

交通部運輸研究所

合作研究計畫之研究主題與重點

計畫名稱		軌道構件缺失人工智慧辨識建置應用-系統擴建與宜蘭段現地測試		
計畫編號		MOTC-IOT-111-H1CB001g	計畫性質	<input type="checkbox"/> 行政及政策類 <input checked="" type="checkbox"/> 科學及技術類
計畫領域		<input type="checkbox"/> 電信 <input checked="" type="checkbox"/> 自動化 <input type="checkbox"/> 土木 <input type="checkbox"/> 機電 <input type="checkbox"/> 航太 <input type="checkbox"/> 海洋 <input type="checkbox"/> 運輸 <input type="checkbox"/> 氣象 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 觀光 <input type="checkbox"/> 綜合（以計畫內容領域比重較高者為主，若計畫內容涉及法令、財務、制度等之研究者則以綜合領域屬之）		
預定執行期限	全程	111 年決標日之次日起至 111 年 12 月 31 日		
	年度	111 年決標日之次日起至 111 年 12 月 31 日		
經費概算	全程	新臺幣 1,400 千元		
	年度	新臺幣 1,400 千元		
聯絡人	單位	港研中心第一科	連絡電話	(04)2658-7112
	職稱	副研究員	傳真號碼	(04)2656-4418
	姓名	鄭登鍵	E-mail 信箱	xdchien@mail.ihmt.gov.tw

一、計畫背景與目的：（簡述計畫之目的、緣起與重要性，並說明與當年度業務施政之關聯性、配合性及前後連貫的整體性）

(一)目的、緣起與重要性

- 1、目的：本研究配合交通部臺灣鐵路管理局鐵道巡查工作自動化之需求，利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，檢測鐵路軌道構件缺失，建立一套自動化檢測系統。本計畫在前期(108-110 年)計畫已利用攝影器材獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之構件，建立臺鐵局臺中工務段軌道構件缺失辨識系統。今年針對宜蘭工務段建置軌道構件缺失辨識系統，將原系統的適用範圍由平原區擴大至丘陵區，而後續將再進一步擴大適用範圍至臺鐵局全路段。
- 2、緣起：軌道運輸為臺灣地區最主要的交通運輸工具之一，影響軌道安全的因素有自然環境因素（地震、颱風、豪雨、邊坡滑動、落石等）、人為因素（破壞設備、縱火、爆裂物、暴力攻擊、挾持等）、設備異常（軌道變形、號誌系統故障、道岔故障、列車轉向架故障、電車線垂落等），軌道變形直接影響軌道安全，軌道扣件負責固定鐵軌於枕木上，避免軌道鬆脫變形，軌道的巡查擔負軌道運輸安全的重要任務，傳統鐵路軌道扣件巡查方式係採用人工，以目視方式進行巡查，而人工目視巡查受限於巡查車速及視察角度等問題，至今並無法有效快速進行。因此，本研究規劃利用照相機或攝影機搭配 AI 深度學習方法，做為鐵路軌道構件自動判釋分析之用途，用來替代目前人工巡查工作，達到自動化鐵路軌道扣件檢測

的目的。

- 3、重要性：本研究配合交通部臺灣鐵路管理局軌道巡查工作自動化之需求，提供以 AI 方式來達到全自動判釋鐵路軌道構件有否牢固，以降低人工巡查的人力及時間，並配合現地驗證，將此技術落實推廣應用。本研究首先蒐集國內外鐵路軌道構件檢監測案例並分析其設備、方法及國內適用性，利用現行深度學習方式，進行軌道構件判釋並搭配定位系統，進行軌道構件檢測系統精進及驗證，增加辨識準確性及定位精度並撰寫系統手冊，可解決道工人力日益短缺及人工目視受限於視察角度及疲勞等問題，可提升巡查效能，有助於臺灣軌道之維護管理，提升軌道行車安全。
- 4、施政關聯性、配合性及前後連貫的整體性：本計畫成果將公開分享訊息給軌道管理單位，以達到交通安全之政策目標；計畫成果可於臺灣鐵路管理局等鐵道巡查作業實務運用，並提供相關軌道管理單位參考。本計畫前期(108-110 年)計畫建立臺鐵局臺中工務段軌道構件缺失辨識系統：在 108 年初步建立系統，可檢測軌道扣件是否脫落；109 年精進攝影設備與系統，提高辨識準確性及定位精度，並將辨識標的由軌道扣件擴大為軌道構件，辨識項目除扣件缺失外，增加道釘缺失、鋼軌裂縫、踏面不整等；110 年進行軌道側向拍攝，再增加魚尾鉸缺失、鋼軌側面裂縫等辨識項目，於臺鐵局臺中工務段實際執行 AI 巡查作業，並將系統移轉給臺鐵局臺中工務段應用。本計畫預計在今年建置臺鐵局宜蘭工務段軌道構件缺失辨識系統，並建立其物件辨識資料庫。宜蘭工務段的路段屬丘陵區，不同於前期計畫的臺中工務段屬平原區。丘陵區內的小半徑曲線彎曲路段較多，且有較多長短隧道，一般而言，在小半徑曲線彎曲路段的軌道內軌另裝設防脫護軌，會提高 AI 辨識困難度，而在隧道內無 GPS 訊號，將產生定位誤差的問題需解決。因此，針對宜蘭工務段建置軌道構件缺失辨識系統將可擴大原系統適用範圍，精進系統辨識能力。之後，本計畫規劃再進一步擴建系統的適用性至臺鐵局全路段。

(二)文獻回顧：

- 1、以前年度相關研究/計畫成果：本計畫前期(108-110 年)計畫已利用攝影器材獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之構件，建立臺鐵局臺中工務段軌道構件缺失辨識系統。
 - (1)108 年「軌道扣件巡檢系統建置(1/2)-扣件缺失辨識系統建置研究」合作研究案利用攝影器材獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之扣件，初步建立一套自動化檢測系統。
 - (2)109 年「軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」合作研究案改善攝影機當機之情形、軌道實測範圍由一般道碴段擴及到隧道及版式軌道段，辨識對象由扣件缺失擴及到軌面缺失，辨識系統由攝影後辨識擴增可即時辨識。
 - (3)110 年「軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究」合作研究案建立

臺中工務段轄區物件辨識資料庫、精進系統並提升辨識準確度，除原軌道正上方拍攝，增加側向拍攝。辨識對象由扣件、道釘、鋼軌軌面等缺失，擴及魚尾鈑、鋼軌側面等缺失。

2、其餘詳如附件。

二、合作研究機構/單位之條件及合作方式：（說明合作研究機構/單位的性質、計畫主持人與主要研究人員/計畫人員所需具備之專長條件與經驗，以及本所與之合作的方式）

(一)本計畫合作單位宜具備 AI 深度學習、資訊系統開發、攝影測量等專長與相關研究實務經驗。

(二)合作單位之主持人、協同主持人與主要研究/計畫人員宜具備下列條件之履約能力：攝影測量專長、AI 深度學習、資訊系統開發經驗等相關研究經驗者，具鐵道運輸專長尤佳。

(三)本計畫採合作方式辦理，本所將派員與合作單位定期或不定期舉行工作會議及參與計畫相關工作，並辦理相關行政作業、協調配合及成果之研討與審議等事項。

三、預期完成的工作項目：（條列說明將合作進行之工作項目，若分年進行，得分年列述）

本計畫旨在配合交通部臺灣鐵路管理局鐵道巡查工作自動化之需求，利用人工智慧辨識方式進行影像擷取及自動分析，檢測鐵路軌道構件缺失，建立一套自動化檢測系統。工作的項目說明如下：

(一)資料蒐集分析：蒐集最新國內外鐵路軌道檢監測巡查文獻及商業化產品，綜整比較前期計畫研發的軌道構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈑)缺失辨識系統與其他國內外各鐵路軌道檢監測設備之差異或優缺點。

(二)現地測試：

1、在臺鐵宜蘭工務段工程維修車拖行之平車上裝設攝影機、照明、筆電及定位等相關設備。

2、在臺鐵宜蘭工務段轄管範圍內選定一鐵路軌道區(來回里程總計至少 70 公里)利用項目 1 之設備於夜間臺鐵工程維修車行進速度至少於 30Km/hr 時獲取足供 AI 判釋之清晰影像，辨識及定位出有缺失之構件(扣件、軌面及軌腹)，提出辨識檢出率(Recall rate)及辨識準確率(Precision)並驗證。

(三)辨識系統擴建：

1、建立臺鐵宜蘭工務段構件(扣件、軌面及軌腹)缺失之辨識原則，納入原物件辨識資料庫，並進行辨識訓練。

2、建立臺鐵宜蘭工務段軌道構件影像缺失辨識及定位系統，分析、判斷及定位扣件缺失、軌面缺失(鋼軌裂縫及踏面不整)及軌腹缺失(側面裂縫、魚尾鈑缺失)，並

產製缺失報告。

3、建立臺鐵宜蘭工務段即時構件缺失辨識系統並於現場實務應用，建立手機查詢缺失影像及定位搜尋功能。

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

(四)計畫相關配合項目：

1、針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。

2、研究成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會至少 1 篇。

3、辦理學術活動：辦理 1 場次軌道構件檢測系統教育訓練。

4、參考「政府研究資訊系統(GRB) <http://www.grb.gov.tw>」－研究計畫管理－實際成果（研究計畫績效指標項目）中之「績效」及「佐證資料」，就本計畫成果之特性，填寫合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。本計畫績效指標項目至少包括下列項目：

(1) 論文：提供至少 1 篇可供投稿之學術論文。（國內、外重要學術研討會或期刊論文）

(2) 研究報告：完成 1 本研究報告。

(3) 辦理學術活動：辦理 1 場次軌道構件檢測系統教育訓練。

(4) 培育及延攬人才：碩士生 1 人，畢業後即可從事應用人工智慧辨識影像等資訊相關行業。

四、本計畫之主要部分（應自行履約不得轉包）

上述三、工作項目中涉及「三、(三)之 1、2、3、4」為本計畫主要部分，應自行履約不得轉包。

五、預期成果、效益及其應用：（說明預期完成之具體成果，儘量依條列舉，若分年進行，得分年列述。並按計畫性質詳述所獲得的效益，以及未來在業務施政上的應用）

(一)預期成果

本計畫的預期成果如下：

1、完成臺鐵宜蘭工務段軌道區構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉋)缺失辨識系統之實地應用及驗證，並建立物件辨識資料庫。

2、完成臺鐵宜蘭工務段軌道的現地測試。

3、完成臺鐵臺中工務段軌道構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉋)影像缺失辨識系統

及其物件辨識資料庫精進。

(二)預期效益

- 1、提供一軌道構件(含扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉋)缺失的輔助巡查系統。
- 2、有效提高軌道構件巡查效率。

(三)預期應用

- 1、提供臺灣鐵路管理局等鐵道巡查作業實務運用，並可提供交通部鐵道局、台灣高速鐵路公司、臺北大眾捷運公司、桃園大眾捷運公司、臺中捷運公司、高雄捷運公司等相關軌道管理單位參考應用。
- 2、有效協助軌道構件巡查判釋，提高軌道構件巡查及管理效能。

六、其他重要說明事項：

- (一)本採購案之法定預算尚待通過，實際執行金額以立法院審議通過後之預算金額為上限，若未審議通過則不執行。
- (二)需索取前期(或相關)計畫成果報告書，請至本所網站（<https://www.iot.gov.tw/>）數位典藏/本所出版品下載，或逕洽本案承辦人。

文獻回顧

一、國外相關產品如下：

1. 瑞士CSEM

瑞士電子和微技術中心（Swiss Center for Electronics and Microtechnology, CSEM）為了自動診斷軌道的問題，在2007年就開始進行自動化系統開發，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。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改善鐵路軌道故障的檢測和分類技術、盡量減少現場目視檢查的次數、減少專家處理誤報的問題。

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目標區域（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分類，區分為五大類（如焊接、接頭、表面缺陷、踏面擦傷、車輪滑移）。

2. 美國ENSCO

ENSCO (Energy Service Company)鐵路成像系統利用高解析度相機系統和先進影像處理演算法，使系統具有極其可靠的圖像採集和處理能力，該方法已成功地應用於一系列軌道構件的檢測，包括魚尾板、枕木、扣件、軌面和架空線，以及軌道通行權(ROW)，所有的 ENSCO 鐵路成像系統可以晝夜運行，以減少營運中斷。

Ensco RSIS (Rail Surface Imaging System (RSIS) 採用專利線掃描成像方法，從移動的車輛上收集和記錄連續的高解析度軌道表面圖像，該系統檢查鐵路表面缺失包括滾動接觸疲勞(RCF)、剝落、表面裂紋、發動機燒傷和斷軌。

3. 加拿大LRAIL

加拿大Pavemetrics公司的 Laser Rail Inspection System (LRAIL)軌道檢測系統，可架設在改裝的車輛或是火車頭前，其特點為檢測速度可達180 km / h，同步3D幾何測量和高解析度影像，白天和夜間操作，免受陰影影響，全自動鐵路檢查包括枕木、扣件、鋼軌踏面缺失、軌道（軌距、水平、方向、高低）檢測、缺失定位等。

二、國內外相關文獻摘錄如下：

Ritika et al.以攝像頭結合GPS，用於檢測軌道並紀錄位置，該攝像頭以每秒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，在引導機車上安裝前置攝影鏡頭，選擇感興趣區域做軌道檢測，共實驗150公里，總體準確率為94.7%。

Karakose et al. 基於計算機視覺的監測方法，進行不良軌道偵測，把相機放在火車頂部，拍攝和火車相鄰的軌道圖像，應用邊緣偵測並擷取特徵來確定軌道。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。

劉鈺韋設計高速影像擷取系統，自動改變「線掃描攝影機」(Linescan Camera)的取樣率，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開陣列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.於2011提出以電腦視覺加攝影鏡頭於道叉處檢驗軌道缺失，並整理1998-2009年間最常見造成脫軌的原因，使用機器視覺進行檢查的道岔部件/缺陷。

Chen et al.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。

三、108 年「軌道扣件巡檢系統建置」計畫成果如下：

1. 蒐集國內外鐵路軌道扣件巡檢文獻及案例計 16 篇。
2. 分析 3 款運動型攝影機，並研提可行性，共進行 7 次軌道正線及側線測試。
3. 比較現行深度學習方式 R-CNN, Faster RCNN, Yolo v3(Best)，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，GPS 結合百公尺樁虛擬偵測圖有效定位，缺失扣件定位誤差為 5 公尺。
5. 在臺鐵臺中工務段工程維修車拖行之平車上，架設相機、照明、發電機等設備，並研析最佳取像設置。
6. 物件辨識資料庫之建立與訓練，扣件缺失分類 10 項，每次訓練大約 1 天。
7. 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)拍攝，正線 3 次拍攝(6/24,7/27,9/21)，公里數超過 160 km，影像共 58,063 張，扣件影像辨識準確率 86.7%。
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及系統使用手冊。
9. 提出未來軌面缺失可辨識種類及可行性，會議討論後建議以斷軌及疲勞裂縫（魚鱗剝落現象）為主。
10. 研提未來採購相關軟、硬體設備所需成本，AIServer25 萬，雲端伺服器 10 萬，Edge computing 筆電 15 萬，高速紅外線攝影機 5 萬。
11. 108 年 10 月 6 日於 IEEE ECICE 研討會發表本計畫成果，發表之論文名稱為” Railway Track Fasteners Fault Detection using Deep Learning”。

參考文獻

1. How Swiss Federal Railways Is Improving Passenger Safety With The Power Of Deep Learning, 2018, Forbes.
2. Pavemetrics, Laser Rail Inspection System (LRAIL), 2019, Canada, <http://www.pavemetrics.com/applications/rail-inspection/laser-rail-inspection-system/>, March.
3. S. Ritika, Shruti Mittal and Dattaraj Rao, Railway track Specific Traffic Signal Selection Using Deep Learning.
4. 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.
5. 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。
6. 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。
7. 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.
8. 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
9. 「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,109 年 2 月。
10. 「軌道扣件巡檢系統建置(2/2)-扣件缺失辨識系統精進驗證」,交通部運輸研究所,110 年 2 月。