道扣件的偵測，以及辨識其為正常或缺損，在此方面的研究可以參考自動光學檢測（Automated Optical Inspection, AOI）^[12]，AOI 的代表性應用是使用光學攝像頭取像後，再進行目標物辨識，可以運用 AI 技術檢測物體的瑕疵與異常，在工廠的生產線上經常發生元件有缺件、錯位、焊接失敗等缺陷，AOI 技術可以取代人眼、減少人力資源成本，並確保生產商品在每一個階段的品質。

目前實務運用上，對於物件偵測比較準確又有效率的是以 Mask R-CNN^[13] 和 YOLO^[14]為主。其中 Mask R-CNN 是一種實例分割的框

架，此框架共分成兩個階段。第一階段會產生辨識目標所在的區域，會利用矩形先圈選起來，接著第二階段再將目標區進行分類，於區域邊界生成邊框（如圖 2.7(a)所示）。Mask R-CNN 的資料庫建立可以使用 VIA (VGG Image Annotator)工具，其特色在於不僅可以使用矩形，還可以使用圓形、多邊形選取區域等，能讓辨識目標的外框更美觀（如圖 2.7(b)所示）。

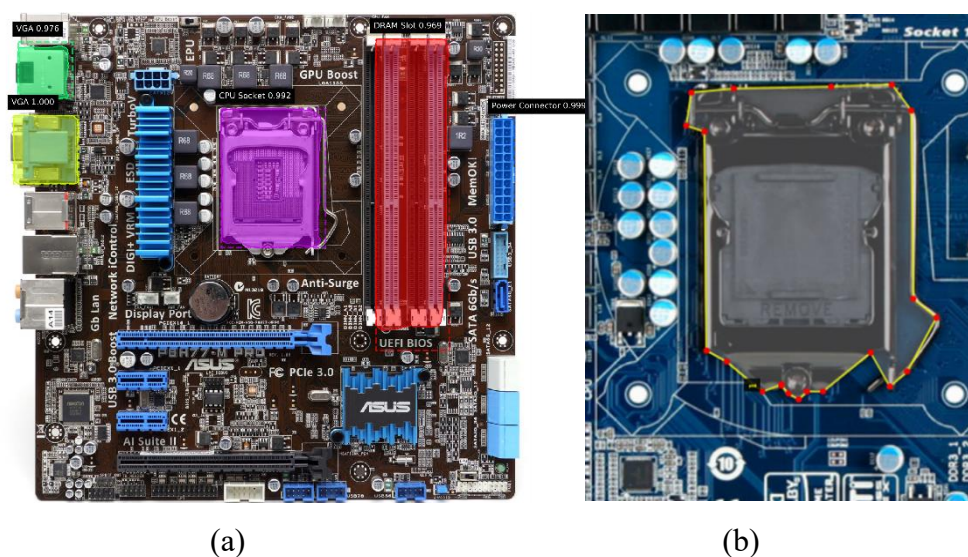


圖 2.7 (a)主機板元件 Mask R-CNN 辨識結果，(b)VIA 圈選辨識目標示意圖

而 You Only Look Once (YOLO)是一種物件偵測的神經網路演算法，以 Darknet 架構去進行實作。YOLO 的優點在於輕量且高效率，追求快速辨識與高準確度。目前也有很多的應用（如物體辨識等），利用矩形圈出辨識目標（如圖 2.8 所示），或應用在軌道扣件的辨識上，都可以有不錯的辨識結果（如圖 2.9 所示）。YOLO 的訓練資料建立工具為 YOLO Mark，其優點是操作簡單、屬性名稱只需要輸入一次、辨識速度極快，在 Titan X GPU 上的速度是 45 fps；缺點是位置精確性較差，對於小型目標物體以及密集物體的辨識率較低。雖然

扣件的體積小，但是當近距離或是放大拍攝後，扣件仍可準確的進行辨識，由圖 2.的辨識結果即可發現。

YOLO 和 Mask R-CNN 都是 CNN 所延伸出的，兩者的差異主要在於訓練資料時的速度，一樣的资料量 Mask R-CNN 比 YOLO 需要花多一倍的時間去訓練，主要原因是 YOLO 圈選辨識目標時用的都是矩形，但 Mask R-CNN 是使用多邊形去圈選。對於辨識元件來說，兩種方法都適用，但選擇使用 Mask R-CNN 的原因一般是元件外型為不規則形狀，利用多邊形來圈取目標物較適合。但扣件的大小固定，經評估後 YOLO 相當適合，而且辨識速度快。

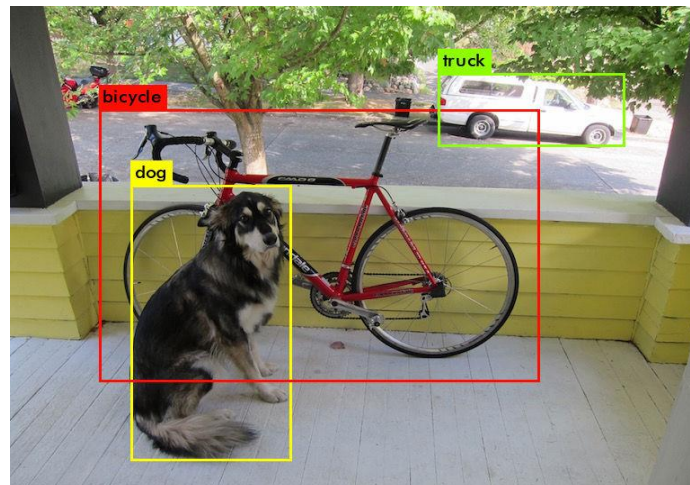


圖 2.8 物體辨識後標示結果

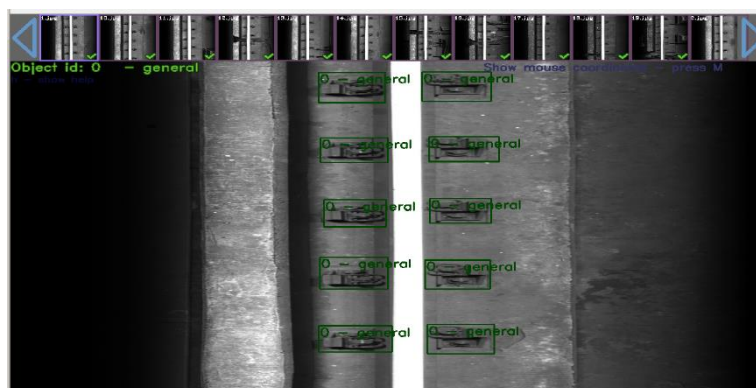


圖 2.9 軌道扣件辨識結果

2.4 軌道影像辨識應用

瑞士做為軌道運輸大國，火車準點率全球最高。為了確保軌道運輸的安全，瑞士也發展了自動診斷軌道系統，其架構如圖 2.10 所示。瑞士電子和微技術中心（Swiss Center for Electronics and Microtechnology, SCEM）為了自動診斷軌道的問題，在 2007 年就開始進行自動化系統^[15]開發，因為傳統影像辨識方法產生太多誤判（False Positives/Negatives），導致還需要人力再加以檢查一遍，所以改用深度學習改進這個缺點。過程中瑞士聯邦鐵路公司（Swiss Federal Railway, SBB）使用配備多個高解析度的攝影機及其他感測器的「診斷列車」（Diagnosis Trains），以時速 160 公里速度行駛取得分析所需的影像資料。透過深度學習技術，所希望達到的目的包括：

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

在計畫執行過程中，SBB 規劃每個月檢查 3,800 公里的軌道，以記錄不同天氣條件（如下雨、下雪、結冰）及非軌道物件（如樹葉、泥土等）的影像資料。透過訓練模型以檢測圖像中的感興趣區域（如鐵軌、扣件等），利用「生成對抗網路」（GAN）來辨識鐵軌中異常的部份。並將約 20 種不同的故障類別進行濃縮分類，區分為五大類（如焊接、接頭、表面缺陷、車輪滑移、扣件）。另外配合深度學習所需，針對收集到的影像進行標籤化處理。希望透過反覆不斷的學習與訓練，讓分析模型可以更為精準^[16]。

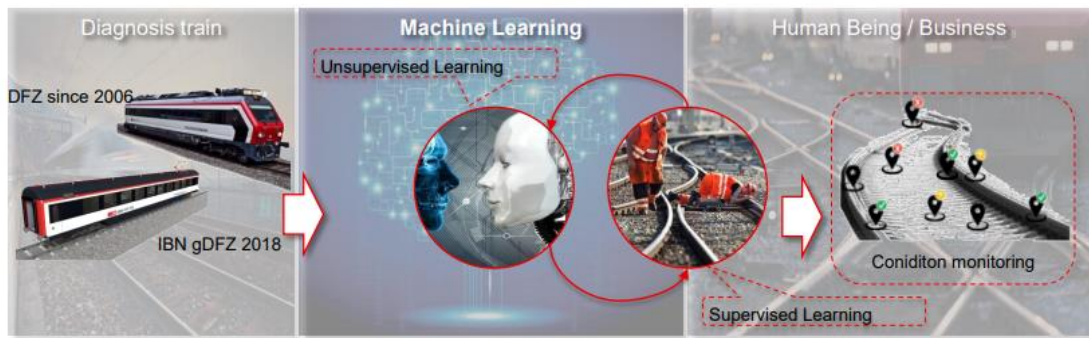


圖 2.10 CSEM 自動診斷軌道系統架構

加拿大 Pavemetrics 公司的 Laser Rail Inspection System (LRAIL)^[17]推出新式的全方位軌道檢測系統，可架設在改裝的車輛（如圖 2.11 所示）或是火車頭前（如圖 2.12 所示），其檢測結果如圖 2.13 所示。LRAIL 主要之特點如下：

1. 檢測速度可達 180 km / h
2. 同步 3D 幾何測量和高分辨率成像
3. 白天和夜間操作，免受陰影影響。
4. 全自動鐵路檢查：
 - (1) 木枕木評分(位置、歪斜角度、裂縫、斷裂、腐爛、缺少道釘)
 - (2) 混凝土枕木評分(位置、歪斜角度、裂縫長度、裂縫深度、裂縫寬度)
 - (3) 扣件檢測(位置、型式、移位、缺少、遮蔽)
 - (4) 岔心檢測（位置、TPOC、磨損）
 - (5) 尖軌檢測（位置、趾端偵測、趾端損壞、踵端偵測）
 - (6) 鋼軌踏面缺失(剝離、裂縫)
 - (7) 鋼軌接頭檢測及接頭軌縫量測
 - (8) 軌道軌距、水平、方向、高低檢測
 - (9) 軌頭 3D 剖面及磨損檢測

5. 使用里程點和慣性校正的 GPS 自動對數據進行位置參考
6. 傳感器每個僅重 10 公斤，可安裝在軌道車輛或專用檢查車上
7. 堅固的組件安裝在環境密封的外殼中
8. 低功耗
9. 數據壓縮算法，以最小化儲存。



圖 2.11 LRAIL 架設方式（一）



圖 2.12 LRAIL 架設方式（二）

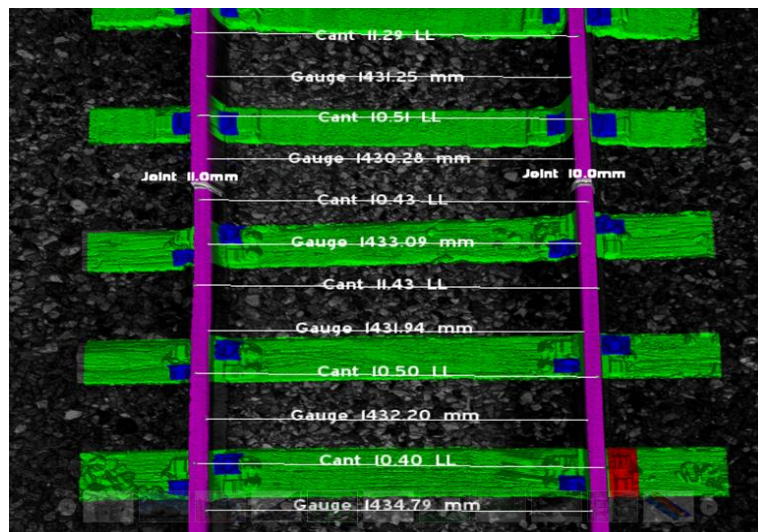


圖 2.13 LRAIL 檢測顯示結果

印度有世界上最大的鐵道網絡^[18]，但是他們沒有參與國際標準訂定，鐵路的許多事故都是由於軌道故障造成的，這些事故會造成嚴重損害。因此 Ladola et al.^[18] 設計用於鐵路軌道故障自動檢測的一些組件，如應用紅外線傳感器檢測裂縫、GPS 定位故障並以 GSM 簡訊發送、運行系統採用 Arduino。檢測車輛由太陽能電池板和電池供電，是一種節能系統。

Ritika et al.^[19]提出了一個真實的系統，以攝像頭結合 GPS，用於檢測軌道並紀錄位置。該攝像頭經過精心設計，可於火車移動中拍攝影像，並以每秒 30 幀左右的速度提供穩定的圖像。運用先進的圖像分析和深度學習技術，以這些攝像頭拍攝檢測軌道的信號，創建數據庫。印度的鐵路信號在形狀和放置規則方面與道路信號有很大不同，由於空間限制和城市地區的交通密度，信號不是放在同一側軌道，甚至多條軌道路線可以並行，因此，需要將檢測到的信號與火車運行的軌道關聯起來。他們的方法是在引導機車上安裝前置攝像頭，選擇感興趣區域做軌道檢測，共實驗 150 公里，247 個信號的路線，總體準確率為 94.7%。

Karakose et al.^[20] 基於計算機視覺的監測方法，進行不良軌道偵測，這種方法越來越多地用於鐵路系統。鐵路狀況監測過程可以在電腦的輔助下獲得數據並進行分析。在這項研究中，把相機放在火車頂部，拍攝和火車相鄰的軌道圖像。在這些圖像上，應用邊緣偵測並提取特徵來確定軌道。由產生的鐵路之間距離判斷是否有故障。試驗結果表明，所提出的電腦檢驗方法是有效可靠的。

Gibert et al.^[21] 提出利用多重偵測器同時並行運作，得到對軌道和扣件優良的偵測精準度。劉鈺韋^[22]設計高速影像擷取系統，自動改變線掃描攝影機的取樣率，以便固定檢測物件的影像解析度；枕木定位系統則可以將偵測到的枕木位置傳送給電腦終端機，以便工程人員查修。陳南鳴等人^[23]提出軌道運輸系統的監控技術，並規劃研究「軌道扣件影像即時辨識系統」的研究。系統利用鋼軌與枕木對扣件的相對位置做為扣件區域定位的依據。鋼軌定位的場域可程式化邏輯閘陣列 FPGA (Field Programmable Gate Array)，由於需要對整張影像做鋼軌偵測，因此所需運算時間較長，主要由灰階值統計單元、鋼軌位置計算單元、同步動態隨機存取記憶體，因此演算法較複雜。

Fernando et al.^[24]於 2011 提出以電腦視覺加攝像頭於道岔處檢驗軌道缺失，並整理 1998-2009 年間最常見造成脫軌的原因（如圖 2.14 所示）。分析後選擇了依下列重要性，使用機器視覺進行檢查的道岔部件/缺陷：

1. 開關點：磨損或損壞
2. 其他岔心、開關、和軌道設備缺陷
3. 轉換岔器：磨損或破損
4. 開關連
5. 接或操作桿：破損或有缺陷

6. 切換點：開關點和庫存軌道之間的間隙

鐵路車輛長期運行所引起的激振必然導致接觸網支撐裝置出現故障。隨著高速電氣化鐵路的大規模建設，接觸網支撐裝置上各種豐富的扣件缺陷的自動檢測對於運營安全和降低運營成本具有重要意義。目前，接觸網支撐裝置夜間由安裝在檢測車上的攝像機定期捕捉，但檢測仍主要依靠人眼的視覺判讀。為了減少人工干預，Chen et al.^[25]提出了一種基於視覺的扣件缺陷檢測方法，該方法將深度卷積神經網路應用於緊固件缺陷檢測。他們的系統串聯三個 dcnn 基於檢測階段的粗細方式，包括兩個探測器，以連續定位懸臂連接和他們的扣件和分類器，以診斷扣件的缺陷。通過對 Wuhan-Guangzhou 高速鐵路接觸網支撐裝置缺陷檢測的大量實驗和比較，表明該系統在複雜環境下具有良好的自我調整性和強健性，能夠獲得較高的檢測率。

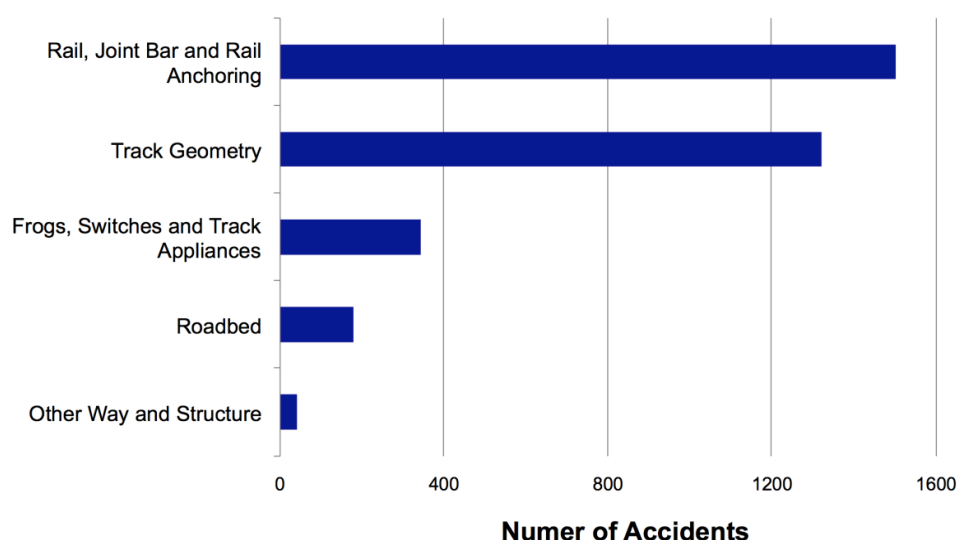


圖 2.14 1998-2009 年間最常造成脫軌之原因

第三章 軌道扣件系統與檢測設備之規劃與建置

3.1 系統運作架構規劃

目前針對軌道扣件的檢查，無論是徒步或是搭乘工程維修車都是以目視為主，道工班人員必須全神貫注的注視軌道上的扣件，工作負荷相當大。為減輕道工班人員的工作負荷，甚至有機會加快軌道扣件的檢查速度，經參考國外相關之研究成果，評估透過 AI 影像辨識，配合後端的影像辨識深度學習伺服器，是有機會辨識出有缺損的扣件。

由於目前的巡查作業主要都是在夜間進行，因此本研究擬採用具有夜視功能（或具足夠輔助照明）的高速影像攝影機，透過 4G LTE、或 Wi-Fi 無線網路將高速影像攝影機拍攝的影像，傳送到後端的影像辨識深度學習伺服器，配合 GPS 的定位功能，有機會標示出有問題的扣件所在的軌道範圍。

因此本研究擬達成的目標包括：

- (1) 鐵道安全檢查
- (2) 降低人力成本
- (3) 快速佈署
- (4) 較低的誤判率

前端影像辨識採用高速影像攝影機作為影像擷取裝置，攝影機透過 4G LTE 或是 Wi-Fi 無線網路與前端控制系統連線，初步影像處理裝置把原始影像轉存為適合傳輸的格式後，透過 4G LTE 通訊界面將欲判定的影像送至後端影像辨識深度學習伺服器進行後續的處理分析，系統運作架構如圖 3.1 所示。



圖 3.1 系統運作架構

影像擷取裝置設定在檢查期間能維持 1080P/60FPS 情況下運作，預計單筆紀錄最長時間為 5 小時。而影像擷取裝置除記錄影像外，還會記錄時間、速度與 GPS 位置資訊；前端控制系統將控制影像系統的記錄儲存功能，同時提供人工控制介面，包含手動紀錄輸入、錄影檢視，記錄好之影像資料，透過 4G LTE 或是 Wi-Fi 無線網路將影像回傳至後端影像辨識深度學習伺服器進行辨識。在與後端影像辨識深度學習伺服器連線時，須具備足夠的 I/O（Input/Output）效能與儲存資料能力，同時必須能運行 Windows10 或 Ubuntu18.04，方能在適當的時間內完成紀錄的壓縮與傳輸。而後端影像辨識深度學習伺服器，須具有足夠的效能以在最短時間內辨識完影片，並將資料統整分類。目前規劃的系統需求如下：

1. 高速影像攝影機（需搭配適當的車外裝載方式）
 - (1) 1080P/60fps 錄影
 - (2) 錄影時長 5 小時
 - (3) 具 Wi-Fi 無線網路連線功能
 - (4) 具 Python-API 遠端控制接口（可進行進階之應用控制）
 - (5) 抗震
 - (6) 防水
 - (7) 夜間錄影
 - (8) GPS 座標紀錄

2. 前端控制系統驗證用電腦（現場開發與維修用）

- (1) CPU：6 核心 4.3GHz 以上
- (2) 記憶體：16G
- (3) 運算加速卡：Nvidia GTX1060 或以上
- (4) 儲存空間：500G 固態硬碟
- (5) 通訊：Wi-Fi、4G LTE、WCDMA
- (6) 螢幕：Full-HD 1080P

3. 嵌入式前端控制系統（微型車載電腦）

- (1) NVIDIA JETSON TX2
- (2) NVIDIA Pascal™, 256 CUDA cores
- (3) HMP Dual Denver 2/2 MB L2 +
- (4) Quad ARM® A57/2 MB L2
- (5) 4K x 2K 60 Hz Encode (HEVC)
- (6) 4K x 2K 60 Hz Decode (12-Bit Support)
- (7) 8 GB 128 bit LPDDR4 59.7 GB/s
- (8) 2x DSI, 2x DP 1.2 / HDMI 2.0 / eDP 1.4
- (9) Up to 2 Cameras (2 Lane) +
- (10) CSI2 D-PHY 1.2 (2.5 Gbps/Lane)
- (11) Gen 2 | 1x4 + 1x1 OR 2x1 + 1x2
- (12) 32 GB eMMC, SDIO, SATA
- (13) CAN, UART, SPI, I2C, I2S, GPIOs
- (14) 500G SSD

4. 後端處理伺服器（接收前端影像與統整，並進行辨識分析與資料儲存）

- (1) CPU：8 核心 5Ghz 以上
- (2) 記憶體：64G
- (3) 運算加速卡：Nvidia GTX 2080Ti 兩張

(4) 儲存空間：1T 固態硬兩顆，2TB 資料 HDD 兩顆

(5) 螢幕：Full-HD 1080P

在前端控制系統運作的部份，當系統開機後會先進行自我檢測，先驗證伺服器狀態確保後續服務可正常進行。待驗證完成後，可選擇「即時模式」或「紀錄模式」。若選擇「即時模式」則會進行「影像前處理」，再將資料傳送到後端伺服器，以取得並顯示辨識結果。但若選擇「紀錄模式」的話，則待完成紀錄後再透過「影像前處理」，將資料傳送到後端伺服器，以取得並顯示辨識結果。目前規劃的前端控制系統運作流程圖，整理如圖 3.2 所示。

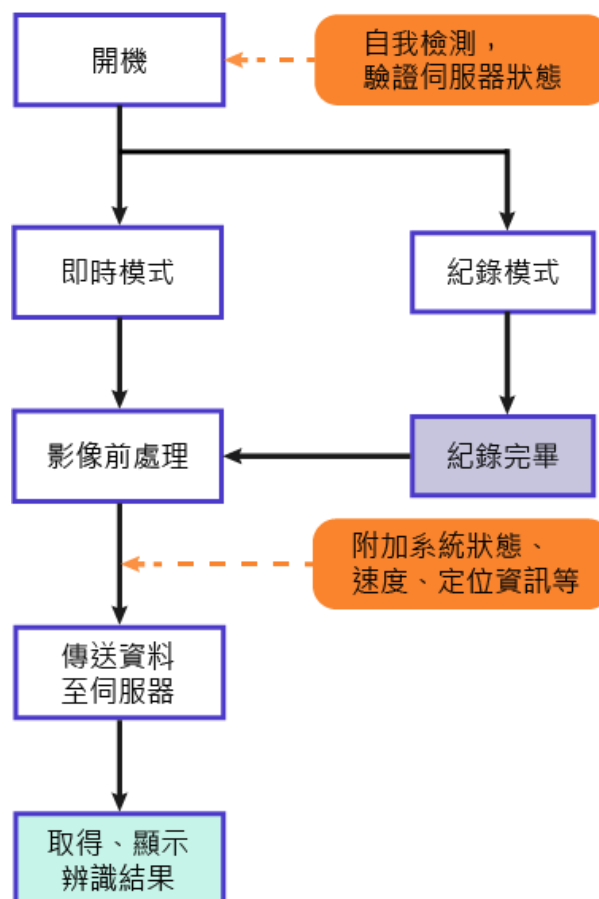


圖 3.2 前端控制系統流程

在後端伺服器處理的部份，同樣開機時先進行自我檢測，以確定伺服器可正常運作，以接收前端回傳之影像資料。待完成自我檢測後即可進行待機模式，準備接收前端之請求。目前規劃的請求模式有三種：資料查詢、即時模式及紀錄模式。「資料查詢」的部份，係供使用者查詢歷次的分析結果，以做為研析判斷使用。「即時模式」的部份，則依接收到的影像資料進行「影像辨識」，以萃取出符合需求之結果，最後再回傳辨識結果。但若有異常時，則進行異常通知。而若是「紀錄模式」時，影像採批次上傳，待影像上傳後同樣透過「影像辨識」服務，萃取出符合需求之結果，同樣回傳辨識結果，並針對異常狀況進行回報。無論是「即時模式」或是「紀錄模式」，分析結果都會儲存在伺服器端，供後續「資料查詢」使用。目前規劃的伺服器端處理流程整理如圖 3.3 所示。

考量人員操作方便與設備維護簡易，本年度先完成紀錄模式，明年度再完成即時模式，將會增加辨識種類如軌面檢測等，而且無線網路訊號也不是全線暢通，因此將會採取即時辨識，需要在維修工程車上安裝可即時辨識的運算電腦。待巡檢完成後，再將辨識結果上傳後端伺服器。

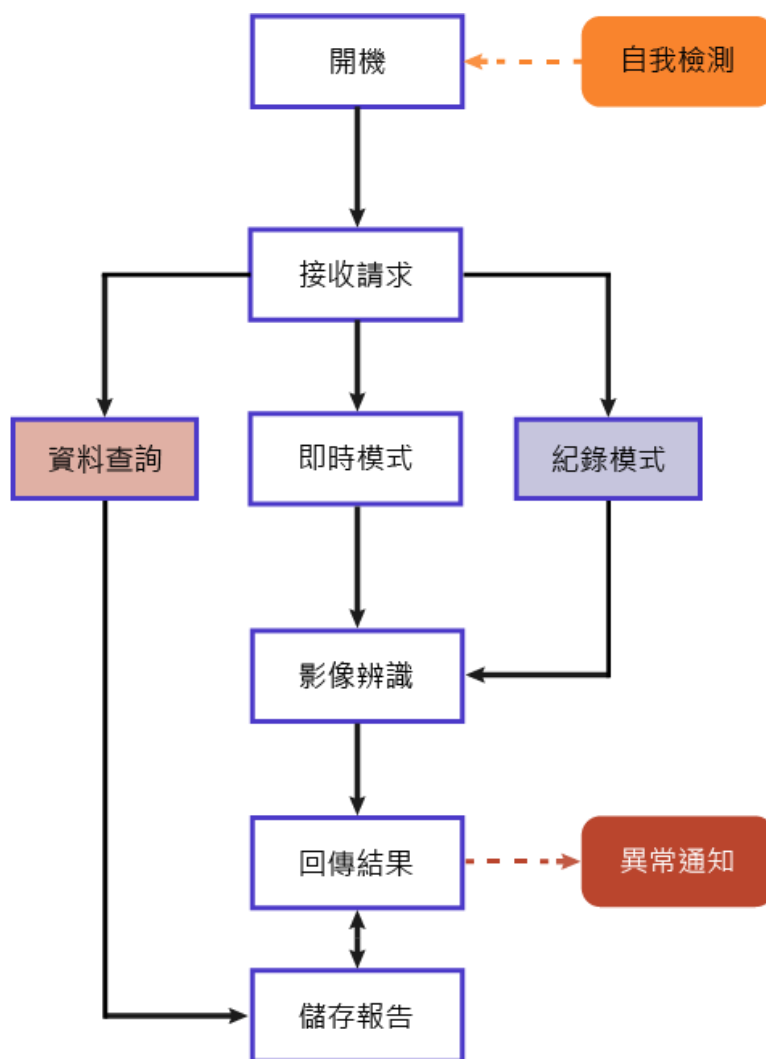


圖 3.3 後端伺服器處理流程

3.2 軌道扣件影像記錄設備評估

為了在列車高速行駛的狀況下依然能夠取得清晰的影像資料，故採用高速影像攝影機。相較於傳統攝影機，高速影像攝影機提供每秒 60 幀（每秒顯示張數，Frame per Second，FPS）以上的拍攝速度。若以行駛速度時速 120 公里作為預期的環境狀況，假如需要取得以每 0.5m 作為測量單位的精準度，則需要每秒拍攝 67 張相片的攝影機。但若以夜間臺鐵局工程維修車行駛速度時速約為 30 公里，高速影像攝影機絕對可以滿足目前之需求。另外，考量外部環境的狀況，選用的高速影像攝影機須具備防水、防震及可遠端連線控制為佳。

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

但隨著硬體的進步，目前也有一些替代方案，尤其現在運動型錄影機的功能大幅提昇，只要每秒拍攝的幀數能滿足取樣頻率，且影像直接儲存在記憶卡中，或是透過無線網路直接回傳，可大幅降低設備的費用。本研究團隊評估三款可應用於軌道扣件巡查用的設備，各設備說明介紹如下：

1. GoPro Hero7 Black

GoPro 是近年相當受歡迎的運動型錄影機，尤其主打拍攝極限運動及 4K 高畫質，輕巧方便且具備防水防塵功能，廣受極限運動員的喜愛，甚至有一些電視節目也開始使用 GoPro 拍攝。由於 GoPro 運動型攝影機是以極限運動的拍攝為主，因此特別強調手持防震技術，而且有 GPS 記錄，經評估是可以在本研究案中進行軌道扣件拍攝。目前評估選用的是 GoPro Hero7 Black 機型 (如圖 3.4 所示)，其周邊的配件相當完整，要固定在工程維修車或平車上時，可依需求選用適當的配件，詳細功能規格請見表 3-1 之比較說明。



圖 3.4 GoPro Hero7 Black

2. Sony FDR-X3000R 4K

Sony 在光學儀器設備方面一直以來都有它獨特的技術，為不讓其他廠商的運動型錄影機專美於前，也推出了 Action Cam 的運動型錄影機。目前推出的型號是 FDR-X3000R（如圖 3.5 所示），同樣具備 4K 影像品質及數位防手震等功能，也相當受到一些運動愛好者的青睞，詳細功能規格請見表 3-1 之比較說明。



圖 3.5 FDR-X3000R

3. DJI OSMO Pocket

一般對於大疆創新（DJI）的印象都大多停留在空拍機，但它在 2018 年底也推出了受熱議的「口袋拍攝法寶—Osmo Pocket」（如圖 3.6 所示），也有人稱為「超迷你三軸雲台相機」，除了超輕薄（121.9 x 36.9 x 22.75mm，116g）外，還具備 4K/60fps 的影像品質，唯視角不夠廣只有 80 度左右，詳細功能規格請見表 3-1 之比較說明。



圖 3.6 DJI Osmo Pocket

4. 綜合比較

市面上除了前述三款運動型錄影機外，還有其他廠牌的產品，如 Olympus、Garmin、Ricoh、Omicam……等等，但考量市場上的評價、周邊配件、影像品質、GPS 定位、資料傳輸……等等，因此以前述三款進行比較，相關資料比較整理如表 3-1 所示。經評估比較決定選用 GoPro Hero7 Black。

表3-1 GoPro、Sony、DJI運動型錄影機之比較

型號	GoPro Hero7 Black	SONY FDR-X3000R	DJI OSMO Pocket
光圈	-	F/2.8	F/2.0
錄影規格	4K60、2.7K120、 1440p120、1080p240 及更多	4K30、FHD120	4K60、FHD60
影像解析度	1,200 萬像素	857 萬像素	1,200 萬像素
防震	電子	光學	雲台
Wi-Fi 遙控	Y	Y	Y（需配件）
夜間拍攝	Y	Y	Y
防水	裸機水下 10 公尺	需裝防水殼	需裝防水殼
GPS	Y	Y	N
加速度計	Y	N	N
藍芽	Y	Y	Y（需配件）
Python API	Y	N	N
即時串流	Y	Y	N
自動備份	Y	N	N
電池	1220mAh	1240mAh	875mAh
續航力	4K 可錄 1 小時	4K 可錄 50 分鐘	4K 可錄 2 小時
參考價格	NT\$18,000	NT\$17,000	NT\$13,000

3.3 照明設備與供電

在照明設備的選用上，為希望能獲得類似白天陽光下清晰的影像，且考慮到光線亮度、方便固定、用電量，經評估決定選用 10W 工程版 LED 白光探照燈（如圖 3.7 所示），其規格特色整理如表 3-2 所示。

表3-2 LED探照燈規格

項目	規格
光源	LED 燈
瓦數	10W
顏色	白光
尺寸	長 11.5*高 8.7*寬 3(公分)
電壓	110V 限定
發光角度	140 度
防水係數	IP65
使用壽命	LED 燈珠 30,000 小時以上
色溫	白光 6,000K
流明值	白光 1,000LM
其他	9000 伏特防雷擊電路，光源過熱保護。



圖 3.7 10W LED 探照燈

實測時發現，10W LED 探照燈所能提供的亮度似乎仍稍嫌不足，大甲分駐所改用現場施工用 200W 照明燈（如圖 3.8 所示，規格如表 3-3 所示），原本準備的 10W LED 則做為補光使用。



圖 3.8 200W 照明燈

表3-3 200W照明燈規格

項目	規格
名稱	HG-LT200
光源	LED 燈 COB 50W*4
尺寸	412mm*370mm*320mm
材質	高純度壓鑄鋁成型，透明強化玻璃燈罩
電壓	110V-220V
色溫	5700K / 3000K
流明	20000Lm
防水等級	IP66

在設備供電的部份，原本是希望能使用動力火車頭裡的電源，但考量到電量負荷及電線連接的安全性，決定使用發電機供電，並搭配不斷電系統，透過不斷電系統的穩壓功能，可提供穩定且不間斷的電力供照明、GoPro 等設備使用。

3.4 平車製作與設備架設

3.4.1 平車製作

在本研究所提的工作服務計畫書裡，原本是規劃將影像記錄設備 GoPro 固定於工程維修車前的護欄上，再使用市面上可購得的 GoPro 配件，將其固定於工程維修車的護欄上，初步規劃的安裝示意圖如圖 3.9 所示，實際使用時再進行調整。

在與臺鐵局台中工務段大甲分駐所（以下簡稱大甲分駐所）同仁討論後，建議使用平車的方式，俾利於將來運用到其他單位。確定此方向後，由大甲分駐所同仁協助平車設計與製作，設計示意圖如圖 3.10 所示。由於平車軌距是依據目前鐵軌規格，所以行駛上完全符合現況，經過多次在大甲車站側線測試驗證後，以維修動力火車頭連接，行駛時速可超過 50 公里，運作上也相當平順。平車施工與實測照片如圖 3.11 至圖 3.15 所示。



圖 3.9 GoPro Hero7 Black 固定位置示意圖

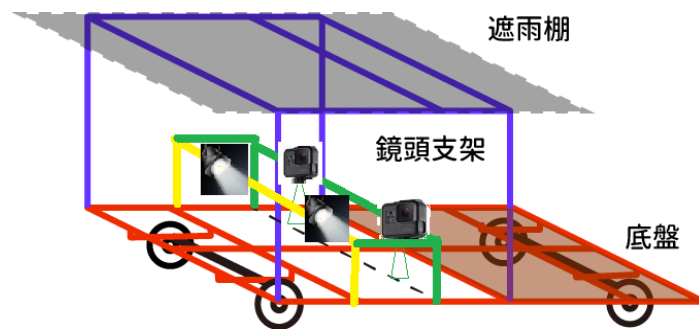


圖 3.10 平車設計示意圖



圖 3.11 平車製作（一）



圖 3.12 平車製作（二）



圖 3.13 平車吊掛上貨車



圖 3.14 平車實測前安裝 GoPro



圖 3.15 平車組裝完成照片

3.4.2 影像記錄與照明設備架設

GoPro 除具備優異的防震效果外、鏡頭視野廣、GPS 定位、支援即時串流及支援 Python API 等功能，更重要的是周邊可選用的配件種類多元。在評估如何將 GoPro 固定於工程維修車前的護欄時，經訪查市面上 GoPro 可用的延伸配件，目前選用 GoPro 寬管型固定座（圓管夾座+接管+更多組件）（AGTLM-001）攝影鎖臂夾具（如圖 3.16 所示），規格如表 3-4 所示。GoPro 架設位置可視實際拍攝結果，彈性調整架設位置，初步架設情形如圖 3.17 所示，實測後可確定架設結果相當牢固。



圖 3.16 GoPro 寬管型固定座

表3-4 GoPro寬管型固定座規格

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



圖 3.17 GoPro Hero7 Black 固定位置圖

照明燈具架設的部份，需評估測試不同架設位置的影響，如架設於軌道左右兩側或軌道上方，架設示意圖如圖 3.18 所示。但由於鐵路正線軌道每天有火車在運行，鐵軌表面相當光滑，宛如鏡面一般。如果將光線直接照射在鐵軌上，恐會因反射而無法清晰拍攝鐵軌扣件之情形。如果斜射是否會有陰影，也需要反覆不斷的進行測試。

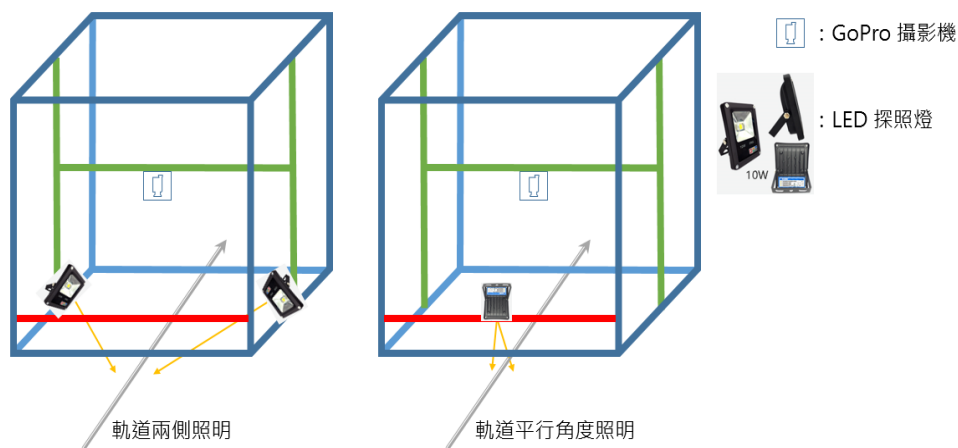


圖 3.18 照明設備架設示意圖

為了便於燈具可依實際狀況進行調整，支架採用鋁擠型架組立，尺寸規格如圖 3.19 所示，便於隨時調整燈具固定位置，架設情形如圖 3.20 所示。

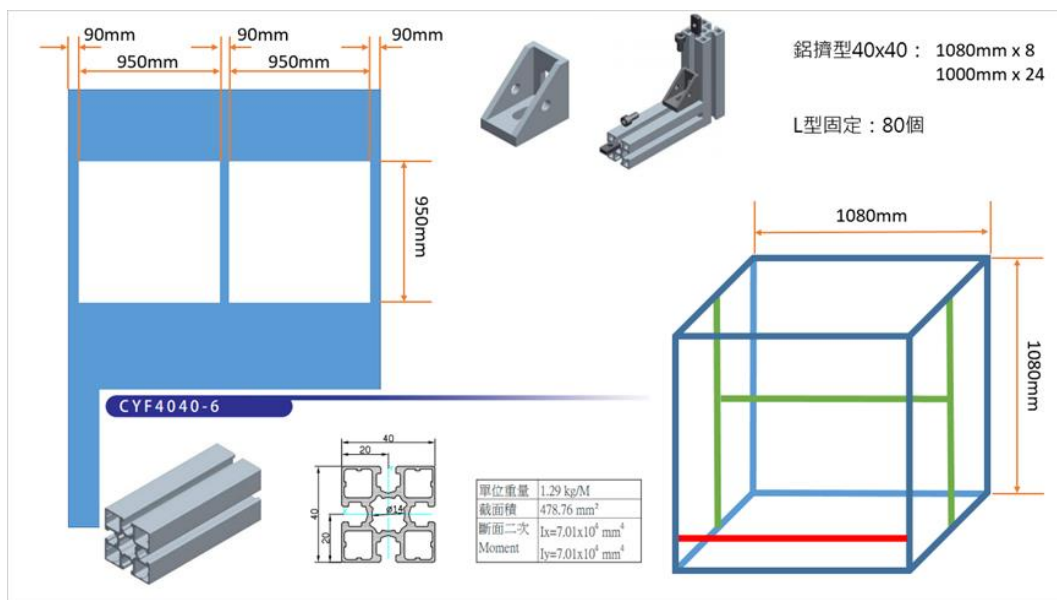


圖 3.19 鋁擠型架規格尺寸

攝影機：□
燈具：○

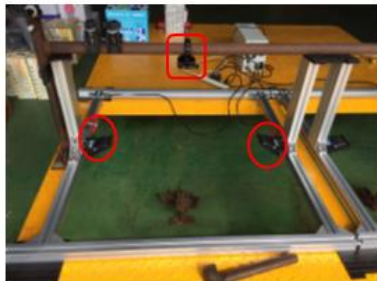


圖 3.20 以鋁擠型架固定燈具情形

實際架設與測試後發現，若燈具左右亮度不一致時會有陰影產生如圖 3.21(a)，若將燈具移於中間軌道上方，則可降低陰影的現象，如圖 3.21(b)。但實測後發現，目前採用的 10W LED 亮度稍嫌不足，大甲分駐所改用現場施工用 200W 照明燈，原本準備的 10W LED 則做為補光使用，重新改立後的照明設備如圖 3.21(c)所示。

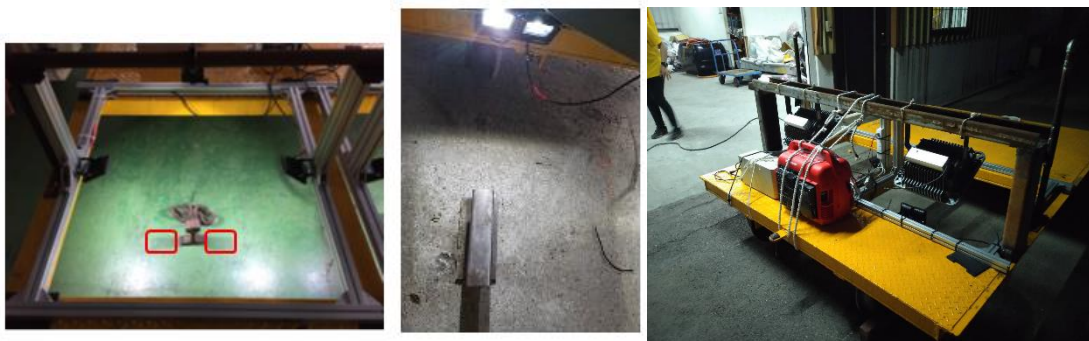


圖 3.21 燈具架設不同位置之結果，(a)燈具位於兩側，(b)燈具位於軌道上方，(c)一邊一盞 200W LED，再以發電機供電

3.4.3 加強版照明設備架設

7 月 28 日凌晨實測以上一節的架設方式進行正線夜拍，時速 30km 以上影像仍模糊，初步即判斷應該是亮度不足所致。9 月 21 日夜間

至 9 月 22 日凌晨實測，改變架設為一邊用 2 盞 200W 的 LED 燈，共 $2 \times 200 = 400$ 瓦燈，而且燈具降低高度至平車下，貼近軌面，再次進行大甲~大山正線夜拍，實測距離來回共 84 公里（單程 42 公里）。結果如圖 3.22，影像上方仍有暗處，但大致上照的軌道扣件已可清楚辨識，未來可持續增強光源為每邊 4 盞 200W LED 白晝光燈，維修車速度也可以再提升，表 3-5 將所有面臨問題與解決方式列表以供參考。

表3-5 設備架設問題與解決方式

拍攝日期	面臨問題	解決方式
4 月 29 日	GoPro1440@60fps 熱當機	降低至 1080p@60fps，外接電源
6 月 17 日	時速超過 30km 畫面模糊	單側一邊一盞 200 瓦燈
7 月 27 日	時速超過 30km 仍模糊	單側一邊二盞 200 瓦燈，並降低高度，以接近軌道
9 月 21 日	時速超過 30km 畫面可辨識 GoPro 高頻低震幅當機	單側一邊四盞，且降低高度 外接避震器或裝於維修車
未來	希望提高時速至 40km 畫面仍清楚，GoPro 不當機	



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 3.22 平車上照明設備組立情形

3.5 缺失定位

在定位的部份，最常使用的定位方式不外乎就是 GPS。但目前商用 GPS 訊號的部份，因為有 SN 干擾碼的問題，所以定位精度一般為 15-20 公尺。雖然透過 AGPS（利用電信基地台進行輔助定位），可以將定位精度提昇到 10 公尺左右，但目前臺鐵局的軌道軌距為 1067 公厘（1.067 公尺），以 GPS 的定位精度來說，的確會有相當大的誤差。

如何應用 GPS 訊號來達到目前定位的需求，是本研究所欲解決的問題，本研究提出「虛擬偵測圓」結合 GPS，搭配 Google Map，可以提供維護鐵道工作人員一個有效定位缺失扣件的方式。

3.5.1 GoPro GPS 資料解析

利用 GoPro 拍攝的相片或影片，其儲存格式內含 GPS 資訊，可直接解析使用。自 GoPro Hero5 Black 以來，已經能夠獲得 GPS 數據，可用 Quik Desktop，Dashware，RaceRender 和 GoPro Mobile 應用程式都可以顯示相機所捕獲的 GPS 數據，嵌入在 mp4 檔案中，稱為 GPX（如圖 3.23(a)所示），這是目前最常用的格式，而且將持續使用。

所謂的 GPX 格式，是以.xml 格式存檔，所以 GPS 也隨著趨勢而進化。早期在 GPS 界，並沒有通用的格式，所以要在不同的 GPS 軟體間做資料流通，是相當困難的。必須下載一些國際通用的 GPS 後端軟體，利用這些軟體做 GPS 資料的轉換，才能順利在不同的軟體間開啟 GPS 資料檔。如今幾乎每一種 GPS 後端軟體都已經支援了 GPX 格式，只要是 GPX 格式，幾乎可以在任何 GPS 軟體開啟，解析後的資料也可直接在任何 GIS 軟體（如 Google Maps）中顯示（如圖 3.23(b)所示）。

本研究已可從影片中解析 GPS 位置，含影片紀錄時間(CST)等資訊。因為影片是 mp4 格式，並非每一張照片都存有 GPS 位置，所以每張照片的 GPS 位置，採用等速內插法進行資料回補，在一般巡查時是以等速錄影，較不會有太大誤差，但若忽前忽後，加速減速切換，誤差就比較大，譬如速度紀錄若僅在側線實驗，位移不夠，計算的結果即無法以線性內插進行短時間內頻繁地加減速變化，(10KM/S-->40KM/S)，所以內插出來的 GPS 位置，誤差就稍大。然而，若在正線巡檢，因維修車可以定速行駛，便可以正確內插出所需之 GPS 位置。

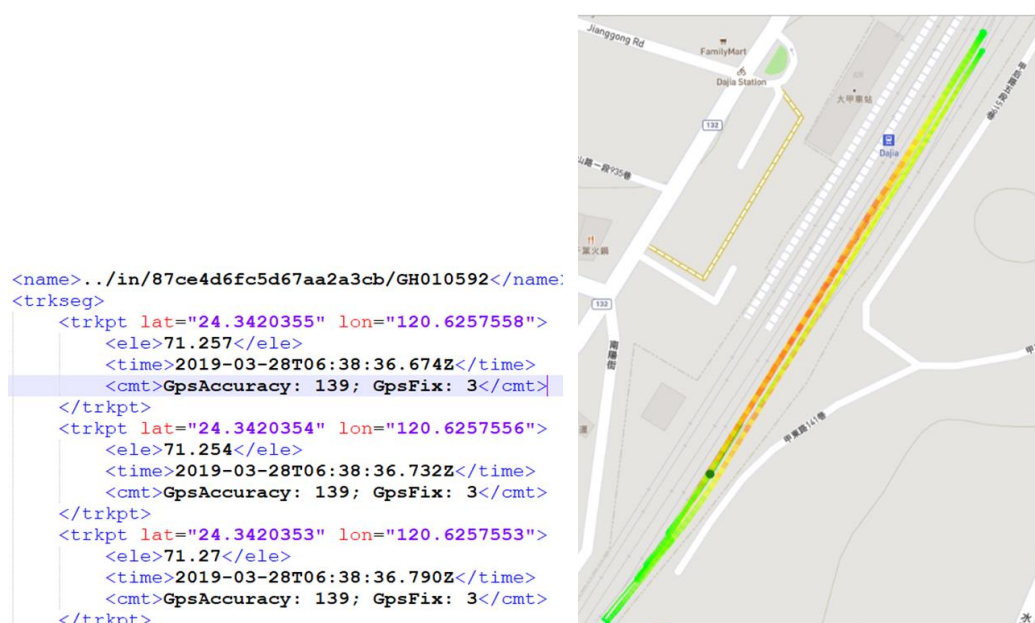


圖 3.23 (a) GPX 檔案內容，(b) GoPro 軌道扣件錄影檔案解析定位顯示於 Google Map

3.5.2 虛擬偵測圓

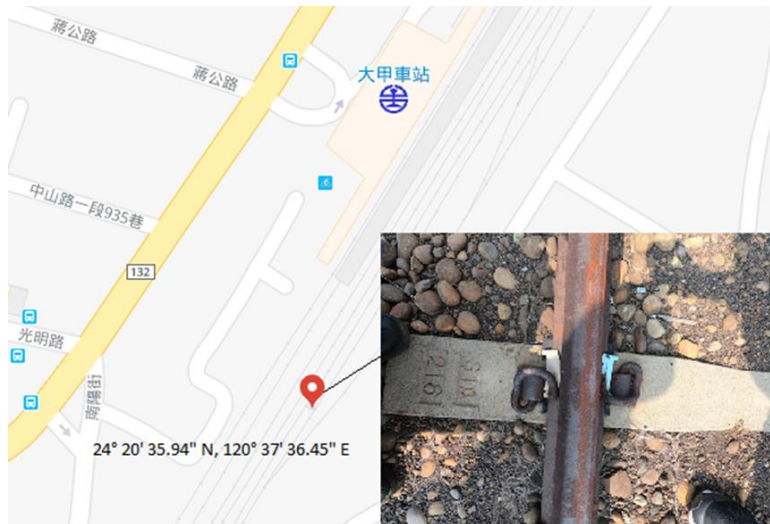
在本研究所提的工作服務計畫書裡，原本即規劃利用「虛擬偵測圓」(Virtual Detection Circle)來尋找已定位好的缺失扣件。目前臺鐵局內部已有百公尺的里程樁號，如圖 3.24(a)所示，針對每一個里程樁號設定半徑 20 公尺(將來可視需求調整半徑值)的「虛擬偵測圓」。

當工程維修車行經這些「虛擬偵測圓」時，如圖 3.24(b)所示，即可判斷工程維修車所在的位置。



圖 3.24 (a)臺鐵路百公尺標^[26]，(b)虛擬偵測圖

維修人員首先利用缺失扣件的 GPS 位置(x_f , y_f)找到最近的 100 米樁(x_h , y_h)，確認看到如圖 3.24(a)的標竿時，也就是當維修車輛通過這些 VDC 時，可以確定維修車輛的 GPS 位置，然後軌道工人可以移動($x_f - x_h$, $y_f - y_h$)距離接近扣件。如果 $x_f - x_h$ 數值是負號，則代表是往西，否則往東；如果 $y_f - y_h$ 是負號，則代表是往南，否則往北。



(a)



(b)

圖 3.25 大甲分駐所旁軌道側線拍攝軌道扣件定位測試，(a)Google Map 顯示，(b)以測距儀(紅色圓圈)實地勘察

使用實測的 GoPro 影像，解析出的 GPS 資料，誤差大約在 5 公尺左右，已可接近實用程度，定位結果如圖 3.25 所示。若需再更精準到公分級，需搭配差分訊號，升級為差分 GPS。然而本計畫 8/27 與臺鐵人員至現場測試缺失扣件定位精度，將本系統所偵測缺失扣件隨機抽取兩筆，依照 GPS 定位與顯示於 Google Map 上如圖 3.25(a)，依照前述步驟，先找出最近百公尺樁，再往目標物移動，因為在錄影時已知目標物是在上行還是下行側，所以檢查時可以只找一條軌道，以測距儀如圖 3.25(b)量測所走距離，結果可以很快找出目標物，定位精度符合臺鐵需求。

3.6 影像辨識網站前後端系統建置

由於大部分扣件巡檢是在夜間進行，採集到的圖像和 GPS 定位資訊可以離線傳輸到基於 AI 的後端深度學習伺服器進行缺失扣件識別。如圖 3.26 所示的系統架構分為在軌道平車上運行的前端控制

系統和後端存儲/辨識雲端伺服器。為了方便系統的運行，針對非都市地區通信的不可靠性，將其設計為離線系統。

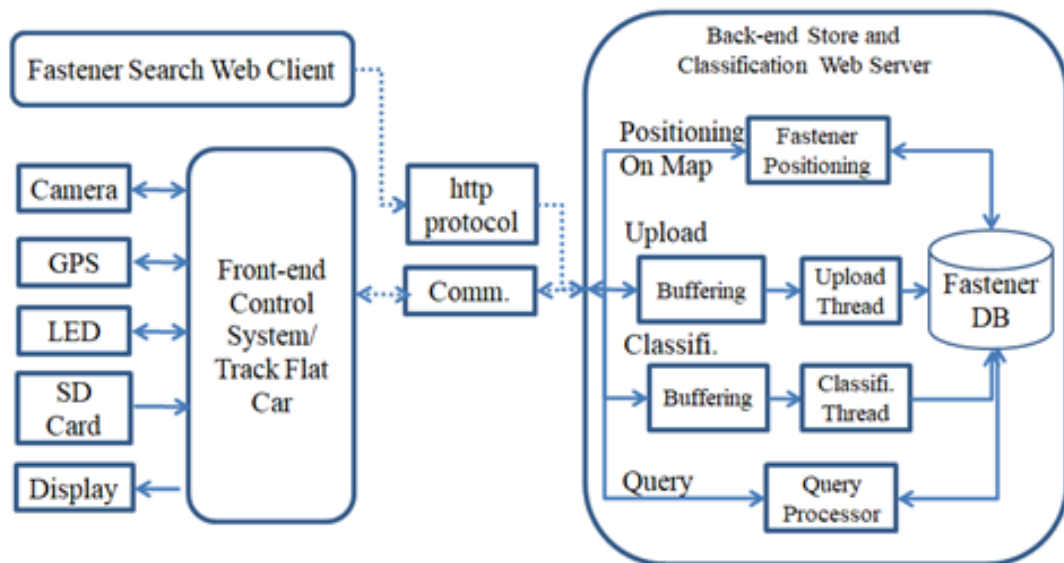


圖 3.26 系統架構包括前端子系統和後端存儲/分類伺服器

前端控制系統在微型電腦上運行，現場記錄軌道扣件圖像。後端處理伺服器接收前端圖像資料，用於存儲和識別分析。在錄製過程中，圖像捕獲裝置的解析度設置為 1920×1080 ，每秒 60 幀。預計至少連續工作五個小時。除了記錄扣件圖像，一些必要的資訊，如時間、速度和 GPS 位置也被記錄。前端控制系統主要設置視頻的錄製和存儲功能，同時為視頻的錄製和觀看提供手動操作介面。然後將記錄的圖像上傳到後端伺服器，通過離線通信進行存儲和基於深度學習的扣件識別。

3.6.1 AI伺服器硬體

為能順利辨識透過 GoPro Hero7 Black 錄回的影像資料，AI 伺服器所使用的硬體（顯示卡），及作業系統，說明如下：

1. 主機伺服器

用於接收 GoPro Hero7 Black 回傳的影像資料，將所收到的影像資料辨識儲存。CPU 採用擁有 16 核心 32 緒的 AMD Ryzen Threadripper 2950X，多工處理得心應手，加上四通道記憶體的高速讀寫，表現出 HEDT 平台強大力量，有性價比的 HEDT 平台。辨識效能的比較上雖然會略低一點，但是如果考慮多開線程 (Thread) 情況，當然還是 2950X 勝，還有加上 AMD 最大的優點就是後續的優化，不管是 BIOS 還是驅動的最新，都是較佳選擇。

主機板採用 ASRock X399 Taichi 如圖 3.27 所示，不管在用料、配件上具有較好品質，目前中高價位下算是性價比算高，豐富 11 相位的電源方案下使用 2950X 超頻也是沒有問題的，另外搭載 Intel 雙網路卡和無線網路、藍牙功能等等通訊方式，也十分便利。至於處理器散熱方面我們是使用酷碼 MASTERLIQUID ML240 RGB TR4 Edition，2950X 開啟 PBO 後滿載溫度可以控制在 83~86 度之間，至於功耗方面，使用 BPO 模式，待機在 70W~80W 浮動，滿載 260W。



圖 3.27 AI 伺服器主機版與 CPU

2. 系統軟體需求

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

Ubuntu 為一現今常用的基於 Linux 的開源作業系統，是目前使用者最多、社群最廣、相容性最好的 Linux 發行版本，從伺服器到手機與嵌入式系統（包含 Nvidia TX2）均能運行於 Ubuntu。在本研究中，Ubuntu 將作為伺服器使用，負責影像辨識運算，任務報告統計等的功能。本研究採用 Ubuntu18.04 LTS Bionic Beaver 版本，此版本的支援期限為 2023 年 4 月，採用 GNOME3.28 桌面系統，其 Linux Kernel 4.1 已經修復 Spectre 與 Meltdown 等安全漏洞，並將搭載 Python3.6。

3.6.2 CUDA 加速器

由 NVIDIA 所推出的標準運算架構，推出至今已有 12 年，廣泛應用在深度學習神經網路的運算，其主要特點有平行密集資料處理，C/C++、OpenGL 語言的相容，統一記憶體控制與穩定的物理系統轉譯處理。

隨著人工智慧神經網路科學的不斷研革進步，準確度演算法不斷演進，運行的效能也越來越追求極致，可以說深度學習此一科學的成果確確實實的與所使用的設備網綁在一起，不論是參數調整或模型系統修改，假使沒有效能足夠的 GPU，任何的結果都需等待半天甚至更長的時間，神經網路疊代的速度在任何使用神經網路的專案中都佔有龐大意義，更快的糾錯與評斷結果，能夠運行更深更廣的網路模型都取決於硬體，以本研究的研發所需而言，建議採用 2 張或以上的

RTX2080TI 運算卡（如圖 3.28 所示），在效能（如圖 3.29 所示）與成本中具有適當的平衡。



圖 3.28 RTX2080TI 運算卡，(a)外觀具兩支風扇，(b)內部運算晶片

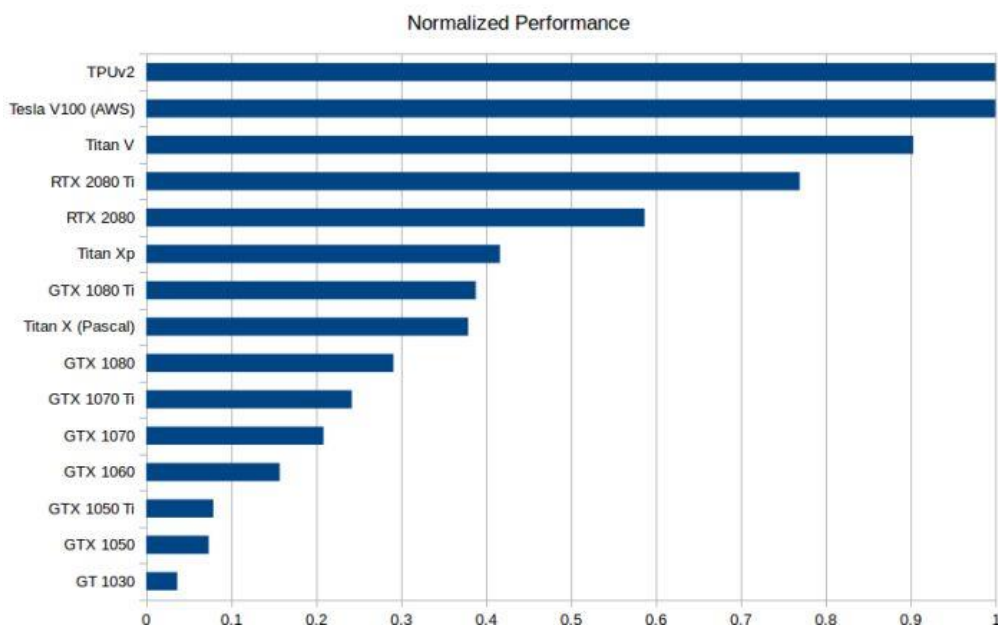


圖 3.29 不同類型運算卡表現效能

之所以採用根據全面定性定量的實驗結果，截至 2018 年 10 月 8 日，NVIDIA RTX 2080 Ti 是現在最好的深度學習 GPU（用單個 GPU

運行 Tensorflow)。如圖 3.30 所示，以單 GPU 系統的性能為例，對比其他 GPU，它的優劣分別是：

- (1) FP32 時，速度比 1080 Ti 快 38%；FP16 時，快 62%。在價格上，2080 Ti 比 1080 Ti 貴 25%
- (2) FP32 時，速度比 2080 快 35%；FP16 時，快 47%。在價格上，2080 Ti 比 2080 貴 25%
- (3) FP32 時，速度是 Titan V 的 96%；FP16 時，快 3%。在價格上，2080 Ti 是 Titan V 的 1/2
- (4) FP32 時，速度是 Tesla V100 的 80%；FP16 時，是 Tesla V100 的 82%。在價格上，2080 Ti 是 Tesla V100 的 1/5

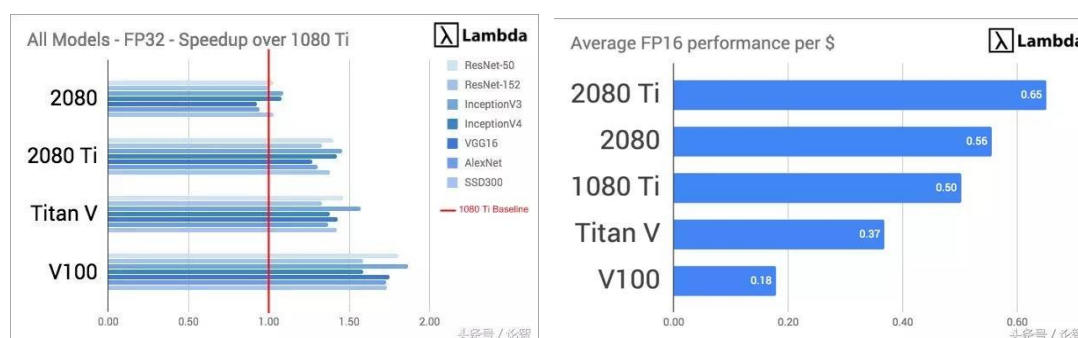


圖 3.30 NVIDIA 2080Ti AI 加速卡效能比較

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

3.6.3 YOLO辨識軟體

本研究採用的是 You Only Look Once (YOLO)演算法^[24]，是一種物件偵測的神經網路演算法，優點在於輕量且高效率，追求快速辨識

與高準確度，可以即時的產生結果，應用於物體辨識。神經網路的學習需要大量的樣本，樣本量決定神經網路的模型的泛用與準確度，為了辨識物件的類型，需要盡可能多的訓練資料(包括正常的、故障的、各種情況的資料)。本研究團隊多年來都是採用 YOLO 演算法，應用在不同領域中的影像辨識，實際使用後發現 YOLO 憑藉者其相對效率與準確比，使其勝過其他物件偵測神經網路。

1. YOLOV1

從 RCNN、fast RCNN、faster RCNN、YOLO 的思路一路發展上來，YOLO 最大的特色是直接 end-to-end 做物件偵測，利用整張圖片作為神經網路的輸入，直接預測 bounding box 坐標位置、bounding box 含物體的 confidence 和物體所屬的類別（如圖 3.31 所示）。YOLOV1 計算快速，能夠達到 real-time 速度需求，缺點是對位置的預測不夠精確，且小物體預測效果較差。

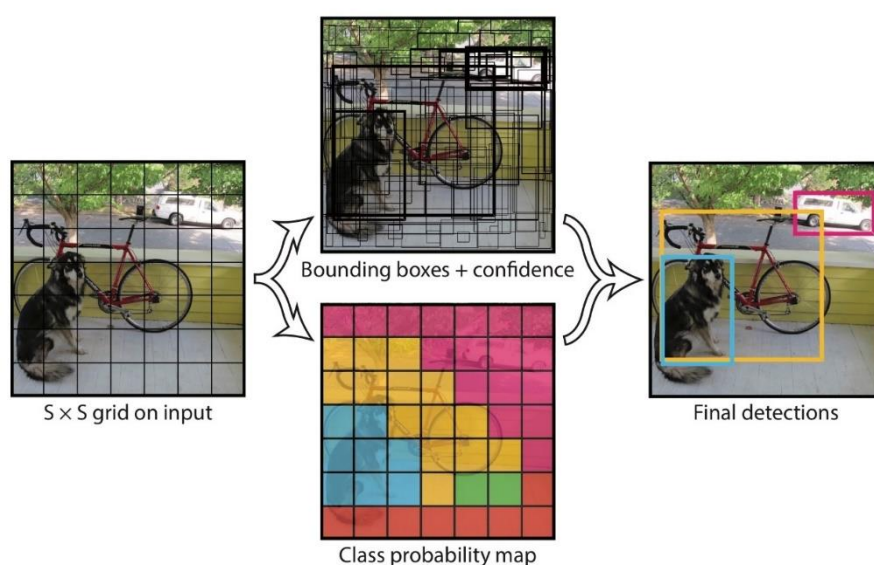


圖 3.31 YOLO 演算法運算流程

2. YOLOV2

YOLOV2 針對 YOLOV1 的缺點做了一些改進：

- (1) 引入 Faster RCNN 中的 anchor box (如圖 3.32 所示)，不再直接 mapping bounding box 的座標，而是預測相對於 anchor box 的參數，並使用 K-Means 求 anchor box 比例。
- (2) 去掉 fc layer，改成全部皆為 conv layer。
- (3) 每層加上 batch normalization，去掉 dropout。
- (4) 增加解析度：增加 ImageNet pretrain 的解析度，從 224×224 提升至 448×448 。

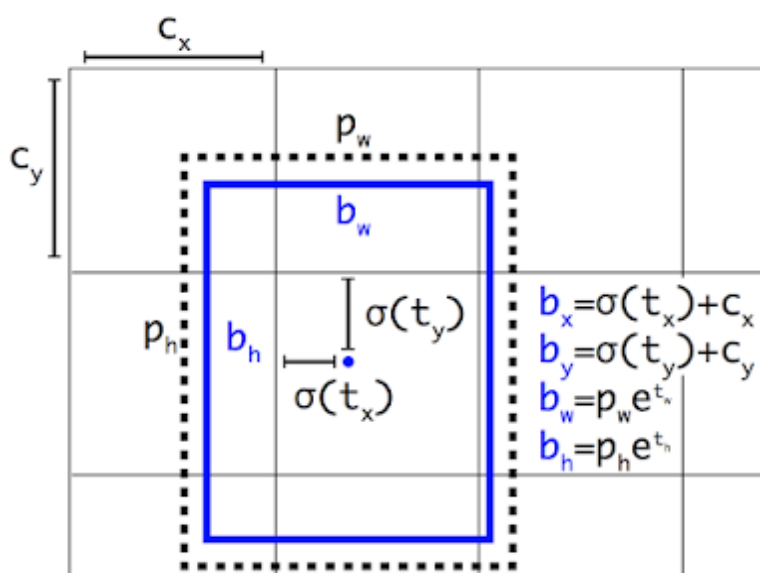


圖 3.32 YOLO anchor box 示意圖

3. YOLOV3

YOLOV3 [27]並沒有做革命性的創新，而是參考其他的論文對本身的模型做優化，效果十分顯著，主要有兩項改良：

- (1) 使用 resnet 網路 (Residual Network)

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

(2) 使用 FPN 網路 (Feature Pyramid Networks)

使用 FPN 多層級預測架構以提升小物體預測能力，特徵層從單層 13x13 變成了多層 13x13、26x26 和 52x52，單層預測 5 種 bounding box 變成每層 3 種 bounding box (共 9 種)，詳見網路結構圖 (如圖 3.33 所示)。使用 FPN 的架構可以讓低層較佳的目標位置和高層較佳的語義特徵融合，並且在不同特徵層獨立進行預測，使得小物體檢測改善效果十分明顯。

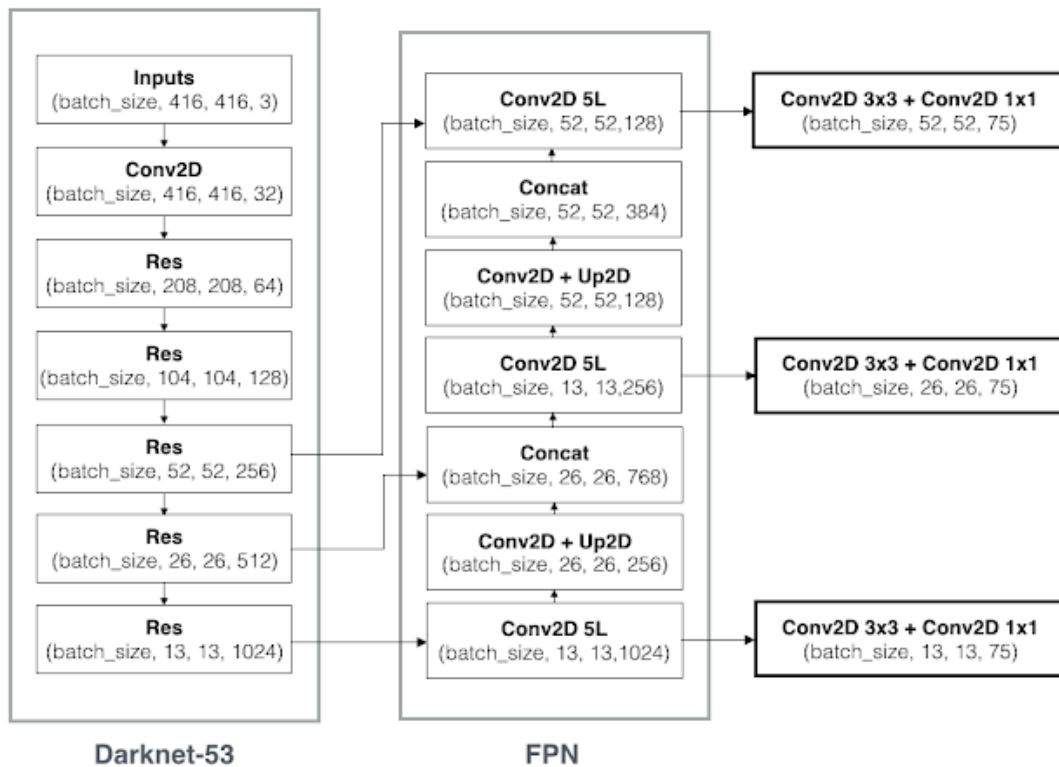


圖 3.33 YOLO V3 架構圖

3.6.4 YOLO Web API

Web API 是透過網站應用程式達成讓資料與應用程式功能在不同工作環境中共同分享的工具，在本研究是以 Python 的框架 Flask

在伺服器設置 YOLO 的 Web API，藉此讓使用其他程式語言的使用者能更簡便地取得經過清理整併的結構化資料或模型輸出參數。

API (Application Programming Interface) 指的是一段程式碼與作業系統、與其他段程式碼彼此之間溝通的管道，系統開發人員可以專注在建構於網站應用程式的 API 類型，即 YOLO Web API，可以有效地讓各個工作流透過網路呼叫彼此的程式並回傳結果。Web API 是分享資料的一種方式，如果所提供出來的資料較小且不會頻繁隨時間而更動，提供靜態的 JSON、XML 或 CSV 等常見文字格式資料集是很好的選擇，使用 Web API 分享就顯得比使用文字格式資料集提供下載來得更好。

圖 3.34 顯示了將 YOLO 包裝為 Web APP 的技術細項。各項功能實作說明如下：

1. 載入設定參數

從設定檔中取得各項參數設定，採用 Microsoft Windows INI 設定檔格式進行讀取，設定檔具有依據類別分類之參數項目，具有可讀性且易於修改。

2. 啟動紀錄器

API 伺服器具有一個執行紀錄器，除了在終端機上的情況顯示外，紀錄器將自動依據通知等級，將顯示的資訊分為 DEBUG、INFO、WARNING、ERROR 等四類，增加程式在實際運用與開發階段的訊息處理上的人性化，通知的格式為「時間：等級：訊息」，預設將於文字紀錄文件中存放所有等級的通知，在終端機僅顯示 INFO 以上等級之通知。

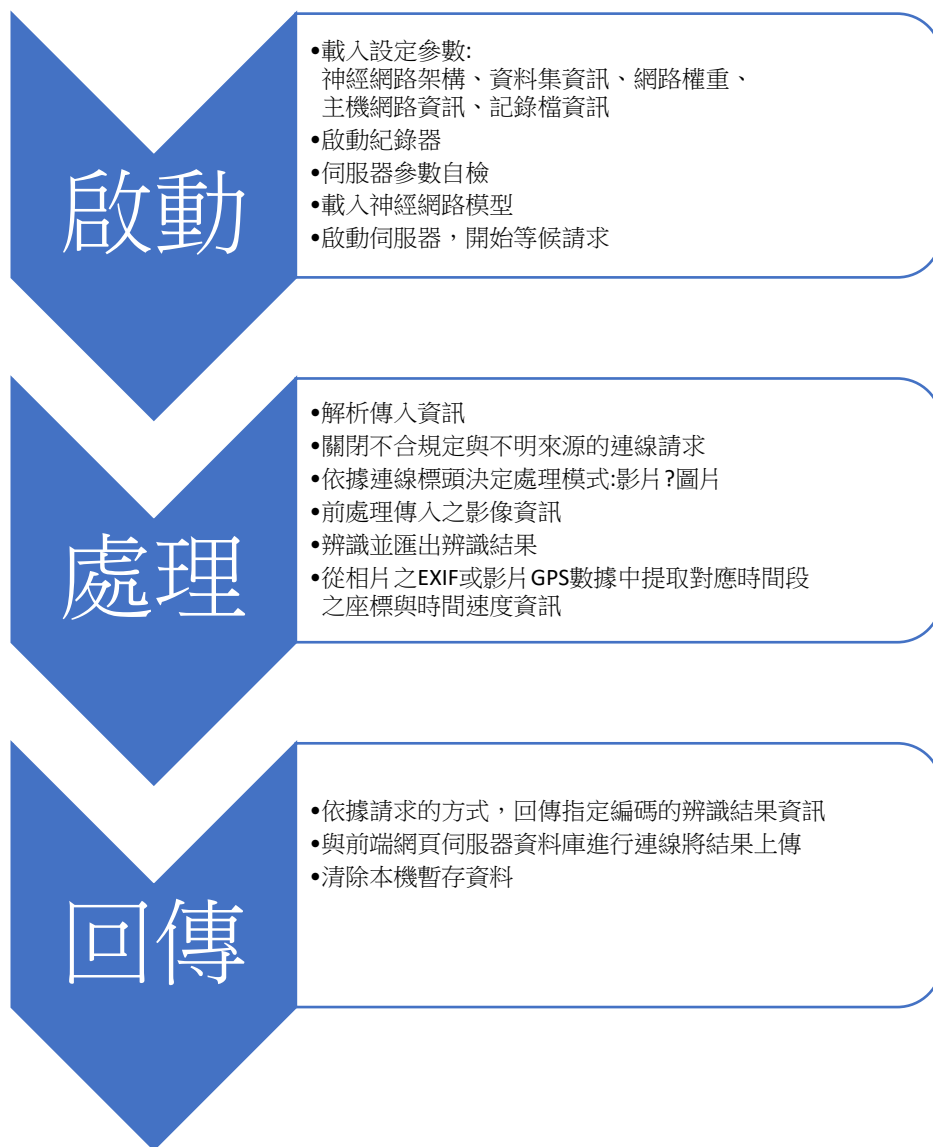


圖 3.34 將 YOLO 包裝為 Web APP 的技術細項

3. 伺服器參數自檢

將檢查各參數的可用性，如系統版本、神經網路架構執行庫，資料夾與檔案權限是否正常，驗證系統主機名稱是否可用，開啟的連接埠是否在可用範圍內，是否有占用到不應使用的作業系統級或常用軟體的連接埠。

4. 載入神經網路模型

神經網路架構將於此階段將神經網路權重模型載入，並依據設定檔設定各網路層的輸出入運算參數。

5. 啟動伺服器

伺服器此時將依據先前的設定檔，開始等候向指定的 IP 或網址傳輸的連線請求，並依據功能項目(辨識功能)的路由進行功能呼叫。

6. 解析傳入資訊

取得來源 IP，HTTP 連線狀態，HTTP 協議版本，UTF-8 解碼訊息，關閉不合規定與不明來源的連線請求。因應網路環境，伺服器一經上限即每天均會受到網路掃描機器人嘗試連線，伺服器會自動終止不符合規定的連線請求，如錯誤的路由，不合規定的工作要求，錯誤或不存在的位置搜尋。

7. 依據連線標頭決定處理模式

辨識功能目前具有兩種工作模式，依傳入的標籤[Type]決定

8. 前處理傳入之影像資訊

(1) 影像模式：將影像轉為 numpy 數組，轉換成 yolo_img。

(2) 影片：判斷是否為 GoPro 之影片格式與 GPS 資料是否正常，依據影片每秒張數，將每秒張數中取出 12 張做為檢測標的(如每秒 60 張，則每間格 5 影格擷取一張作為標的)，將影像轉為 numpy 數組，轉換成 yolo_img。

9. 辨識並匯出辨識結果

檢查資源占用旗標，避免多線工作導致資源相衝問題，辨識系統釋放時進行影像識別，取得大於指定之信心閾值的辨識結果，將結果於圖片中的位置與結果類別整合後回傳。

10. 照片與 GPS 對應

從照片之 EXIF 或影片 GPS 數據中提取對應時間段之座標與時間速度資訊，檢查 ffmpeg 與 ffprobe 工具是否可用，取得影片中的 GoPro MET 串流資訊，此為 GPMF 格式，將其轉換並修正為影片的時間座標與經緯度 GPS 的對應格式。

11. 依據請求的方式回傳指定編碼的辨識結果

依據影像、影片處理模式的不同，回傳的結果將對應的變化

- (1) 影像：GPS 資料與其餘的附屬欄位將由網頁端於上傳時進行設定，因此辨識伺服器將僅會回傳對應的影像檔案 ID 與辨識後產生的圖片位置，以及辨識的結果列表
- (2) 影片：影片回傳對應的影像檔案 ID，辨識後的圖片位置，辨識的結果列表，影片攝取的 UTC 時間點，影片攝取的經度、緯度、速度，與在影片中的時間點。

12. 將結果寫入前端網頁伺服器資料庫

資料庫通訊模組將會把辨識的結果依據資料庫系統的規劃進行拆分與結構處理，如執行對應的資料格式轉換或將集合分拆，同時通知影片工作處理完成。

13. 清除本機暫存資料

為減低系統記憶體與 CPU 占用，系統將於每次執行辨識功能前進行閒置執行序資源回收的檢查，同時清空記憶體指定區塊。

3.6.5 扣件影像管理與辨識網站

軌道扣件缺失辨識系統具備視頻上傳、扣件分類、扣件查詢和扣件定位功能。在連接到後端深度學習伺服器時，需要有足夠的輸入輸出性能和緊固件分類能力，以便在適當的時間內完成。由於視頻上傳量大、分類時間長，使用兩個緩衝區保證流暢的工作流。扣件查詢模

式為使用者提供以前的分析結果以供判斷。對上傳的圖像進行分類後，根據獲取的日期/時間和扣件類型對分類結果進行查詢。通過使用 GPS 座標，可以在 Google Map 上顯示被識別出有缺陷的軌道扣件，目前系統提供的功能畫面如圖 3.35 至圖 3.39 所示。

軌道扣件缺失辨識系統 新增 瀏覽檔案 檢視結果 用戶管理 admin 登出						
上傳日期	起訖座標	線別軌別區段	起訖站點	辨識狀態	備註	操作
2019-09-21 12:06:32	K179+405.31 K174.781.14	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:大甲 終點:日南	辨識完成	-----	    
2019-09-24 11:49:16	K179+405.31 K179+405.31	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:大甲 終點:大甲	辨識完成	-----	    
2019-09-26 13:49:55	K179+405.31 K167+013.83	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:大甲 終點:苑裡	辨識完成	-----	    
2019-09-26 18:16:34	K184+685.57 K179+405.31	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:臺中港 終點:大甲	辨識完成	-----	    
2019-09-27 13:59:05	K179+405.31 K179+405.31	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:大甲 終點:大甲	辨識完成	-----	    
2019-09-27 15:20:14	K184+685.57 K179+405.31	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:臺中港 終點:大甲	辨識完成	-----	    
2019-09-27 19:38:45	K179+405.31 K184+685.57	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:大甲 終點:臺中港	辨識完成	-----	    
2019-09-27 19:39:02	K179+405.31 K174.781.14	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:大甲 終點:日南	辨識完成	test 123	    
2019-09-30 13:03:23	K184+685.57 K174.781.14	線別:東正線 軌別:左側 區段:台中線	起點:臺中港 終點:日南	辨識完成	test parallel1213	    

圖 3.35 扣件影像管理與辨識網站-歷次檢測辨識進度

軌道扣件缺失辨識系統						
新增 瀏覽檔案 檢視結果 用戶管理				admin 登出		
分類	物件名稱	起點	終點			
---	混凝土枕木eClip(損壞)					
篩選				搜尋:		
檔案	物件分類與名稱	辨識分數	時間點	操作	緯經度	
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.772641	2019-09-21 16:00:01		緯度24.347576 經度120.629424	
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.546630	2019-09-21 16:00:01		緯度24.347576 經度120.629424	
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.857118	2019-09-21 16:00:30		緯度24.349064 經度120.630436	
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.525587	2019-09-21 16:00:30			
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.906463	2019-09-21 16:00:33		緯度24.349269 經度120.630575	
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.958273	2019-09-21 16:00:37		緯度24.349486 經度120.630721	
	分類3 名稱:混凝土枕木eClip(損壞)	0.858266	2019-09-21 16:00:40		緯度24.349762 經度120.630906	

圖 3.36 扣件影像管理與辨識網站-辨識結果清單



圖 3.37 扣件影像管理與辨識網站-辨識結果內容



圖 3.38 扣件影像管理與辨識網站-原始影像檢視

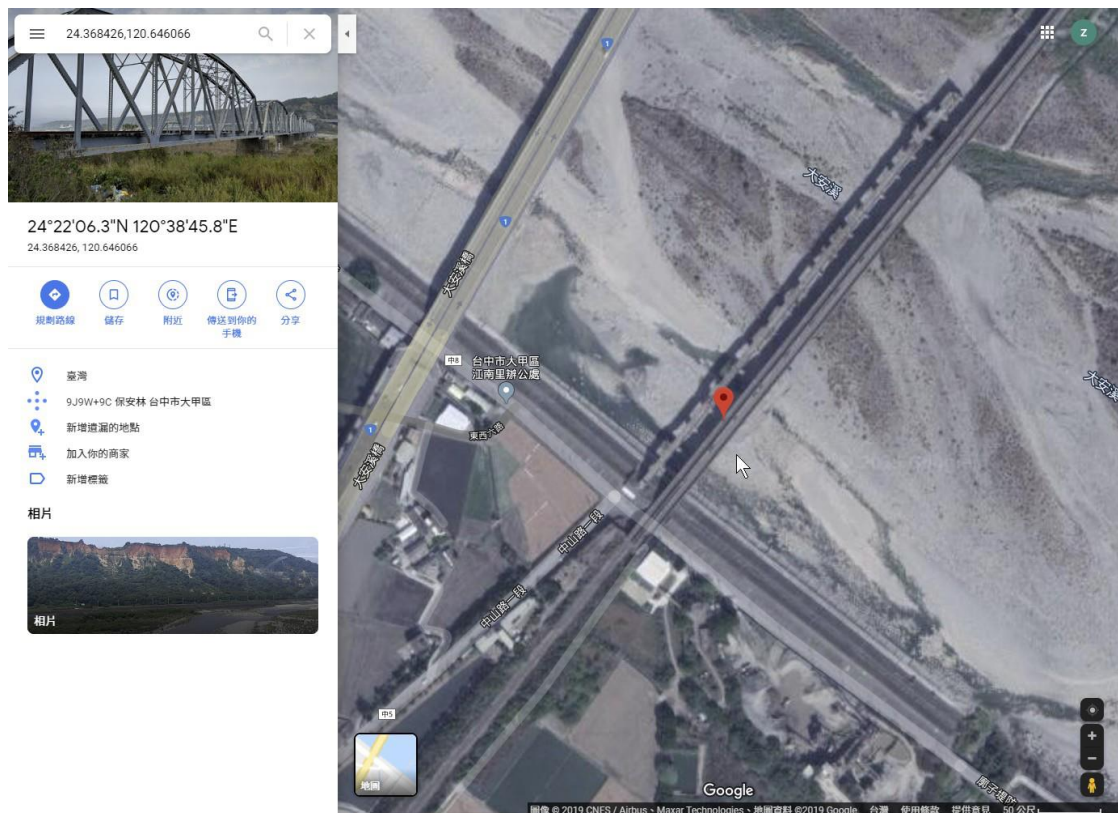


圖 3.39 扣件影像管理與辨識網站-缺失位置顯示

3.7 未來軌面缺失可辨識種類

經參考相關文獻，提出 AI 軌面缺失可辨識種類，整理如表 3-6 所示。

1. 斷軌：按現有方式，以 YOLO 辨識
2. 軌面變形：仿照超音波發射方式，用不同角度，以可見光攝影，取得反射照片，辨識亦可採用 YOLO。
3. 裂縫：在軌距邊出現的裂縫，或是表面的斑點，都可以 YOLO 辨識。
4. 檢驗速度應該可以比傳統人工推車速度快。

實際狀況，台鐵台中段建議，未來軌面缺失辨識種類以斷軌及疲勞裂縫（魚鱗剝落現象）為主。

表3-6 軌面缺失可辨識種類

No.	Types	Images	Description	AI 可行性
1	Rising of joint		Broken Rail (斷軌)	V
2	Squat		Wheel Burn (踏面擦傷)	V
3	Hogging of rail		Buckling (軌道挫曲、拱起)	V
4	Rolling contact fatigue		Rolling contact fatigue (波狀磨耗)	V

3.8 未來相關軟硬體設備成本

針對本研究未來發展所需的軟硬體設備成本說明如下：

1. 軟體

Linux、Tensorflow、Keras、MySQL DBMS、Apache Web Server 皆開源免費

2. 硬體

網站伺服器*1、AI 伺服器*1、維修車上所有取像相關架設、Edge Computing * 2 即時辨識運算、High speed camera *2 高速攝影機，其中 AI Lab 的 AI Server 大約 25 萬。

3. 軍規手機

以目前較受歡迎的 CAT 品牌所推出其中三款軍規智慧型手機(型號為 S40、S60 及 S61) 為例，售價約在 1.2 萬到 2.8 萬之間，以較高檔的 S61 型號為例，其主要規格如表 3-7 所示：

表3-7 CAT廠牌之S61型軍規智慧型手機規格

螢幕尺寸	5.2 吋
處理器類型	八核心
處理器型號	Qualcomm SD630 Octo
處理器時脈	2.2GHz
主相機畫素	1600 萬
前鏡頭畫素	800 萬
螢幕解析度	1980×1080
RAM 記憶體	4GB
ROM/內建儲存空間	64GB
記憶卡插槽	microSD

螢幕尺寸	5.2 吋
作業系統	Android™ O
機身長度(mm)	150
機身寬度(mm)	76
機身厚度(mm)	13
機身重量(g)	259
電池容量(mAh)	4500mAh
藍牙	有藍牙
手機類型	支援 4G LTE
頻率系統	HSDPA/WCDMA: B1/2/5/8/19
4G LTE 頻段	LTE Band B1, 2, 3, 5, 7, 8, 19, 20, 28, 38, 39, 40, 41, Cat13, VoLTE and VoWiFi
防水等級	IP68 防水達 5M
特殊功能	▪ 超越防水等級 IP69，支援水下 3 公尺達一小時。防落摔可達 1.8 公尺高度。軍規 MIL-Spec 810G，防沙、防塵、抗汙、防鹽霧、耐振及抗壓。支援濕手指和手套操作模式，方便戶外使用。 ▪ 雷射測距離與面積 APP/最遠可達 8M ▪ 氣體感測器/空氣質量計/濕度感測/氣壓計 ▪ 增強型 GPS+室內導航

4. 軍規筆電

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

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

在螢幕的部份，提供 14 吋 HD 高畫質螢幕（1366x768）或 14 吋 FHD 全高畫質螢幕（1920 x 1080）。長時間在戶外強光照射下工作的專業人士則可以選配 1000 nits 高亮度 HD 多點觸控螢幕或者 800 nits 高亮度 FHD 多點觸控螢幕。為保障戶外工作不斷電，S410 單顆電池續航力最長為 11 小時，亦可搭配第二顆電池，將電池續航力延伸至 22 小時。無線區域網路(WLAN)支援 802.11a/b/g/n/ac 以及 Bluetooth v4.2。

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

5. 影像擷取設備之固定夾

在影像擷取設備固定部份，需視採用的影像擷取設備而決定適合的固定夾，費用約略在 1 萬元左右。

第四章 軌道扣件檢測成果

4.1 實測結果

4.1.1 GoPro安裝實測

大甲分駐所協助完成平車製作後，本研究團隊於 2019 年 3 月 28 日赴大甲分駐所進行 GoPro 設備架設與實測。

本研究團隊赴大甲分駐所後，由大甲分駐所人員協助將平車透過多種不同吊車（貨車型吊車、火車吊車），將平台吊掛赴大甲分駐所旁大甲站的側線進行安裝實測。大甲分駐所在平車上焊接了一個 L 型鋼片，以做為 GoPro 固定使用，但因接觸面積不足，原本打算利用其他塑膠墊片協助固定（如圖 4.1 所示），但經幾次測試用，最後還是直接使用 GoPro 寬管型固定座（圓管夾座+接管+更多組件）（AGTLM-001）攝影鎖臂夾具（如圖 3.16 所示），將其牢固於 L 型鋼片上。固定成果如圖 4.2、圖 4.3 所示，並確保 GoPro 可清晰拍攝軌道之影像。

在完成平車及 GoPro 固定後，即由工程維修車帶動平車在側線往返進行實測，最高行駛速度約可達時速 50 公里。行駛過程發現 GoPro 雖然已固定在 L 型鋼片上，但是鏡頭晃動嚴重，相當擔心拍攝之影像是否足夠清晰。檢視拍攝後之影像，影像清晰度超乎預期，自影片播放軟體擷取的畫面如圖 4.4、圖 4.5 所示。初步確認，採用 GoPro 所拍攝之影像相當清晰，證明 GoPro 之防震功能相當出色。

至於 GoPro 影像解析度設定，我們評估之後發現 1920*1440 以上的解析度，一則太大，一則處理花時間，而且熱當機情況相當嚴重，所以調降至 1920*1080，一則扣件可以有足夠解析度，以 eClip 而言，解析度大約為 180*190，是比較合適，可以拍出較細小墊片；若以道釘而言，若解析度低於 1920*1080，可能小的扣件就不易拍攝清楚了。

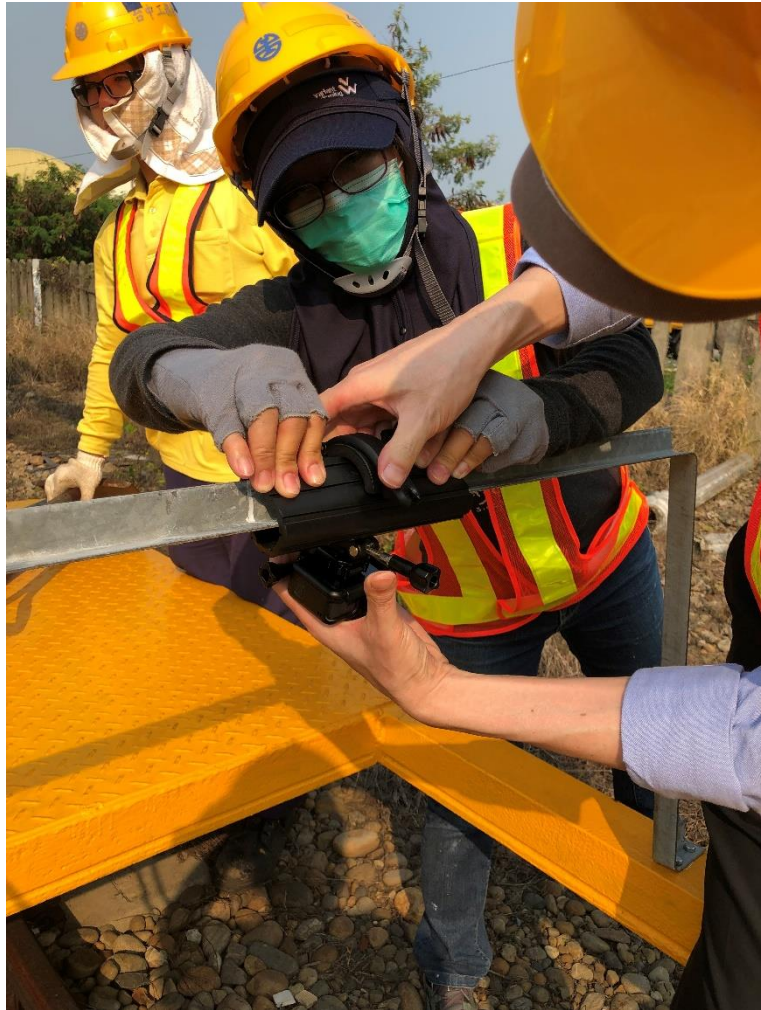


圖 4.1 GoPro 固定



圖 4.2 GoPro 固定情形



圖 4.3 GoPro 固定後垂直拍攝軌道影像

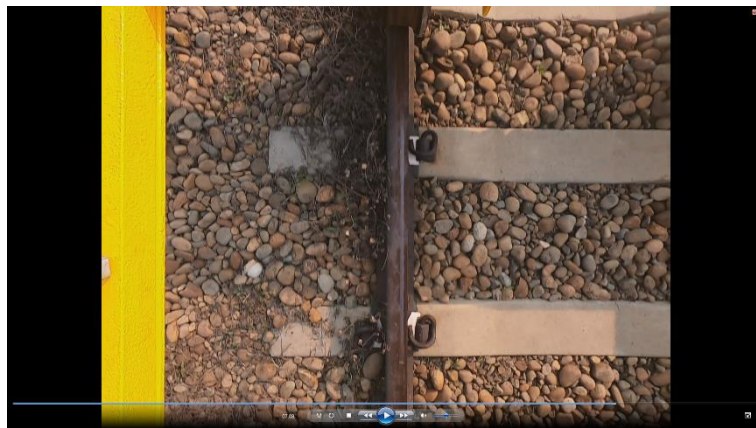


圖 4.4 實測軌道扣件影像（一）

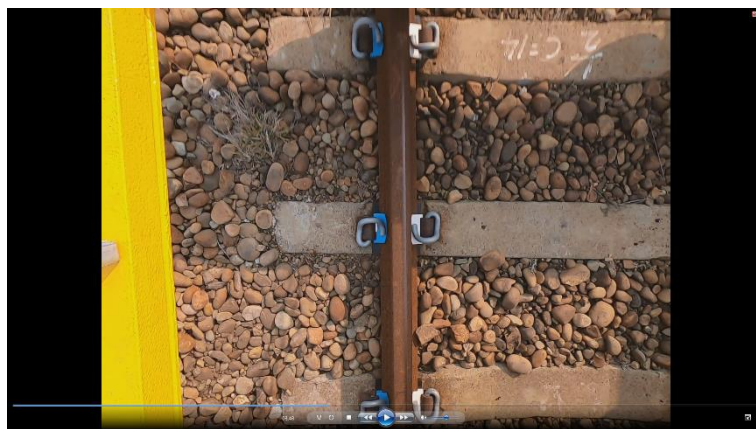


圖 4.5 實測軌道扣件影像（二）

4.1.2 GoPro長時間實測

在完成初步測試後，已確認採用 GoPro 可清晰拍攝研究所需之影像，接下來請大甲分駐所進行長時間之實測作業，以確定設備運作之穩定性。經多次實測後發現，GoPro 使用內建的電池提供拍攝所需之電源，並使用 4K 解析度進行影像錄製，約連續使用 1 小時左右 GoPro 便會因為設備過熱而啟動保護作業，自動將設備進行關機。

發現此問題後，上網搜尋資料後發現，也有相當多的使用者碰到類似的問題，嘗試與 GoPro 代理商進行聯繫後，得到的回應是，因為採用 4K 解析度進行錄影，所需的電量較大，電池長時間連續供電後，便會發生過熱的問題。且錄影後的檔案要存入 SD 卡中時，也容易因為高速讀取而造成設備溫度過高之情形，此情形普遍存在其他使用 4K 進行影像錄製的設備中，包括 Sony 的 Action Cam。

代理商建議可嘗試不要使用內建的電池供電，改由 USB 充電，且調降影像解析度（1080P 60FPS），不要使用 4K 之解析度。改用代理商建議方式再進行實測，在不加裝風扇或其他散熱手段下，GoPro 連續錄影時間超過七小時，也不會發生設備過熱而自動關機之問題，算是解決目前碰到的設備過熱問題。

7 月 27 日夜間至 7 月 28 日凌晨，進行正線夜拍，共檢測 50.1 公里，其中一台 GoPro 當了 8 次，另一台當了 3 次。8 月 2 日檢測希望能找出 GoPro 當機的原因，測試內容如下：

1. 直接使用發電機供電給照明及 GoPro 使用：可能電流不穩
2. 分別使用 32GB、64GB 及 256GB 的記憶卡做記錄：狀況穩定
3. GoPro 採用電子防震：因實測時震動頻率高，評估購買三軸防震設備，取代 GoPro 電子防震功能。

9 月 21 日夜間至 9 月 22 日凌晨，進行正線夜拍「大甲~大山」，此次增加 200W 照明一邊 2 盞，共 $2 \times 200 = 400$ 瓦燈，但降低高度至平車下，貼近軌面。單趟 42 公里，來回共 84 公里，時速 35km/h，GoPro#1 當了 8 次，#2 當了 12 次，當機的原因，排除之前已找出的：

1. 放在桌上不動，測試還是會當機：可能此機是瑕疵品。
2. GoPro 改用外部三軸防震設備，仍然當機：可能未正確設定。

未來如果仍未能排除當機問題，將不採 GoPro 錄影方式，改採高速攝影方式，每取像一張照片隨即由前端 Edge Computing 進行辨識。

4.1.3 夜間錄影實測

在日間實測時，所發現的 GoPro 過熱問題，已順利解決。但光線充足與否的影響，則需透過夜間實測才能進行測試。作業請大甲分駐所協助進行夜間測試，同樣將平車吊掛至軌道上（如圖 4.6 所示），待平車平穩放置於軌道上時，著手調整照明位置（如圖 4.7 所示），盡量降低產生陰影，以確保可獲得更好的影像錄製品質。

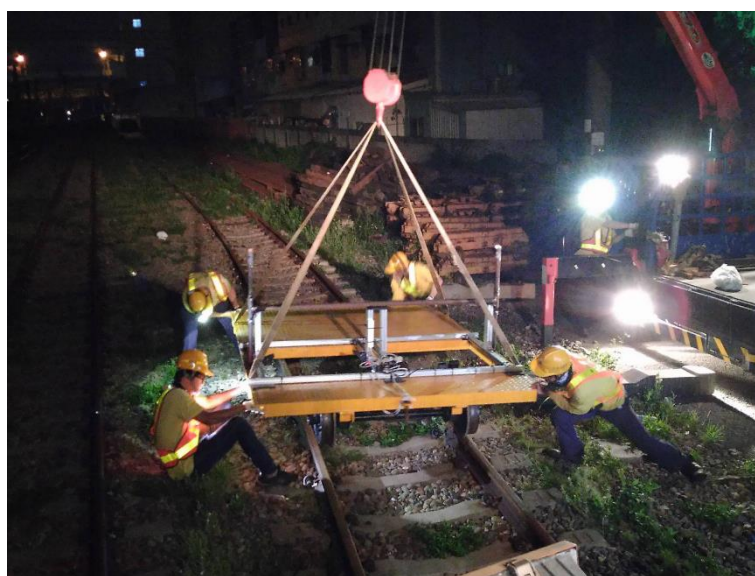


圖 4.6 夜間實測吊掛平車



圖 4.7 調整夜間實測照明設備位置

此次實測後發現，在夜間拍攝時，影像不夠清晰而且會有殘影（如圖 4.8 所示），初步評估有可能是因為光線不足，GoPro 自動拉長曝光時間，以致於影像中發生殘影所致。可調整 GoPro 之設定參數，或是增加照明的亮度（大甲分駐所已協助另外使用 200W 的 LED 提供電源，如圖 4.9 所示），以取得夜間拍攝較佳之影像品質。



圖 4.8 夜間實測影像，(a) 模糊，(b) 殘影嚴重



圖 4.9 加強夜間照明實測

9 月 21 日夜間~9 月 22 日凌晨以 3.4.3 小節所述加強版照明架設方式進行正線夜拍，一邊用 2 盞 200W 的 LED 燈，共 $2 \times 200 = 400$ 瓦燈，而且燈具降低高度至平車下，貼近軌面，再次進行大甲~大山正線夜拍，跑了 $42 \times 2 = 84$ 公里。結果如圖 4.10，影像上方雖仍有暗處，但大致上照的軌道扣件已可清楚辨識，未來可持續增強光源為每邊 4 盞 200W LED 白晝光燈，維修車速度也可以再提升。



圖 4.10 一邊兩盞 200W 照明燈而且降低光源，取像結果清晰可用

4.2 扣件分類與 AI 模型建立

AI 辨識系統要正常運作，發揮即時偵測與辨識的功能，需要靠原始資料的提供，以及專家對欲辨識物件的分類與標籤。對於此，本研究團隊與大甲分駐所合作，由大甲分駐所先提供欲辨識扣件影像，由本研究團隊先行分類與訓練，再請大甲分駐所專家檢視扣件分類狀況，並持續更新與收集不足資料，以做為 AI 模型建立使用。

軌道扣件系統所採用的扣件各國皆不相同，如表 2-2 所列，各國所發展的自動扣件辨識標的也大相逕庭，如 2.4 節說明。而台灣所採用的扣件種類更是聯合國，依據大甲分駐所專家建議，本計畫先由最複雜的道岔所用的扣件開始蒐集(4.2.1 節)，進而擴及側線(4.2.5 節)，最後再蒐集正線(4.2.6 節)。最後要辨識的標的說明於表 4-2。本研究初步成果說明如下。

4.2.1 扣件資料收集

由大甲分駐所協助提供道岔的扣件照片與資料。

1. No. 12 雙開道岔扣件（如圖 4.11 所示）

單開道岔（Single Turnout）由轉轍器、轍岔、護軌及連接部分和岔枕組成。轉轍器是用來引導機車車輛由正線轉向側線或由側線轉向正線的轉向設備；轍岔及護軌是使機車車輛的車輪由一股鋼軌越過另一股鋼軌的過渡設備；轉轍器和轍岔由連接部分連接。轉轍器由一對尖軌、一對基本軌、轉轍裝置及一些連接零件所組成。雙開道岔（Equilateral Turnout）的組成和單開道岔基本相同，也是通向兩個方向的道岔；其與單開道岔的區別在於，雙開道岔的前進方向是一左一右，成「人」字形，而單開道岔的前進方向為一直一側，成「卜」字形。



圖 4.11 雙開道岔

2. No.12 雙開反位道岔扣件（如圖 4.12 所示）

設置於定位與反位交叉處的設備，使車輛行於一軌，輪緣可以通過另外一軌，主要由四根軌條構成，材質及形狀皆與一般軌條相同。由於道岔岔心處，車輪方向容易偏移，故在與岔心對應的外側軌道需要安裝護軌以保證列車行駛方向。

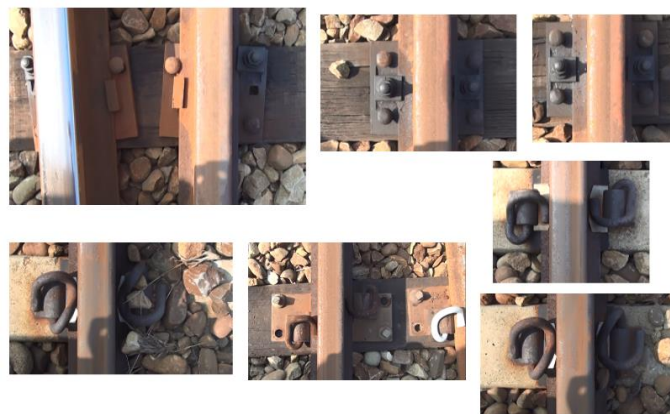


圖 4.12 雙開反位道岔

3. No. 8 左開關節式道岔分歧側扣件（如圖 4.13 所示）

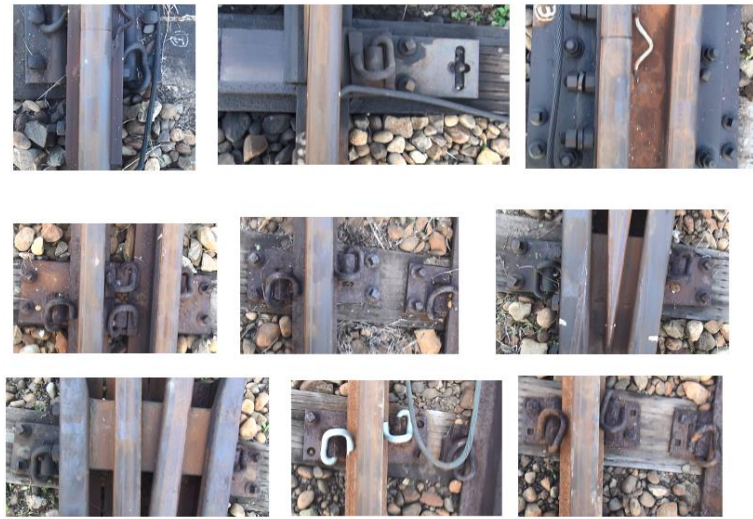


圖 4.13 左開關節式道岔分歧側

AI 訓練資料光有正樣本還不夠，還必須提供負樣本供 AI 模型可以區分好的扣件與缺損的扣件。由大甲分駐所協助提供的各類缺損扣件，整理如圖 4.14、圖 4.15 所示。

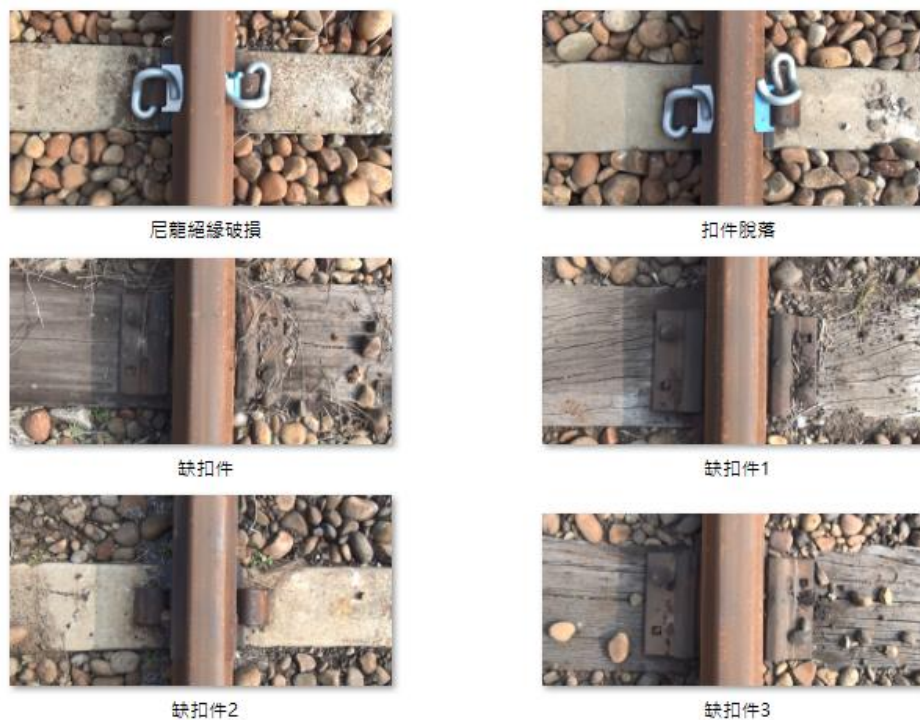


圖 4.14 軌道扣件負樣本（一）



圖 4.15 軌道扣件負樣本（二）

4.2.2 訓練資料處理

YOLO 訓練資料，需要將扣件的 bounding box 標出來，也就是要將圖片裡面要偵測的物件，以人工方式框標出來，並且將 bounding box 標上標籤，也就是這張圖片的 Annotation(註釋)，我們使用的工具是 labeling (如圖 4.16 所示)。所建立的資料集，80%用於訓練，20%用於測試。

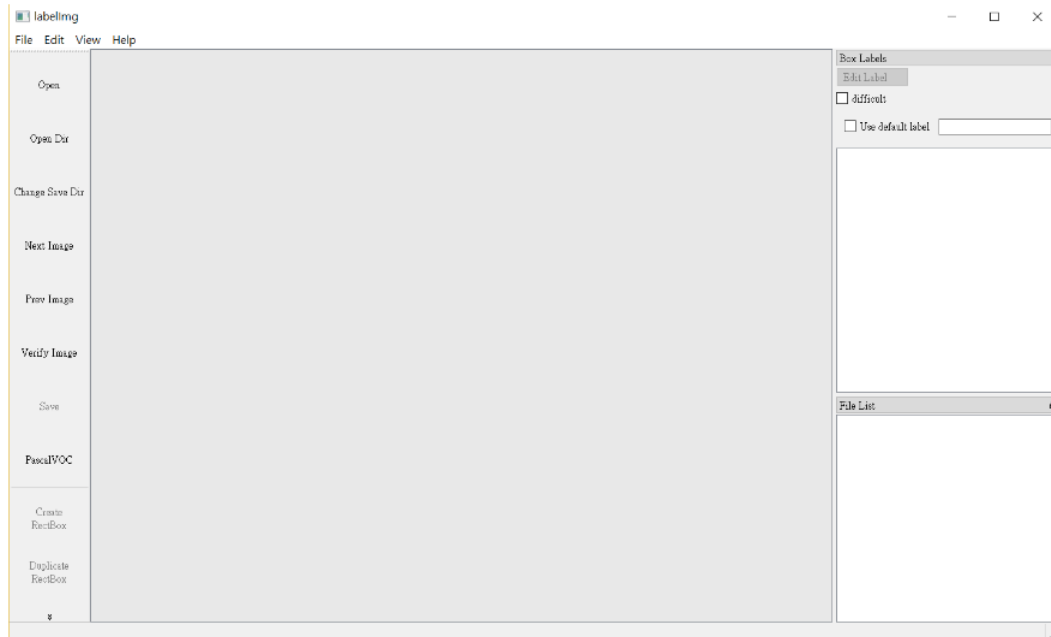


圖 4.16 YOLO 標籤製作工具

4.2.3 AI模型評估

YOLO 模型評估主要採取物件偵測（Object Detection）常見的指標：IoU 和 mAP。其定義如下：

1. IoU (Intersection over Union)

如圖 4.17 所示，預測結果與 ground truth 的聯集分之交集（如下式）。一般預測任務最常用的指標是 0.5 IoU，表示在一次 bounding box 預測中，該 bounding box 算出的 $\text{IoU} > 0.5$ 時為預測成功。

$$\text{IoU}(A,B)=A \cap B / A \cup B$$

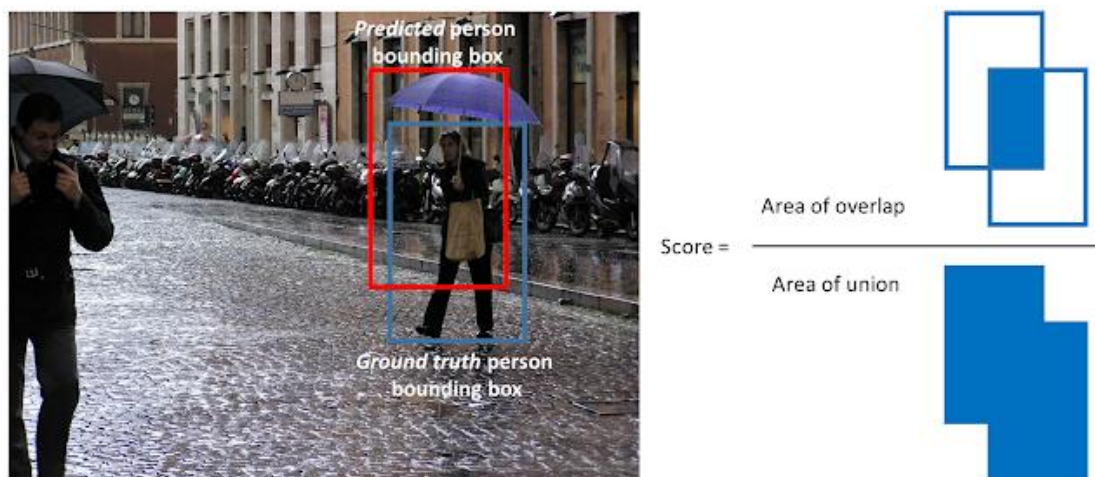


圖 4.17 IoU 含義

資料來源：<https://mropengate.blogspot.com/2018/06/yolo-yolov3.html>

2. mAP (Mean Average Precision)

計算各個種類的精確度並平均，這裡的精確度即是使用 IoU 作為判別準則，通常為 0.5 IoU。

- TP(c): True Positive in class c，預測的 proposal 和 ground true 吻合（種類正確且重疊部份夠高）。
- FP(c): False Positive in class c，預測的 proposal 和 ground true 不吻合（種類錯誤或重疊部份不夠高）。

因此由以上步驟可知在 class c 中的準確率為：

$$TP(c) = TP(c) / (TP(c) + FP(c))$$

因此每個 class 平均的準確率為：

$$mAP = 1 / |\text{classes}| \sum_{c \in \text{classes}} TP(c) / (TP(c) + FP(c))$$

3. mAP@[.5:.95]

IoU 取一個 threshold (如 0.5) 可以計算 mAP，因此可以取 0.5 到 0.95 的每 0.05 一個間隔設定 threshold 都算一次 mAP 後將所有數值平均，即為 mAP@[.5:.95]。

4.2.4扣件分類初步結果

觀察大甲分駐所所提供之正負樣本，本研究團隊定義了如圖 4.18 的扣件種類，並以 LabelImg 製作訓練資料，總計訓練樣本為 288 張圖片，測試樣本為另外 30 張圖片，測試樣本為原始資料集中隨機選出。初步分類結果，在各項扣件的類型偵測上取得了約 87%的準確率，綜合準確率約為 75%（如圖 4.19 所示），初步訓練成效整理如表 4-1。圖 4.20 顯示一些照片辨識的結果，經過 5,000 回合，損失函數在 3.75，可以得到 mAP 趨近 75%如表 4-1。

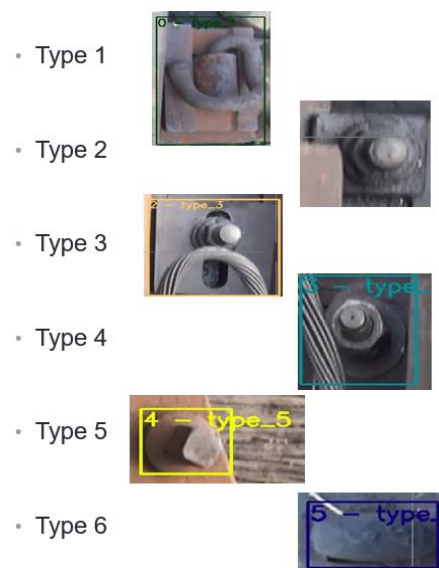


圖 4.18 臺鐵軌道扣件初步分類

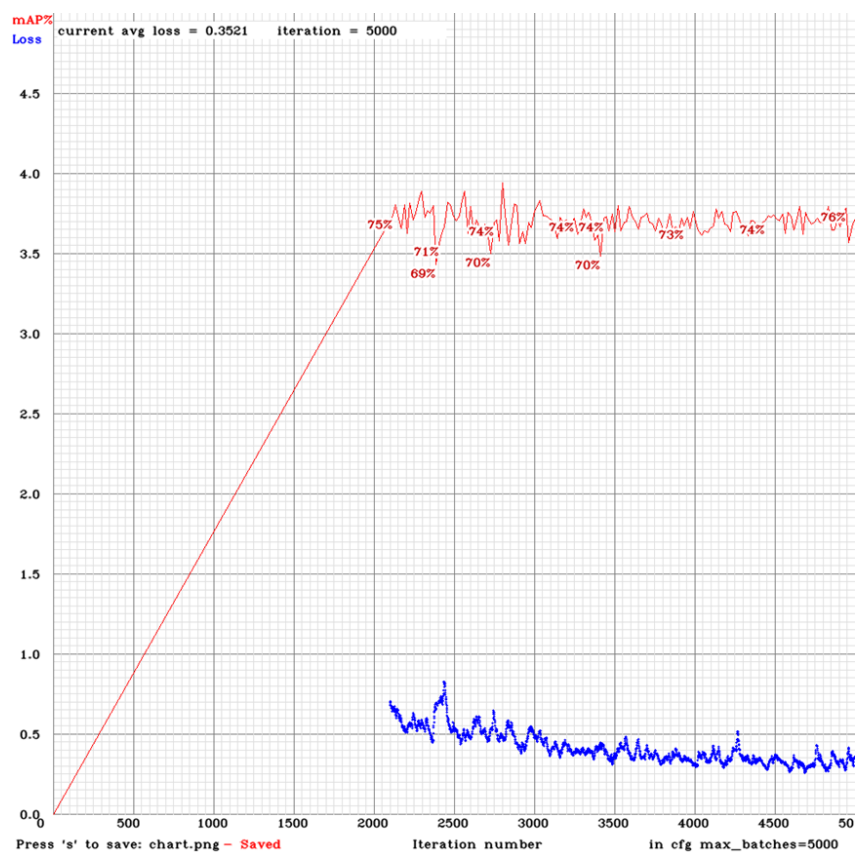


圖 4.19 YOLO 訓練結果數據

表4-1 初步訓練成效

類型	偵測率
偵測到的物件個數	325
Type1	92.98%
Type2	95.00%
Type3	95.00%
Type4	74.66%
Type5	79.70%
Type6	85.13%
物件範圍偵測準確率	64.25%
判別準確率(precision)	0.86
捕獲準確率(recall)	0.88
F1-score	0.87
平均準確率(mAP)	75.54%

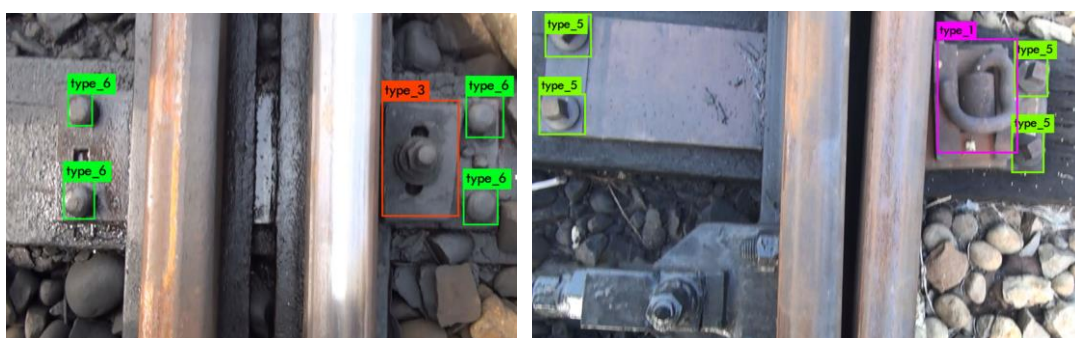


圖 4.20 YOLO 辨識結果

4.2.5 側線實測扣件資料辨識

經過初步驗證後，應用 YOLO V3 進行軌道扣件辨識是可行的，研究團隊邀請大甲分駐所專家們協助進行扣件分類修正，資料整理如表 4-2 所示。重新修訂後，分類為 13 類，其中無圖片，均屬尚未收集到負樣本。

在影像取像的實測部份，將優先以本研究案研究主題與重點中所提，在臺鐵局臺中工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區（大甲車站側線）進行實測，利用 GoPro Hero7 Black 所拍攝之影像進行影像辨識。當發現有缺失扣件時，則利用前述的 GoPro GPX 標定缺失扣件所在的里程地點。

測試結果，正樣本 TP = 3,114 個，負樣本 FP = 378 個，誤判個數 FN = 180 個，正確率 Precision = 0.89, 召回率 Recall = 0.95, F1-score = 0.92, 平均正確率 mAP = 84.08%, IoU = 73.4%，顯示有良好效果。一些照片辨識結果亦顯示於圖 4.21，證實本研究所提方法可行性。

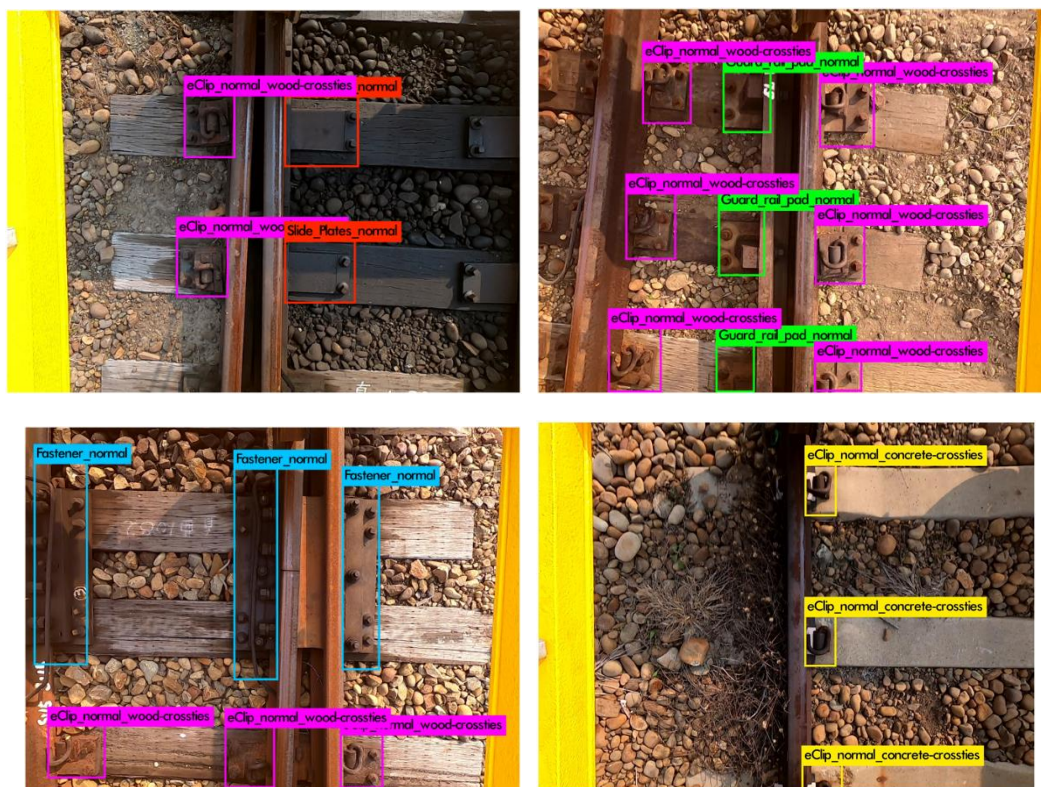


圖 4.21 YOLO 進行側線辨識結果

表4-2 修正後軌道扣件分類

編號	扣件分類	圖片	測試800張照片，內含3294個物件 準確率(解析度=1920*1080)
1	<u>e_clip</u> 位於木枕(正常)		84.82%
2	<u>e_clip</u> 位於木枕(損壞)		無資料
3	<u>e_clip</u> 位於混凝土(正常)		88.27%
4	<u>e_clip</u> 位於混凝土(損壞)		89.91%
5	<u>e_clip</u> 遭到遮蔽		70.68%
6	道釘 (正常)		79.52%
7	道釘 (損壞)		無資料

編號	扣件分類	圖片	測試800張照片，內含3294個物件 準確率(解析度=1920*1080)
8	魚尾鈑(正常)		84.82%
9	魚尾鈑(損壞)		無資料
10	滑床鈑(正常)		86.03%
11	滑床鈑(損壞)		無資料
12	護軌墊鈑(正常)		86.18%
13	護軌墊鈑(損壞)		無資料

4.2.6 正線實測夜拍扣件辨識

夜間試拍 I (6 月 6 日 17:00~21:00 側線夜拍) & 夜間試拍 II (6 月 17 日 00:00~3:00 正線拍攝) & 正線夜拍 (6 月 24 日 00:00~3:00)，夜間錄影品質尚可（當天下大雨也 OK），人眼可辨識，但不如白天拍的清晰。進行燈光補強，用 2*200W 燈具，燈具架設於上方，與相機同向斜照。側正線試拍畫面良好，但時速未達 30km。

辨識結果如表 4-3 所示，扣件檢出率 85%，召回率 97%，一些辨識的範例圖，如圖 4.22 所示。

表4-3 新增夜拍資料後軌道扣件辨識結果

訓練資料集共 2850 張相片，測試資料集共 952 張相片。 本次新增 0625 夜拍中之 879 張穩定清晰相片至訓練與測試資料集中	
驗證資料集中物件個數 3728，信心筏值(thresh)為 0.5	
eClip 木枕木_正常	85.62%
eClip 木枕木_損壞	50.76%
eClip 混凝土枕木_正常	88.19%
eClip 混凝土枕木_損壞	84.76%
eClip 遭到遮蔽	85.54%
道釘_正常	87.17%
道釘_損壞	50%
魚尾鈹_正常	67.79%
魚尾鈹_損壞	89.71%
滑床鈹_正常	88.23%
滑床鈹_損壞	無資料
護軌墊鈹_正常	87.39%
護軌墊鈹_損壞	無資料
斷軌	資料過少
precision = 0.85, recall = 0.97, F1-score = 0.91, average IoU = 70.52 %, mean average precision (mAP@0.50) = 0.721968, or 72.20 %	



(a)



(b)

圖 4.22 進行正線夜拍辨識結果，(a) normal(正常)，(b) break (損壞或缺失)

4.3 正線 70km 場域測試

4.3.1 影片標註處理

7 月 27 日夜間~7 月 28 日凌晨，進行正線夜拍，跑了 50.1 公里。總共錄了 38 個 mp4 檔案，每個大約 4G Bytes 左右。因為時速 30 公里左右就不太清楚，就算每邊都 2 盞大燈也一樣殘影嚴重，所以 9 月 21 日夜間~9 月 22 日凌晨，再進行正線夜拍「大甲~大山」，一邊用 2 盞 200W 的 LED 燈，共 $2 \times 200 = 400$ 瓦燈，但降低高度至平車下，貼近軌面。單趟 42 公里，來回共 84 公里，時速 35km 左右。表 4-4 是 70km 正線夜拍所得影片和可用照片張數。

所有資料，總共使用 25 人次處理，耗時大約 1 個月，照片若是過於模糊或是鏡頭有異物，將不予標註，如表 4-4 所示。其中有部分影片，因學生設定解析度錯誤，無法使用，待更正後，再存回資料集。

表4-4 正線70km夜拍影片標註處理

拍攝日期	影片個數	無法使用個數	可用照片
6 月 17 日	37	2 過於模糊+1 鏡頭異物	13,945
7 月 27 日	38	0	23,420
9 月 21 日	44	3，解析度錯誤無法使用	20,698
合計	119	6	58,063

4.3.2 AI模型評估

模型訓練集來自 6 月、7 月、與 9 月全部拍攝記錄，共計影片 119 支，但並非每一張照片都是清晰可用的，經統計共擷取 58,063 張相片可作為訓練資料集，80%作為訓練集，20%做為測試集。訓練曲線圖如圖 4.23，epoch 次數為 27,000，loss function 已經收斂。本系統經多次測試，以 3.1 節後端伺服器訓練，平均花費時間約 20 小時，測試時每秒可辨識 50 張以上照片。

辨識結果如表 4-5，其中扣件檢出率 82.5%及扣件缺失檢出率 74.5%，可以符合本研究預定目標，扣件檢出率及扣件缺失檢出率計算公式如(1)與(2)。一些辨識結果圖如圖 4.24 所示。

$$\begin{aligned}
 &\text{扣件檢出率(Recall rate)}=\text{所有正常扣件檢出率之平均} \\
 &=(84\%+78\%+78\%+90\%)/4 \\
 &=82.5\%>80\%(\text{目標})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{扣件缺失檢出率(Recall rate)}=\text{所有扣件缺失檢出率之平均} \\
 &=(88\%+61\%)/2 \\
 &=74.5\%>70\%(\text{目標})
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

相比於人工檢測，AOI 機器視覺檢測可靠性和效率都更高。80% 是比較保守的估算，目前本系統經多次測試後，正常和缺失扣件平均檢出率都有達標，未來可以適度提高平均檢出率。

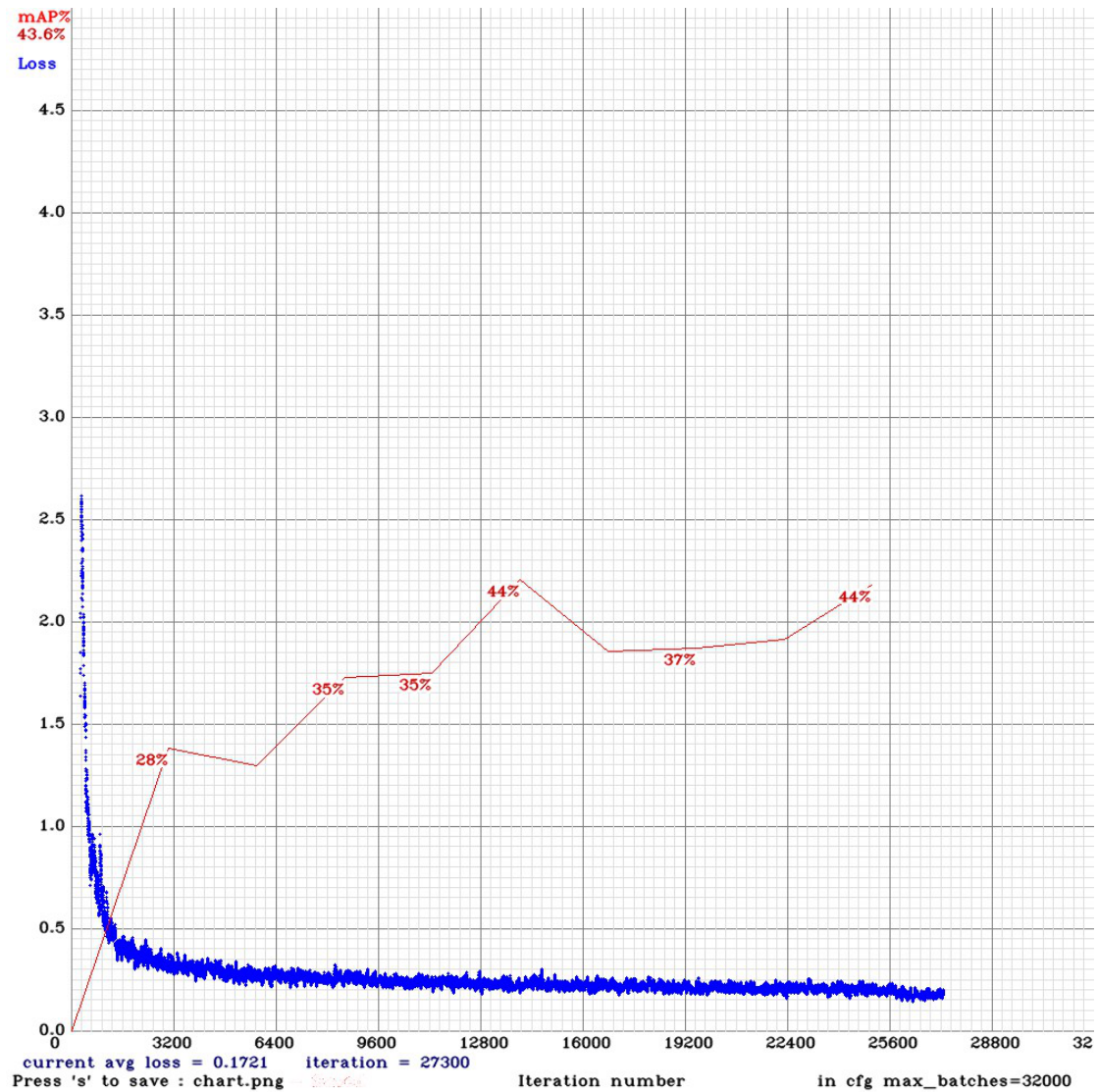
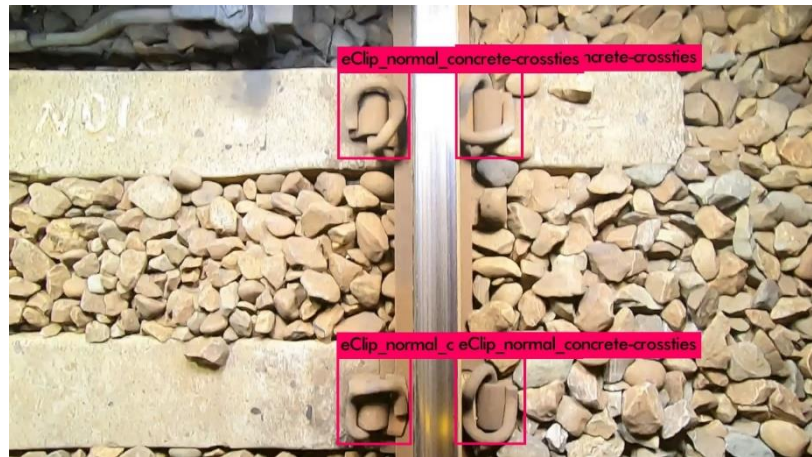
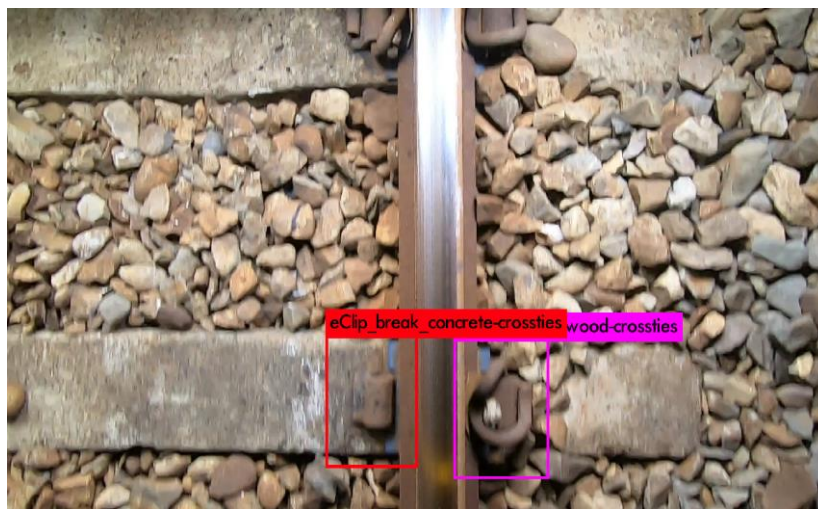


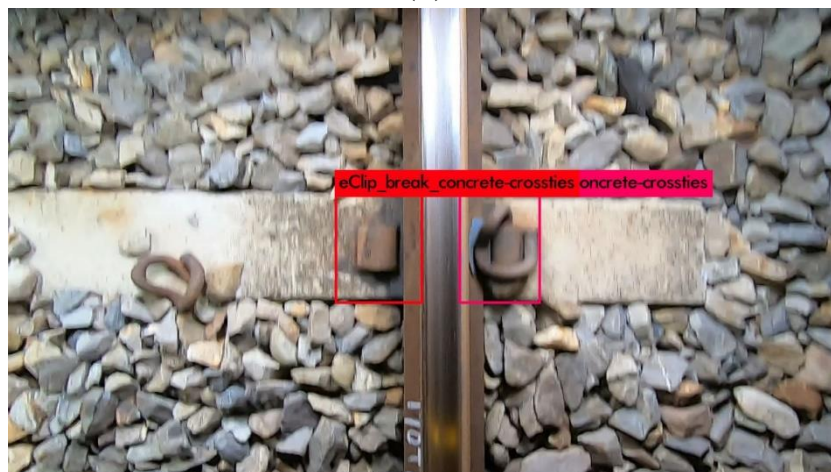
圖 4.23 AI 模型 Loss Funtion 收斂曲線圖



(a)



(b)



(c)

圖 4.24 進行正線夜拍辨識，normal 為正常，break 為損壞或遺失

(a) 均為 normal 正常，(b) 左側為扣件遺失，(c) 左邊扣件遺失

表4-5正線70km AI模型辨識結果

(以資料集中間 20%為測試集，其餘為訓練集)

類別名	Precision	TP	FP	TP+FN	Recall
e-Clip 木枕木_正常	0.91	590	61	701	0.84
e-Clip 木枕木_損壞	0.86	30	5	34	0.88
e-Clip 混凝土枕木_正常	0.89	6131	762	7824	0.78
e-Clip 混凝土枕木_損壞	0.80	194	47	316	0.61
e-Clip 遭到遮蔽	0.83	39	8	85	0.46
滑床鈹_正常	0.91	82	8	105	0.78
護軌墊鈹_正常	0.87	45	7	50	0.90
Precision = TP/(TP+FP) Recall = TP/(TP+FN) 正常檢出率 = 0.825 損壞檢出率 = 0.745 Thresh = 0.5					

表 4-5 提供 TP、FP、FN，惟 TN 在 Yolo 資料標註並不需要，根據定義，TP: true positive，辨識為正樣本，真實亦為正樣本；FP: false positive，辨識為正樣本，真實為負樣本；FN: false negative，辨識為負樣本，真實為正樣本；TN: true negative，辨識為負樣本，真實亦為負樣本。

基於 TP、FP、FN、TN，有一些評估辨識效能的指標如 Precision(正確率)，Recall rate(召回率)、mean average precision(mAP)、F1 score，定義如下：

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

$$\text{mAP} = \int_0^1 P(R) dR$$

$$F1 = 2 \times \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Under kill rate(誤殺率)} &= FN / (TP + FN) = \\ 1 - TP / (TP + FN) &= 1 - \text{Recall rate(召回率)} \end{aligned} \quad (4)$$

我們對每個類別都個別計算 Recall rate，參見表 4-5~4-7。以表 4-5 而言，損壞的 Recall rate 0.745，也就是所謂的 Under kill rate= 1-0.745= 0.255，以此角度而言，本系統扣件缺失檢出率為 0.745，仍然大於驗收目標 0.7。目前 Under kill rate 尚屬太高，經檢視訓練資料後，發現是原始資料過於模糊，未來將重新拍攝過於模糊軌道路段，重新訓練。

表4-6正線70km AI模型辨識結果

(以資料集前面 20%為測試集，其餘為訓練集)

類別名	AP	TP	FP	Recall
eclip 木枕木_正常	91.13%	534	56	0.76
eclip 木枕木_損壞	91.35%	30	2	0.81
eclip 混凝土枕木_正常	91.56%	6340	1188	0.81
eclip 混凝土枕木_損壞	73.74%	129	10	0.41
Eclip 遭到遮蔽	51.54%	20	4	0.24
護軌墊板_正常	91.63%	83	10	0.79
precision = 0.85, recall = 0.78, F1-score = 0.81 TP = 7169, FP = 1273, FN = 2016, average IoU = 70.63 % mAP@thresh0.5 = 81.825%				

我們採用交叉驗證(cross validation)，目的是為了得到可靠穩定的模型。在分類上，建立模型時，一個很重要的因素是取多少個主成分的問題，例如 10 折交叉驗證(10-fold cross validation)，將數據集分成十份，輪流將其中 9 份做訓練，1 份做驗證，10 次的結果的均值作為對算法精度的估計，一般還需要進行多次 10 折交叉驗證求均值，例如：10 次 10 折交叉驗證，以求更精確一點。在本計畫我們進行 5 折交叉驗證，將數據集分成五份，進行 3 次測試，分別是前 20%，中間 20%，以及最後 20%，表 4-5 是中間 20%為測試集，表 4-6 與 4-7 則是前 20%和最後 20%。不過，本計畫採用最佳之訓練結果如表 4-5。

表4-7正線70km AI模型辨識結果

(以資料集最後 20%為測試集，其餘為訓練集)

類別名	AP	TP	FP	Recall
eclip 木枕木_正常	96.56%	601	26	0.86
eclip 木枕木_損壞	93.99%	30	2	0.88
eclip 混凝土枕木_正常	94.32%	6250	588	0.8
eclip 混凝土枕木_損壞	65.02%	145	9	0.46
Eclip 遭到遮蔽	72.29%	42	4	0.49
護軌墊板_正常	93.62%	45	5	0.9
precision = 0.92, recall = 0.78, F1-score = 0.85 TP = 7200, FP = 643, FN = 1985, average IoU = 78.16 % mAP@thresh0.5 = 85.97%				

4.4 論文發表

本案 108 年 10 月 6 日於 IEEE ECICE 研討會發表，該研討會於虎尾科技大學舉辦，發表之論文名稱為”Railway Track Fasteners Fault Detection using Deep Learning”，論文之部份擷圖如圖 4.25，當日由本案謝禎岡教授及學生與會，照片如圖 4.26。

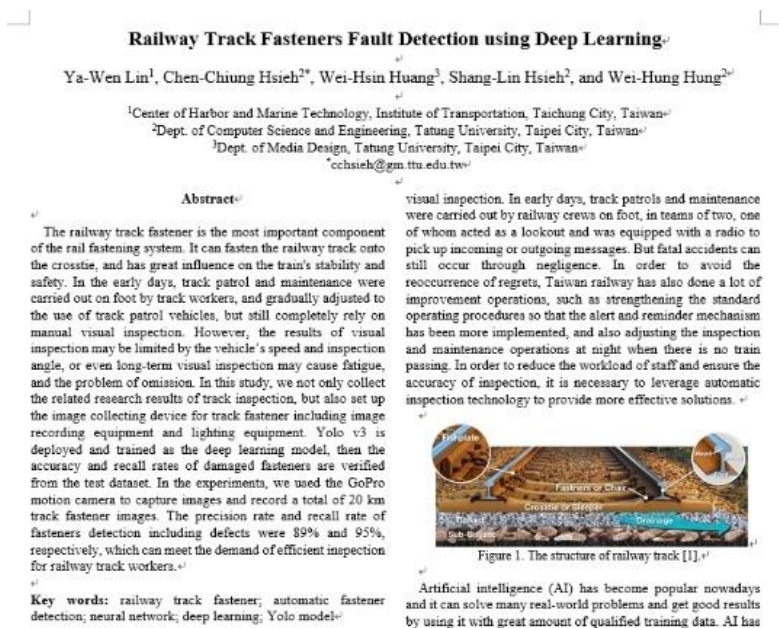


圖 4.25 發表之論文(部份擷取)



圖 4.26 論文發表之照片

第五章 結論與建議

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

5.1 結論

本研究完成可應用於臺鐵局軌道扣件檢測之高速影像記錄設備選用，並依據作業環境（如工程維修車）挑選適合高速影像記錄設備之安裝配件。目前已提出可應用於軌道扣件檢測及定位解決方案，並經實際正線驗證後證明其可行性。

目前已完成之研究成果整理如表 5-1，重要項目說明如下：

表 5-1 本計畫具體成果

確認工作項目與內容	量化數據
(一)蒐集國內外鐵路軌道扣件巡檢文獻及案例，敘述檢測設備、方法及成效等	參考 16 篇軌道相關檢測論文
(二)探討現行照相機或攝影機，安裝於臺鐵工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵工程維修車上，須滿足夜間臺鐵工程維修車車行進速度至少於 30Km/hr 時仍可獲取足供 AI 判釋之清晰影像，並研提可行性分析。	1.參考 3 款運動型攝影機 2. N 次測試+3 次正線測試
(三)利用現行深度學習方式，提供軌道扣件判釋的快速解決方案。	R-CNN, Faster RCNN, Yolo v3(Best)
(四)提供軌道定位解決方案，搭配上上述 AI 方式，有效定位出有問題的扣件位置。	GPS+百公尺樁虛擬偵測圓有效定位

(五)在臺鐵臺中工務段工程維修車拖行之平車上(尤佳)或臺鐵工程維修車上,裝設項目2之照相機或攝影機、照明及定位等相關設備。(如能裝設相關電腦設備同步分析更佳)。	1.製作平車 2.相機、燈光、發電機等設備架設 3.最佳取像設置
(六)進行物件辨識資料庫之建立與訓練。	13項 → 10項,每次訓練大約1天
(七)在臺鐵臺中工務段管轄範圍內選定一鐵路軌道區(來回里程總計至少70公里)利用項目5之設備獲取足供AI判釋之清晰影像,辨識及定位有缺失之扣件,提出扣件檢出率及扣件缺失辨識準確率並驗證。	1.3次正線(6/24+7/27+9/21),公里數 > 160 km 2.影像共 58,063 張 3.扣件檢出率 82.5% > 80%,扣件缺失檢出率 74.5% > 70%
(八)建立扣件影像缺失辨識及定位系統,分析判斷及定位有缺失之扣件,並產製扣件缺失報告,研提系統使用手冊。	1. http://traobj.ddns.net/ 2.扣件缺失辨識及定位雲端服務網站,產製扣件缺失報表 3.系統使用手冊
(九)利用所擷取軌道影像,提出未來軌面缺失可辨識種類及可行性。	提出5類,會議討論後建議以斷軌及疲勞裂縫(魚鱗剝落現象)為主。
(十)研提未來採購相關軟、硬體設備所需成本,依據合約規定期程進行期中及期末報告審查及依本所指示召開工作會議。	1. AIServer 25萬,雲端伺服器 10萬 2. Edge computing 筆電: ~15萬 3. 高速紅外線攝影機: 5萬
(十一)參考「科技計畫績效管考平台」之績效指標,填列量化或質化本計畫成果。	1 國際會議論文、1 國際期刊投稿

1. 完成應用於軌道影像攝影設備之評估與測試

因 GoPro Hero7 Black 主打拍攝極限運動及 4K 高畫質,除特別強調手持防震技術、防水防塵且輕巧方便,且周邊的配件完整,有助於將來的設備固定,經評估本研究決定使用 GoPro Hero7 Black,做為軌道影像攝影使用。

2. 照明設備與供電

在照明設備的選用上,為希望能獲得類似白天陽光下清晰的影像,且考慮到光線亮度、方便固定、用電量,經測試評估後最後方案為一邊各用兩盞 200W 燈具,而且光源擺設不只要低,位置還要位於中間,

可以避免陰影的產生。電源的部份，使用發電機提供照明、GoPro 等設備使用。

3. 平車製作與設備架設

大甲分駐所已代為打造本研究實驗測試用之平車，只要在實驗前利用吊車，即可將平車吊放於軌道上，並由動力火車頭推動。

在光源及 GoPro 設備固定的部份，本研究團隊另利用鋁擠型管製作可放置光源的支架，並將其固定於平車上。經實測，GoPro 及光源在平車快速行駛時，均可牢牢固定在平車上，符合本研究使用需求。

4. 缺失扣件定位

本研究團隊使用 GoPro 內建記錄的 GPS 訊號，經過拆解後即可在電子地圖上顯示扣件位置。經測試讀取到的 GPS 訊號與實際位置誤差約在 5 公尺左右，再結合軌道百公尺里程樁號的「虛擬偵測圖」，在實際定位缺失扣件時，確實可以快速找到目標物。

5. 影像管理與辨識網站建置

本研究團隊已建置好相關的影像管理與辨識網站，使用者可以方便的使用行動裝置或個人電腦，以瀏覽器的方式，將前端錄得的影像或影片，上傳至後端網站，除了儲存查詢之外，還包括執行 YOLO 扣件辨識，再將結果回傳至前端瀏覽器。

6. 影像辨識演算法

本研究採用的是 You Only Look Once (YOLO)演算法，經實測試，YOLO 的表現能符合本研究所需，目前使用 YOLO V3 版本。

7. GoPro 安裝實測

經多次測試，GoPro 仍有當機情形，原因推測 GoPro 採用電子防震，因實測時震動頻率高，評估購買三軸防震設備，取代 GoPro 電子

防震功能。如果測試仍有當機情況，未來即不採用 GoPro 錄影，改評估取像方式為高速攝影，每取一張照片即馬上傳輸與辨識。

8. 扣件正負樣本分類

由大甲分駐所提供扣件分類協助，分類為 11 類，其中滑床板、護軌墊板尚未有缺失樣本。

9. 資料建立

YOLO 訓練資料集，經統計共擷取 58063 張相片可作為資料集。

10. 夜間實測

目前測試結果，扣件檢出率 82.5%及扣件缺失辨識率 74.5%，可以符合本研究預定目標。

本系統與相關文獻所列之方法之效益評估比較如表 5-2。

表5-2 本系統效益分析與比較

文獻	開始	辨識項目	取像方式	取像速度	辨識引擎	準確率	辨識速度
瑞士 ^[16]	2007	Track/20種	HR Cam	160km/h	AI	NA	Real time
加拿大 ^[17]	2018	Track/all	Laser	180km/h	NA	NA	Real time
中國 ^[25]	2018	Track catenary	Cam	NA	AI/Yolov3	97%	0.15s
印度 ^[18]	2017	Track signal	Cam	30f/s	AI/SSD	94.7%	Real time
美國 ^[24]	2011	Track/3-5種	Cam	NA	傳統	93%	NA
台灣 ^[23]	2011	Track/3種	Line Scan	NA	傳統	NA	NA
Our*	2019	Track/10種	Cam	30km/h	AI/Yolov3	80.8%	Real time

5.2 建議

目前建立具可擴充性的軌道扣件缺失物件辨識資料庫，並經實際驗證其可行性。接下來將辨識功能移轉至前端 Edge Computing，結合前端影像擷取、前處理與辨識後儲存，再將結果上傳後端伺服器儲存管理，以建立一套可現場進行軌道扣件巡檢的解決方案，降低人工巡檢的可能疏漏。此研究經實際驗證可行後，可大量減輕道班工作人員之工作負擔，並可減少人力之支出，會帶來龐大的經濟效益，有效疏解解決目前臺鐵局基層鐵路巡檢人力不足之問題。後續工作內容包括：

1. 訓練資料建立

因目前 70km 錄影資料，尚有多個軌道路段為模糊，仍須補拍缺漏的部分，也仍需大量人力針對影像內容進行標記（Label）處理，持續收集負樣本提供訓練使用。本年度系統運作方式主要採用非線上方式，線上(Edge 端)的 AI 系統將列為明年主要的工作項目，未來的系統流程將加入 Monitoring 機制，定期隨機抽取檢測照片，檢查辨識結果，視結果決定是否 retrain。

2. 檢測項目的種類更新

因目前 70km 軌道路段，尚有部分為版式軌道，也就是非道碴軌道，為新建軌道採用之趨勢，雖然建設費用較道碴軌道昂貴，但長期之維修養護費用大大減少。版式軌道的軌道版有多種形狀，其主要構件包括：鋼軌、扣件、預鑄混凝土軌道版、CA 砂漿、路盤混凝土與防動塊，因此也需要收集此類扣件的正負樣本。

3. 軌面檢測項目的種類

AI 軌面缺失可辨識種類及可行性，未來軌面缺失辨識種類建議以斷軌及疲勞裂縫（魚鱗剝落現象）為主，辨識方式：仍採用 YOLO v3

4. 攝影低光問題

雖然目前已可取得足供 AI 辨識的扣件影像，但後續仍得持續進行測試，以確認光源亮度能符合需求，提供穩定可靠的夜間拍攝方式，解決模糊殘影的現象，以利 AI 辨識度提高。

5. Edge Computing 前端辨識處理

缺失扣件希望能偵測出來，馬上修復，因此需要前端有辨識功能，如此便須架上工規電腦或是具加速卡之嵌入式系統做即時辨識。如此便須解決，在平車上可能面臨防水、防震、防曬等問題。

6. 平車與電源問題

平車的運算環境相當不理想，所有功能付諸闕如，目前使用一台發電機及一台不斷電設備，但實際測試時電力仍嫌不足，未來將尚須再提供一台發電機與一台不斷電設備，供 Edge Computing 計算所需。

7. 自動化的處理機制

建立自動化的處理機制，將前後端系統串接。原評估 GoPro 所拍攝之影像透過 4G LTE 或 Wi-Fi 傳送到後端的影像辨識深度學習伺服器，但實測後發現資料量龐大，若要考慮 4G LTE 或 Wi-Fi 傳輸，可只傳辨識後結果至後端伺服器，供儲存管理查詢；或是待檢測完成後，再將 SD 記憶卡的資料傳送到後端的影像辨識深度學習伺服器，進行資料儲存備份。

8. 提升系統穩定度

未來軌道影像拍攝，將把 GoPro 當機原因找出來，若不能解決，將尋求別的攝影器材，以提升系統穩定度。而且系統運作也會開發即時模式，會先測試 GoPro 即時取像，以及測試其他紅外線攝影機，最後再由取像品質來決定。

9. 論文發表

本研究團隊目前已將初步成果，發表在 IEEE ECICE，2019/10/6 舉行完畢，未來將完整資料處理好，再投稿期刊論文，如下之一：

- (1) 中國工程師學刊
- (2) Sensor and Material

5.3 預期效益與應用情形

本計畫之預期效益及應用如下所述：

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

參考文獻

1. 維基百科，臺灣鐵道史，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/臺灣鐵道史>，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
2. 維基百科，臺灣鐵道，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/臺灣鐵道>，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
3. 「臺灣鐵路路線建造史」，交通部臺灣鐵路管理局，取自 <https://www.railway.gov.tw/tw/CP.aspx?sn=3700&n=6841>，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
4. 黃彥賓等，「軌道扣件之種類與功能要求」，Fastener World，技術論壇，金屬工業研究發展中心，取自 http://www.cfwb2b.com/0_magazine/ebook/pdf_download/FW_142_C_101.pdf，查詢日期：2019 年 11 月 15 日。
5. 「臺鐵局南迴線連續破壞事件」，維基百科，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/臺鐵局南迴線連續破壞事件>，查詢日期：2019 年 1 月 14 日。
6. 「人工智慧（AI）大衝擊」，2017，商業周刊，取自 <https://www.businessweekly.com.tw/article.aspx?id=33196&type=Indep>，查詢日期：2019 年 6 月 19 日。
7. 黃彥賓等，「軌道扣件之種類與功能要求」，技術論壇。
(http://www.cfwb2b.com/0_magazine/ebook/pdf_download/FW_142_C_101.pdf)
8. 謝禎罔等，「基於路面補釘的深度學習自走車」，大同學報，2018，第 33 期。
9. Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," in Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, Nov. 1998. doi: 10.1109/5.726791

10. Jimmy Kao, “速記 AI 課程－深度學習入門（二）,” Mar. 18, 2018.
Accessed from <https://medium.com/@baubibi> on 2109/11/24.
11. 小學生談『生成對抗網路』(Generative Adversarial Network, GAN),
accessed from: <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10196257> on
2019/11/24.
12. Eid Mahmoud Taha and Eid Emary Khalid Moustafa, 2014, Automatic
optical inspection for PCB manufacturing: a survey, International
Journal of Scientific and Engineering Research, Vol. 5, Issue 7, pp.
1095-1102, July.
9. K. He, G. Gkioxari, P. Dollar, and R. Girshick, 2017, Mask r-cnn. '
arXiv:1703.06870.
10. Redmon, Joseph and Ali Farhadi, 2018, YOLOv3: An Incremental
Improvement., CoRR abs/1804.02767.
11. Deep Learning of Railway Track Faults using GPUs, 2018, [http://on-
demand.gputechconf.com/gtc/2018/presentation/s8944-deep-learning-
of-railway-track-faults-using-gpus.pdf](http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2018/presentation/s8944-deep-learning-of-railway-track-faults-using-gpus.pdf)
12. How Swiss Federal Railways Is Improving Passenger Safety With The
Power Of Deep Learning, 2018, Forbes.
13. Pavemetrics, Laser Rail Inspection System (LRAIL), 2019, Canada,
[http://www.pavemetrics.com/applications/rail-inspection/laser-rail-
inspection-system/](http://www.pavemetrics.com/applications/rail-inspection/laser-rail-inspection-system/), March.
14. Abhi Ladola, Chirag Parekh, Dhaval Patel and Henal Bhagatwala, 2018,
Solar Based Railway Track Fault Detection System, International
Research Journal of Engineering, Vol. 5, Issue, 5, May.
15. S. Ritika, Shruti Mittal and Dattaraj Rao, Railway track Specific
Traffic Signal Selection Using Deep Learning.
16. Mehmet Karakose, Orhan Yaman, Mehmet Baygin, Kagan Murat and
Erhan Akin, 2017, A New Computer Vision Based Method for Rail

- Track Detection and Fault Diagnosis in Railways, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 6, No. 1, Jan.
17. Xavier Gibert ; Vishal M. Patel ; Rama Chellapp, “Deep Multitask Learning for Railway Track Inspection,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Volume 18 Issue 1, Jan, 2017.
 18. 劉鈺韋, 「高速影像擷取與枕木定位應用於軌道監視系統」, 國立臺灣科技大學電機工程系碩士論文, 2010, 台北市。
 19. 陳南鳴等, 「軌道運輸系統之監控技術開發」, 科技部計畫編號: NSC 97-2221-E011-151-MY3, 執行期間: 97 年 8 月 1 日至 100 年 7 月 31 日, 2008。
 20. Luis Fernando Molina Camargo, et al., 2011, Machine Vision Inspection of Railroad Track, Graduate Research Assistant, University of Illinois at Urbana Champaign, Grant No. DTRT07---G---005 of the U.S. Department of Transportation, Final Report, January.
 21. J. Chen, Z. Liu, H. Wang, A. Núñez, and Z. Han, “Automatic defect detection of fasteners on the catenary support device using deep convolutional neural network,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 67(2): 257-269, February 2018. DOI: 10.1109/TIM.2017.2775345
 22. 「臺鐵局各種里程標」, Blair’s 鐵道攝影, 取自 http://blair-train.blogspot.com/2011/11/blog-post_8911.html, 查詢日期: 2019 年 1 月 16 日。
 27. <https://mropengate.blogspot.com/2018/06/yolo-yolov3.html>, Accessed July, 2019

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究

合作研究單位：大同大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、廖崑亮委員		
1. 建議考量於報告書內增加甘特圖及查核點。	謝謝委員提醒，已於期中報告內增加第 1.5 節，說明甘特圖及查核點。	同意辦理
2. 報告書第 2-1 頁「臺鐵人事凍結」建議刪除。	遵照辦理。	同意辦理
3. 專有名詞中文化部分建議重新檢視(P.2-9、2-10、3-1...)。	遵照委員建議，已修正。	同意辦理
4. 建議澄清本計畫為「軌道檢測...」或「軌道扣件...」。	本計畫依照委託單位建議，將原有軌道扣件巡檢，增加軌面斷軌檢測，以符合未來使用單位需求。計畫重心還是以扣件為主，以符合計畫工作項目。	同意辦理
5. 有關缺失定位建議考量使用誤差較小之定位方式(P.3-20)	感謝委員意見；目前定位方式將結合台鐵百公尺樁與GPS 資料，應該符合大部分作業所需，若需更精準，在成本與作業有效性上，將由使用單位考量。	同意辦理
6. 系統建置完成建議考量逐步提高「準確率」之機制。	遵照委員指示，準確率將先滿足計畫目標所需，再逐步提高。	同意辦理
二、朱我帆委員		
1. 巡軌程序：徒步查道、維修車查道均以目視，受限現場條件及車速，難以全	謝謝委員。	同意辦理

面判斷扣件狀況，故本案以 AI 輔佐，實為難能可貴理論與實際結合之研究。		
2. 因夜間維修車查道受限於封鎖時間約 5 小時，故車速應於 30-40km/hr 間，目前辨識清楚之車速約 20km/hr，希能再提升精確度。	遵照委員指示，後續測試以增強照明或是提高感光值 (ISO) 做調整，以達成計畫目標。	同意辦理
3. 攝影機電力、過熱關機問題仍待突破，希能提升至電力持續 6hr 左右。	在操作 GoPro 時，容易因電源不穩而當機，本計畫將朝改善供電品質著手，在正常使用狀況下，應可以連續使用 7hr。	同意辦理
4. 報告書 P. 2-1 臺鐵人力及 P. 4-8「有害空間」希能修正，本段另行提供資料。	感謝委員建議，已修正原有用詞不妥之處。	同意辦理
5. 如本案成功執行，希望日後能再針對軌道斷軌、不整或鋼軌內應力再做進一步研究，以維行車安全，減少人工判斷之誤差。	感謝委員建議，可供貴所未來規劃下一期研究計畫工作範圍考慮。	同意辦理
三、賴永康委員		
1. 環境因素如日間、夜間、雨天、大霧等環境光造成的影像變異均須考慮。	感謝委員建議，目前已有日間、夜間、雨天的資料，其他天氣變化的資料，將盡量蒐集。	同意辦理
2. 影像資料數據蒐集的廣度是否足夠均須考量	感謝委員建議，目前計畫蒐集台中工務段 70 公里的資料。	同意辦理
3. 各種 Defect 影像數據量增加與 Network Model 的選定均會影響辨識率，均	目前貴所已接受 14 種 Defect types，Yolo Network Model 亦已經過驗證，目前尚符合準確度的需	同意辦理

須仔細考量。	求，未來將視實際運作結果，與貴所討論是否需換別的 Network Model	
4. 查核點的定義也須在計畫中呈現。	感謝委員建議，已於期中報告新增第 1.5 節說明。	同意辦理
5. 系統規格如辨識率須達到多少亦需與委託單位詳細討論。	貴所於訂定計畫目標時，有設定辨識率需達 80%以上，本計畫將盡力增強辨識率，惟負樣本的收集目前仍太少，將加強這一部份。	同意辦理
四、洪士林委員		
1. 目前讀取的 GPS 訊號與實際位置誤差仍在 5 公尺左右，虛擬偵測點的誤差仍偏高(P.3-20)。應再尋求其他定位方式，以利提高標記缺失扣件位置的準確度。	感謝委員建議；目前定位方式將結合台鐵百公尺樁與 GPS 資料，應該符合大部分作業所需，若需更精準，可採用 GPS 差分信號，在成本與作業有效性上，將由使用單位考量。	同意辦理
2. 在瑕疵檢測問題(Defect detection)上，最擔心的就是 " 錯放 "(under kill)；NG(瑕疵)判成 OK(正常)。目前測試結果，在 378 個負樣本(瑕疵案例)中，錯判了 180 個(FN 值)。此結果在實用上是嚴重的問題，宜再檢討解決之道。	謝謝委員建議；Under kill rate=未檢出瑕疵品/全部瑕疵品=1-Recall rate=1-0.95=5%。其中 378 是 FP，而非全部瑕疵品。請委員諒察。	同意辦理
3. 目前取得的負/正樣本分別為 378/3114，這在 CNN 的訓練上是嚴重的資料不平衡(data imbalance)現象，會造成過高的 under kill。應檢討如何增加負	確如委員所言，負樣本在台中工務段很少發生，目前取得的負樣本，大部分都是人為，在側線上不影像行車安全下製作。本計畫針對資料不平衡，採用資料增強(data augmentation)補	同意辦理

樣本數。	足，例如旋轉 (angle)、曝光 (exposure)、飽和度 (saturation)、色調 (hue) 等的變化。	
4. 是否有模擬不同天氣條件的取樣資料，如下雨天。並分析影像資料的品質。	在 6/22 深夜下大雨，本計畫錄到正線約 20km 的軌道資料，經過部份資料訓練後，precision = 0.85, recall = 0.97。	同意辦理

五、賴瑞應委員

1. 目前本計畫是由扣件缺失的型式提供給 AI 訓練比對建立缺失資料庫，作為後續缺失判斷的依據，但缺點是針對未收集到的缺失態樣或未來發生的新缺失態樣，系統可能無法辨識。如果改由正常的扣件型式提供給 AI 進行比對，只要有不同就列為缺失，再由缺失中以人工方式將正常的型式挑出來納入正常扣件型式資料庫中，如此反覆辨識，直到辨識率達到預期目標，此種方式開始需耗費很多人力過濾或標記，但好處是針對新的缺失態樣發生，不怕系統無法辨識，因為以安全的角度衡量，寧可錯殺不可以錯放。	感謝委員建議；能否只從正樣本學習二元分類器，而不用任何負樣本或未標記資料？經查詢資料，發現有一篇論文 [Takashi Ishida, Gang Niu, and Masashi Sugiyama, Binary Classification from Positive-Confidence Data}, Advances in Neural Information Processing Systems 31, pp. 5917--5928, 2018] 提出這樣的作法，能夠用正置信度裝備正樣本，成功地學習二元分類器，但不具有調整超參數的能力，其辨識率不如同時給正負樣本的方法來的好，而且訓練時間要相當久。本計畫目前的負樣本可以用資料增強方法增加，未來若系統不符使用，再改用此方法。	同意辦理
2. 由報告中顯示，夜間實測影像似乎有殘影，還未達預期目標，檢討結果似乎是照明的問題，針對照明	感謝委員建議；除亮度問題外，角度也必須考量，目前是由上方斜向下方照，可避免反光，若亮度增加，會再	同意辦理

的問題除了亮度外，還有角度問題，請研究單位儘早解決，不可輕忽，另外，因應照明及相關系統運作的需求，電力供應問題也需一併研提更好的解決方案。	調整角度，以避免反光現象。 至於電力問題，發電機之電源會透過不斷電系統進行穩壓處理，以避免電壓不穩，造成燈光變化過大以及GoPro 當機情形。	
3. 報告第 5-4 頁，第 10 點影像標記之相關數值，如正確率、召回率、F1-score、平均正確率及 IoU 等數值之計算及意義為何請加強說明。	遵照辦理	同意辦理
4. 後續幾個月還有資料庫之建立與 AI 之訓練、辨識準確率驗證、系統整合、自動產製缺失報告及系統使用手冊等工作，請研究團隊要加強控管時程，以免影響研究成果的提送。	感謝委員提醒。	同意辦理
六、胡啟文委員		
1. 請說明後端處理伺服器資料倉儲管理之初步規劃。	後端資料倉儲管理會採用 MySQL 為資料庫系統，會有一個軌道扣件種類的表格，再加 14 個軌道扣件表格，對應到個別軌道扣件種類，每個表格內存放該路段每天巡檢的結果，以及處理的狀況。 前台會提供軌道扣件查詢界面，以年月日查詢當天巡檢的結果，以表格呈現。再提供統計功能，在一段時間區間，巡檢的結果。	同意辦理

2. 前後端控制及處理系統，處理流程上區分即時模式及紀錄模式，其使用時機為何？前端即時模式下之影像前處理，其對於影像資料之處理程度為何？再請說明。	即時模式：取得像片後馬上辨識，再將結果儲存本機端或回傳至後端伺服器；紀錄模式：本機端只錄影不辨識，待全部錄完後，再在後端一次辨識完所有像片。使用時機建議採紀錄模式，一方面操作簡便，另一方面節省網路傳輸成本。 影像前處理將視需要才做，譬如影像偏暗、偏亮、或旋轉扭曲。	
3. 攝影機鏡頭常存在畸變之問題，而使影像周圍有扭曲現象，影響辨識成果，其影響程度為何？再請說明。	手機等扁平式設備採用的攝影機會有相當的扭曲發生，但 GoPro 專業攝影機較不會發生此問題；若有將以 Data Augmenttion 方式解決此問題，也就是將這些稍微扭曲的像片也一起訓練，如果扭曲變形很大，就無法辨識，但這樣的狀況應不會發生，	同意辦理
4. 夜間反光之問題，建議可考慮加裝偏光片之方式來探討。	感謝委員建議。	同意辦理
5. 相較於負樣本，正樣本之取得較為容易，其以提高正樣本之準確率來進行快篩之可行性為何？若可行在初期發展上可藉由快篩模式將有疑慮或缺失影像挑出再進行室內人工判釋，此作業模式較有機會在短期內協助台鐵之軌道巡檢作業，其工作量相較於目前步巡方式會較少且	此問題與賴委員第一個問題一樣，請參考上面的回答。能否只從正樣本學習二元分類器，而不用任何負樣本或未標記資料，是有這樣的論文，但辨識率不如同時給正負樣本的方法來的好，而且訓練時間要相當久。本計畫目前的負樣本可以用資料增強方法增加，目前辨識率尚符合計畫目標。	同意辦理

安全，判釋後之缺失影像亦可做為系統發展期中之負樣本訓練資料，以達未來 AI 辨識缺失之長期目標。		
七、臺鐵局臺中工務段		
1. GoPro 會有熱當問題，建議如攝影中斷或當機能有即時告知功能。	以目前拍攝狀況 GoPro 發生熱當為不合理情形，先更換其他已經過燒機測試之機器。	同意辦理
2. 目前拍攝時速 20 公里，建議時速要達到 30-35 公里，以符合巡檢效能。	遵照委員指示。	同意辦理
3. GoPro 就如行車紀錄器為分段存檔，導致分段之間有幾秒影像遺漏，建議研析解決之道。	目前的確會有影像遺漏之問題，以 35kph 換算，一秒約行進 9.7 公尺。未來實際應用時，增加巡查次數提高巡查覆蓋率，應可解決此問題。	同意辦理
4. 目前採用 UPS 之供電量不穩定，且電力應至少可持續供電 6 小時。	可利用發電機供電給 UPS，應該可以解決連續供電問題。	同意辦理
5. 在軌道檢測攝影中如遇不良缺失處所希能即時告警，讓巡檢人員知道並即時處理，以維更良好的行車安全。	此為即時模式，終極目標是希望這樣沒錯；但目前尚未有完善的維修車可以放置前端電腦，因為要防震、防水、耐高溫、長時間運作等，可能需要再評估工業等級電腦，方符合使用。目前建議採用紀錄模式，一方面操作簡便，另一方面節省許多成本。 如果要即時告警，可能將設備置於白天客車上使用，將更為即時安全。	同意辦理

八、柯正龍科長		
1. 本案未來 4 個月仍需多次夜拍、影像辨識及前後端系統開發，請研究團隊做好計畫進度管控。	遵照委員指示。	同意辦理
2. 報告格式請依本所出版品格式辦理，專有名詞請先解說。	已修正於期中報告書內。	同意辦理
3. 報告書請補充甘特圖及查核點。	已於期中報告內增加第 1.5 節，說明甘特圖及查核點。	同意辦理
九、本所港研中心第一科林雅雯研究員		
1. 本案實測地點於臺鐵軌道上，外人難以進入及接近軌道，故需與臺鐵密切配合，臺鐵夜間班於晚上 11 時至早上 6 時，本案幸有臺鐵臺中工務段積極合作辦理，才得以完成多次夜間測試。	謝謝台中工務段大甲分駐所協助，會盡可能配合大甲分駐所之作業時間。	同意辦理
2. GoPro 攝影機的即時傳輸、熱當問題及夜間照明補充皆須再進一步研究，以達到本案時速超過 30 公里、檢測 70 公里的需求。	遵照委員指示。	同意辦理
3. 有缺失的扣件定位誤差大約在 5 公尺左右，須進一步與臺鐵實地測試，以確定是否符合需求。	遵照委員指示。	同意辦理

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究

合作研究單位：大同大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、朱我帆委員		
1. p. 2-2「為解決…不足…問題」請改為「為提昇人工查道之精確性及安全性」。	遵照辦理。	同意辦理
2. p. 2-3扣件之功用請再確認。	遵照辦理，參考資料[4]改為Fastener World 技術論壇。	同意辦理
3. p. 3-41表3.5圖示可放大，報告用詞不正確。	遵照委員建議，改採原文。	同意辦理
4. p. 4-1動力火車頭，…時速50公里是否正確，請確認。另應統一用詞為「工程維修車」，另p. 4-10圖4-14及4-15建議放大。	本計畫依照委託單位建議，將原有軌道扣件巡檢，增加軌面斷軌檢測，以符合未來使用單位需求。計畫重心還是以扣件為主，以符合計畫工作項目。	同意辦理
5. 本計畫初步成效良好，對扣件之判讀正確率高>80%，期能再針對攝影機當機及電池續航力之改善，及早應用於本局現場協助查道工作。	感謝委員肯定；未來有機會可嘗試其他不同廠牌之影像攝影設備與不可見光影像攝影設備，以提供更穩定之運作系統。	同意辦理
6. 鑑於人工查道除扣件問題外，鋼軌裂縫及踏面不整等問題，亦會影響乘車舒適度及行車安全，惟目視檢查不易發現，期能於日後之計畫續辦以更符實際需求，並研議即時判讀之可行性。	謝謝委員建議，本計畫以扣件檢查為主，未來有機會可再將鋼軌裂縫及踏面不整列為新增檢測項目，如何取得足夠的訓練樣本需請使用單位密切配合，朝開發線上即時偵測系統為目標。	同意辦理

7. 建議於報告中增列效益分析。	本年度工作項目並未包括成本效益分析，將列為未來工作項目建議事項。	同意辦理
二、廖崑亮委員		
1. p. 1-2 …「南迴搞軌案」…，「遇缺不補」…等文字，建議考量刪除。	已依委員意見刪除。	同意辦理
2. p. 1-6 甘特圖及查核點等建議考量修正。	已依委員意見修正甘特圖與增加查核點(▲)。	同意辦理
3. p. 3-5「即時模式」及「紀錄模式」之差異性，建議考量增加分析內容。	考量人員操作方便與設備維護，本年度先完成紀錄模式，未來有機會再朝完成即時模式做開發，並增加辨識種類如鋼軌裂縫及踏面不整等。	同意辦理
4. 未來工作內容建議考量列入提升定位精準度及系統穩定度之作為。	感謝委員建議，未來工作內容增列提升系統穩定度，至於定位精準度將與業務單位確認需求後再決定。	同意辦理
三、賴永康委員		
1. 辨識率的標準80%如何決定？是否需要提高至90%以上呢？建議補充說明。	相比於人工檢測，AOI 機器視覺檢測可靠性和效率都更高。此處辨識率應該是正常扣件的檢出率。80%是比較保守的估算。已於 4.3 節補充說明。	同意辦理
2. 光線變化與環境變化(雨天、晴天)都會影響辨識結果，可以測試實驗重複性是否一致。	感謝委員建議，目前收集資料已包括各種天候狀況，未來將持續蒐集各路段不同天候資料，測試實驗結果是否一致。	同意辦理
3. YOLO-V3的input影像是416×416，高解析度攝影機對計畫而言，其需求為何，建議補充說明。	GoPro 影像解析度設定部份，團隊曾評估過採用1920×1400 以上之解析度，但因檔案容量過大會增加資料作業處理時間，而且更容易	同意辦理

	造成 GoPro 當機，因此經評估後將影像解析度調整為1920*1080，實測後影像解析度可滿足需求。已於4.1.1節補充說明。	
4. 扣件影像需要再多蒐集，增加大數據。	樣本影像越豐富與完整，將會有更好的辨識結果，建議未來仍得持續收集缺失扣件影像。	同意辦理
5. 定位誤差若能再縮小，更佳。	GPS 定位誤差結合虛擬偵測圓之判斷，定位誤差已可在5公尺內，可協助維修人員快速找到缺失扣件。未來有機會可持續就定位精度再進行優化調校。	同意辦理
四、廖國偉委員		
1. 關於模型驗證時，報告上所提供的數據經常出現前後不一致的現象，例如p.4-18 IoU的閥值0.5，p.4-23為0.25。簡報P.10之缺失扣件檢出率等於扣件缺失率（p.4-21）？若是前者為79.7%，後者94%，又前者79.7%等於報告p.4-23之mAP。	感謝委員指正。已將 p.4-23 重新以 IoU 0.5 測試，並做資料重測如表 4.5 所示，實驗結果不僅達成目標，也較前次為佳。P.4-21 錯誤也統一更新為扣件缺失檢出率。在 4.3.2 節補充扣件檢出率及扣件缺失檢出率計算公式如(1)與(2)。	同意辦理
2. 驗證時，建議提供完整數據如TP、FP、FN、TN等，如此方可計算 false positive rate，即 $FP/(FP+TN)$ 。	感謝委員建議；已將表 4.5 更新，提供 TP、FP、FN，惟 TN 在 Yolo 資料標註並不需要，AOI 檢測比較重要的是 Under kill rate=FN/(TP+FN)=1-Recall rate=1-TP/(TP+FN)=1-0.745=0.255。已於 4.3.2 節補充說明。	同意辦理
3. 因後續打算online計算，應提供目前訓練及測試	本系統經多次測試，資料量達 58,063 張照片，以 3.1 節	同意辦理

所需時間。	後端伺服器進行訓練，平均花費時間約 20 小時，測試時每秒辨識 50 張以上照片。以上資料補充至 4.3.2 節。	
4. 驗證時，樣本的 bounding box 是人工或自動產生？建議補充說明。	謝謝委員提醒，樣本的 bounding box 是人工標註產生，已於 4.2.2 節補充說明。	同意辦理
5. 宜清楚標註所引用的文獻。	感謝委員提醒，第二章文獻回顧與表 5.1 本系統效益分析與比較，已加上引用編號。	同意辦理
6. 宜歸納多次試驗之前因後果及所克服的困難（如製表）。	遵照委員建議，新增表 3.5 歸納多次試驗之前因後果及所克服困難。	同意辦理
7. 是否有進行 cross validation？建議補充說明。	遵照委員建議，在 4.3.2 節補充說明 cross validation，並新增訓練結果如表 4.6 與 4.7。	同意辦理
五、洪士林委員		
1. 報告中有關「正樣本」、「負樣本」、「誤判個數」之定義請再確認。依 5-5 頁之定義，TP 並非正樣本，而是真實 OK，判為 OK；FP 亦非負樣本，而是真實 NG，判為 OK。這正是 AOI 領域中的「錯放」，亦是瑕疵檢測問題最在意的數值。而 FN 並非誤判個數，是真實是 OK，判為 NG，亦即「錯殺」。所以，就定義來看 FP 才是誤判，且是不容許的誤判。以上，請再確認報告書中相關數值與說明（如 4-16 頁）。	感謝委員寶貴意見。本計畫採用的深度學習非單張影像單一類別辨識，而是單張影像多類別辨識，與傳統瑕疵檢測方式不同，而是採用 OK 與 NG 個別定義類別，各自偵測，這是本計畫創新之處，所以 5-5 頁的定義仍然適用，只是 TP/FP/TN/FN 都是針對該類別而言，不可把 FP 當成 NG，FN 當成 OK，因我們在製作標註資料時，只有標出該單張影像，有哪些類別在裡面，並無非該類別的標註。p4-16 的說明也都是就各個類別說明。	同意辦理
2. 同理， $\text{under kill rate} = \# \text{ of FP} / \text{total \#}$	感謝委員建議；under kill	同意辦理

of NG，請於報告中從新計算測試結果。Precision與Recall或許是可參考的數值，但就本研究探討的議題而言，最在乎的是漏(錯放)了多少個NG(被AI判為OK了)。	rate=1-Recall rate，團隊對每個類別都個別計算Recall rate，參見表4.5~4.7。以表4.5而言，若是最在乎的是漏了多少個NG，亦即扣件缺失未檢出率，也就是所謂的 under kill rate=1-0.745=0.255，以此角度而言，本系統扣件缺失檢出率為0.785，仍然大於驗收目標0.7。不過此 under kill rate尚太高，經檢視訓練資料後，發現是原始資料過於模糊，未來有機會可重新拍攝過於模糊軌道路段，重新訓練。以上說明，已於4.3.2節補充說明。	
3. p.4-22之表4.5正線70km AI模型辨識結果，請再確認是否有誤。如e-Clip正常-木枕木(真實為正樣本)，應只有TP與FN值；而e-Clip損壞-木枕木(真實為負樣本)，應只有TN與FP值。其他類型之樣本(類別)亦同。	感謝委員說明，因本系統採用Yolo進行單張影像多類別偵測，一張照片可能有多個e-Clip正常-木枕木(真實為正的好樣本)，其中TP是偵測出正確的，FP是偵測出錯的(錯殺)，FN是沒偵測出(錯放)，同理，e-Clip損壞-木枕木(真實亦為正的壞樣本)，也都有TP、FP與FN。其他類型之樣本(類別)亦同。	同意辦理
4. 對open set的問題(本研究之議題)，AI系統retrain(再訓練)是重要的機制。建議於相關系統流程中加入此機制，以確保線上(Edge端)的AI系統永遠是強健(robustness)的。	感謝委員提醒。本年度系統運作方式主要採用非線上方式，線上(Edge端)的AI系統可列為未來的主要工作項目，亦可考慮於未來的系統流程中加入Monitoring機制，定期隨機抽取檢測照片，檢查辨識結果，視結果決定是否retrain。以上說明已於	同意辦理

	5.2 節第 1 點補充說明。	
六、柯正龍科長		
1. 請大同大學依據契約書研究內容第12項，研擬未來系統發展規劃，補充說明未來採購相關軟、硬體設備所需之成本。	遵照委員指示，未來採購相關軟、硬體設備所需之成本，已於 3.8 節說明之。	同意辦理
2. 請大同大學針對研究成果，提供可應用於推廣使用說明之電子檔案或影片，俾供推廣成果及後續研究參考應用。	遵照委員指示，已完成系統使用手冊電子檔，可供推廣及後續研究參考。	同意辦理
3. 本計畫執行過程大同大學投注大量人力物力，已獲豐碩成果，值得肯定，建議考慮將歷次現場測試過程遭遇問題及解決方案列表，供後續相關計畫執行卓參。	感謝委員肯定，已新增表 3.5 補充說明。	同意辦理
4. 報告 p. 1-1 提及一般軌道係由道碴、軌枕、鋼軌及扣件組成，p. 1-2 軌道扣夾為軌道扣件系統最重要之組件，請補充說明「軌道扣件系統」包含那些組件，那些組件是本計畫要辨識的標的。	感謝委員建議。軌道扣件系統所採用的扣件各國皆不相同（如表 2.2 所列），各國所發展的自動扣件辨識標的也大相逕庭（如 2.4 節說明）。軌道扣件系統之組件繁雜且廠牌眾多，經與臺鐵人員討論扣件重要性及辨識標的後，本計畫辨識標的項目如表 4.2。以上內容已於 4.2 節補充說明。	同意辦理
5. 報告章節 2.2 軌道扣件，其中 p. 2-5 圖 2-5 Pandrole 型扣夾，與 p. 2-4 圖 2-4 軌道扣件，扣夾或扣件名詞可否統	遵照委員指示，已統一用詞為扣件。	同意辦理

一，避免混淆。		
6. 報告中提及臺灣鐵路管理局部分，多以臺鐵簡稱，建議改以「臺鐵局」為宜，第一次出現臺灣鐵路管理局後方，請以括號加註（臺鐵局）表示。	遵照委員指示，已更正於結案報告中。	同意辦理
7. 章節2.3 述及AI影像辨識，常用的深度學習類神經網路結構主流作法，包括CNN、RNN、GAN，可否補充簡述介紹。	遵照委員指示，已在 2.3 節增加3段文字以及三張圖片，各說明 CNN、RNN、以及 GAN。	同意辦理
七、陳副所長天賜		
1. 缺失扣件未檢出及正常扣件誤判為缺失扣件的百分比請補充說明。	感謝委員建議。此問題與四.2 及五.2 屬於同一類問題。因本系統採用 Yolo 進行辨識，與傳統 CNN 進行瑕疵檢測不同，標註資料是一張照片多類別辨識，因此並無 FP 與 TN，所以正常扣件誤判為 NG，幾乎沒有。以表 4.5 而言，本系統缺失扣件檢出率為 Recall rate=0.745>70%。以上內容已於 4.3.2 節補充說明。	同意辦理
2. 為測試系統穩定度，建議同一路段做重覆性之拍攝及辨識，俾利了解結果是否有一致性。	遵照委員指示，未來有機會可做同一路段重覆性之拍攝及辨識，了解系統是否具有一致性。	同意辦理
3. AI辨識結果準確率等各百分比之定義，其分子、分母為何？建議列表補充敘述。	遵照委員指示，在 4.3.2 節新增公式(1)與(2)，說明扣件檢出率與扣件缺失檢出率。以及新增公式(3)說明 Under kill rate 與 Recall	同意辦理

	rate 的關係。	
4. 名詞定義含中英文及簡寫，亦請一併表列，便於閱讀瞭解。	謝謝委員建議，有關專有名詞已經補充說明於公式(1)-(7)，便於閱讀瞭解。	同意辦理
5. 文獻回顧建議蒐集增列現在市面上實用之商用化產品。	遵照委員指示，新增表 5.1，增列[16],[17]作為比較。	同意辦理
6. 有關對於本研究AI辨識之檢出率及誤判率與目前人工巡檢差異評量，可先行思考後續作法。	謝謝委員建議。可將AI自動巡檢系統導入後，每月檢測數據(花費)與AI未導入做一對照，即為一簡易評量。	同意辦理
7. 增加成本效益分析，或於下一期研究納入。	本年度工作項目並未包括成本效益分析，將列為未來工作項目建議事項。	同意辦理
八、本所港研中心第一科林雅雯研究員		
1. 圖請用1.1表示，表請用1-1表示。	遵照委員指示，已修正。	同意辦理
2. 請檢核圖、表於文章中有提及。	遵照委員指示，已修正。	同意辦理
3. 第五章標題應改為「結論與建議」，結論應針對工作項目的各項成果簡要列出，建議部份請新增，另報告應有中英文摘要及工作會議紀錄。	遵照委員指示，第五章已修正。中英文摘要、工作會議也已附上。	同意辦理
4. 報告第2-10頁及第3-41表3.5之軌道專業用語建議與臺鐵人員討論。	遵照委員指示，已按台鐵局人員建議修正。	同意辦理
5. 扣件缺失辨識率94%，應為扣件召回率，建議更正，並加敘述扣件缺失辨識率之值為何。	感謝委員指正，統一訂定名詞與重新計算，扣件缺失檢出(召回)率參見公式(2)，為74.5%，扣件缺失誤殺率參見公式(3)為25.5%。以上內容已於4.3.2節中補充說明。	同意辦理
6. 第4-21頁共擷取58,063張	58,603 張相片里程並未統	同意辦理

相片，其總計之里程為何？ 建議補充說明。	計，但本案拍攝里程已超過 本案規定之 70 公里，符合工 作項目要求。	
7. 建議補充敘述8月27日與 臺鐵人員至現場測試缺失 扣件定位精度，測試結果 定位精度符合臺鐵需求。	感謝委員建議，已補充說明 於 3.5.2 節，並新增兩張照 片如圖 3.25(b)所示，搭配測 距儀，臺鐵人員已可以很快 找出目標物。	同意辦理
8. 報告中有階段性成果之描 述，如第3-22頁最後一段， 請逐字檢視報告。	遵照委員指示，已加上正線 測試結果。	同意辦理

附錄三

軌道扣件缺失辨識系統使用手冊

目錄

一、登入與註冊.....	1
1.1 登入.....	1
1.2 註冊.....	2
1.3 功能頁面.....	4
二、新增.....	5
2.1 新增流程.....	5
三、瀏覽檔案.....	7
3.1 檢視原始檔案 	7
3.2 檢視該檔案的辨識結果 	7
3.3 下載該檔案 	7
3.4 編輯檔案資訊 	7
3.5 刪除檔案 	8
四、檢視結果.....	9
4.1 篩選.....	9
4.2 僅顯示損壞 	10
4.3 全部顯示 	11
4.4 檢視辨識結果.....	11
五、用戶管理.....	14

5.1 編輯權限		14
5.2 刪除帳號		14

一、登入與註冊

1.1 登入

打開網站首頁 <https://traobj.ddns.net/>，輸入帳號密碼按下登入按鈕登入



軌道扣件缺失辨識系統

admin1

.....

登入 註冊

合作單位

大同大學 TATUNG UNIVERSITY

交通部運輸研究所

1.2 註冊

不需輸入任何資料，直接於首頁點選註冊

軌道扣件缺失辨識系統

登入

註冊

合作單位



輸入欲註冊之帳號資料，點選《註冊》按鈕進行帳號註冊

新增帳號

帳號

密碼

再次輸入密碼

姓名

等待管理員於後台核准註冊請求後再行登入

1.3 功能頁面



新增:上傳欲辨識的影片或相片

瀏覽檔案:總覽上傳的影片或相片

檢視結果:總覽所有上傳的影片與相片的辨識結果

管理(管理員功能):管理使用者的權限

修改個人資料:變更密碼

登出:離開並登出系統

二、新增

軌道扣件缺失辨識系統 新增 瀏覽檔案 檢視結果 用戶管理 admin 登出

上傳模式：☒ 影片

線別
☐ 東正線 ☐ 東副線 ☐ 西正線 ☐ 西副線 ☐ 東線 ☐ 西線 ☐ 中線

軌別
☐ 左側 ☐ 右側

區間
☐ 台中線 ☐ 縱貫線

附註
檔案附註說明

點擊或拖曳檔案上傳

上傳 ☐ 僅上傳不辨識

上傳模式:影片模式、相片模式

線別:軌道線別

軌別:軌道側

區間:路線區間

附註:填寫備註文字

黃色區域:點選此區域或拖曳檔案，即可將檔案加入上傳列表

僅上傳不辨識:勾選後將不辨識該檔案(記錄用)

上傳:設定無誤後開始進行上傳

2.1 新增流程

1. 點選檔案的《線別》、《軌別》、《區間》
2. 填入備註框(如果需要)
3. 點選藍色框內黃色區域，選擇要上傳的檔案
4. 資料填寫完畢後，點擊上傳按鈕進行上傳

上傳模式：☒ 影片

線別
☐ 東正線 ☐ 東副線 ☐ 西正線 ☐ 西副線 ☐ 東線 ☐ 西線 ☐ 中線

軌別
☐ 左側 ☐ 右側

區間
☐ 台中線 ☐ 縱貫線

附註
檔案附註說明

點擊或拖曳檔案上傳

上傳 ☐ 僅上傳不辨識

上傳模式：

影片

線別

● 東正線

● 東副線

● 西正線

● 西副線

● 東線

● 西線

● 中線

● 左側

● 右側

區間

● 台中線

● 縱貫線

附註

這是一個測試備註

0.1 GB

從列表移除

上傳

☐ 僅上傳不辨識

上傳模式：

影片

線別

● 東正線

● 東副線

● 西正線

● 西副線

● 東線

● 西線

● 中線

● 左側

● 右側

區間

● 台中線

● 縱貫線

附註

test_video

60.8 MB

從列表移除

上傳

☐ 僅上傳不辨識

上傳結果

原始檔名: GH012572.MP4

檔案型別: mp4

檔案大小: 59392

上傳日期: 2019-11-04 11:06:02

儲存於:

upload/f4702078e0fe66801d4e4059e19b44a4.mp4

附錄 3-6

三、瀏覽檔案

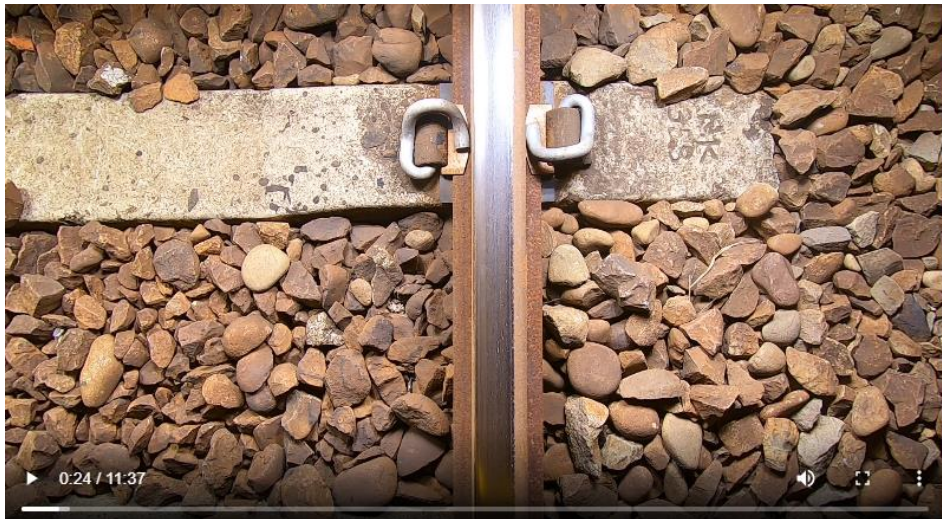
瀏覽檔案功能將列出先前上傳的檔案，並依據檔案進行分類，每個檔案將顯示其的上傳日期，起訖點座標，線別軌別區段，辨識狀態，備註，與操作功能

2019-11-01 11:04:29	起點: K173+970.0 終點: K179+191.08	線別:東正線 軌別:右側 區段:台中線	辨識完成	test11011057	    
---------------------	-----------------------------------	---------------------------	------	--------------	---

3.1 檢視原始檔案



按下後可以撥放/檢視原始檔案



3.2 檢視該檔案的辨識結果



檢視該檔案所包含的辨識結果，如果沒有看到這個按鈕，代表該原始檔案可能損壞或格式異常，導致無法辨識(如 GPS 資料遺失、非 GoPro 影片檔案)

3.3 下載該檔案



點選後開始下載該檔案的原始檔案

3.4 編輯檔案資訊



編輯檔案的起訖點、線別軌別區段、備註

編輯檔案



檔案名稱

ff92a087ee00b1ee724ddcacee872e6e.mp4

起點

終點

大甲

日南

K179+405.31

K174.781.14

線別

- ☒ 東正線 ☐ 東副線 ☐ 西正線 ☐ 西副線 ☐ 東線 ☐ 西線
☐ 中線

軌別

區間

- ☐ 左側 ☒ 右側

- ☒ 台中線 ☐ 縱貫線

備註

test11011057

編輯檔案

3.5 刪除檔案



從伺服器中刪除檔案，與該檔案的辨識結果

刪除檔案



檔案名稱

ff92a087ee00b1ee724ddcacee872e6e.mp4

刪除檔案

四、檢視結果

此處將顯示影片或相片的辨識結果，可於瀏覽檔案處點選  依據

檔案篩選結果，或直接點擊分頁頁籤 **懷悅結末** 瀏覽全部結果

軌道扣件缺失辨識系統

新增瀏覽檔案檢視結果用戶管理

admin 登入

分類物件名稱起點終點

篩選

僅顯示損壞

顯示10項結果搜尋:

檔案	物件分類與名稱	辨識分數	時間點	操作	緯經度
	分類: 2 名稱: eClip正常-混凝土枕木	0.9842	2019-09-21 18:43:57	  	緯度: 24.457335 經度: 120.660024 K165+232.97
	分類: 2 名稱: eClip正常-混凝土枕木	0.9961	2019-09-21 18:43:57	  	緯度: 24.457335 經度: 120.660024 K165+232.97
	分類: 2 名稱: eClip正常-混凝土枕木	0.9560	2019-09-21 18:43:57	  	緯度: 24.457335 經度: 120.660024 K165+232.97
	分類: 2 名稱: eClip正常-混凝土枕木	0.9818	2019-09-21 18:43:57	  	緯度: 24.457335 經度: 120.660024 K165+232.97
	分類: 2 名稱: eClip正常-混凝土枕木	0.8832	2019-09-21 18:43:57	  	緯度: 24.457335 經度: 120.660024 K165+232.97

4.1 篩選

可以依據物件名稱進行篩選

物件名稱

eClip正常-木枕木
eClip正常-混凝土枕木
eClip損壞-混凝土枕木
eClip疑似遭覆蓋
道釘正常
魚尾鉸正常
滑床板正常
護軌墊鉸正常

可以依據起訖點的 K+ 或 GPS 座標進行篩選

起點

終點

篩選

輸入完條件後點擊

按鈕進行結果篩選

4.2 僅顯示損壞

僅顯示損壞

點選後將只顯示被分類為《損壞》的結果

全部顯示

顯示 10 項結果

搜尋:

檔案	物件分類與名稱	辨識分數	時間點	操作	緯經度
	分類：3 名稱：eClip損壞-混凝土枕木	0.5256	2019-09-21 16:00:30	  	緯度：24.349064 經度：120.630436 K178+801.63
	分類：3 名稱：eClip損壞-混凝土枕木	0.8571	2019-09-21 16:00:30	  	緯度：24.349064 經度：120.630436 K178+801.63
	分類：3 名稱：eClip損壞-混凝土枕木	0.9065	2019-09-21 16:00:33	  	緯度：24.349269 經度：120.630575 K178+773.69
	分類：3 名稱：eClip損壞-混凝土枕木	0.9583	2019-09-21 16:00:37	  	緯度：24.349486 經度：120.630721 K178+745.43
	分類：3 名稱：eClip損壞-混凝土枕木	0.8583	2019-09-21 16:00:40	  	緯度：24.349762 經度：120.630906 K178+709.63

4.3 全部顯示

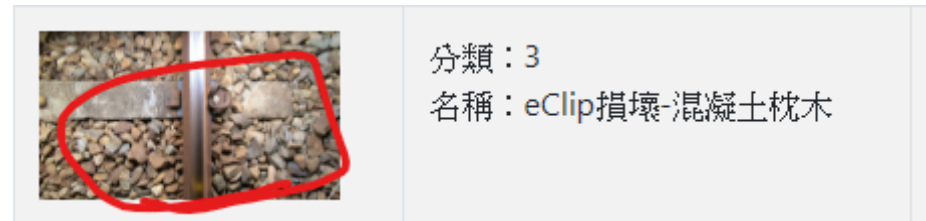
全部顯示

點擊後將切換為一般顯示模式(顯示全部結果)

4.4 檢視辨識結果

	分類：3 名稱：eClip損壞-混凝土枕木	0.9065	2019-09-21 16:00:33	  	緯度：24.349269 經度：120.630575 K178+773.69
---	--------------------------	--------	---------------------	---	--

檔案:點選圖片後顯示辨識方框，可以檢視判定的物件位置

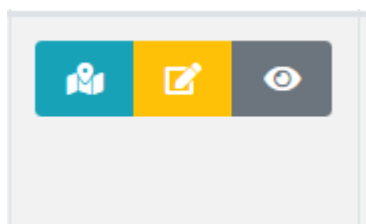


物件分類與名稱:此處顯示辨識的分類 ID 編號與物件名稱

分類：3
名稱：eClip損壞-混凝土枕木

辨識分數:系統將計算這個判定結果的可信度，可信度越接近 1 代表可信度越高

時間點:該張相片的拍攝時間點



操作:



檢視該點在地圖上的位置



百公尺標的位置:點選後可以看到位置標籤



該辨識結果的位置



編輯該辨識結果的資料

編輯檔案



檔案名稱

ff92a087ee00b1ee724ddcacee872e6e.mp4/118-7090d.jpg

緯度

24.349269

經度

120.630575

名稱

eClip正常-木枕木

編輯檔案



檢視紀錄，點擊後將跳至影片的對應時間點或顯示原始圖片



經緯度:顯示座標相關資訊，包含 GPS 經緯度與 K+推算估計值

緯度：24.349269
經度：120.630575
K178+773.69

五、用戶管理

此處可供管理員編輯使用者的權限

軌道扣件缺失辨識系統 新增 瀏覽檔案 檢視結果 用戶管理								admin	登出
使用者帳號	姓名	權限級別	觀看	上傳	編輯	刪除	編輯權限		
admin1	admin	管理員	可觀看	可上傳	可編輯	可刪除			
tommy8804	孫學任	使用者	可觀看	可上傳	可編輯	可刪除			
cchsieh	謝禎岡	使用者	可觀看	可上傳	可編輯	無法刪除			
0453303	莊瓊智	使用者	可觀看	可上傳	可編輯	無法刪除			
zotzil	李明德	使用者	可觀看	可上傳	可編輯	無法刪除			
test_user	test_user_tat	使用者	可觀看	可上傳	可編輯	可刪除			

使用者帳號:使用者的登入帳號

姓名:使用者註冊的姓名

權限級別:使用者或管理員(此頁面僅供管理員可見)

觀看:是否有瀏覽檔案、檢視結果權限

上傳:是否有新增權限

編輯:是否可以編輯檔案資訊、辨識結果

刪除:是否可以刪除檔案、紀錄

5.1 編輯權限



編輯使用者的權限

編輯權限



帳戶姓名

test_user_tat

權限級別

☐ 管理員 ☒ 使用者

☒ 觀看 ☒ 上傳 ☒ 編輯 ☒ 刪除

確認

5.2 刪除帳號



刪除帳號



帳號

test_user

姓名

test_user_tat

刪除帳號

附錄四

期末報告簡報資料

軌道扣件巡檢系統建置 -扣件缺失辨識系統建置研究

期末報告



計畫主持人: 謝禎問
共同計畫主持人: 黃維信、謝尚琳
執行單位: 大同大學

Nov. 25, 2019

簡報大綱

- 計畫緣起
- 研究目的
- 文獻探討
- 研究方法與系統架構
- 測試資料與實驗結果
- 結論與建議

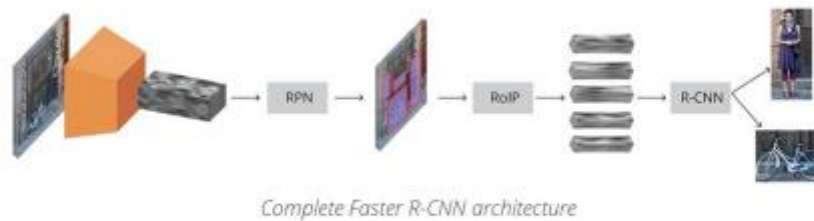
計畫緣起

- 軌道係由道砟、軌枕、鋼軌及扣件所組成，供列車及車輛通行的構造物。
- 軌道扣件系統對下部結構具緩衝作用、讓承受重量分散、可抵抗鋼軌側翻擾動、電氣絕緣及吸音減震等功能，讓鐵軌能穩定固定於軌道上。
- 對於列車能否平穩及安全的行駛影響至鉅。



研究目的

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



計畫工作項目-甘特圖

月次	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月
鐵路工作項目與內容	***									
(一)蒐集國內外鐵路軌道扣件檢索文獻及資料。敘述檢測設備、方法及成效等	***	***	***							
(二)探討現行探傷機或攝影機，安裝於臺鐵工程維修車拖行之平臺上（尤佳）或臺鐵工程維修車上，須滿足夜間臺鐵工程維修車行駛速度至少於30km/hr時仍可獲取足供AI判釋之清晰影像，並研提可行性分析。		***	***	***	***					
(三)利用現行滿意學習方式，提供軌道扣件判釋的快速解決方案。				***	***					
(四)提供軌道定位解決方案。搭配上述AI方式，有效定位出有問題的扣件位置			***	***						
(五)在臺鐵臺中工務段管轄範圍內選定一線路軌道區(來回單程總計至少70公里)利用項目3之設備獲取足供AI判釋之清晰影像，辨識及定位有缺失之扣件，提出扣件檢出率及扣件缺失種類準確率並驗證。				***	***					
(六)進行扣件辨識資料庫之建立與訓練。					***					
(七)在臺鐵臺中工務段管轄範圍內選定一線路軌道區(來回單程總計至少70公里)利用項目3之設備獲取足供AI判釋之清晰影像，辨識及定位有缺失之扣件，提出扣件檢出率及扣件缺失種類準確率並驗證。					***	***				
(八)建立扣件影像缺失辨識及定位系統，分析判斷及定位有缺失之扣件，並重製扣件缺失報告，研提系統使用手冊。						***	***			
(九)利用所編軌道影像，提出未來軌道扣件可辨識種類及可行性。							***	***		
(十)研提未來採購相關款，硬體設備所需成本，依據合約規定時間進行期中及期末報告審查及依本所排定相關工作會議。					***		***	***	***	***
參考「科技計畫績效考核平台」之績效指標，填列量化的計畫成果。									***	***
預定進度累計百分比(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

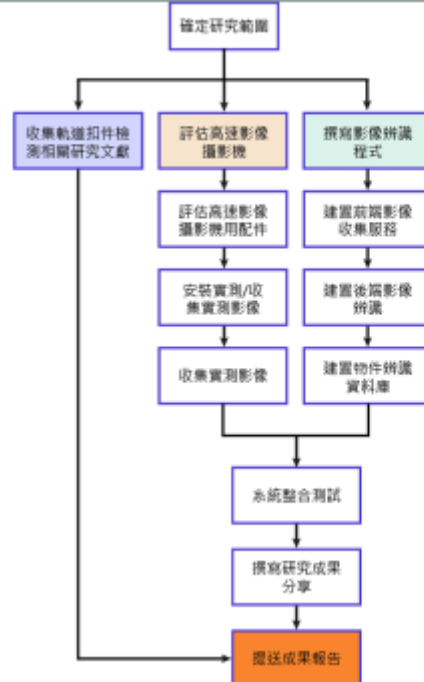
文獻探討

文獻	開始	辨識項目	取像方式	取像速度	辨識引擎	準確率	辨識速度
瑞士 ^[13]	2007	Track/20種	HR Cam	160km/h	AI	NA	Real time
加拿大 ^[14]	2018	Track/all	Laser	180km/h	NA	NA	Real time
中國 ^[23]	2018	Track catenary	Cam	NA	AI/Yolov3	97%	0.15s
印度 ^[15]	2017	Track signal	Cam	30f/s	AI/SSD	94.7%	Real time
美國 ^[21]	2011	Track/3-5種	Cam	NA	傳統	93%	NA
台灣 ^[20]	2011	Track/3種	Line Scan	NA	傳統	NA	NA
Our*	2019	Track/10種	Cam	30km/h	AI/Yolov3	80.8%	Real time

*已發表1篇國際會議論文: IEEE ECICE 2019, Oct.

*已投稿1篇SCI期刊論文Sensors, Oct. 31

研究方法



系統架構

1. **高速影像攝影機**，1080P/60fps錄影，錄影時長5小時，具Wi-Fi連線功能，具Python-API遠端控制接口，抗震、防水、夜錄
2. 前端採用高速影像攝影機，透過**錄影方式**或**4G通訊**界面將欲判定的影像送至後端影像辨識深度學習伺服器。
3. **嵌入式前端控制系統 (GoPro)**
4. **後端影像辨識深度學習伺服器**，具有足夠的效能以在最短時間內辨識完影片，並將資料統整分類。



GoPro架設

- 攝影機架設方式



夜拍測試資料(一)-6/6

- 夜間試拍I(6/6 17:00~21:00側線夜拍) & 夜間試拍II(6/17 00:00~3:00 正線拍攝) & 正線夜拍 (6/24 00:00~3:00)
- 夜間錄影品質尚可(當天下大雨也OK)，人眼可辨識，但不如白天拍的清晰。
- 進行燈光補強，用2*200W燈具，燈具架設於上方，與相機同向斜照。
- 側線試拍畫面良好
- Speed<20km/h



Fastener Types

	e_clip on wood crossie	e_clip on concrete crossie	Spike	Fishplate	Slide bed plate	Guard rail plate
Normal						
Defective					NA	NA

AI訓練增加夜拍資料集

訓練資料集共2850張相片，測試資料集共952張相片 本次新增0625夜拍中之879張穩定清晰相片至訓練與測試資料集中	
驗證資料集中物件個數3728，信心校值(thresh)為50%	
eClip木枕木_正常	85.62%
eClip木枕木_損壞	50.76%
eClip混凝土枕木_正常	88.19%
eClip混凝土枕木_損壞	84.76%
eClip遭到遮蔽	85.54%
道釘_正常	87.17%
道釘_損壞	50%
魚尾板_正常	67.79%
魚尾板_損壞	89.71%
滑床板_正常	88.23%
滑床板_損壞	無資料
護軌墊板_正常	87.39%
護軌墊板_損壞	無資料
斷軌	資料過少
precision = 0.85, recall = 0.97, F1-score = 0.91, averageIoU = 70.52 % mean average precision (mAP@0.50) = 0.721968, or 72.20 %	

夜拍測試資料(二)-7/28

- 7/28 00:00~5:00進行正線夜拍，把剩餘的50公里拍完
- 一邊會用2盞200W的LED燈，一邊用一盞200WLED燈及倉庫有的鹵素燈(較黃)，可以當對照組。
- 時速>30km影像模糊，仍待解決。

7/27 拍攝照片

- 模糊，不適合辨識用



夜拍測試資料(三)-9/21

- 降低投射燈之高度，一邊用2盞，影像上方仍有暗處，但大致上照的軌道扣件已可清楚辨識。
- 9/21夜間~9/22凌晨，進行大甲~大山正線夜拍，跑了 $42 \times 2 = 84$ 公里，一邊用兩盞200W的LED燈。



6/24+7/27+9/21全部測試資料處理狀況

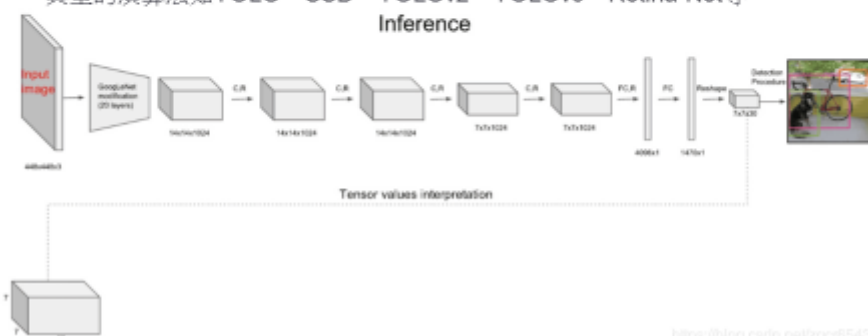
正線70km場域測試

拍攝日期	影片個數	無法使用個數	可用照片
6月17日	37	2過於模糊+1鏡頭異物	13,945
7月27日	38	0	23,420
9月21日	44	0	20,698
合計	119	6	58,063

YOLO網路

目標檢測演算法分為兩類：

1. **two-stage**: 將問題劃分為兩個階段，首先產生候選區域（region proposals），然後對候選區域分類（一般還需要對位置精修），這一類的典型代表是R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN家族。識別錯誤率低，漏識別率也較低，但速度較慢，不能滿足實時檢測場景。
2. **one-stage**: 不需要region proposal階段，直接產生物體的類別概率和位置座標值，經過單次檢測即可直接得到最終的檢測結果，因此有著更快的檢測速度，比較典型的演算法如YOLO, SSD, YOLOv2, YOLOv3, Retina-Net等。

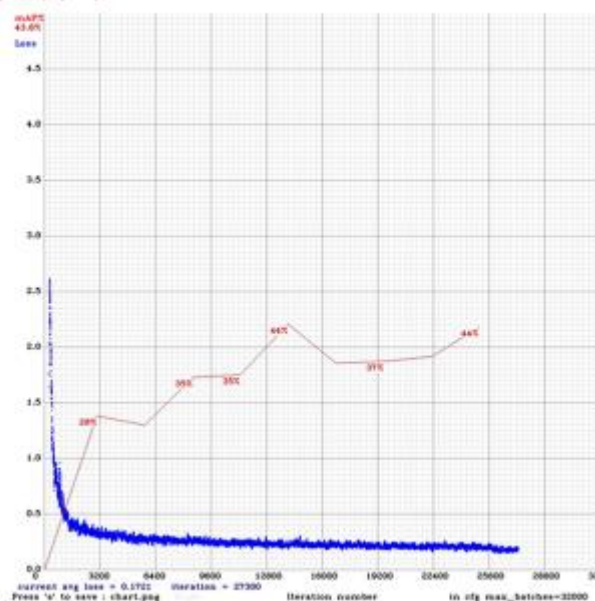


YOLO v3 辨識與調整

- 用來測試軌道扣件，辨識結果良好。對於小型目標物體以及密集物體的辨識率較低。雖然扣件的體積小，但是當近距離或是放大拍攝後，扣件仍可準確的進行辨識。
- 調整 Yolo 模型的方法: 與一般的類神經網路模型相似，**fine-tune** 和 **data augmentation** 一定要測過。
 1. 整理資料集：資料增強 (data augmentation)，例如旋轉 (angle)、曝光 (exposure)、飽和度 (saturation)、色調 (hue)。
 2. 整理資料集：要有負樣本，也就是沒有 bounding box 的影像。
 3. 提高解析度：訓練時將設定文件 (.cfg) 中的解析度設為符合該網路的最高解析度 (height=608, width=608)，或任何 >32 的 2 次方倍。
 4. 使用聚類方法 (clustering) 重新計算 anchors box 大小，用 k-means 方法從訓練樣本中選出適合的 anchor boxes，並將結果填入設定檔。
 5. 微調模型 (fine-tune): 可以使用 stopbackward=1 禁止訓練某些層來做 fine-tune。
 6. 記憶體不足解法：增加 subdivisions，計算時一個 batch 更新 1 次網路權重，而 subdivisions 會將 batch 再分割成 [batch/subdivisions] 個部分做計算，因此增加 subdivisions 可以減輕記憶體的負擔。

Yolo v3 訓練結果

- 共計影片119支
- 共擷取58,063張相片
可作為訓練資料集
 - 80%作為訓練集
 - 20%做為測試集
- 訓練曲線圖如圖4-23
 - Epoch次數為27,000
 - Loss function已經收斂。



辨識結果-符合本研究預定目標

- 扣件檢出率=所有正常扣件檢出率之平均 $= (84\% + 78\% + 78\% + 90\%) / 4 = 82.5\% > 80\%$ (目標)
- 扣件缺失檢出率=所有扣件缺失檢出率之平均 $= (88\% + 61\%) / 2 = 74.5\% > 70\%$ (目標)
- 扣件缺失未檢出率，Under kill rate $= 1 - 0.745 = 0.255$
- 以檔案列表中段之20%為測試集，其餘為訓練集

類別名	Precision	TP	FP	TP+FN	Recall
e-Clip木枕木_正常	0.91	590	61	701	0.84
e-Clip木枕木_損壞	0.86	30	5	34	0.88
e-Clip混凝土枕木_正常	0.89	6131	762	7824	0.78
e-Clip混凝土枕木_損壞	0.80	194	47	316	0.61
e-Clip遭到遮蔽	0.83	39	8	85	0.46
滑床板_正常	0.91	82	8	105	0.78
護軌墊板_正常	0.87	45	7	50	0.90
Precision = TP/(TP+FP) Recall = TP/(TP+FN) 正常檢出率=0.825 損壞檢出率=0.745 Thresh = 0.5					

辨識系統專有名詞

- TP: true positive, FP: false positive
- FN: false negative, TN: true negative
- mAP (mean average precision)

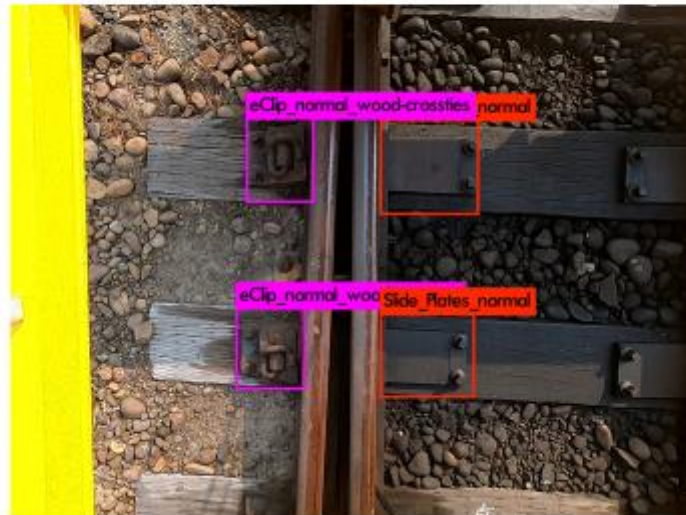
$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{mAP} = \int_0^1 P(R) dR \quad (3)$$

$$\text{F1} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (4)$$

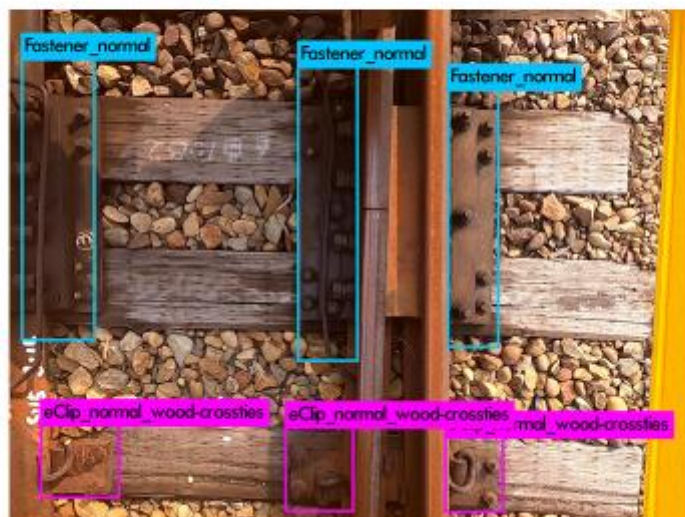
測試結果(一)



測試結果(二)



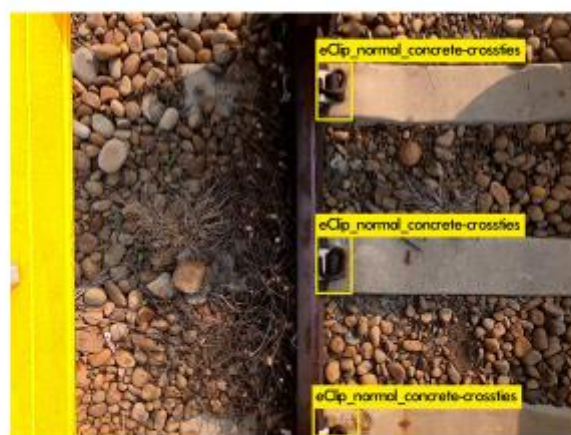
測試結果(三)



測試結果(四)



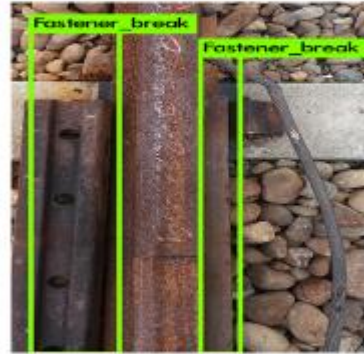
測試結果(五)



軌道負樣本驗證範例(六)



道釘遺失



魚尾板脫落



軌道未鏈結與扣件遺失

新增之夜間攝影範例(七)



缺失e-clip辨識結果圖(八)

• 資料來自2019-09-21下午拍攝之GH012547.mp4 大甲往日南方向



緯度:24.349269~
經度:120.630575~



緯度:24.349406~
經度:120.630721~

缺失e-clip辨識結果圖(九)



緯度:24.368426~
經度:120.646066~



緯度:24.376398~
經度:120.653102~

魚尾鉗辨識結果圖(十)

• 訓練時

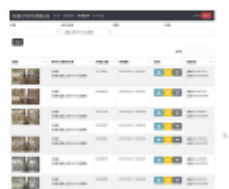


測試時



扣件缺失辨識系統網站

1. AI 辨識引擎：記憶體不足問題修正
2. 網站修正如下：
 - ① 首頁以「軌道扣件缺失辨識系統」字樣為主，大同大學、交通部運輸研究所字樣為輔。
 - ② 影片的起點、終點及照片的位置，建議GPS座標及里程位置皆自動計算匯入，並能手動修改。
 - ③ 缺失扣件位置建議利用扣件GPS座標及百公尺樁號GPS座標計算確切里程，避免每一個缺失扣件皆進行Google Earth套疊及量距，俾利檢修人員依里程修繕。
 - ④ 線別：站外分東、西、中三線，站內分東正、東副、西正、西副四線，另外可增加區間選項：分台中線與縱貫線。
 - ⑤ 建議增加可上傳檔案(非辨識)，並可填寫上傳檔案說明的功能。
 - ⑥ 影像辨識中，建議可顯示目前辨識進度如百分比%。
 - ⑦ 網頁請於10月中旬提供大甲分駐所使用，俾利提供使用意見。
 - ⑧ 網頁首頁即須登入，分使用者及管理者權限。
 - ⑨ 建議撰寫系統操作手冊或教學影片。



後端管理資料倉儲網站之規劃

- 後端資料倉儲管理會採用MySQL為資料庫系統，
- 1個軌道扣件種類的表格
- 14個軌道扣件表格，對應到個別軌道扣件種類，每個表格內存放該路段每天巡檢的結果，以及處理的狀況。
- 前台網站會提供軌道扣件查詢界面，以年月日查詢當天巡檢的結果，以表格呈現。再提供統計功能，在一段時間區間，巡檢的結果。



2019/11/28

扣件定位與解決方式

1. 目前臺鐵內部已有百公尺的里程樁號，針對每一個里程樁號設定半徑20公尺（將來可視需求調整半徑值）的「虛擬偵測圖」。當工程維修車行經這些「虛擬偵測圖」時，即可判斷工程維修車所在的位置。
2. 本計畫以GoPro照相或攝影，其儲存格式內含GPS資訊，誤差在 5 公尺左右。
3. 經過大甲工作人員實地巡查，已可接近實用程度。



硬體平台

- 雲端版本
 - Server: PC with nVidia 2080 Ti
 - Detection Performance: ~60 fps by Server
- Edge端版本
 - Gopro
 - Capture Performance: 60 fps @ 1080p
 - Fastener Detection Performance >= 30 fps

2019/11/28

結論(一)

1. 完成可應用於臺鐵軌道檢測之**高速影像記錄設備選用**，並依據作業環境（如工程維修車）挑選適合高速影像記錄設備之安裝配件。
2. 提出可應用於**軌道扣件檢測及定位解決方案**，並經實際驗證後證明其可行性。
3. 建立具**擴充性**的軌道扣件缺失物件辨識資料庫，並經實際驗證其可行性。
4. 結合前端影像收集、影像處理及後端影像分析，建立一套具實用價值的軌道扣件判釋解決方案，並經實際驗證其具有**實用性及可行性**。
5. 此研究經實際驗證可行後，可**大量減輕道班工作人員之工作負擔，並可減少人力之支出**，會帶來龐大的經濟效益，有效疏解解決目前臺鐵基層鐵路巡檢人力不足之問題。
6. 計畫成果已發表於IEEE ECICE 2019會議，擴充完整版已投稿於Sensor國際期刊。

結論(二) - 具體列表

確認工作項目與內容	量化數據
(一)蒐集國內外鐵路軌道扣件相關文獻及圖例，前述檢測設備、方法及成效等。	參考16篇軌道相關檢測論文
(二)探討現有相機或攝影機，安裝於臺鐵工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵工程維修車上，滿足夜間臺鐵工程維修車行駛速度至少於30Km/hr時仍可獲取足供AI辨識之清晰影像，並研提可行性分析。	1. 參考3款運動型攝影機 2. N次測試+3次正確測試
(三)利用現行深度学习方式，提供軌道扣件辨識的快速解決方案。	R-CNN, Faster RCNN, Yolo v3(Best)
(四)提供軌道定位解決方案，搭配上述AI方式，有效定位出有問題的扣件位置。	GPS+高公司精確模擬測器有效定位
(五)在臺鐵臺中工程段工程維修車拖行之平車上（尤佳）或臺鐵工程維修車上，安裝項目2之攝影機或攝影機、照相機及定位等相關設備。（如能裝設相關電腦設備同步分析更佳）。	1. 製作平車 2. 相機、燈光、發電機等設備解說 3. 高任務設備設置
(六)進行物件辨識資料庫之建立與訓練。	13項 ➡ 10項，每次訓練大約1天
(七)在臺鐵臺中工程段暨相關範圍內選定一鐵路軌道段（來回單程總計至少70公里）利用項目5之設備獲取足供AI辨識之清晰影像，辨識及定位有缺失之扣件，提出扣件輸出率及扣件缺失辨識準確率並驗證。	1. 3次正確(6/24+7/27+9/21)，公里數 > 160 km 2. 影像共58,003張 3. 扣件輸出率81.5% > 80%，扣件缺失輸出率79.7% > 70%
(八)建立扣件影像缺失辨識及定位系統，分析判斷及定位有缺失之扣件，並產製扣件缺失報告，研提系統使用手冊。	1. http://twolq.dcdm.net/ 2. 扣件缺失辨識及定位雲端服務網站，產製扣件缺失報告 3. 系統使用手冊
(九)利用所獲軌道影像，提出未來軌道缺失可辨識程度及可行性。	提出5項，會議討論後建議以新軌及舊軌軌道（含新到舊軌道）為主。
(十)研提未來採購相關軟、硬體設備所需成本，依據目前規定和標準進行中及未來設備審查及成本所提相關工作會議。	1. AI Server: 25萬，雲端伺服器：10萬 2. Edge computing 設備：~15萬 3. 高速紅外線攝影機：5萬
參考「科技計畫成果考核辦法」之績效指標，填列量化成果及本計畫成果。	1 國際會議論文，1 國際期刊投稿

建議

1. 持續收集正負樣本提供訓練使用
2. 攝影設備精進（穩定性、長時間、即時傳輸）。
3. 隧道段之定位及版式軌道段之扣件辨識。
4. 側向拍攝(如魚尾鉗)等之拍攝需求調查，如有需要，拍攝方法研析。
5. 即時辨識系統建立及即時缺失扣件定位及手機定位搜尋。
6. 扣件缺失辨識系統網頁由臺鐵人員使用，未來依使用者意見持續精進及改善網頁。
7. 增加軌面缺失辨識。

