

# 中 | 華 | 技 | 術 | 145

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2025.01.31 出版

## AI 驅動 · 工程 蛻 變



台北郵局許可證  
台北字第3758號

專訪人物 / 交通部交通科技及資訊司黃新薰司長  
桃園國際機場公司范孝倫總經理



智慧化—AI輔助公路設計系統  
AI驅動捷運設計的未來—從自動化到創新思維  
運用AI預測模型優化空調能耗  
高速公路交通控制系統—AI智慧分析導入與應用  
AI與數位模擬技術於智慧號誌控制之應用經驗

 財團法人中華顧問工程司 發行

CECI  台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製



# AI 驅動 · 工程 蛻變



# CONTENTS

中華技術 145

## 目錄



發行人 鄭運鵬  
發行所 財團法人中華顧問工程司  
地址 台北市辛亥路二段185號28樓  
電話 (02)8732-5567  
網址 <http://www.ceci.org.tw>

編審工作小組  
總召集人 施義芳  
副總召集人 廖學瑞  
145期召集人 王子安  
145期審查委員 施亮輝、林啟豐、鄭宏達、范景皓  
莊明哲、吳嘉文、彭知行、周昌典  
林聽能、倪睿謙

總編輯 張鈺輝  
副總編輯 李志宏  
執行編輯 袁雅玲  
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨  
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司  
地址 台北市內湖區陽光街323號  
電話 (02)8797-3567  
網址 <http://www.ceci.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎

### 專輯前言

#### 1 | 人物專訪

10. 訪交通部交通科技及資訊司司長黃新薰談「智慧運輸在AI助攻下的機會」.....  
.... 整理：游上民、陳聖堯·攝影：詹朝陽
22. 訪桃園國際機場公司總經理范孝倫談「智慧與綠能雙軸轉型擘劃機場藍圖」.....  
..... 整理：陳聖堯·攝影：詹朝陽

#### 2 | 工程論著

32. 利用深度學習語義分割技術於航空影像之房屋變遷偵測  
..... 張智安、陳沛丞
48. AI革命—智慧交通領域的快速發展  
..... 戴文凱



### 3 | 專題報導

#### 56. 智慧化—AI輔助公路設計系統.....

..... 吳嘉文、劉重光、黃蕙蓉、李盈慧、張凱銘

#### 68. AI驅動捷運設計的未來—從自動化到創新思維.....

..... 張壯習、譚家瑞、黃碩儒、蕭璋廷、馮興亞

#### 88. 運用AI預測模型優化空調能耗.....

..... 王孔政、陳璽安、Le Phuong Thao、  
Nguyen Hong Phuc、張平興、陳聖堯、施亮輝

#### 104. 高速公路交通控制系統—AI智慧分析導入與應用.....

..... 姚尹馨、李姝儀、常書娟、吳家帆、蘇稚翔、童銘義、彭成煥

#### 120. AI與數位模擬技術於智慧號誌控制之應用經驗.....

..... 齊瑞峻、張悅朗、楊博鈞、張智華、游上民

#### 130. 應用深度學習於GoPro行車影像車道線偵測研究.....

..... 林展慶、張智安、洪愷頡、楊軒、李冠毅、吳錫賢

#### 154. 基於穩定擴散模型開發高解析仿真橋柱損傷影像模組及其應用.....

..... 江亞萱、林子剛、王柄雄、張國鎮、曾榮川、彭知行、周贊翔

#### 172. 基於檢索增強生成技術(RAG)的人工智慧雲端監造助理之開發.....

..... 莊明哲、陳懿佐、鍾增煌、陳羿樺、張詠嬭

#### 184. 應用機械狗與多功能環境辨識監測技術於營建工地安全管理之研究.....

..... 陳志鴻、顏俊銘、盧祥偉、李毓仁

#### 196. 人工智慧(AI)在營建業施工應用—以桃園鐵路地下化南段工程為例.....

..... 林聰能、夏恒仁、施學崎



### 4 | 特稿

#### 206. 赴杜拜爭取智慧運輸ITS世界大會與國際城市交通政策之啟發.....

..... 游適銘

#### 214. 國內外道路交通安全觀測指標之初探.....

..... 劉又升

### 編後語



# 專輯前言

談到AI(Artificial Intelligence)的起源，最早可溯及1943年由沃倫·麥卡洛克(Warren McCulloch)和沃爾特·皮茲(Walter Pitts)所創模擬生物神經元功能的數學模型，奠定神經網絡的基礎。接著1950年英國電腦科學家和數學家-艾倫·圖靈(Alan Turing)，於《計算機器與智慧》(Computing Machinery and Intelligence)論文提出「圖靈測試」，展示「機器智慧」的可能性。而後不久，1956年在達特茅斯學院舉行的「達特茅斯會議」(Dartmouth Conference)，數學家約翰·麥卡錫(John McCarthy)首次提出「人工智慧」的名詞與概念，開啟了AI領域的長期探索，成為人工智慧發展的重要里程碑。

由此可知，AI理論已非新穎概念，而是超過半世紀的知識積累，然而受限於計算機運算能力，導致需仰賴龐大運算能量的AI技術缺乏舞台，在當時未能普及應用。

直到近年來隨著機器運算能力的日新月異，尤其是圖形處理器(GPU)和專用晶片的普及，促使AI技術蓬勃發展，開始從實驗研究進入產業應用。2012年深度學習方法在圖像識別應用突飛猛進，利用卷積神經網路(CNN)的AlexNet在ImageNet比賽中獲勝，代表電腦視覺演算法的表現已超越人腦。2016年備受國際矚目的圍棋人機大戰，橫空出世的AlphaGO在五戰之中取得四勝，當時南韓棋王李世乭因只贏一場而告敗，但這可能是人類唯一贏過AlphaGO的紀錄。

為了邁向圍棋頂點，AlphaGo持續學習進化，2017年進化後的AlphaGo Master繼續挑戰世界棋王柯潔，並以連勝三場的壓倒性優勢取得勝利。至此，AI在圍棋領域的表現已超越人類，達到全新境界。不僅如此，2022年底ChatGPT問世後，短短兩個月內吸引全球超過1億名使用者，此後，在食、衣/醫、住、行、育、樂各方面都可看到AI的影子，AI技術不僅得到全球關注，更融入我們

的日常生活。

回到中華技術所聚焦的工程面向，在AI技術的幫助下，工程規劃、設計、建置、興建與營運等各階段工作，加速朝向數位化、自動化與智慧化作業型態，邁向更安全、更高效、更減碳、更永續且更具韌性的工程建設目標。例如：在規劃設計階段，AI技術可用於精準估算工程建設資源、優化資源配置同時協助風險管理。而在施工建置階段，則可結合偵測設備自動偵知辨識現場狀況，不僅能提高施工準確性與安全性，還能縮短工期提升整體經濟效益。

Market Research Future與McKinsey等市場研究機構不約而同指出，AI在AEC(Architecture建築、Engineering工程與Construction營建)領域的產值正在迅速增長。例如：Market Research Future預測2032年AI在建築領域規模將達到28.7億美元。McKinsey則預測AI技術每年可為全球工程營建領域節省數千億美元的成本，意味著AI在工程領域的應用將帶來巨大經濟效益，進而推動產值增長。

另一方面，現今都市發展不僅面臨高齡化、少子化、極端氣候等環境議題，並肩負達成淨零排放之發展目標，為此，AI被認為是推動智慧城市的關鍵技術，包括智慧交通、能源管理、智慧防災等應用。根據IDC預測，全球AI支出，包括基礎設施以及相關IT和商業服務，到2028年將增加一倍以上，預計達到6,320億美元；Allied Market Research則預測直到2031年，AI相關基礎設施的市場規模，每年將以29.8%的速度快速成長。顯見AI已對工程的生命週期乃至本質，產生不可忽略的變化，因此本期內容遂以『AI驅動 工程蛻變』為主題，彙整編輯AI技術於工程應用專刊。

本期專訪第一篇特別邀請交通部交通科技及資訊司黃新薰司長，談「智慧運輸在AI助攻下的機會」，分享交通部推動ITS發展建設計畫過程中，AI技術輔助ITS的具體案例與成效，以及AI助攻下智慧交通(AITS, Artificial Intelligence + Intelligent Transportation Systems)未來的發展願景



# 專輯前言

與國際競爭力。不僅如此，在交通部、臺北市政府以及中華智慧運輸協會共同積極爭取下，我國不負眾望取得2029 ITS世界大會主辦權，將是展示臺灣AITS亮點的絕佳機會。

第二篇專訪則邀請桃園國際機場公司范孝倫總經理，談「智慧與綠能雙軸轉型擘劃機場藍圖」。為我們分享桃園機場推動智慧與綠能轉型的挑戰與成就，特別是如何在營運穩定與創新兩者間取得平衡之寶貴經驗，並闡述桃園機場提升運營效率、服務品質及環境保護方面的具體措施和計畫，透過智慧與綠能轉型，提供更優質的旅客服務，同時兼顧減碳永續的發展目標。

此外，邀請在AI領域具有豐富經驗和卓越成就的專家，撰稿二篇論著，包括由陽明交通大學張智安教授，發表「利用深度學習語義分割技術於航空影像之房屋變遷偵測」，證明深度學習技術在房屋變遷偵測應用之潛力，為圖資更新提供良好基礎；以及由臺灣科技大學戴文凱教授發表「AI革命—智慧交通領域的快速發展」，闡述AI在交通領域應用日新月異，從交通違規辨識、停車場管理到交通流量偵測與輔助交通控制，都展現出令人矚目的成果，並有助於營造更安全與順暢的交通環境。

不僅如此，本期內容聚焦「工程輔助設計」、「智慧交通」及「防災及施工安全」三大應用主題，其中「工程輔助設計」收錄公路設計、捷運設計以及空調能耗模型優化等三篇專題報導；「智慧交通」則含括AI技術於高速公路應用、AI結合數位模擬輔助推動智慧交控以及利用AI技術辨識車道線等三篇專題報導；「防災及施工安全」介紹AI技術在橋柱損傷評估、智能雲端監造以及工地安全管理等領域之應用成果，收錄四篇專題報導。各篇重點摘錄如下：

## 工程輔助設計

**「智慧化—AI輔助公路設計系統」**：介紹「智慧型公路選線支援系統」的開發與應用，該系統整合數值地形模型和數學規劃技術，實現公路平縱面幾何線形的自動化設計，不僅能夠生成設計報表與圖形，還能同時考量平面線形與縱坡度設計的關聯性，提高設計的整體性與準確性，未來將持續擴充應用AI技術，進一步提升設計效率，同時確保公路設計的安全與符合性。

**「AI驅動捷運設計的未來—從自動化到創新思維」**：建築資訊模型（BIM）的發展顯著改變了建築設計和施工管理。生成式AI在文書、程式語言及圖像生成等領域的迅速發展，進一步擴展了自動化的潛力，不僅協助設計者完成任務，還能創造多樣化的設計成果。國內捷運工程結合BIM與生成式AI，開創了全新設計途徑。研究案例顯示，這種技術整合提升了設計效率、促進跨專業協作，並開啟更多創新思維的可能性，為未來捷運站設計提供了新的發展方向。

**「運用AI預測模型優化空調能耗」**：應用AI預測模型建構智慧節能控制演算法，希望維持乘客舒適度的同時，最小化機場航廈HVAC系統之空調能耗。研究並針對傳統之統計模型和深度學習技術進行比較，結果顯示該演算法可有效降低能源成本，並維持乘客舒適度。

## 智慧交通

**「高速公路交通控制系統-AI智慧分析導入與應用」**：探討AI智慧分析技術在高速公路交通控制系統之應用，藉此提升交通管理效率、準確性及安全性。透過AI智慧分析技術的導入，能精確預測旅行時間、即時偵測交通事故、監控重型機車誤闖及動態調整交通號誌，顯著提升交通管理效率與安全性，並優化交通流量控制。



# 專輯前言

**「AI與數位模擬技術於智慧號誌控制之應用經驗」**：可依照交通需求適時調整交通號誌秒數之智慧號誌，已是都市舒緩交通壅塞的重要對策。然而隨著智慧號誌控制範圍逐漸擴大，所面臨之控制問題愈趨複雜，因此文章探討利用AI技術優化智慧號誌控制所面臨的挑戰，並展望AI與數位模擬技術在智慧號誌中的應用，期望精進交控技術並提升智慧交通管理的效能。

**「應用深度學習於GoPro行車影像車道線偵測研究」**：利用GoPro行車影像與深度學習技術進行車道線偵測，使用方法包括：影像資料獲取、影像密匹配及方位重建，並應用LaneNet進行車道線識別與實例分割，透過DBSCAN聚類演算法完成車道線三維坐標重建。此方法降低圖資產製成本，提高空間資訊生產效率，對於交通管理及智慧道路發展有重要貢獻。

## 防災及施工安全

**「基於穩定擴散模型開發高解析仿真橋柱損傷影像模組及其應用」**：利用穩定擴散模型開發高解析仿真橋柱損傷影像模組，針對RC橋柱損傷推定，訓練低秩適應模型，並應用穩定擴散模型生成橋柱損傷影像。此技術能處理不同類型的損傷照片，生成多樣化的損傷數據，提供全面的損傷評估依據，協助工程師預測橋柱損傷，提升震後損傷判定效率，減少人工成本。

**「基於檢索增強生成技術(RAG)的人工智慧雲端監造助理之開發」**：探討如何運用檢索增強生成技術結合生成模型，輔助監造工程師更高效地執行工作。使用OpenAI的客製化GPT，結合RAG技術進行文本檢索生成，並內建程式碼解釋器，確保生成答案正確性。此方式可讓生成式人工智慧依據特定範圍知識庫協助工程師進行日常工作，用以整合施工技术規範、契約規定、ISO標準程序、詳細價目表的文本檢索生成及執行工程數量計算，確保更高

的監造品質與工程管理效能。

**「應用機器狗與多功能環境辨識監測技術於營建工地安全管理之研究」**：應用機械狗搭載無線鏡頭模組及傳感器，利用2D影像辨識技術，將辨識結果回傳至現場監造主管或安衛人員，提供處理依據。此外，根據工地類型應用需求，機械狗可搭載不同傳感器，即時監測環境狀況，並可顯示於相關人員行動裝置，幫助掌握即時環境資訊，提升工地安全管理。

**「人工智慧(AI)在營建業施工應用-以桃園鐵路地下化南段工程為例」**：因應智慧化鐵道管理系統未來發展，交通部鐵道局2022年起研訂及建置「鐵道系統智慧化」，2023年啟用「工程管理智慧化雲端系統」，由數位資料取代紙本報告，蒐集資訊管理、施工管理、危害辨識、統計及維護等數位化資料，上傳「鐵道雲」平台，以整合重要資訊，進一步確保整合工程標案資料、機關組織、危害辨識、門禁管制、CCTV、電子圍籬及應變監測系統等，以強化工地管理作業，並將PMIS系統結合，以自動化及無紙化執行工程各項業務及留存相關電子紀錄。

以上十篇專題報導，涵蓋自動化輔助設計、能源管理、智慧交控、數位孿生、工程防災與施工安全等前瞻議題，加上兩位人物專訪與兩篇工程論著，深入探討AI技術於工程領域的最新應用與發展趨勢。AI技術不僅正以空前速度推動工程領域的科技變革，其本身亦持續演進，因此工程蛻變仍在進行中，期待未來能夠帶來更多的創新和突破。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理



訪交通部交通科技及資訊司司長

# 黃新薰

談

## 智慧運輸在AI助攻下的機會

整理：游上晨、陳聖堯 · 攝影：詹朝陽

## 壹、前言

黃新薰司長帶領交通部交通科技及資訊司，肩負推動臺灣智慧交通科技與資訊應用發展的任務；黃司長具備運輸及資訊的跨域專業知識，其專業涵蓋運輸規劃、智慧運輸系統（ITS）、交通大數據分析等面向，使其在智慧交通科技及資訊領域發揮重要影響力。

在司長領導下，交通科技及資訊司積極推動多項重要計畫，包括智慧運輸系統的研發與應用、交通數據開放與資訊整合，以及自動駕駛、車聯網技術與智慧道路的發展等。黃司長特別關注智慧化科技如何協助解決交通壅塞、提升交通安全及淨零轉型等議題，並致力於建構更安全、便捷、綠色的交通運輸環境。

此外，黃司長積極參與國際活動，透過交通科技交流，引進國際先進經驗，並將臺灣的交通科技創新成果推向全球，促進臺灣交通科技的國際化並提升競爭力；不僅如此，在黃司長的支持與積極參與下，中華智慧運輸協會結合國內ITS產官學之力，一同為我國成功爭取2029 ITS世界大會之主辦權。交通科技及資訊司將持續推動創新科技之應用與發展，為臺灣的交通系統創造更智慧、更永續的未來。

由於AI加ITS形成之AITS將是我國智慧運輸推動之重要方向，本刊很榮幸於民國113年10月29日專訪黃司長，與我們暢談智慧運輸在AI助攻下的機會。

## 貳、訪談紀要

問：交通部交通科技及資訊司肩負我國交通科技研發、應用、管理與推廣，以及智慧運輸系統發展與數位轉型之規劃及推動等重要工作；近年來交通部持續推動智慧運輸系統發展建設計畫，目前AI技術於智慧運輸有哪些具體應用案例？是否已有初步成效？

答：

### 一、持續推動ITS發展與創新

自106年以來，交通部積極推動智慧運輸系統發展建設計畫(ITS計畫)及5G技術應用，奠基我國運輸系統智慧化之基礎並持續精進。今(113)年3月行政院已正式核定第三期ITS計畫(114-117年)，交通部期許在114至117年持續引進先進技術，促進資源整合及連結，發展跨域科技整合應用，其中AI人工智慧即是交通部



優先導入的重點技術之一，其他還包括：大數據分析、車路聯網、無人載具等，以支援交通科技產業升級轉型，促進交通產業創新。

此外，交通部亦推動「5G帶動智慧交通技術與服務創新及產業發展計畫」，期間為110至113年，雖強調5G通訊技術的應用，但也發現在5G通訊技術高速度、低延遲、廣連結的特性之下，AI是連帶發展最緊密的技術之一，也形成交通部產業輔導的重要成果。

## 二、AI智慧運輸具體案例與成果

面對這波強勁「AI浪潮」，交通部推廣AI技術應用在交通管理、交通安全和基礎設施維護等領域，透過AI辨識分析環境資料，產生各種交通管理控制需要的資訊，或是透過機器學習讓AI提供重點路口的交通號誌管理決策，都是當前AI應用於智慧運輸的方向。例如：透過AI技術協助提升都市交通管理效能、利用無人機搭配AI影像辨識技術，偵測道路交通潛在風險資料，以及蒐集橋梁、隧道、軌道與港區等設施資料，並發展相關分析與管理模式。

舉例來說，屏東縣智慧運輸走廊導入AI技術進行動態號誌控制，顯著提升運輸效率，平均旅行時間節省了15-20%，而高雄市也應用AI技術，不僅進一步提升智慧號誌運作效率，

並且減少20%車禍肇事率，有效提升用路安全。

不僅如此，包含新北市、桃園市、高雄市等縣市採用AI影像辨識技術，搭配設置智慧型路側設施，提醒用路人注意來車或行人，整體來說可以有效降低車速、減少超速比例與肇事事件數，對於提升整體路口交通安全也有非常大的幫助。

另一方面，交通部推動之「5G帶動智慧交通技術與服務創新及產業發展計畫」也導入AI



(左1)范景皓協理 (左2)黃新薰司長

技術，例如：在蘇花路廊推動「5G整合AIoT應用於智慧交通控制與管理平台之示範運行計畫」，以及「蘇花路廊智慧交通驗證計畫 - 國產5G×AI生態網整合創新交控實例」，整合5G及AI辨識技術建置智慧號控，強化國內東部偏鄉交通數據蒐集，並導入AIoT平台強化誌截流管理，縮短尖峰時段北上幹道之旅行時間。除提升效率外，AI技術亦延伸應用於施工安全管理，如判斷重點路段施工掉落物或協助施工人員安全把關。

上述這些案例顯示目前在ITS領域，已廣泛應用AI技術解決各項問題，同時也帶來具體且顯著的成果。

問：在推動AI技術應用的過程中，您認為目前面臨的挑戰有哪些？如何克服這些挑戰以推動更廣泛的AI應用？

答：在推動AI技術應用於智慧運輸的過程中，一般來說我們面臨的挑戰主要有幾個面向，包括：技術、法規、基礎設施和社會接受度



(中)王子安副總經理 (右2)施亮輝資深協理 (右1)吳錫賢經理



### 應用AI強化智慧號誌控制技術，提升路口效率

#### 現況問題1：流量大、車種多、行向複雜



#### 現況問題2：瞬時流量大、峰態不均

#### 導入AI與交通模擬-點線面策略引用



### 透過AI影像辨識技術，提升路口安全

1. 民眾對於非號誌化路口之停、讓觀念仍相當薄弱，用路人雖大致瞭解停、讓標誌牌的存在與其意義，但少有遵守心態，造成民眾容易於非號誌化路口發生事故。
2. 路段內常因用路人未注意路段速限，易衍生相關交通事故。



行人穿越警示系統：支道車速平均減少2-23%

車輛速度偵測提醒系統：減少平均車速25%、超速比例減少18.85%

等；在科資司，我們專注於AI技術的應用，眾所皆知AI技術的核心在於數據驅動，因此要讓AI系統發揮效用，必須能夠即時獲取足夠且高品質的數據。在過去，交通數據的來源非常分散，來自不同單位，像是各縣市政府的車輛偵測器、市區客運或公路客運動態資訊與票證紀錄、委託不同廠商營運的公營路外停車場…等各類資料。如何將這些數據整合到統一的平台，並確保資料正確性、一致性與完整性，就是相當大的技術挑戰。

#### 一、打造國內運輸資料流通服務平臺(Transport Data Exchange, TDX)

為此交通部自民國105年開始推動「運輸資料流通服務平臺（TDX）」，除了擬定公共運輸、即時路況、停車等10種資料標準之外，並建立交通大數據收納、儲存與介接平台，提供各項陸海空交通運輸資料收攏與存放的開放管道，不僅帶動國內外加值業者加入交通數據服務產業，也成功創造諸多讓民眾有感的交通資訊服務。



## 二、邁向智慧運輸數位治理

截至113年10月，TDX已收納超過4千多個資料集，每日提供資料介接次數超過400萬次，累積超過6,300位會員，成績可說是相當豐碩，但我們的目標不僅如此，隨著資料量越來越大、越來越完整，TDX於今年(113年)9月13日開始提供數位治理應用服務，只要通過申請，就可以取得數位治理應用服務原始碼，使用TDX數位治理應用服務，針對公共運輸、停車管理以及道路安全等三個主題進行分析，更

進一步創造資料的運用價值及逐步達成循證治理之目標。

## 三、提升基礎設施連線率與妥善率

基礎設施方面，AI技術需要穩定的數據傳輸環境，因此如前面提到高速且低延遲的網路建設扮演重要角色。此外，物聯網架構下的偵測器和攝影機等基礎設施的建置，也需要進一步檢視布設需求，以及針對號誌控制器的連線率提升等，都是第三期ITS計畫推動的重點，



圖片來源：交通部，「數位道路地圖於智慧交通應用之研析計畫」

需要中央跟地方政府共同合作，持續提升基礎設施連線率與妥善率，打造讓AI技術可有效發揮的舞台。

#### 四、推動智慧道路基礎設施與道路數位化

另一方面，道路為承載智慧運輸發展的有形空間，隨著資通訊技術的快速發展，道路的智慧化儼然為智慧運輸下一階段重點，而數位化道路不但是邁向智慧道路的基礎，透過道路數位化，可以提供更多的道路數位資料，也是推進AI技術應用很重要的一環。112年起，交通部推動道路基礎設施數位化，優先實施交通標誌數位化，並規劃將「限高」、「速限」、「測速取締」、「當心行人」及「科技執法」等重要標誌整合融入導航服務，提升用路安全。未來，交通部與內政部將攜手推進智慧國

土，逐步完善數位道路基礎建設，打造智慧道路的創新應用服務，推動我國智慧運輸系統發展。

問：智慧運輸發展之政策係朝向GO SAFE、GO SMART、GO GREEN三大目標前進，如何有效應用AI技術實現目標，能否分享您的看法？

答：目前我國智慧運輸的發展政策與趨勢朝向「GO SAFE」、「GO SMART」與「GO GREEN」三大目標前進，其中AI技術可以說是扮演非常重要的角色；首先「GO SAFE」是智慧運輸發展的首要目標，AI技術已經廣泛應用於影像辨識，並且有很好的效果。例如：針對

1

人物專訪



GO SAFE

GO SMART

GO GREEN

1  
人物專訪

黃新薰司長於專訪中表示，目前我國智慧運輸的發展政策與趨勢朝向「GO SAFE」、「GO SMART」與「GO GREEN」三大目標前進，其中AI技術可以說是扮演非常重要的角色。



視野角度良好且解析度足夠的影像，AI不僅能夠辨識出車輛種類，還可以推估車輛行進方向、速率與可能的軌跡，進而預測是否可能發生碰撞，搭配警示設備，如：資訊可變標誌，預先發出提醒或告警資訊予用路人注意路況，可有效降低碰撞風險。未來可進一步結合車聯網C-V2X技術，更快速即時發布告警資訊，以提升道路安全。

在「GO SMART」方面，如同前面提到的，AI技術已經廣泛應用於輔助掌握道路車流狀況，利用AI影像辨識，能夠更精確地取得路口轉向交通量與旅行時間，有助於智慧號誌系統的即時判斷，不但能夠更合理分配綠燈秒數，同時也能確保幹道的車流續進，減少停等次數。不僅如此，目前國內也實際應用AI模型於提升動態號誌控制能力，透過預先建立的交通模擬環境，以大量情境訓練適合的AI號誌控制模型，藉此解決複雜的號誌控制問題，像是運輸研究所推動「我國人工智慧車聯網之號誌控制模式探討」專案，進行AI強化學習號誌控制模型，包含臺南市「台86-19甲」單一路口、臺北市「中山北路-德行東路」幹道多路口、高雄市「台88鳳山出口」（過埤路-鳳頂路）車聯網運行路口等場域。除了能夠提高道路的通行效率之外，也能夠減少塞車時間，讓民眾更有感。

藉由AI不僅達成「GO SMART」讓道路交通更有效率，也透過減少車輛的延滯時間，降低油耗與溫室氣體排放，以實現「GO GREEN」的減碳目標，就目前的估算每年大約可減少40萬噸的碳排，相當於1千座大安森林公園的碳吸附量，對於交通減碳有相當的幫助。因此在AI技術助攻下，有助於ITS推進「GO SAFE」、「GO SMART」、「GO GREEN」目標，交通部也將持續推動ITS計畫，在策略引導之下，鼓勵國內AI技術的精進與應用擴散，進而逐步邁向雙零轉型之願景。

**問：隨著AI技術發展與應用擴散，您認為智慧運輸未來的發展願景為何？**

**答：**預期在ITS領域，AI浪潮將不會停歇，但在智慧運輸領域的應用將越來越廣泛，並且融入其中形成前面提到的AITS；不僅如此，可以預見AI將成為推動交通系統全面數位化、自動化乃至智慧化的關鍵技術。目前ITS的應用當中，AI技術為交通管理系統的輔助工具，而在未來，AI將深度整合到交通基礎設施和服務中，從而徹底改變交通的運作模式。

首先，隨著智慧道路的推動，藉由完成道路的數位化，未來我們將可以掌握道路上各項「特徵」的數位化資料，例如：標誌、標線、

1

人物專訪

號誌或其他設施之位置與屬性資料，不僅可以達到聯網化目標，輔助更先進的運輸服務(例如：更高等級的輔助駕駛或自動駕駛)，AI技術可以依據大量交通運作狀況資料，像是流量、速率、肇事事件數等觀測數值，自動納入多種複雜的考量因素，結合人類智慧(Human Intelligence, HI)訓練AI雙生，將可自動提出道路配置之改善方案，例如：主動發現尖峰壅塞問題與原因，並依照尖峰時間轉向量變化，提出增設左轉車道配置、檢討路邊停車空間、調整公車停靠區位置、同時建議時相配置與時制計畫，藉此提高道路使用效率，並且提升用路安全。

此外，AI技術還將在人流和物流的管理上扮演重要角色。AI可協助分析大規模人流和貨物流動數據，從安全、效率與減碳等層面，優化調整運輸路線和配送網絡，提升城市人流與物流效率。

更重要的，透過AI技術推動自動駕駛之發展，已是國際ITS趨勢，同時自動駕駛技術亦被認為是達成智慧運輸三零願景：零死亡、零壅塞與零排放的最終手段。透過AI強大的計算能力，從輔助駕駛逐步進展為自動駕駛，不僅可以節省大量駕駛車輛的時間，而且可以將”私人運具”轉變為”運輸服務”，MaaS(Mobility as a Service)也將因可提高車輛

使用效率，而釋出大量停車空間，大幅提升交通安全性與道路空間的使用效率。目前許多國家與相關產業已積極投入AI自動駕駛技術之研究與測試，一旦確認技術可行、安全可靠且成本可控，勢必將徹底改變未來的交通模式，真正實現人本、便捷且永續的交通環境。

**問：在AI助攻下，您認為臺灣智慧運輸未來的發展方向與國際競爭力為何？以及對於產業界有何建議？**

**答：**為了繼續推進AITS的發展與應用，交通部交通科技及資訊司一方面將持續投入資源深化數位基礎，確保TDX資料正確性、一致性與完整性，鼓勵交通數位治理應用，同時延續過往成果，進一步以道路數位化為底，推動智慧



中華民國獲2029「ITS世界大會」主辦權

道路與車聯網技術之研析與測試，並做為AI應用之發展基石。另一方面藉由AI+ITS的技術整合，強化基礎設施的布建與管理，提升道路安全、減少交通壅塞以及降低碳排，也做為發展自動化服務之應用基礎，為國內少子化現象而衍生的人力短缺問題預作準備。

在產業面，我國發展AITS具有相當優勢，不但具有先進半導體產業、完善的科技供應鏈，同時我們有十分優秀的人才資源，具備強大研發能力，因此在硬體層面可提供充足的支援。然而回到軟體層面，交通問題的定義與解決方案，還是需要仰賴人類智能，也就是剛剛

提到的AI+HI，形成AI雙生輔助以解決交通問題。此外，就交通領域來說，具有因地制宜的特性，因此需要仰賴熟悉在地環境的產業與專業共同發想與努力，透過跨域合作，結合所需專業技術與軟硬資源，才能有效應用AI技術，發展AITS。

此外四年後還有一項重要任務，同時也是非常難得的機會。大家知道ITS World Congress為智慧運輸領域最大的國際盛會，每年於歐洲、美洲及亞太區域輪流舉辦，大會包含論壇、展覽、展示及參訪等活動，各國車廠、ITS系統整合大廠皆會參與展覽及展示，近年



(左1)林昶禎顧問 (左2)黃新薰司長 (左3)王子安副總經理 (中左)施亮輝資深協理  
(中右)范景皓協理 (右3)陳聖堯經理 (右2)吳錫賢經理 (右1)游上民經理

來各屆大會皆吸引超過60個國家參與與超過萬人出席。我國歷經十年的不懈努力，終於在第30屆ITS World Congress 2024，在交通部、臺北市政府以及中華智慧運輸協會共同合作下，成功爭取2029年智慧運輸世界大會主辦權。

這樣的榮耀不僅讓臺灣再次被世界看見，也是讓我國ITS產業站上國際舞台非常重要的機會，如何推動臺灣AITS應用，藉由Harmonizing an AITS World提升國內交通環境的同時，也打造具備國際規模的亮點，以AI+ITS呈現最先進智慧運輸科技及發展，將是我們共同努力的目標。

## 後記

非常感謝黃司長百忙中抽空接受專訪，讓我們更完整了解我國智慧運輸政策推動的具體方向與目標，此外透過專訪也重點展示了智慧運輸在AI助攻下，已有許多讓人驚豔的成果；不僅如此，更讓人振奮的是我國成功爭取2029年智慧運輸世界大會主辦權，相信在交通部的帶領下，透過產學研之跨域合作，一定可以展現臺灣AITS的國際亮點，並且打造更安全、更順暢、更減碳，同時讓民眾更有感的交通環境。

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪桃園國際機場公司總經理

范孝倫

談

智慧與綠能雙軸轉型  
擘劃機場藍圖

整理：陳聖堯 · 攝影：詹朝陽

## 壹、前言

全球機場智慧化與綠能轉型的浪潮中，桃園國際機場股份有限公司（以下稱機場公司）總經理范孝倫先生分享了機場在推動智慧與綠能轉型過程中的挑戰與成就。這次專訪深入探討桃園國際機場如何在營運穩定與創新之間取得平衡，並展示了機場在提升運營效率、服務品質及環境保護方面的具體措施和計畫。

## 貳、訪談紀要

問：推動智慧化與綠能轉型的過程中，您遇到了哪些挑戰？

答：我們確實遇到了一些挑戰，這些挑戰主要集中在以下幾個方面：

### 一、營運穩定與創新之間的拿捏

桃園國際機場為重要公共建設，亦負有國門意象，每年服務大量的出入境旅客，因此維持日常營運的穩定性至關重要。而推動智慧化與綠能轉型涉及新技術的導入，這些創新措施可能干擾原有的營運流程，特別是在轉換階段，容易引發服務中斷或效率下降的風險。因此需要制定漸進式的推行計畫，除了確保在引入新技術或改變現有系統的同時，避免對日常營運造成過大影響外，亦要在新舊系統平行運作一段時間後，再逐步替換。

### 二、基礎設施的建設需要時間及預算

智慧化和綠能基礎設施的建設需要投入大量時間與預算。例如：自動報到通關系統的設置、自助行李託運SBD設備的建置等等，都需要長期的規劃和資源分配。需要有嚴謹的計畫管理，分階段推行每個建設項目，並提早編列預算，以適時推動相關建設。

### 三、相關單位及旅客的接受度

機場內部的各相關單位（如航空公司、地勤、安檢部門等）以及廣大旅客，對新技術和服務模式的接受度不一，有些旅客可能對自助報到、自助行李託運等新技術不熟悉，導致使用率偏低。而內部單位在適應新的運作模式時，可能面臨額外的培訓需求和流程調整。其中需進行多方的宣導與教育，包括針對旅客進行技術使用的引導，並為相關單位提供充足的培訓，確保新技術和新流程能順利落地施行。



#### 四、營運模式改變帶來的成本增加

智慧化和綠能轉型將對現有的營運模式產生影響，帶來如新設備購置、系統維護和員工再培訓等成本增加。特別是永續相關措施，大多無法於短期內看見回報，僅能期待通過提高服務品質、優化流程來增加收入或減少未來可能支出（例如：碳費）。智慧化及永續措施本質都是花錢的，需著眼於未來帶來營收或節能效果，以抵消轉型過程中的成本。

以上這些挑戰雖然艱巨，但我們相信通過不斷努力和創新，機場公司一定能夠成功實現智慧化和綠能轉型，為旅客提供更好的出行體驗，並為環保事業做出貢獻。

**問：智慧機場的推動上，桃園國際機場有哪些具體的措施和規劃？**

**答：**就桃園國際機場而言，智慧化著重於能提升機場營運、管理效率及優化旅客於機場使用體驗。部分智慧服務是需要蒐集旅客之個人資料才能完成，因此，個人資料保護在智慧機場的推動上，是機場公司的重大挑戰，必須嚴格確認個資使用之合規性，並配合相關主管機關之要求，在兼顧個資安全之前提下，持續推動智慧機場進程。



以下是幾個當前及未來將發展的案子：

#### 一、機場數位資訊整合平台(Airport Digital Integration Platform, ADIP)再升級

我們正在利用大數據和人工智慧（AI）深度學習技術，對機場運營數據進行分析和預



(左) 王安副總經理

(右) 范孝倫總經理

測，優化資源配置，以提升運營效率。例如：利用航空氣象及航班歷史起降紀錄，進行「飛機抵達延遲時間預測」，相較於原本航班要在外站起飛後(即抵達桃園前1~4小時才能獲悉的預測到場時間)，可提前3~10小時就能知道抵達時間，有助於預留機坪調度的緩衝時間；另外「出境通關人流預測」提前預測明日各小

時出境安檢人數，以利提早通知安檢相關單位調度安檢人力。

## 二、自動報到通關系統之建置規劃

桃園國際機場興建中的第三航廈，除了設施設備的建設及規劃，也致力於提升旅客服務



體驗。機場公司將規劃建置第三航廈通用旅客處理系統(Common Use Passenger Processing System, CUPPS)，透過主導CUPPS增加智慧化的服務及設備，包含生物辨識流程、自助閘門等。期望藉由掌握流程的數據資訊，例如各航空公司報到櫃檯使用時間、登機閘門旅客使用時間等數據，作為提升效率及改善流程的基礎。

此外，搭配移民署建置之入出國自動查驗通關系統(e-Gate)，未來第三航廈之旅客，從報到、出境閘門、護照查驗，直至登機門，均可享受自動化設備帶來流暢的入出境體驗。

### 三、行李處理系統之改善

第一航廈及第二航廈已建置行李自動化分揀系統，透過系統自動化分揀，加速行李分揀效率，並能夠自動追蹤和管理行李分揀過程，減少人力分揀提高準確率(準確率達99.9%)，順利完成每日約12萬件之行李分揀作業。

### 四、雙向語音翻譯

機場公司正規劃於國道客運服務櫃台部署雙向語音AI翻譯設備，透過語音識別及AI翻譯技術，即時翻譯非中文語系旅客所提出之問題，使得與旅客之溝通更加順暢，提升搭乘客

運之便利性及服務滿意度。

**問：綠能機場的推動上，桃園國際機場有哪些具體的措施和計畫？**

**答：**在綠能轉型的議題上，桃園國際機場在淨零排放、綠色建築、廢棄物減量及再生循環方面，已經採取了多項具體的措施，朝向永續機場邁進：

### 一、以2050年達到淨零排放的目標，推動機場各項減碳措施

根據2023年溫室氣體盤查結果，機場公司溫室氣體排放量，範疇一佔0.29%、範疇二佔1.13%、範疇三佔98.58%。這表示機場大聯



盟夥伴所產生的溫室氣體排放量（範疇三）最多、其次是機場公司的用電量（範疇二），最後才是機場公司的用油量及冷媒（範疇一）等。若進一步分析溫室氣體排放量結構，來自



范孝倫總經理於專訪中表示，桃機公司以2050年達到淨零排放為目標，第三航廈履行節能減碳對環境友善的承諾，設計案已經取得候選綠建築證書；航廈以減碳型式的大跨徑巨柱結構，撐托出大空間，周邊道路的植栽兼具綠化、淨化空氣，以及做為噪音屏障等功能，營造綠色友善的國門意象。



飛機用油佔了總量的93.85%，可見減碳策略上，應以機場大聯盟共同推動航空公司減少飛機用油為核心。

(註：溫室氣體盤查範疇一：直接排放，指公司所擁有或控制的排放源，來自製程或廠房設施，以及交通工具的排放。範疇二：能源間接排放，指公司自用的外購電力、熱或蒸氣等能源利用的間接排放。範疇三：其他間接排放，為公司外部產生的所有間接排放，包含員工通勤或商務差旅，以及產品生命週期所產生的排放。)

## 二、以機場大聯盟的概念，共同推動綠能機場

在推動淨零排放的過程中，不僅考量到機場公司本身，而是擴及整個機場園區大聯盟的思維去規劃。因此與機場中各個單位建立合作夥伴關係，是我們面對的重要工作。從2019年起，我們邀請機場夥伴簽署「共同參與減碳計畫」。合作內容包含盤查合作夥伴溫室氣體排放量，並推動多項減碳專案，如空側作業車輛電動化、推廣使用飛機供電及空調之橋氣及橋電等，未來亦將持續深化合作關係。

## 三、積極推動永續航空燃油(SAF)

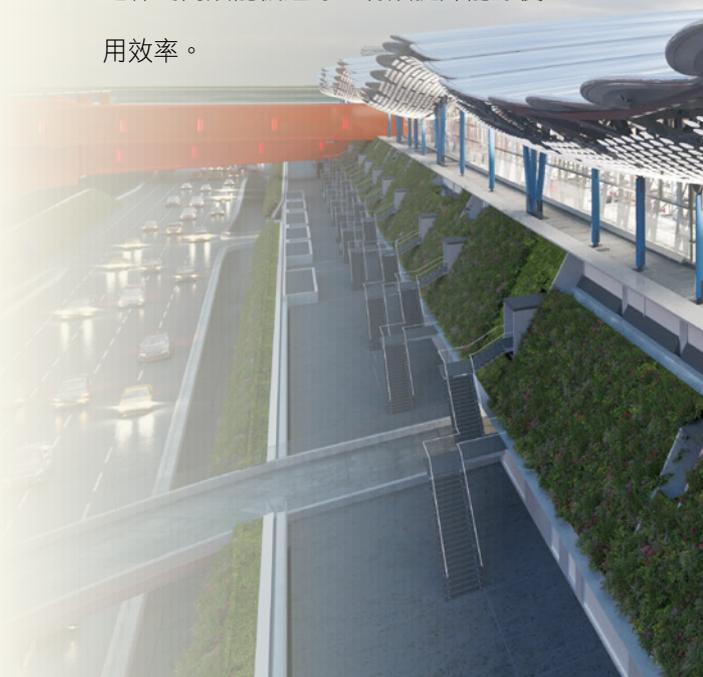
機場公司與國際、國內SAF原料供應商及製造商保持密切聯繫，除了掌握各國際機場推

動SAF的時程，也了解國外機場推動SAF的相關配套政策。以桃園機場現有設施條件而言，只要SAF符合國際標準及規範，即可直接供航空公司使用，不需要調整既有的油槽、油管、管線，以及飛機引擎設計，在推行使用SAF方面，實有巨大優勢。

目前我國油商已規劃自產和進口SAF，另民用航空局規劃在2025年辦理SAF試行計畫，分別於桃園國際機場和松山機場試辦添加SAF供航空公司使用。桃園國際機場已與民航局等相關單位共同討論SAF試行計畫的具體作法。

## 四、提升能源使用效率及綠能占比

- 高耗能設備汰換：如汰換耗能燈具為LED燈具、汰換冰水泵浦及主機、汰換電梯為高效能機組等，有效提升能源使用效率。



1

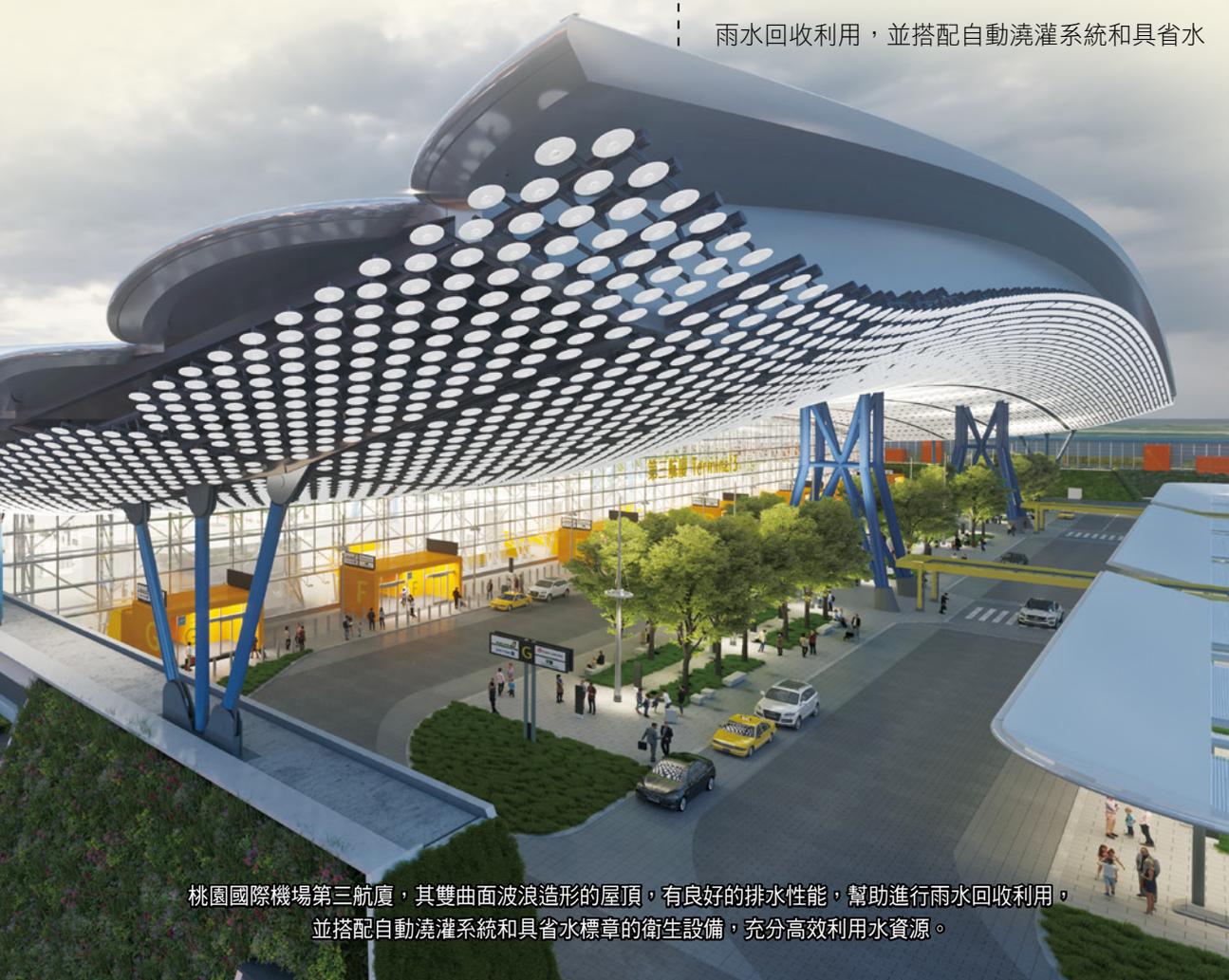
人物專訪

- 優化設備管理措施及營運策略：增設照度及溫度感應設備，自動化控制燈具及空調設備的運轉情形，離峰時段減少部分空調及照明服務，以及優化設備維護頻率及操作模式，確保設備在高效率狀態運行。
- 提升綠能占比：未來將評估提升綠色能源使用占比，包含於機場設置太陽光電發電裝置，或購置綠電等，亦將透過增設儲能設備，以確保機場園區整體用電的穩定性。就太陽光電部分，目前

已於第二航廈擴建南北屋頂建置完成556.8平方公尺、發電量90.48千峰瓦之太陽能板，並已於T3南北廊廳屋頂規劃7,440平方公尺、800千峰瓦之太陽能板。另參考周邊標竿機場於機場空側綠帶設置太陽能板之案例，未來亦將評估於跑滑道周邊適合處增設太陽能板。

#### 五、綠色建築在未來第三航廈的實現

以興建中的第三航廈為例，其雙曲面波浪造形的屋頂，具有良好的排水性能，幫助進行雨水回收利用，並搭配自動澆灌系統和具省水



桃園國際機場第三航廈，其雙曲面波浪造形的屋頂，有良好的排水性能，幫助進行雨水回收利用，並搭配自動澆灌系統和具省水標章的衛生設備，充分高效利用水資源。

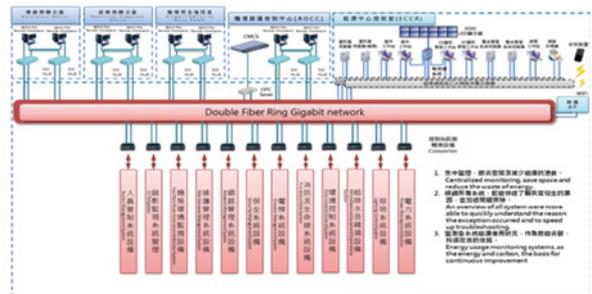


## 照明系統節能設計

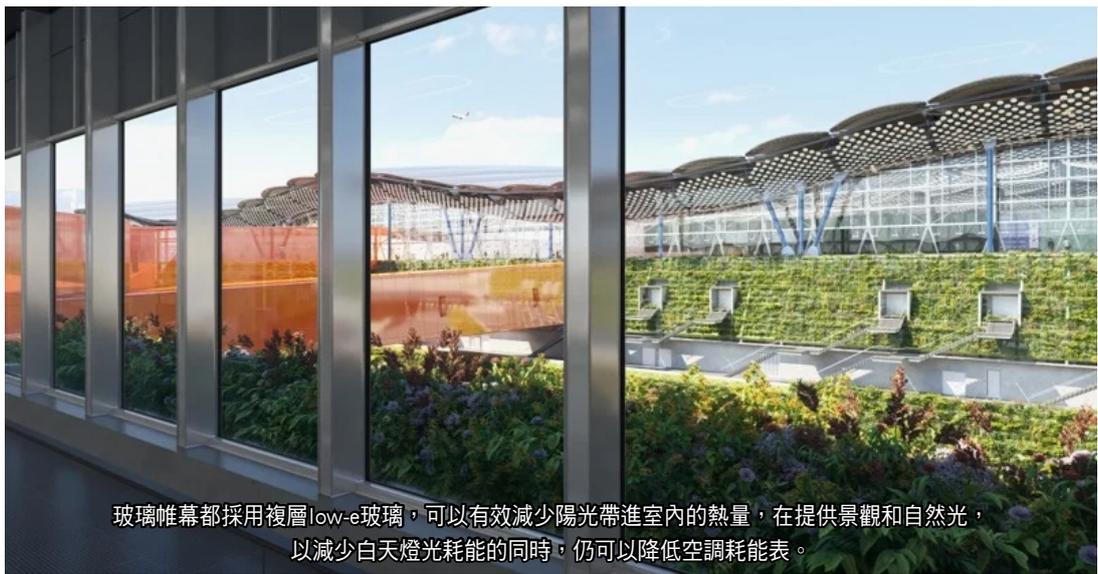
- ◆ 照明控制納入設施自動化管理系統(FAMS)之LCS子系統集中控制
- ◆ 可調整亮度或燈具啟用數量，於空側低度活動期間達成節約能源目的
- ◆ 287套400W LED 投光燈(交替減半)與複金屬投光燈比較，每天開燈12小時，每年可節省約31萬度電

- 燈具節能每年減碳量約154 t-CO<sub>2</sub>e
- 相當於0.4座大安森林公園碳吸附量/年

## 設施自動化管理系統(FAMS)



## 照明系統節能設計\_每年減碳量約 154 t-CO<sub>2</sub>e



1

人物專訪

標章的衛生設備，充分高效利用水資源；設計上取消了天窗，其中一個目的便是減少太陽光直射室內，以降低空調耗能；所有玻璃帷幕都採用複層low-e玻璃，可以有效減少陽光帶進室內的熱量，在提供景觀和自然光，以減少白天燈光耗能的同時，仍可以降低空調耗能；除了採用變頻空調，以及分區溫控外，室內照明系統也會隨著環境光源調整，並可分區控制；

透過設施自動化管理（FAMS），相關設施的用電都可以有效控制，廊廳屋頂更設有太陽能光電板，預期最高可提供800千峰瓦的電量。

## 六、廢棄物減量及新式焚化爐

- 機場公司目前已訂定2030年廢棄物回收率達25%的目標，在2024年於航廈內增

設了不同種類的資源回收桶，同時優化資源回收的標示方式，並要求機場中各個營運單位執行資源分類，不符合分類標準者，將退回要求落實資源分類後，始得由本公司進行清運。此外亦訂定2030年一次性用品減量70%的目標，採用循環再利用餐具、不主動提供紙袋及不主動提供免洗餐具等措施，希望同時落實源頭減量及資源分類回收，以減少廢棄物對環境的衝擊。

- 考量焚化爐使用已久及因應未來機場發展需要，刻正規劃興建新式焚化爐，將

引入汽電共生設計，多餘電力可自用或售台電公司，落實循環經濟。

## 後記

智慧機場和綠能機場的建設對於桃園國際機場的長遠發展具有深遠意義，不僅提升機場的運營效率和服務質量，增強國際競爭力和營運安全性，還創造了經濟效益，並符合國家的淨零排放目標。范總經理強調，通過不斷努力和創新，桃園國際機場將繼續致力於智慧化和綠能轉型，為旅客提供更好的出行體驗，並為環保事業做出貢獻。



(中左)余崇立助理副總經理 (中)范孝倫總經理 (中右)王子安副總經理  
(左1)林柏鋒經理 (左2)施亮輝資深協理 (右2)林啟豐資深協理 (右1)陳聖堯經理

# 利用深度學習語義分割技術 於航空影像之房屋變遷偵測

## Building Change Detection using Aerial Imagery and Deep Learning-Based Semantic Segmentation Techniques

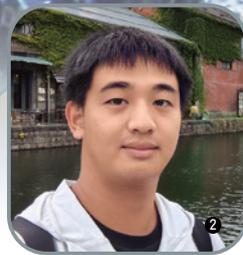
**關鍵字(Key Words)：**航空影像 (Aerial Imagery)、深度學習 (Deep Learning)、房屋變遷 (Building Change)、地圖更新 (Map Updating)

國立陽明交通大學／土木工程學系／教授／張智安 (Teo, Tee-Ann) ①

國立陽明交通大學／土木工程學系／博士候選人／陳沛丞 (Chen, Pei-Chen) ②

### 摘要

房屋變遷偵測在圖資更新、都市規劃及土地利用管理等領域扮演重要的角色，房屋變遷偵測能夠有效掌握建築物的新增、改建或拆除情況，以確保空間資料的準確性與即時性。本研究採用以UNet為基礎的深度學習語義分割 (Semantic Segmentation) 架構融合新型的特徵萃取分析Transformer技術，針對臺灣通用電子地圖 (Taiwan eMap) 之房屋圖層發展房屋變遷偵測技術，充分利用深度學習技術的自動特徵提取與識別能力，以提升房屋變遷偵測的準確度和效率。為達到精確的房屋變遷偵測，本研究採用一種端對端(End-to-End)的深度學習模型直接預測房屋變遷，模型輸入資料包括前期既有房屋圖層、前後期航空影像及前後期數值地表模型，以進行全面的房屋偵測與變遷分析。實驗中使用新竹地區25公分解析度的航空真實正射影像及數值地表模型，識別房屋變遷情形，共使用22幅電子地圖進行訓練，另使用1幅電子地圖做為獨立檢核區域於驗證模型的泛化能力。研究結果顯示，本研究在拆除及新增房屋的偵測精度達到80%的F1-score，證明基於深度學習的語義分割技術在航空影像房屋變遷偵測中的高效性與可靠性，為後續在圖資更新的應用提供良好的基礎。



## Abstract

Building change detection is vital for map updating, urban planning, and land use management, ensuring accurate and timely spatial data by identifying new constructions, modifications, or demolitions. This study developed a deep learning-based semantic segmentation method, using a UNet framework enhanced with Transformer-based feature extraction, specifically for the building layer of the Taiwan e-Map. The approach scheme employs an end-to-end model, utilizing existing building layers, pre- and post-event aerial imagery, and digital surface models (DSMs) for comprehensive change analysis. Experiments in the Hsinchu area with 25 cm resolution orthophotos and DSMs trained the model on 22 maps, with one additional map for independent testing. The proposed method achieved an 80% F1-score in detecting demolished and newly constructed buildings, demonstrating its efficiency and reliability. This provides a foundation for future applications in map updating and related domains.

## 壹、前言

因應都市化社會的發展，城市發展變化促使更高頻率的圖資更新。都市區域的大量建物在圖資更新時，若全部以人工作業進行重製，需要花費相當大的人力作業時間。而採用局部更新的方式，針對有變遷的建物區域進行繪製會更有效率，但所面對的問題是如何找出變遷區域所在的位置。傳統人工作業上需要相當多人力資源進行判識，隨著測繪數位轉型與測繪新興技術發展，以電腦輔助自動化及半自動化製圖可輔助提升製圖作業，例如使用衛星影像或航空攝影等方式取得高空間解析度大面積覆蓋航遙測影像，再透過變遷偵測技術標示需要重繪區域，將有利輔助圖資更新作業。

變遷偵測演算法基本架構包含輸入前後期資料、特徵萃取、前後期特徵比較分析、輸出變遷成果。首先輸入兩個不同時間點的前後期影像資料，這些前後期影像代表在相同區域的觀測資料，以便進行變遷分析。每組影像會先經過特徵提取步驟，提取出顏色、形狀和紋理等有助於識別變遷的影像特徵。接著針對萃取特徵進行比較，分析兩者在前後期時間的差異，以偵測出任何變遷。最終，根據比較結果產生變遷成果，直觀地展示出在兩個時間點之間的變化。這一流程能夠應用於地圖更新、環境監測等場景，提供可靠的變遷資訊。

語義分割技術應用於航空影像的房屋變遷偵測中能夠提高自動化程度和精確性。例如，Zhu et al. (2017) 研究利用卷積神經網路從高解析度航空影像中偵測建物變遷，結果顯示，深度學習技術能夠在不同時間點的影像中準確識別出變遷區域。此外，Chen et al. (2018) 使用語義分割技術來監測城市發展，表明深度學習技術在提取建物邊界和分類上具有優異的表現。這些研究證實了語義分割在處理大範圍複雜影像中的優勢，特別是當影像中包含多種不同類

型的物體時。

將多源遙測資料結合至語義分割模型中也是提升房屋變遷偵測的一個關鍵因素。數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 能夠提供影像中物體的高程資訊，有助於提高模型對建物和地物之間的區分能力。例如，Rottensteiner (2007) 探討了結合光學影像和DSM進行房屋變遷檢測的方法，結果顯示，高程資訊能顯著提高新建房屋的識別準確性。這種多源數據的整合使得模型能夠更好地辨識房屋在不同時間點的變化，提高了整體偵測的可靠性和精度。

變遷偵測演算法的關鍵程序為萃取良好的特徵及比對特徵的差異，進而獲取有變遷的區域。Jiang, et al., (2022) 針對航遙測影像變遷偵測方法進行系統性回顧，就116篇文獻中使用於變遷偵測的網路架構進行統計分析結果，其中使用的網路架構主要包括卷積神經網路 (CNN)、生成對抗網路 (GAN)、自動編碼器 (AE) 和循環神經網路 (RNN)。CNN是最常用的架構，占比62%，顯示出卷積神經網路在處理影像變遷偵測任務中的普遍應用，主要原因可能是其在圖像處理和特徵提取上的優勢。RNN和GAN各占17%，這表示它們在變遷偵測中有一定的應用，但不及CNN的廣泛性。RNN可能被用於時間序列數據的變遷偵測，而GAN則可能用於生成和合成影像以輔助檢測。AE的應用相對較少，占4%，顯示出自動編碼器在此領域的應用受限，可能因為AE主要用於資料壓縮和降維，應用範圍較窄。

儘管CNN技術在影像深度學習的領域擁有廣泛且成功的應用，卻有個不足之處在於進行卷積時將所有區域都視為等權，即是只考慮全局的特徵萃取。新世代的Vision Transformer (ViT) (Vaswani, 2017) 架構則是改進此問題，引入自注意力集中 (Self-attention) 機制同時兼顧全局與局部特徵。根據Aleissae et al., (2024)

進行回顧目前已經有許多基於ViT架構衍生的模型可以應用於合成孔徑雷達（SAR）影像、高光譜影像（HSI）、超高解析度（VHR）影像等資料來源進行影像分類、物件偵測、變遷偵測等任務。由於其優秀的特徵萃取分析能力更能察覺影像上的微小變化，本研究將選用此技術發展房屋變遷偵測技術。

## 貳、研究資料

研究區域涵蓋新竹縣市，共包含23幅臺灣通用電子地圖（Taiwan eMap）圖幅，其中22幅用於訓練與驗證，另1幅則作為獨立檢核資料（圖1），以分析變遷偵測模型的泛化能力，獨立檢核資料涵蓋新竹高鐵站周邊，有明顯的房

屋變遷區域。本研究使用106年與108年的前後期航空影像及臺灣通用電子地圖資料進行變遷偵測分析，在電子地圖中包含多種不同地物類別，本研究鎖定房屋圖層進行變遷分析，經由前後期的資料建立不變、拆除及新建三種房屋變遷類別。

## 參、研究方法

本研究採用深度學習語義分割技術偵測房屋變遷區域，變遷判識使用前後期真實正射改正影像、前後期數值地表模型及前期的房屋區域，經由深度學習卷積神經網路萃取特徵，判識變遷成果為不變、新建及拆除之房屋區域，研究整體流程圖如圖2所示。研究方法包含3個

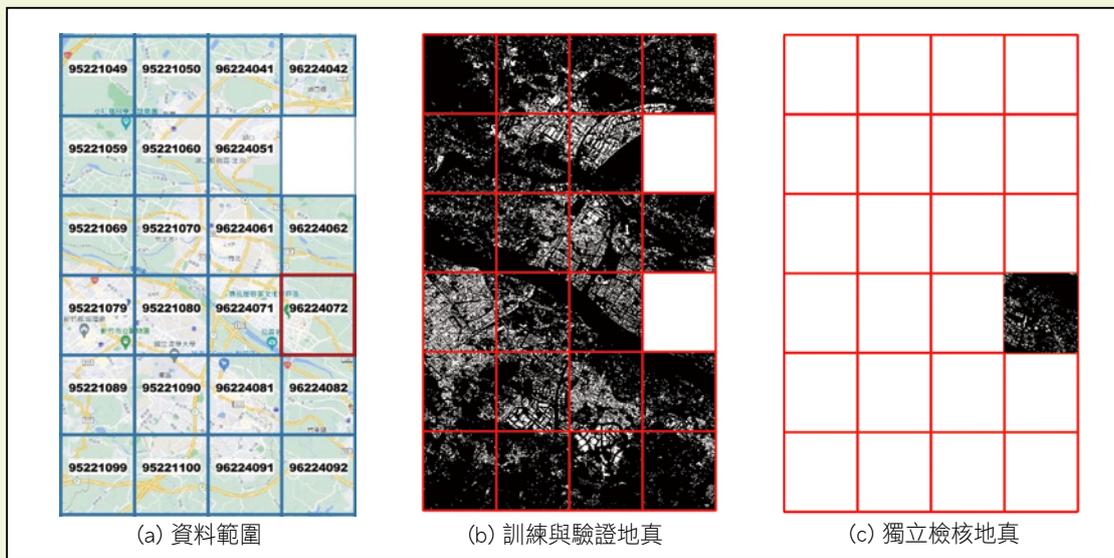


圖1 實驗區範圍以及地真資料展示

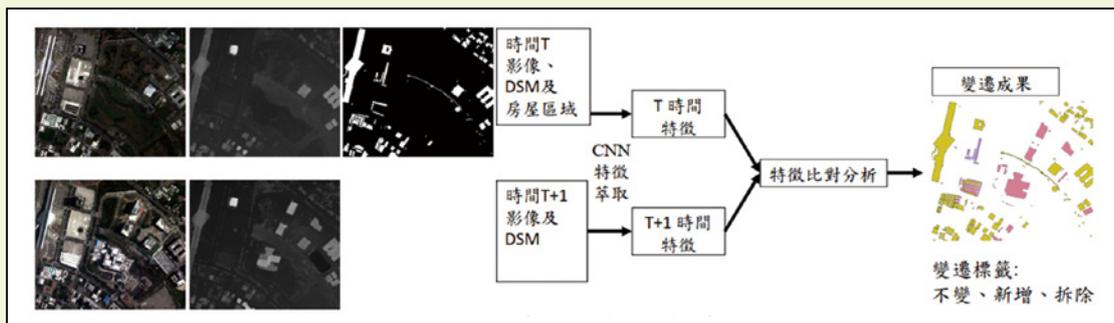


圖2 房屋變遷偵測架構圖

主要程序：資料前處理、建立房屋變遷偵測架構、精度評估，詳細說明如下。

### 一、資料前處理

資料前處理包含產製數值地表模型、真實正射改正影像及建立訓練資料集，研究中利用多視角航空影像配合攝影測量技術，經影像密匹配產製數值地表模型，再利用數值地表模型產生真實正射改正影像，以消除房屋高差移位，提升正射改正影像與二維房屋輪廓線的一致性，真實正射改正影像的空間解析度為0.25公尺，而數值地表模型也使用0.25公尺的網格大小。圖3比較真實正射改正影像與傳統正射改正影像，真實正射改正影像可改正房屋的高差移位，使屋頂面位於正確的位置，且影像中不會出現房屋垂直牆面影像。

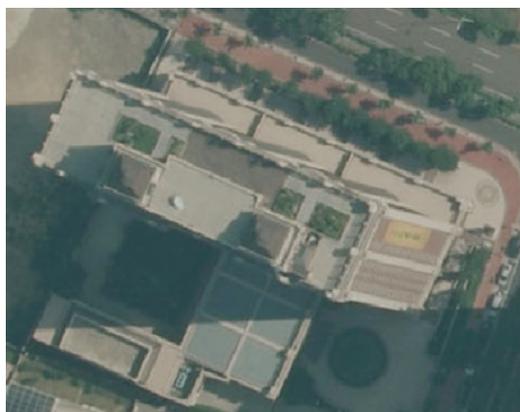
在深度學習訓練的過程中，受限於電腦記憶體容量的限制，需要對輸入訓練影像進行分割，產生許多小區域影像區塊，以便分幅完成訓練。影像切分時，設定橫向和縱向重疊率均為50%，產生1,048,575個512x512像元的小區域影像。並從中隨機選取80%作為訓練（Training）資料，其餘20%作為驗證（Validation）資料，以進行模型訓練與驗證。

## 二、房屋變遷偵測架構

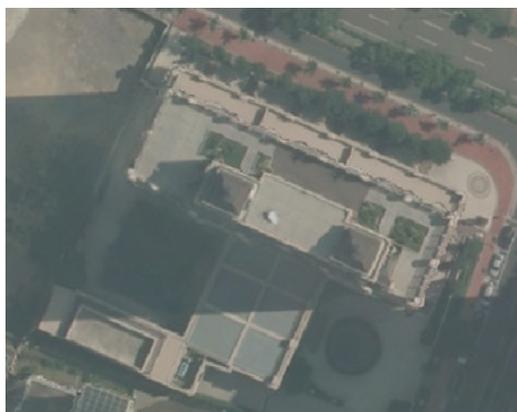
### （一）UNet語義分割架構

UNet (Ronneberger et al., 2015) 是一種影像語義分割的深度學習架構，UNet模型基於全卷積網路 (Fully Convolutional Network, FCN) 架構，採用對稱的編碼器 (Encoder) 和解碼器 (Decoder) 結構組成，其架構呈現出U字形結構，故稱為UNet。UNet的編碼器類似於典型的卷積神經網路，負責將影像特徵進行逐層抽象和壓縮，以萃取影像中的重要特徵 (Feature)；解碼器則負責對特徵進行上採樣，逐步還原至原始解析度。UNet的特點之一是編碼器和解碼器之間存在多層跳躍連接 (Skip Connections)，這些連接能夠將編碼器各層的特徵傳遞到相應的解碼器層，使用模型保留影像中的空間細節信息，從而提升分割的細緻度。

UNet的編碼器主要使用多層卷積層萃取影像特徵，經過每層卷積後加入ReLU激活函數，接著利用最大池化 (Max Pooling) 層逐步壓縮影像空間維度。通過這些卷積和池化操作，UNet編碼器能夠捕捉影像中的高階語義特徵，並有效減少影像維度，為後續解碼器部分的上採樣 (Upsampling) 和重建提供高效的特徵表達。



具有房屋高差移位正射影像



消除房屋高差移位正射影像

圖3 比較房屋高差移位改正影像

解碼器是UNet架構的關鍵部分，用於將編碼器提取的特徵進行還原並生成分割結果。解碼器主要利用反卷積（Transposed Convolution）或上採樣來逐層放大影像特徵，恢復至與原始影像相同的解析度。同時，UNet的跳躍連接（Skip Connections）是其特點之一，它能將編碼器各層提取的特徵傳遞到解碼器相應層，以保留空間細節，這些連接特別有助於防止上採樣過程中的特徵丟失問題。具體來說，UNet會將編碼器每一層的輸出在尺寸上進行裁剪（Crop）後，與解碼器相對應層的特徵圖拼接（Concatenate），這使得每個像元點的分割結果能夠同時參考到局部和全局的影像特徵。

## (二) FT-UNetFormer 語義分割架構

FT-UNetFormer (Wang et al., 2022)是基於UNet架構概念進行修改，此網路架構將影像特徵萃取編碼器改為Vision Transformer (ViT) 衍生的Swin Transformer (Liu et al., 2021)。使用ViT架構進行特徵萃取優勢在於可引入自注意力集中（Self-attention）機制，提升特徵萃取的能力，相較於傳統卷積特徵萃取方式，更能對於局部特徵相關性進行特徵化；而Swin Transformer則是加入多層次特徵萃取與來適應多尺度（Multi-Scale）變化，以提升多尺度特徵的萃取能力。除了編碼器以外，在解碼器也基於ViT進行全區跟局部特徵分析，並且進行上採樣

還原，可以進一步對高維度特徵進行相關性連接，能夠更有效融合周邊語意關連資訊進行辨識，FT-UNetFormer架構如圖4所示。

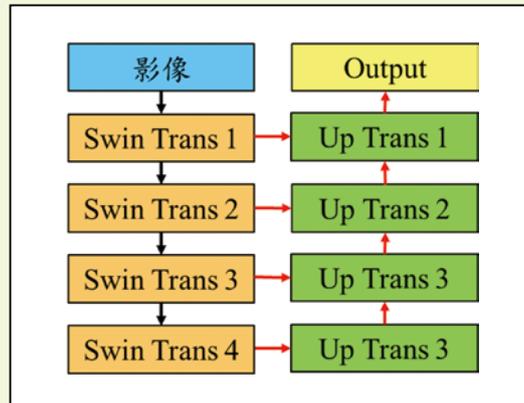


圖4 原始FT-UNetFormer架構

本研究使用的資料包括前後期的真實正射改正影像以及前後期的數值地表模型。為了更有效地融合前後期資料的特徵，本研究基於FT-UNetFormer架構進行了改良。設計的網路架構如圖5所示，此架構的核心理念是對編碼器進行修改，以減少計算資源並加速運算效率。此架構採用了三個共享權重的孿生編碼器，將多光譜影像和高程資料進行整合。經過三組特徵的萃取後，這些特徵會進行組合（Concatenate），從而將結果連結至特徵分析和上採樣步驟，並輸出解碼器的成果。此架構的設計不僅提升了資料融合處理的效能，並能保持多元資料特徵萃取能力。

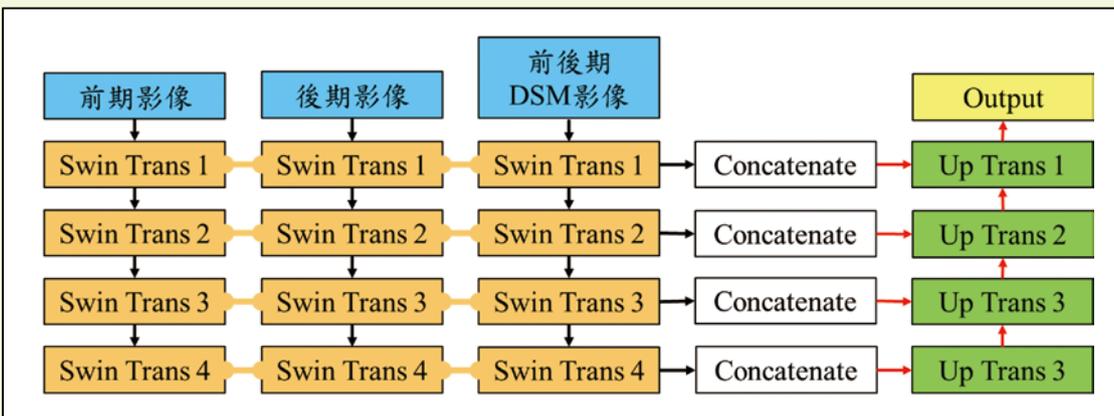


圖5 本研究提出的FusionFT-UNetFormer架構

### 三、精度評估

精度評估使用前後兩期臺灣通用電子地圖房屋圖層為基準，套疊前後兩期房屋圖層得到精度分析所需的地真資料，兩者的交集為不變的房屋，兩者的差集為有變化的房屋，例如僅在後期出現的房屋為新建，而僅在前期出現的房屋為拆除。比較自動化變遷偵測成果及地真資料，可量化分析深度學習偵測房屋遷之精度，並計算準確率(Precision)、召回率(Recall)、F1-Score及IoU(Intersection-over-Union)，公式整理如表1。在變遷偵測精度分析的混淆矩陣中，TP(True Positive)代表人工數化變遷物件，深度學習模型有偵測到改變；TN(True Negative)代表人工數化無變遷之物件，深度學習模型無偵測到改變，此類物件不屬於變遷，故不納入後續精度分析；FN(False Negative)代表人工數化變遷物件，深度學習模型無偵測到改變；FP(False Positive)代表人工數化無變遷物件，深度學習模型有偵測到改變。

變遷偵測精度評估可使用兩種不同的方式，分別是像元(Pixel)及物件(Object)，其詳細描述如下：(1)像元統計的最小評估單元是影像中的單個像元。在評估中，如果預測結果與地真標籤一致，則該像元被視為正確(TP)。如果預測結果與地真標籤不一致，則該像元被視為誤授(FP)。如果預測結果未能檢測到類別，但地真標籤具有值，則該像元被視為漏授(FN)。(2)物件統計以發生變遷的物件為最小變遷單元，一個物件是由同一區域內的許多像元聚集而成，經套疊地真與該變遷單元，以IoU判斷重疊的比例，以判定變遷單元是否識別正確。如果IoU重疊率大於門檻值，則被視為成功偵測到變遷發生(TP)。反之，如果IoU重疊率小於門檻值，則代表預測結果與地真標籤不一致，則為誤授(FP)。如果IoU無重疊，但地真標籤有變遷，則為漏授(FN)。

表1 精度評估公式

編號	精度評估名詞	參照公式
1	Accuracy	$(TP+TN) / (TP+FP+FN+TN)$
2	Precision	$TP / (TP+FP)$
3	Recall	$TP / (TP+FN)$
4	F1-Score	$2 / (1/Precision + 1/Recall)$
5	IoU	$TP / (TP+FP+FN)$

### 肆、研究成果與分析

實驗分析包含三個不同的階段，首先，以單一像元作為基本單元進行精度評估，目的在於比較不同輸入圖層對變遷偵測的效益，從而確定實驗分析中最適合使用的圖層。然而，僅使用單一像元進行評估無法提供錯誤形態的深入分析，因此在下一階段中，以物件作為單元進行精度評估，進一步分析變遷物件的大小對整體精度的影響。最後，對全區22個圖幅進行全面性的精度分析，並提出房屋變遷率於圖資更新之應用。

本研究使用22幅前後期航拍的正射影像及數值地形模型，用於訓練偵測房屋變遷的深度學習模型。為了檢視模型參數是否出現過度擬合的情況，研究中採用80%的資料進行模型訓練(Train)，其餘20%的資料則用於驗證(Validation)。當訓練及驗證的損失函數(Loss Function)均下降並趨於平穩時，即視為模型收斂。在本研究設定訓練模型需要訓練150個Epoch，在訓練結束時已趨於穩定，此時驗證資料集的損失函數及F1-Score達到最佳值，因此判定訓練已完成且模型參數已達到最佳平穩狀態。

完成模型訓練後，研究中針對一幅未參與任何模型參數訓練的獨立檢核區進行精度評估。此獨立檢核區的使用目的為驗證模型的泛化能力，確保模型在未見過的資料上仍能保持

高準確度和可靠性。這樣的精度評估能夠提供對模型在真實應用場景中表現的更全面了解，從而證實模型在不同條件下的穩定性與實用性，應用於驗證模型的泛化能力。

### 一、像元式精度評估

房屋變遷偵測所使用的資料來源可包括多光譜影像 (RGB) 及數值地表模型 (DSM)，並結合已知的前期房屋多邊形 (Map)，應用於預測後期發生變化的房屋多邊形。多光譜影像能夠提供地面物體的紋理變化資訊，而數值地表模型則能夠揭示地形和物體形狀的變化。這兩種資料的整合可提取不同的深度特徵，為了分析和比較不同資料組合的表現，本研究設計了三種不同的組合：(1) 整合多光譜影像及數值地表模型 (RGB+DSM)；(2) 整合多光譜影像及前期房屋多邊形地圖 (RGB+Map)；(3) 整合多光

譜影像、數值地表模型及前期房屋多邊形地圖 (RGB+DSM+Map)。

第一個組合 (RGB+DSM) 將前後期的多光譜影像與數值地表模型結合，僅利用光譜及物體形狀辨識房屋變遷區域。量化精度成果如表 2 所示，在此組合中，拆除類別的 F1-Score 僅為 54%，而無變化及新建類別的 F1-Score 則分別達到 81%。由於此組合未使用前期的房屋多邊形，因此在辨識前期房屋的能力較弱。以圖 6 中區域為例，拆除及無變化房屋的偵測錯誤較多，導致拆除類別出現較高的漏授比例。此結果顯示，僅依賴光譜和形狀的組合在變遷偵測中存在一定的局限性，特別是在辨別拆除類別時容易出現漏授。這也突顯了在房屋變遷偵測中，整合前期房屋多邊形的必要性，因其有助於提高前期房屋的辨識精度並降低偵測錯誤，從而優化變遷偵測的整體效能。

表 2 獨立檢核區精度分析表 (RGB+DSM)

像元統計 (Pixel)	拆除	不變	新建
正確 (TP)	87,688	7,495,839	650,416
漏授 (FN)	26,427	68,491	153,435
誤授 (FP)	119,828	961,569	134,595
評估指標	拆除	不變	新建
Recall	76.84%	99.09%	80.91%
Precision	42.26%	88.63%	82.85%
F1-Score	54.53%	93.57%	81.87%

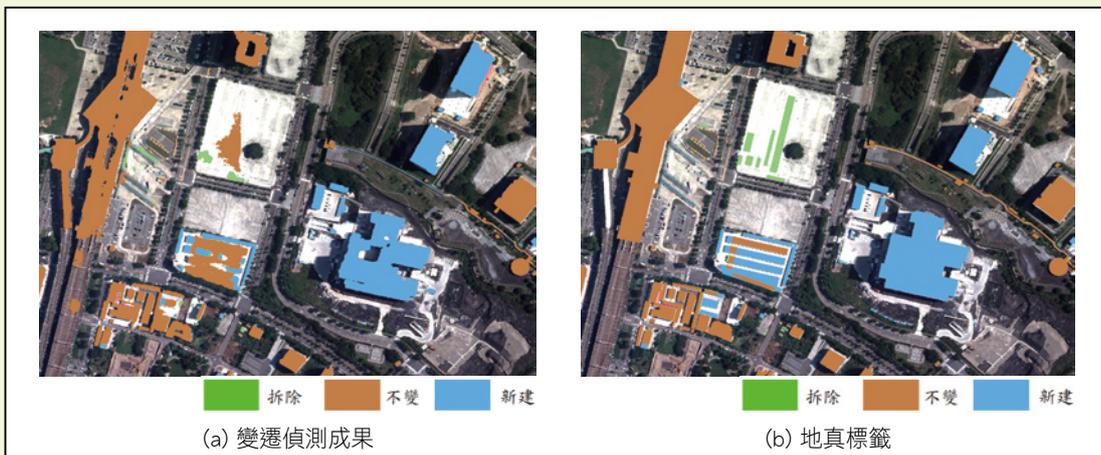


圖 6 RGB+DSM 預測成果

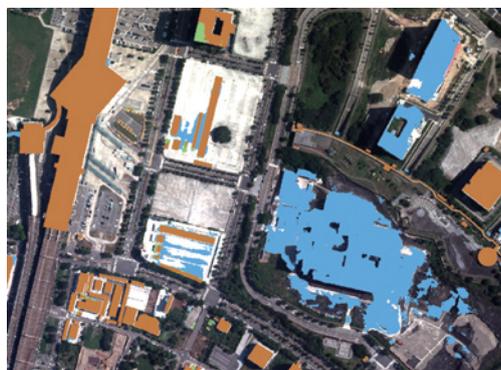
在圖資更新的實務操作中，前期地圖資料是不可或缺的重要基礎，因此，在房屋變遷偵測的過程中，可利用已知的前期房屋多邊形作為深度學習模型的輸入資料，以提高變遷偵測的精度。因此，本研究設計了第二個資料組合（RGB+Map），將前後期影像與前期房屋多邊形整合在一起，以提升對不變房屋區域的識別精度。根據表3的精度分析結果顯示，該組合在拆除類別的F1-Score提高到63%，而對於不變區域的F1-Score則達到99%。這是因為前期地圖中的房屋多邊形提供了清晰且可靠的參考，使前期房屋位置的辨識更加準確，降低了因資料不確定性而產生的誤差。在圖7的結果中，不變房屋區域與地真資料一致，顯示出使用前期房屋多邊形的策略確實能夠提升模型在不變區域的準確性。然而，這個組合同時也引發了一些誤判的情況，特別是在新建區域的判識上。研

究中發現，許多誤判的新建區域實際上是混凝土表面的道路，這些區域的紋理和材質與屋頂表面相似，因此容易被模型誤判為新建房屋。這樣的誤判顯示出光譜和前期地圖結合雖然有效，但在區分細微材質差異時仍有不足之處。

為了克服僅使用光譜資訊不易分辨屋頂與路面混凝土的問題，有必要在深度模型中引入高程資訊，以利用不同物體之間的高程變化來提高辨識的精確性。結合數值地表模型（DSM）有助於提供額外的形狀和高度變化，進一步區分屋頂與類似材質的道路，從而減少誤判新建區域的情況。本研究第三個組合（RGB+DSM+Map）是整合前後期多光譜影像、前後期數值地表模型及前期房屋多邊形地圖。量化精度統計成果如表4所示，其中拆除類別的F1-Score提升至84%，且不變類別的F1-Score也

表3 獨立檢核區精度分析表(RGB+Map)

像元統計(Pixel)	拆除	不變	新建
正確(TP)	109,064	8,415,556	606,723
漏授(FN)	123,089	76,709	3,038
誤授(FP)	1,790	33,634	328,685
評估指標	拆除	不變	新建
Recall	46.98%	99.10%	99.50%
Precision	98.38%	99.60%	64.86%
F1-Score	63.59%	99.35%	78.53%



(a) 變遷偵測成果



(b) 地真標籤

圖7 RGB+Map預測成果

提升至99%。圖8顯示所得到的變遷偵測成果有顯著的提升，這樣的改進可以使模型在複雜場景中更為穩健，有效提高房屋變遷偵測的整體表現。

從以上三組實驗量化結果，前期房屋圖層在提升拆除與不變區域的偵測精度方面起到重要作用，而加入數值地表模型則有效增強了對新建建物的辨識能力。因此，將前期房屋多邊形與多光譜影像結合使用，已顯示出在變遷偵測中的優勢。再加入數值地表模型後，模型能夠更好地區分高程變化，從而提高對新建建物的準確辨識，減少誤判。

基於以上的實驗分析結果，後續研究將使用第三種組合，整合多光譜影像、數值地表模型及前期房屋多邊形作為輸入資料，以進一步

優化變遷偵測的效能。此外，將深入分析模型的訓練成果，評估其在不同場景下的泛化能力與穩定性，確保在實務應用中仍能保持高精度的表現。

## 二、物件式精度評估

物件式精度評估採用整合三種資料（RGB+DSM+Map）的成果進行分析，產生房屋物件的方法是使用區域成長法（Region Growing），將相鄰相連結的像元聚集為同一個物件單元，計算物件內的像元數量就可以得到房屋變遷面積大小。精度評估的方式是套疊變遷物件及地真變遷多邊形，如果IoU重疊率大於0.1，則可視為正確辨識，即成功偵測房屋變遷，若無重疊則為遺漏或誤授。表5為物件式精度評估總表，各類別的變遷偵測率都達到80%

表4 獨立檢核區精度分析表(RGB+DSM+Map)(像元式精度評估)

像元統計(Pixel)	拆除	不變	新建
正確(TP)	172,584	8,382,485	779,696
漏授(FN)	56,715	45,824	6,178
誤授(FP)	5,139	97,594	153,296
評估指標	拆除	不變	新建
Recall	75.27%	99.46%	99.21%
Precision	97.11%	98.85%	83.57%
F1-Score	84.80%	99.15%	90.72%

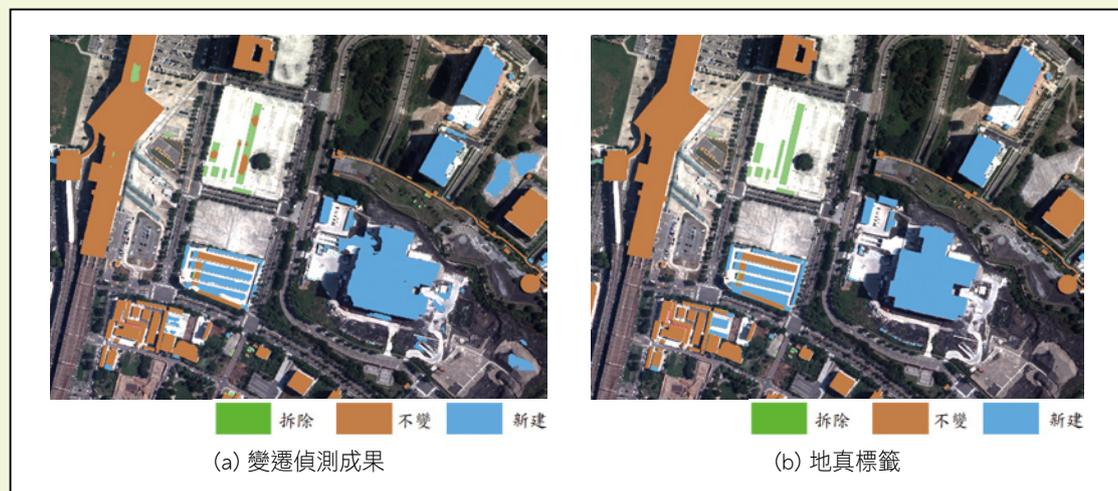


圖8 RGB+DSM+Map預測成果

以上的F1-Score，由圖9可見多數變遷單元都有正確辨識，只有少數的小面積誤授及漏授存在。

比較像元式（表4）和物件式（表5）的精度分析成果可以發現，即便是針對相同的房屋變遷成果，它們在精度表現上仍存在差異。像元式精度通常較佳，而物件式精度則相對較低。這種差異的主要原因在於評估單元的不同。像元式精度是以單一像元為基礎進行評估，因此能夠精細地反映變遷結果的準確度，每個像元都對總體精度有影響，因此精度數值較高。相對而言，物件式精度以整個物件為單元來進行評估，不論單一物件的面積大小（包含的像元數量多少），其總計成果都視為一個

單位。因此，無論物件內有多少個像元，物件式評估都將其視為一個整體單位，不計算內部像元的多寡。這樣的評估方式導致了精度表現的降低，因為大面積物件若在某些區域存在誤差，整個物件都可能被視為錯誤，從而影響整體精度的評估結果。因此，像元式精度分析更適合需要細緻度的應用，因為它能夠反映出局部的細節變化，而物件式精度則更適用於需要宏觀評估的應用，能提供整體性的變遷概況，但其精度表現會因不考量像元數量而有所降低。不論是哪一種評估方式，本研究的各類別的變遷偵測率都達到80%以上的F1-Score。

由於物件式單元具有面積的差異，因此接下來針對變遷單元進行面積分析。在本研究

表5 獨立檢核區精度分析表(RGB+DSM+Map)(物件式精度評估)

物件統計	拆除	不變	新建
正確(TP)	88	1,412	276
漏授(FN)	29	7	86
誤授(FP)	11	5	15
評估指標	拆除	不變	新建
Recall	75.21%	99.51%	76.24%
Precision	89.80%	99.65%	94.85%
F1-Score	81.86%	99.58%	84.53%

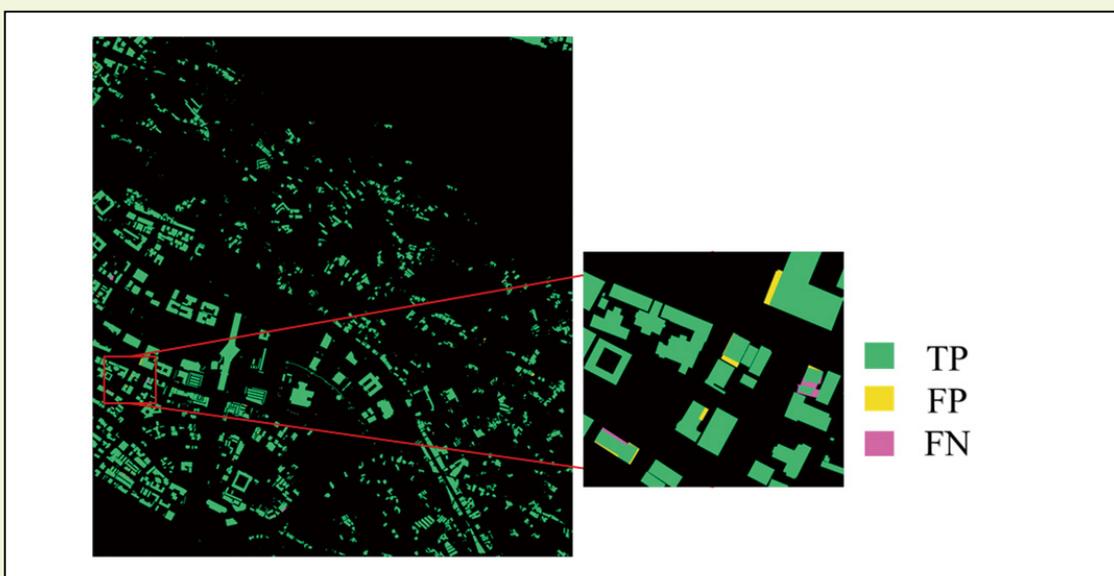


圖9 變遷單元評估成果展示

中，統計了三種不同類型變遷單元的面積大小，並取其中位數(Median)進行整理，結果如表6所示。從表6的總計成果可以看出，面積中位數最大的單元為正確偵測的單元（TP），這說明面積較大的變遷更容易被模型正確辨識與分辨。這樣的結果符合預期，因為較大的物件通常包含更多像元，提供了更多的特徵資訊，便於模型識別。在誤授（FP）和漏授（FN）單元方面，面積中位數分別介於2到12個像元和3到21個像元之間。這代表誤授的單元一般為小型面積，難以準確辨識，而漏授單元雖然範圍稍大，但仍然在一定的面積內。由於本研究中每個像元的面積為25cm x 25cm，這表示面積較小的物件容易因缺乏足夠的特徵而被誤授或漏

授，特別是當物件的面積接近中位數下限時，更容易受到影響。綜合來看，面積分析顯示出物件大小對變遷偵測精度的影響。較大面積的變遷單元能夠更可靠地被模型識別，而小面積物件則更容易導致誤判或漏授。

### 三、全區精度評估

本實驗使用22個圖幅進行模型訓練與驗證，為了深入了解這些訓練及驗證樣本的精度表現，本章節對全區22個圖幅的精度進行分析。從表7和表8的結果可以看出，使用不同的精度評估單位（像元式與物件式）在變遷偵測中的表現存在顯著差異。

表6 變遷單元像素面積數量分布中位數

單位：像素	拆除	不變	新建
正確(TP)單元	482	2,790	376
誤授(FP)單元	12	7	2
漏授(FN)單元	3	39	21

表7 全區精度分析表(RGB+DSM+Map)(像元式精度評估)

像元統計(Pixel)	拆除	不變	新建
正確(TP)	4532540	384751442	11855396
漏授(FN)	1125827	752329	152704
誤授(FP)	128882	3268064	3812625
評估指標	拆除	不變	新建
Recall	80.10%	99.80%	98.73%
Precision	97.24%	99.16%	75.67%
F1-Score	87.84%	99.48%	85.67%

表8 獨立檢核區精度分析表(RGB+DSM+Map)(物件式精度評估)

物件統計	拆除	不變	新建
正確(TP)	2424	39582	6548
漏授(FN)	796	92	3228
誤授(FP)	236	57	418
評估指標	拆除	不變	新建
Recall	75.28%	99.77%	66.98%
Precision	91.13%	99.86%	94.00%
F1-Score	82.45%	99.81%	78.22%

表7呈現全區的像元式精度分析結果，採用的資料組合為（RGB+DSM+Map）。在這種評估方式下，拆除、不變和新建三類別的召回率（Recall）分別為80.10%、99.80%和98.73%，而精確度（Precision）分別為97.24%、99.16%和75.67%。F1-Score的整體表現顯示，不變類別的精度最高，達到99.48%；相比之下，拆除類別的F1-Score為87.84%，新建類別的F1-Score則為85.67%。這說明像元式評估在不變類別的精度表現非常優異，但在拆除和新建類別上則稍顯不足。

另一方面，表8展示了在獨立檢核區進行的物件式精度評估結果，使用相同的資料組合（RGB+DSM+Map）。在物件式評估中，拆除、不變和新建類別的召回率分別為75.28%、99.77%和66.98%。精確度的表現則分別為91.13%、99.86%和94.00%，而F1-Score則為82.45%、99.81%和78.22%。與像元式評估相比，物件式評估在不變類別的F1-Score仍能保持

極高的精度，達到99.81%，但拆除和新建類別的F1-Score略低於像元式評估。

綜合而言，全區22個圖幅的精度分析顯示，不變類別的判識精度最高，拆除類別次之，而新建類別的判識精度則是最低。這種情況可能是由於新建房屋的變遷特徵較難捕捉，因此未來的研究應著重於提升新建房屋的辨識精度，通過改進模型或加入額外的數據特徵來進一步提高整體的判識效能。

#### 四、房屋變遷偵測於圖資更新之應用

房屋變遷偵測不僅能用來判別變遷單元，還能計算房屋變遷率，這項資訊可以作為地圖更新的優先順序評估依據。本研究中，以圖幅為單元計算變遷率（即變遷像素數量除以所有像素數量），並進行比較分析。表9中列出了深度學習自動化分析與地真資料的變遷率比較，結果顯示兩者之間的一致性高，證實本研究的

表9 變遷偵測與地真房屋變遷率比較

圖幅編號	變遷偵測	地真	圖幅編號	變遷偵測	地真
	變遷率(%)	變遷率(%)		變遷率(%)	變遷率(%)
96224072	13.24%	13.41%	96224091	5.56%	6.07%
95221049	6.94%	9.03%	96224092	4.67%	6.04%
95221069	8.41%	8.99%	95221060	5.01%	5.62%
95221099	5.46%	7.49%	96224062	4.68%	5.54%
96224061	7.38%	7.48%	96224051	4.61%	5.31%
96224071	7.07%	7.29%	96224082	4.57%	5.27%
95221070	6.91%	7.21%	95221080	2.19%	3.86%
96224042	6.82%	7.16%	96224081	3.26%	3.67%
96224041	6.56%	6.94%	95221089	2.09%	3.09%
95221059	5.98%	6.91%	95221079	1.99%	2.67%
95221050	6.12%	6.55%	95221090	1.72%	2.37%
95221100	4.40%	6.22%			

方法能夠有效評估房屋變遷率。

根據分析結果，變遷率最高的圖幅位於新竹高鐵站周邊地區，其變遷率達到13%。這反映了高鐵站周邊因建設和開發活動而頻繁發生的變遷。此外，其他圖幅的變遷偵測計算出的變遷率與地真資料的變遷率相近，顯示本研究建立的深度學習模型在不同地區的適用性與準確度。然而，有兩幅圖幅因資料特性而導致變遷率偏低。圖幅編號95221049的建物邊緣出現較多變化，影響了變遷偵測結果的穩定性；而圖幅95221099則因遮雨棚的干擾，影響了變遷偵測的準確性。

## 五、房屋變遷偵測效率

在房屋變遷自動化偵測的效率分析中，本研究使用個人電腦進行運算，電腦規格如表10所示。研究中，訓練與預測階段是使用不同規格的電腦進行計算。在訓練模型時，需投入大量運算資源及時間。為了建立模型，研究使用22個圖幅的影像資料，這些影像被裁切成1,048,575個512x512像素的小區域，經過150個疊代的訓練，共耗時16小時，在實際測試中，研究的測試區域可在一天內完成分析。此模型具備高重用性，且能夠納入不同年份及地區的資料進行遷移式學習，只需少量訓練即可快速進行變遷區域分析，為製圖更新提供有力的輔助。在變遷預測的過程中，分析單個圖幅所需時間約為90秒，處理22個圖幅僅需33分鐘，便可完成約154平方公里的區域分析。採用深度學習技術，可提升變遷偵測的效率，使得大範圍

表10 本研究使用電腦規格

模型訓練使用電腦		模型預測使用電腦	
CPU	i7-9700K	CPU	i7-7700K
GPU	RTX Titan	GPU	GTX 1080Ti
RAM	96GB	RAM	64GB

的判識與製圖更新工作能更快速完成，進一步提高自動化變遷偵測技術的應用價值。

## 結論與未來建議

本研究整合前後期空載多光譜正射影像、前後期影像匹配產製數值地表模型及與前期臺灣通用電子地圖建物圖層建立房屋變遷技術，以語意分割深度學習技術應用於房屋變遷偵測，能有效辨識房屋變遷，包括拆除、不變和新建等類別。

在全區的精度評估中，整合三種資料進行變遷類別的預測，模型對於不變類別的偵測表現尤為突出，達到90%高精度和高召回率，顯示出模型的穩健性和在實際應用中的可靠性，拆除與新建類別可達成80%之精度。實驗精度分析顯示，達成之精度對於地圖更新等應用具有實際價值，確保變遷結果的準確性和可靠性。

在整合不同資料進行房屋變遷分析中，研究結果顯示，將DSM資料納入模型中，能顯著提升新建房屋的偵測精度。這是因為DSM提供了物體高度資訊，能夠有效區分屋頂與材質相似的路面等其他地物，減少誤判，從而提高整體模型的辨識能力。

儘管模型在拆除與不變類別的偵測上達到了理想的效果，對於新建類別的偵測仍存在一定的挑戰。小面積變遷物體由於特徵不明顯，較易被模型誤判或漏檢，這部分需要進一步改進。

為進一步提升模型對新建房屋的偵測精度，未來研究可考慮引入更多數據來源，如光達點雲或其他高解析度高程數據，提供更豐富的地形與高度資訊，有助於模型更準確地識別建物變遷。針對小型或不明顯的建物變遷，建議對現有模型架構進行調整，增強其對細微特徵的敏感度，如多尺度特徵提取或注意力機制，以提高模型的辨識效果。

## 致謝

本研究承蒙內政部計畫（113PL021A）支持、內政部國土測繪中心、及農業部林業及自然保育署航測及遙測分署提供測試資料得以順利完成，謹此致謝。

## 參考文獻

1. Aleissae, A. A., Kumar, A., Anwer, R. M., Khan, S., Cholakkal, H., Xia, G. S., & Khan, F. S. (2023). Transformers in remote sensing: A survey. *Remote Sensing*, 15(7), 1860.
2. Chen, Y., Jiang, H., Li, C., Jia, X., & Ghamisi, P. (2018). Deep feature extraction and classification of hyperspectral images based on convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(10), 6232-6251. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2804359>
3. Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., ... & Guo, B. (2021). Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows. In *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision* (pp. 10012-10022).
4. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical image computing and computer-assisted intervention - MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III* 18 (pp. 234-241). Springer International Publishing.
5. Rottensteiner, F. (2007). Building change detection from digital surface models and multi-spectral images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRS)*, 36(3), 145-150.
6. Vaswani, A. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*.
7. Wang, L., Li, R., Zhang, C., Fang, S., Duan, C., Meng, X., & Atkinson, P. M. (2022). UNetFormer: A UNet-like transformer for efficient semantic segmentation of remote sensing urban scene imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 190, 196-214.
8. Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8-36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>



## 2

工程論著

# AI 革命——智慧交通領域的快速發展

## AI Revolution - Rapid Development in the Intelligent Transportation Sector

**關鍵字(Key Words)：**智慧交通 (Smart Transportation)、科技執法 (Automated Law Enforcement)、深度學習 (Deep Learning)、人工智慧 (Artificial Intelligence, AI)、車牌辨識系統 (License Plate Recognition System)、交通流量最佳化 (Traffic Flow Optimization)、停車管理 (Parking Management)、交通號誌控制 (Traffic Signal Control)、大數據分析 (Big Data Analysis)、智慧城市 (Smart City)

國立臺灣科技大學資訊工程所／教授／戴文凱 (Tai, Wen-Kai)

### 摘要

台灣於2022年被美國CNN稱為「行人交通地獄」，引發社會對交通安全的重視。提升交通安全需從教育、工程及執法三方面著手。AI技術的進步，使交通執法、停車場管理及交通流量優化等應用取得顯著成果。在科技執法方面，AI辨識技術可以自動偵測違規行為，減輕警力負擔並提高取締效率。AI還應用於交通號誌秒數優化與交通流量管理，提升道路通行效率。此外，智慧停車場管理運用AI辨識車牌，提高停車效率並改善用戶體驗。隨著AI技術與大數據的結合，城市管理者可更有效掌握交通資訊，促進智慧城市的發展。



## Abstract

In 2022, Taiwan was labeled a "Living Hell for Pedestrians" by CNN, sparking public concern over traffic safety. Enhancing traffic safety requires a focus on education, engineering, and enforcement. With advancements in AI technology, significant progress has been made in areas such as traffic enforcement, parking management, and traffic flow optimization. In automated law enforcement, AI recognition systems can automatically detect violations, reducing the workload on police and improving enforcement efficiency. AI is also applied to optimize traffic signals and manage traffic flow, enhancing road efficiency. Additionally, smart parking management uses AI to recognize license plates, improving parking efficiency and user experience. As AI and big data integration progresses, city administrators can better manage traffic information, promoting the development of smart cities.

## 壹、AI 革命—智慧交通領域的快速發展

台灣在2022年被美國CNN形容為「行人交通地獄」，這一評價引發了社會對交通問題的廣泛關注。為了提升交通安全，必須從交通教育（Education）、交通工程（Engineering）和交通執法（Enforcement）這三個「3E」方面入手。透過交通教育，讓違規者了解違規行為的嚴重後果，並培養安全駕駛的習慣；藉由交通工程，降低違規發生的可能性；最後，通過交通執法，懲處違規行為，從而降低違規率，提升整體交通安全。

然而，在我們的日常生活中，各種違規交通行為屢見不鮮。許多違規者認為這些行為微不足道，甚至因多年未被取締或未發生事故而更加肆無忌憚，直到悲劇發生才追悔莫及。為了解決警力不足以處理數量龐大的交通違規問題，政府近年來積極推動科技執法，利用人工智慧（AI）技術提高違規取締率，進一步提升交通安全。

隨著GPU技術的進步，原本受制於運算瓶頸的機器學習和深度學習技術獲得了突破性發展。AI在全球各個領域都取得了飛速進展，尤其是OpenAI在2023年推出的ChatGPT，更是改變了世人對AI的認知。在交通領域，AI的應用日新月異，從交通違規辨識、停車場管理到交通流量最佳化，都展現出令人矚目的成果。最直觀的體驗莫過於科技執法項目的增加，以及停車場車牌辨識系統，甚至可以透過搜尋車牌找到停放位置。接下來，我們將從科技執法開始探討AI在交通領域的應用。

### 一、科技執法的革新

除了早期的闖紅燈偵測和雷達測速照相外，科技執法如今能夠辨識違規跨越線段、未禮讓行人（如圖1）、未保持安全距離、違規停車、逆向行駛以及機車行駛人行道等各種違規行為。過去，由於警力有限，許多違規行為無法得到及時處理，違規者因此心存僥倖，甚至在被開罰時抱怨：「為什麼抓我不抓其他違規的車輛？」AI辨識技術的引入，改變了這一現狀。



圖1 科技執法辨識未禮讓行人的違規行為，提高交通安全

透過AI辨識技術，系統能夠24小時不間斷地自動偵測車輛、行人、自行車等物件，識別各類違規行為（如圖2），並將資料整理供警方二次審核。這不僅減輕警方在交通違規熱點疲於奔命的壓力，也避免大量違規行為的遺漏，大幅提高違規取締率和交通安全。

以公開資訊為例，新北市政府警察局在2019年1月於板橋車站啟用了違規停車自動偵測科技執法系統。該系統透過AI辨識技術自動偵測違規停車行為（如圖3）並經過警員確認後自動開罰。結果顯示，違規件數從宣導前的平均每日168件下降到每日10.26件，改善效

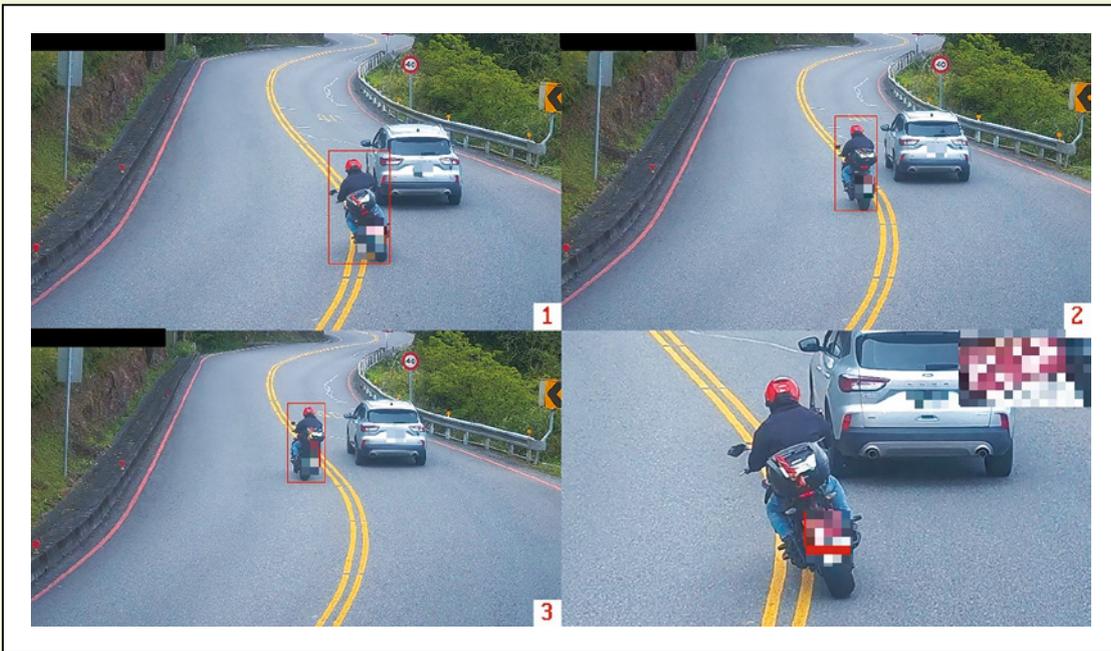


圖2 違規跨越雙黃線超車，在山路轉彎處超車，極易發生交通事故



圖3 違規停車占用道路空間，影響交通流暢，甚至容易導致交通事故，勿以小惡損大德

果顯著。這不僅讓警力能夠專注於其他重要事務，也提高了違規取締的效率。類似的科技執法系統已在全台多地推廣，並取得良好成效，預計未來將有更多地區採用，進一步提升交通安全。

## 二、交通順暢度的提升

交通順暢度的改善也是AI在交通領域的重要應用之一。透過AI辨識技術，可以即時監測交通狀況（如圖4），並利用大數據分析找出交通瓶頸，為交通管理者提供更多資訊。這使得交通管理者能夠更有效地調整交通號誌的時間配比，甚至能自動判斷是否有行人或車輛等待通過紅綠燈，進而即時最佳化交通流量，提升道路通行效率。

根據臺北市政府交通局的數據，動態號誌路口的旅行時間縮短了10%至13%，而感應性號誌路口的幹道車輛空等率減少了約30%。這些應用不僅提高了通行效率，也減少了交通壅塞和駕駛人的等待時間。

過去，各地交通單位需要定期進行交通調查，但多數是委託民間業者派遣人力在各路口手動計數，不僅耗時耗力，調查人員的安全也難以保障，數據準確性也存在疑慮。現在，透過AI辨識技術，可以利用路口的監視器或臨時架設的攝影設備自動辨識車流。這種方式不僅提供了可供佐證的影像資料，辨識率也高達99%以上，讓交通管理部門能夠更快速、精準地獲取數據，為道路交通狀況的評估和改善提供有力支援。

## 三、智慧停車場的管理

停車場管理是AI應用的另一個亮點。透過車牌辨識系統，車主不再需要手動取票，進出停車場時只需系統自動辨識車牌號碼，閘門便會自動開啟。這大大提升了進出停車場的效率，減少車主等待的時間，改善使用體驗。

隨著AI硬體成本的下降和技術進步，停車場的車牌辨識率已接近100%（如圖5），車主不再需要長時間等待進出場。業者還強調辨識

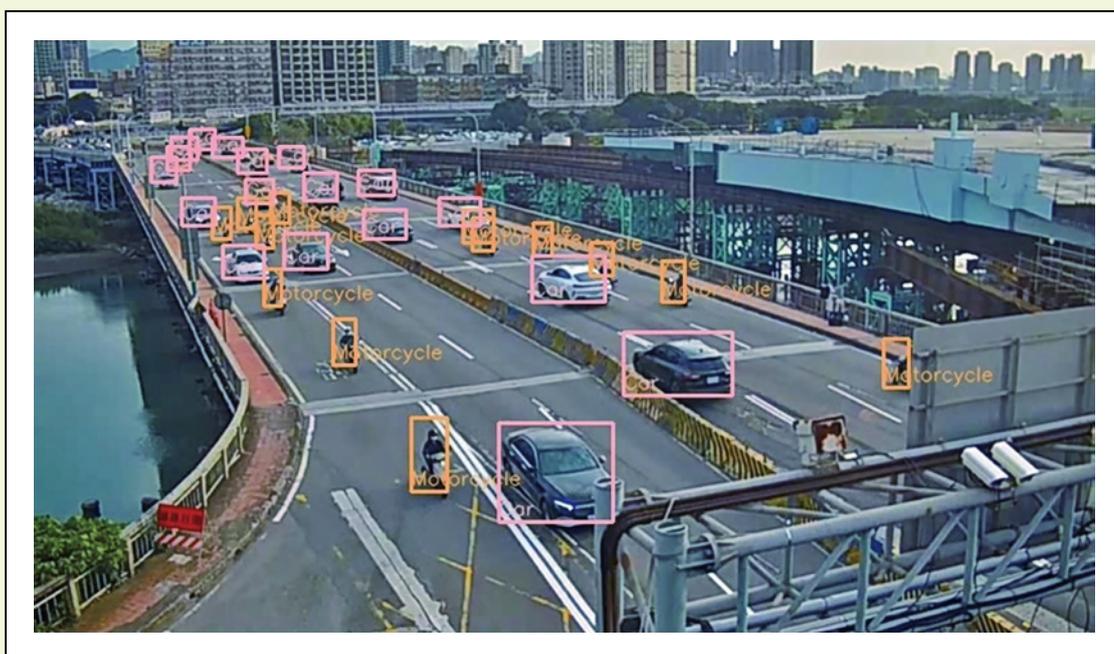


圖4 高位攝影機車輛追蹤（使用既有低解析度攝影機進行車輛追蹤）



圖5 隨著AI技術進步，車牌辨識系統也能在大角度準確辨識，催生出智慧停車柱等解決方案

速度極快，車輛無需停車即可順利通過，為用戶提供更佳的體驗。

目前，也有一種新的停車場趨勢是利用零碎地塊建設少數車位的停車場。業者可能會使用車牌辨識系統進行管理，透過該系統，車主可以知道哪些車位空間，並可透過手機APP進行預約。當車輛到達時，系統辨識到車牌號碼後，便能自動降下停車鎖，讓車輛順利停入車位。

同樣的技術也應用在電動車充電樁上。除了能夠辨識車牌號碼進行相關操作外，AI還可以針對電動車電池起火這一難題進行偵測。一旦車輛出現起火狀況，系統能夠即時發出警報，讓場地管理者迅速處理，將影響範圍降至

最低。這些AI應用不僅提高停車場的使用效率和安全性，也大大提升車主的使用體驗。

此外，在大型停車場或停車塔中，尋找自己停放的車輛曾是令許多人頭痛的問題。現在，透過車牌辨識系統，車主可以輕鬆查詢自己車輛的停放位置，增添便利性和安全感。

#### 四、資訊整合與智慧城市

隨著AI辨識技術的廣泛應用，政府和業者也開始進行資訊整合。將路邊停車格的空位偵測和停車場剩餘車位數量整合到地圖APP中（如圖6），讓民眾可以透過手機即時查詢附近的停車資訊。這不僅提高了找尋停車位的效率，也



圖6 現在已有許多APP提供即時停車位資訊，讓民眾能夠更快速找到停車位  
(範例引用自市面現有APP停車大聲公)

提升停車位的平均使用率，讓閒置的車位得以充分利用。

未來，這種資訊整合將是智慧城市建設的重要一環。透過AI和大數據的結合，城市管理者可以更全面地掌握交通、停車等各種資訊，為市民提供更便捷的服務，同時優化資源配置，提升城市運行效率。

## 五、展望未來

在交通領域，AI的應用不僅局限於交通執法。在交通教育方面，AI可以透過辨識學習者的駕駛行為，提供即時反饋和個性化的教育方案，糾正錯誤駕駛習慣，培養安全駕駛意識，這會使駕訓班的教學品質上升、教練成本下降，政府也可能因此推動駕照定期更新制度，持續的提高用路人的素養和淘汰不適任駕駛；在交通工程方面，AI能夠由既有路口影片，學習人車動線與行為數據，例如：車型、車速、軌跡，以及識別路面與道路設施狀態等，並模擬優秀的路口規劃，提供最佳化的交通工程設

計方案，改善標線與道路設計，全面性的提升道路的安全性和通行效率。

這些都是AI快速成長下在交通領域的應用成果。期待未來，政府能夠積極擁抱AI技術，制定完善的規範和政策，推動AI在交通領域的深入應用（如圖7）。只有政府、業者和市民共同努力，才能提高整體交通安全，讓我們的生活更加便利、舒適。

## 貳、結語

AI技術正以驚人的速度改變著我們的生活。在交通領域，從科技執法、交通順暢度改善到智慧停車場管理，AI的應用已經為我們帶來了實實在在的便利和安全保障（許多實際案例，可參考 [www.hitech.com.tw](http://www.hitech.com.tw)）。未來，隨著AI技術的不斷突破和深化應用，我們有理由相信，交通將變得更加智能化、人性化。我們期待著一個安全、順暢、智慧的交通環境，為每一位市民帶來更高品質的生活。



圖7 大客車死角偵測，AI技術可以幫助駕駛人偵測到死角內的物體，提高行車安全

# 智慧化—AI輔助 公路設計系統

關鍵詞(Key Words)：公路設計(Highway Design)、設計自動化(Design Automation)、AI、  
平面線形調整(Horizontal Alignment Adjustment)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運土部／協理／吳嘉文 (Wu, Chia-Wen) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運土部／經理／劉重光 (Liu, Chung-Kuang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運土部／副理／黃蕙蓉 (Huang, Hui-Rong) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運土部／計畫副理／李盈慧 (Li, Ying-Hui) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運土部／計畫工程師／張凱銘 (Chang, Kai-Ming) ❺

Highway Design

AI

Automation

Highway Design

Automation

## 摘要

公路設計關係到交通安全與運輸效率，傳統設計方法耗時費力甚且仰賴工程師經驗，因此設計自動化已逐漸成為趨勢。中華顧問工程司自民國58年起即專注於公路設計，於80年開發路線幾何設計程式，並在94至96年間將其視窗化，整合為AutoCAD API，88至91年間與成功大學合作開發智慧型公路選線系統，結合數值地形模型與數學規劃，自動化平縱面幾何設計，提高效率與準確性。

近年來面臨少子化及疫情衝擊，土木工程人才不足的情況溢發嚴重，因此台灣世曦擬發展AI輔助公路設計系統，包含障礙物影像辨識、平面線形調整、縱斷面及路線方案自動檢討等功能，以實現更高效之設計流程，解決人力不足，同時確保公路設計安全與適用性，為公路建設持續發展提供堅實的基礎。



## Intelligent-AI Assisted Highway Design System

### Abstract

Highway design plays a critical role in ensuring traffic safety and transportation efficiency. Traditional design methods are not only time-consuming and labor-intensive but also heavily reliant on engineers' expertise. Consequently, design automation has gradually emerged as a prevailing trend. Since 1969, China Engineering Consultants, Inc. (CECI) has been dedicated to highway design. In 1991, the company developed route geometric design programs, which were further upgraded between 2005 and 2007 into user-friendly, window-based applications integrated with the AutoCAD API. Between 1999 and 2002, CECI collaborated with National Cheng Kung University to develop an intelligent highway alignment support system. This system combines numerical terrain models and mathematical planning to automate horizontal and vertical alignment design, significantly enhancing both efficiency and accuracy.

In recent years, the dual challenges of a declining birth rate and the impact of the pandemic have exacerbated the shortage of civil engineering professionals. In response, CECI plans to develop an AI-assisted highway design system. This system will feature capabilities such as obstacle image recognition, horizontal alignment optimization, vertical profile analysis, and automated route plan evaluation. Its objective is to streamline the design process, mitigate workforce shortages, and ensure the safety and practicality of highway designs, thereby laying a robust foundation for the sustainable development of highway infrastructure.

3

專題報導

## 壹、前言

隨著智慧科技快速進步與全球化、都市化快速發展的背景下，交通運輸系統的有效性與安全性顯得愈發重要。公路做為交通運輸的主要形式之一，其設計與建設的品質直接影響著社會經濟的發展與人民生活的便利性。然而，傳統公路設計往往依賴工程師的經驗與繁複的手動計算，這不僅耗時耗力，還可能因為人為因素導致設計錯誤。隨著計算機科技及人工智慧（AI）技術突破性發展，使得AI在各個領域中扮演著愈來愈重要的角色，而公路設計領域也逐步向智慧化邁進。

本文針對AI輔助公路設計系統的演進進行深入探討，首先回顧本公司最初公路設計支援系統的開發歷程，此為公路設計從傳統人力作業轉為數位化發展之重要里程碑，並依此做為開發公路設計系統重要的基石，這一系統運用先進的數學演算與地形模型，使得設計過程更加有效率。而隨著產業發展與人口結構的改變，本公司近十年來不斷地朝向設計自動化的目標發展，因此發展了公路設計自動化模組，這一創新技術顯著提高了設計圖的準確性和生成速度。最後，針對現階段的AI輔助設計系統加以闡述，本文將重點分析其核心技術模組的開發與應用，並探討未來可能的發展方向與挑戰(參考圖1)。

## 貳、公路設計發展歷程

### 一、公路設計支援系統發展歷程

早期於民國90年以前公路設計工作往往需要繁複、大量的計算，消耗人力與時間，而後隨著電腦運算能力及記憶體容量的提升，工程師寶貴的經驗被整理、歸納成實用的資訊保存下來，此為本公司開始進行公路設計數位化的

重要歷程，並藉由電腦計算機技術可以將這些資訊提供後續發展公路設計自動化之用。

中華顧問工程司自民國58年成立後，即參與高速公路設計工作至今已逾五十餘年，對於路線設計之理論與實務有極深入之研究。期間因應路線設計工作需要，民國80年鄧曜輝顧問曾自力開發一系列路線幾何設計程式，包括H14A、PROFILE、XSEC、TERRN、DCAD、RDVIEW等功能，並於民國94~96年間因應作業系統提升及人性化界面需求，進版為路線設計視窗程式模組，主要利用混合語言程式之架構與開發技術，以AutoCAD為操作界面，並以原DOS系統下撰寫之設計程式為理論核心，利用Visual Fortran及AutoCAD提供之外部開發語言VBA、LISP等導入視窗化界面，整合為一個完整的AutoCAD外掛應用程式。視窗程式包括平面設計(H14A)、縱斷面設計(PROFILE)、橫斷面設計(XSEC)、原地形處理(TERRN)、設計資料繪圖(DCAD)以及3D建模(3D MODEL)六大模組。視窗化模組的導入，確實有效提升工作效率及品質，但真正設計作業上的知識經驗及錯誤回饋，卻無法透過路線幾何設計程式或視窗化模組來傳承累積，仍須由工程師手把手師徒式教學始能傳承。

民國88~91年間，中華顧問工程司與國立成功大學李宇欣教授合作開發公路幾何線形自動化設計軟體「智慧型公路選線支援系統」(Automatic Highway Design System)，利用作業研究的技術搭配啟發式演算法，結合CPLEX數學規劃軟體，在給定的數值地形模型(DTM)、路線設計參數以及數學演算參數等設計條件之下，進行公路平縱面幾何線形設計，並將各項設計結果以文字報表以及圖形方式輸出。

過程中，系統分別建立平面線形與縱坡度之設計模式，並個別提出單獨的模式求解流



圖1 公路設計發展演進

程。惟考量平縱面線形間有密切關聯，設計上有許多因素必須兩者同時考慮，因此，整合模式以平面線形設計模式的演算為主，在求取每一個平面線形設計鄰近解的時候，同時求解其對應的縱坡度設計，並將縱坡度設計模式所求得之目標函數值加權計入平面線形設計模式中，作為啟發式演算法接受準則的判斷依據。演算過程中每一回合不同的平面線形，所對應的縱坡度設計模式並不相同，且縱坡度設計所佔的權重也隨演算過程而時時調整。藉由目標函數值的合併，可以達到在平面線形設計過程中，同時考慮地形與縱坡度設計之目的。

模式以當時規劃設計中之花東高速公路關山至臺東段作為測試案例進行驗證，並以IP折線、圓曲線、線形要素三階段求解，使用實際地形資料，除起點與終點外，指定2個路線控制點、1個隧道控制點以及3個橋梁控制點，並根據該區地形，劃設65個用地限制範圍。求解結果與實際設計線形趨勢大致相符，求解時間需

耗費9.2小時左右。

近年來，隨著科技迅速發展，市面上有越來越多提供三維空間定線、整地、排水設計等具有相當自動化設計程度功能之套裝軟體，如Civil 3D、InRoads、OpenRoads Designer等。惟這些軟體大多著重於減輕工程師繁瑣的手動工作，其核心設計知識仍需倚賴工程師經年累月之經驗使能完成。疫情後的這幾年，隨著高科技產業蓬勃發展，傳統土木界人才大量流失，在人力不足的情況下，如何利用AI科技高度協助工程師進行工程設計之課題迫在眉睫。就公路工程而言，第一步即是AI自動化公路選線。

## 二、道路工程輔助自動化設計模組

公路路線設計自動化為BIM/CIM領域中難以透過參數式建模之設計方式執行，主要因素為公路設計屬幾何設計(如平面線型、縱斷面、橫斷面或交叉路口型式等)，亦皆須符合公路路線

設計規範，其中主要考量設計參數包含：公路等級、設計速率、車道寬、平曲線最小半徑、視距、超高率及緩和曲線等，且限制條件繁多(如地形地物、路權、環境敏感區等)，其綜合許多限制條件下，為立體於空間不斷變化之三維線形，因此每一個公路建設方案皆需投入許多人力時間去檢核，研提出最適當方案。

本公司已逐步開發道路工程輔助自動化設計模組，並已納入設計作業中，由道路平、縱面、軌跡線、超高設計、標線及路權等繪圖功能展開初階自動化繪圖功能，再輔以道路設計規範之檢核，今年亦將道路橫斷面自動化完成，可綜整道路設計、排水設施、擋土設施及高架橋等設計元素，再結合測量成果，除可提供設計者完整檢視設計成果外，亦可提供施工單位參考施工，以視覺化完整傳達設計。

在道路工程設計過程中，道路橫斷面圖為最直覺、直觀方式，除供檢核設計成果外，亦可提供施工單位參考，而多年以來道路橫斷面圖多為人工繪製(詳圖2)，如稍有變更，橫斷面圖即需手動全面檢核修正，除耗時耗力外，亦容易出錯，致施工期間發生圖面不符之缺失。

道路橫斷面圖包括鋪面、車道數、車道寬、路肩寬、設計高程、超高、護欄、緣石及側溝等組成元素，且道路組成元件間之相對關係及高程，雖可依據相關設計數據計算必要高程，但因計算繁雜，且需由各專業反覆來回多次檢驗，甚為耗時且易出錯，另施工廠商也常以橫斷面圖做為施工圖，因此，如可提供完整道路橫斷面設計圖說，將可大幅減少施工疑問及疏失。有鑑於此，本公司施義芳董事長於110年1月提出道路橫斷面快速自動化成圖構想，解決大量人力重複繪製問題，經運土部與資訊部共同研發，111年3月完成第一階段任務山區道路橫斷面，本階段可提供單一道路橫斷面自動生成，後續再以高、快速立體交會道路及交流道等之多渠道橫斷面圖為目標，於112年4月完成第二階段任務多渠道橫斷面(詳圖3)，並以進行中之西濱快速道路台61線23處路口改善計畫驗證(詳圖4)，113年1月開始正式應用於相關計畫中，目前除基本道路設計元素外，側溝、擋土牆及橋梁等構造亦可依各專業設計成果逐步納入，已可大幅改善道路橫斷面之繪圖速率及成果正確性。

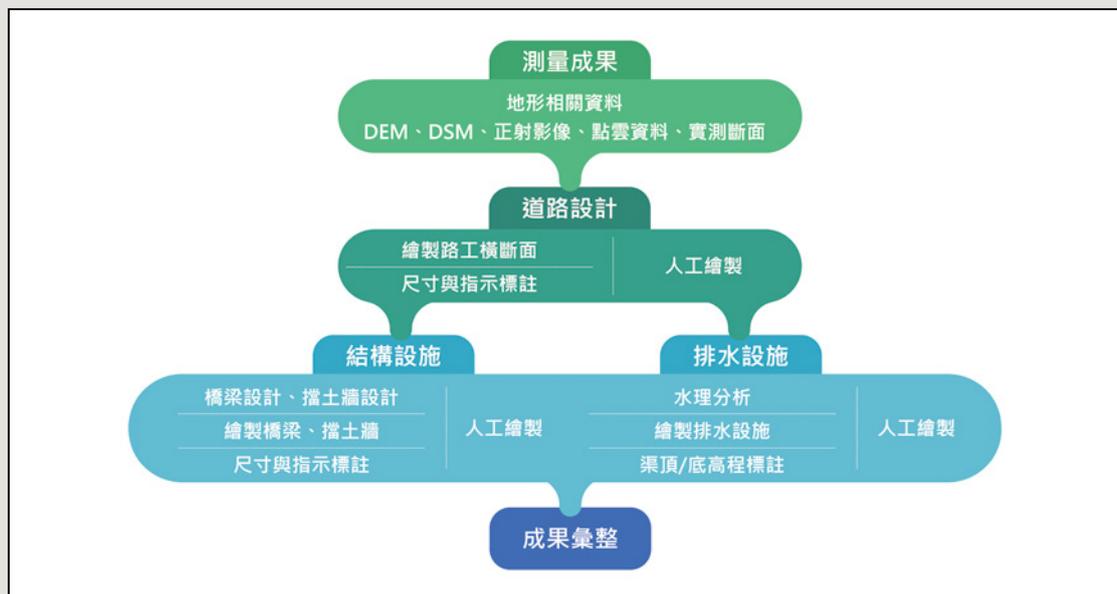


圖2 人工繪製橫斷面作業流程



圖3 橫斷面自動化研發歷程

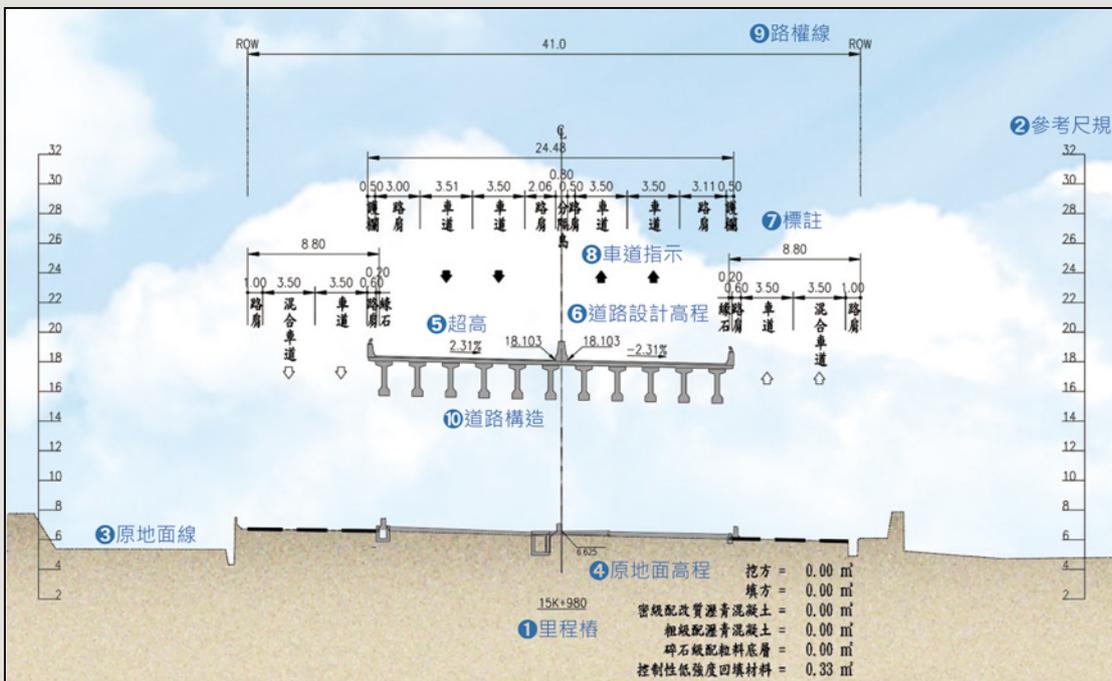


圖4 橫斷面自動化實際應用

### 參、智慧化-AI輔助公路設計系統

本公司近年來持續研發設計自動化已有亮眼成果，目前完成之Civil 3D API開發已節省許多設計人力，此部分已有相當突破性發展，進

而朝向發展智慧化-AI輔助公路設計系統，有賴於近年電腦技術與GPU算力提升，使得AI演算法運算有跳躍式的成長，過去受限於硬體限制的機器學習、深度學習等有實質成果產出，因此將AI導入公路設計是一個全新的跨領域合作，

且本公司有著多位專業工程師的人腦智慧與過去幾十年的經驗累積，藉由AI技術的浪潮，將此轉化為可經學習訓練的數位資產，開發獨樹一幟的人工智慧系統。

### 一、研究方法

本系統核心技術為公路定線設計，導入AI輔助公路線型設計須開發數個核心技術模組來達成設計自動化，實現智慧擬真自動選線的目標，因此初步規劃為：(1)圖資辨識模組、(2)線形參數調整模組、(3)縱斷面門檻模組及(4)路線方案自動檢討模組，並按設計作業不同的階段性所需執行內容，各模組皆為互相獨立或互補之功能，並且開發各式人工智慧演算法達到模組需求。各模組導入傳統設計流程各個階段如圖5所示，模組與模組之間透過大量資料的AI學習訓練，以符合本公司實現自動化智慧選線的目標。

(一) AI圖資辨識模組：符合設計規範、控制區域(公路路線必經區域)與限制區域(不希望公路路線通過區域)之條件下，優化原本需採用人工設定障礙物、控制節點權重之方式，將障礙物或預設定的限制條件，透過AI判斷GIS地形圖，包括河流、山谷、水土保持或環境敏感區等資訊，並整合判斷所有圖層，透過圖像識別技術，自動檢測和標註設計區域內的障礙物，以避開特定限制，學習出可適路廊範圍，幫助工程師模擬出數條路線供平面定線參考。

(二) 平面線形參數調整模組：透過初選的路廊，挑選數個較具競爭性的路線(需由具經驗之工程師判斷，未來預期成果由AI判斷)，並各自再新增其他期望限制(如交流道布設、路口設置、拆遷範圍等)，透過人工智慧演算法(本公司自行開發之幾何調和演算法)，自動化IP位置調整進行演算出最佳化線形，並在所有限制影響範圍的條件下



圖5 AI輔助公路設計流程圖

作精準的局部調整。

(三) 縱斷面門檻模組：判斷原地形與定線間的高程差，依正負值及差值之門檻轉換為分段依據，將路線分類為隧道、橋梁或路堤、路塹段，可供後續路線建造成本評估參考之用。

(四) 路線方案自動檢討模組：平面線形及縱斷面將依上述條件互為調整，最後導出成果輸出，本模組係透過訂定目標函式，依客製化權重之方式進行評比及篩選，以色彩視覺化等顯示排序，推出較佳路線。亦可調整目標函式之各子項目，再進行重新排序，最後選出三條或自訂數量之道路中心線方案，同時進行路幅範圍兩側既有地形或障碍物之檢核。

## 二、系統架構

智慧化-AI輔助公路設計系統的架構旨在結合先進的計算技術與工程知識，以提高設計效率、準確性及適用性，並探討本系統的主要組成架構及其功能模組運作機制(參考圖6)。

### (一) 基礎設施與數據層 (Infrastructure Layer)

系統架構的基礎是數據層，這一層包含了大量的地理資訊系統 (GIS) 數據、地形數據、環境數據及過去的設計案例。數據來源包括測量圖、數值地形模型、正射影像圖、地籍圖、都市計畫圖、現場調查數據和歷史設計資料。這些數據經過清理和整理後，進一步供給下層的AI模型進行訓練和分析。

1. CECI 私有雲
2. GPU

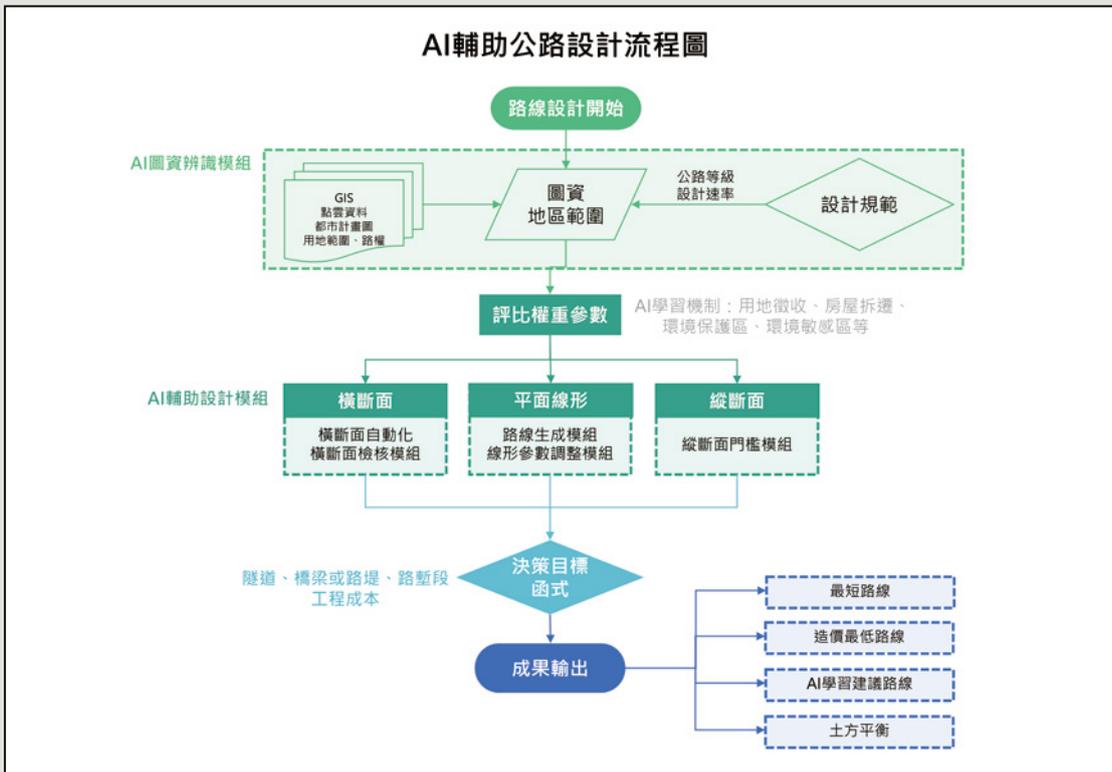


圖6 系統架構圖

3. 數據庫
4. 網絡基礎設施

#### (二) AI 模型平台層 (Platform Layer)

在AI模型層，系統運用多種機器學習和深度學習算法進行公路線型設計的自動化模組。

1. 機器學習框架 (如TensorFlow、PyTorch、SciPy、Scikit-learn)
2. 人工智慧演算法(如SMA\*(Simplified Memory Bounded A-Star)、主幹導引式最短路徑搜尋演算法K-D樹(K-Dimensional Tree))
3. 數據分析與模擬工具(如ArcGIS、Civil 3D)
4. Civil 3D API

#### (三) 視覺化應用層 (Visualization Application Layer)

為了提升設計的可理解性和易用性，視覺化層將AI模型的結果轉化為直觀的圖形和報

告。系統提供多種視覺化工具，如3D建模、地圖視圖和報表生成，幫助設計師和決策者更好地理解設計方案。

1. 圖層套匯
2. 智慧選線
3. 3D點雲路線方案檢核
4. 線型參數檢核

#### (四) 用戶界面層(User Layer)

用戶界面層則是系統與使用者之間的橋樑。通過直觀的操作界面，工程師可以輕鬆調整設計參數、查看模擬結果及生成報告，更可實時反饋使用者根據模擬結果進行即時修改。

### 三、測試模型展示

本系統測試模型執行過程如下：

- (一) 由OpenStreetMap依照經緯度建立地形3D物件，並獲取GIS點雲資料。(圖7)
- (二) 依照等高線建立X-Y平面並在圖上點選若

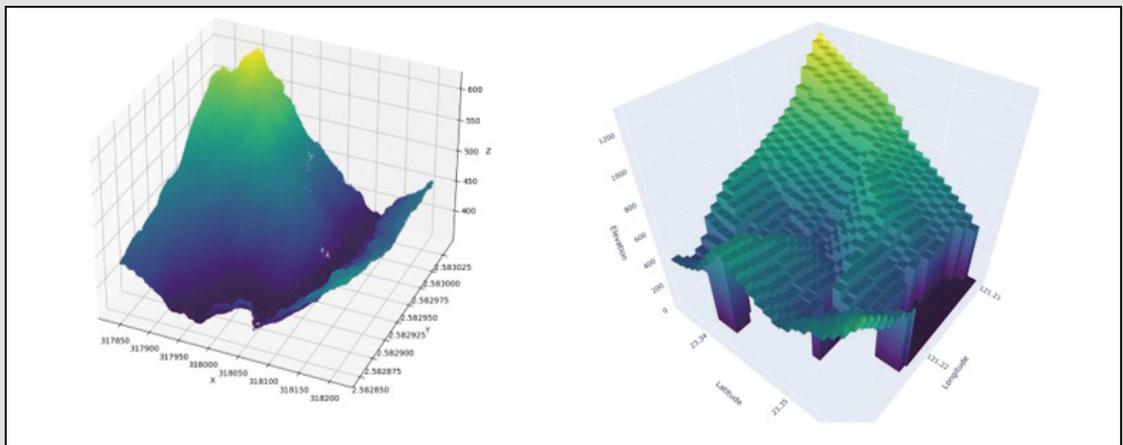


圖7 路線範圍3D點雲模型

千個需要經過的點，按照點選的點，使用 KDTree 方法查找最符合條件的路線將其串連起來。(圖8)

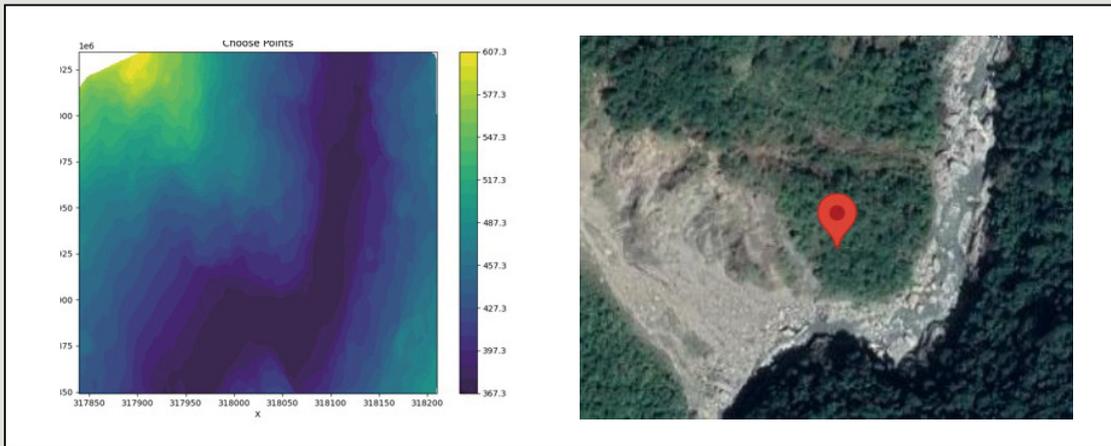


圖8 路線起終點位置點選

(三) 在3D點雲圖中同樣標示規劃的路線，可依照需求，調整查找路線的條件(搜索半徑、最大高度差、最大坡度等)，當搜索達一定次數仍未找到符合的點時，會以直線直接往下一個點做連接。

(四) 路線規劃時會盡量避免相交的情況，路線中有超過90度的夾角會以星號表示。(圖9)

(五) 最後計算紅色路線的總單位長，並輸出路線方案於3D點雲模型供可視化瀏覽。(圖10)

## 肆、發展趨勢與未來展望

隨著公路設計領域的技術革新，目前本公司已朝向全面數位化與自動化的方向發展，現今的數位化智慧型公路選線支援系統，透過數學演算及地形模型，為工程師提供了強有力的設計工具；自動化的橫斷面設計則大幅提升了繪圖效率與準確性，公路設計的工作負擔得以顯著減輕，工程師可以將更多的精力集中於設計創新與優化上，這不僅提升了工作效率，也降低了由人為錯誤導致的風險。

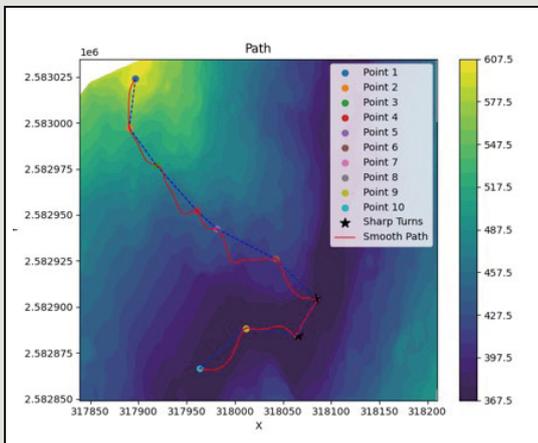


圖9 平面路線方案模擬結果

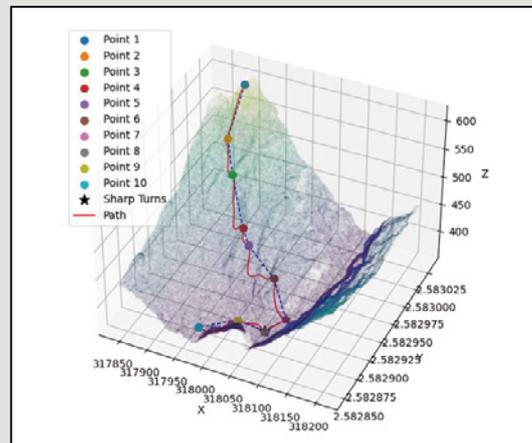


圖10 3D點雲模型路線方案模擬結果

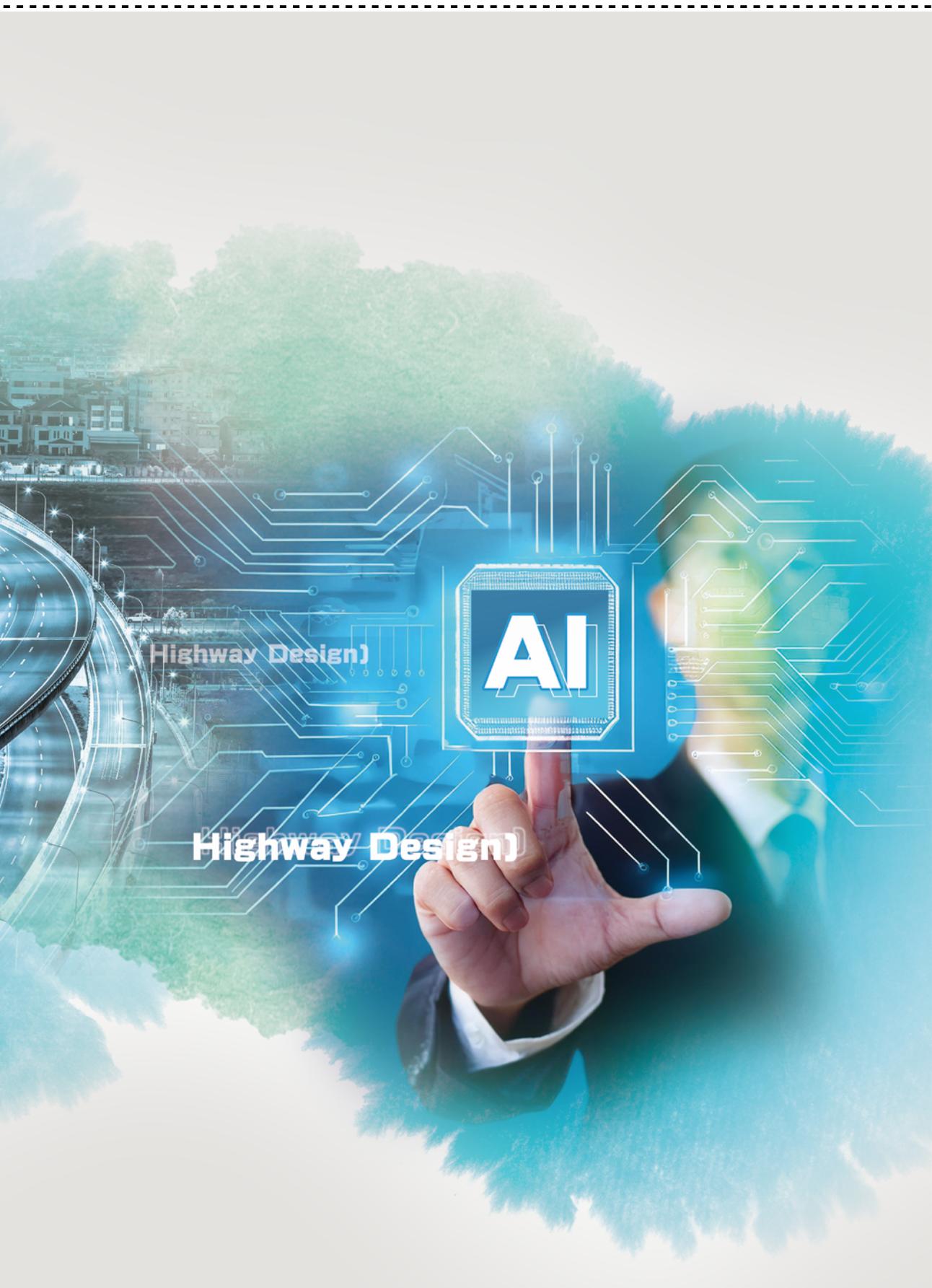
未來智慧化AI輔助公路設計系統將愈發成熟，系統將能整合更多的功能需求與決策輔助模組，將進一步提升設計智慧化水平，在設計過程中引入了基於數據的決策支持，將促使土木工程師在設計過程中轉向更多的策略性思考，減少繁瑣的手動操作，自動化執行繁瑣的設計任務，並且更準確地模擬與評估不同設計方案，這對於日益複雜的設計挑戰來說是一次顯著的進步。此外，隨著數據處理能力的提升與更多的學習訓練，AI將會具備更強的自學能力與適應能力，根據歷史數據與即時信息進行智慧判斷，做出更精確的預測與調整，進而在可研/初設階段提供更優化的設計建議，這將使得公路設計的效率和安全性達到新的高峰。

### 結語

智慧化-AI輔助公路設計系統的發展，代表著公路工程設計的一次重大變革。從早期的手動設計到如今的智慧化系統，這一過程技術的進步，不僅改變了設計流程，也提升了設計效率與品質。展望未來，隨著AI技術的日益成熟，公路設計的自動化和智慧化將成為常態，AI系統將有可能成為未來設計的標準工具。然而，這技術發展轉型並非沒有挑戰，如何有效地整合AI技術與現有的設計流程，確保系統的穩定性與安全性，仍需進一步的研究與實踐。同時，隨著新技術的引入，工程師的角色也將隨之轉變，未來將需要具備更強的數據分析與AI應用能力，如何善用AI工具已成為未來快速投入產業即戰力需求指標。

本公司未來期許智慧化-AI輔助公路設計系統不僅是技術進步的產物，更是未來交通運輸系統可持續發展的重要推動力。希望通過本文的探討，能為相關研究者和實務工作者提供有價值的參考與啟發，攜手推動公路設計的智慧化進程，迎接更為安全、高效的交通未來。





3

專題報導

# AI驅動捷運設計的未來—從自動化到創新思維

關鍵詞(Key Words)：建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)、生成式AI (Generative AI)、自動化(Automation)、設計效率(Design Efficiency)、Rhino Inside Revit (RIR)、跨專業協作(Interdisciplinary Collaboration)、視覺化程式設計(Visual Programming)

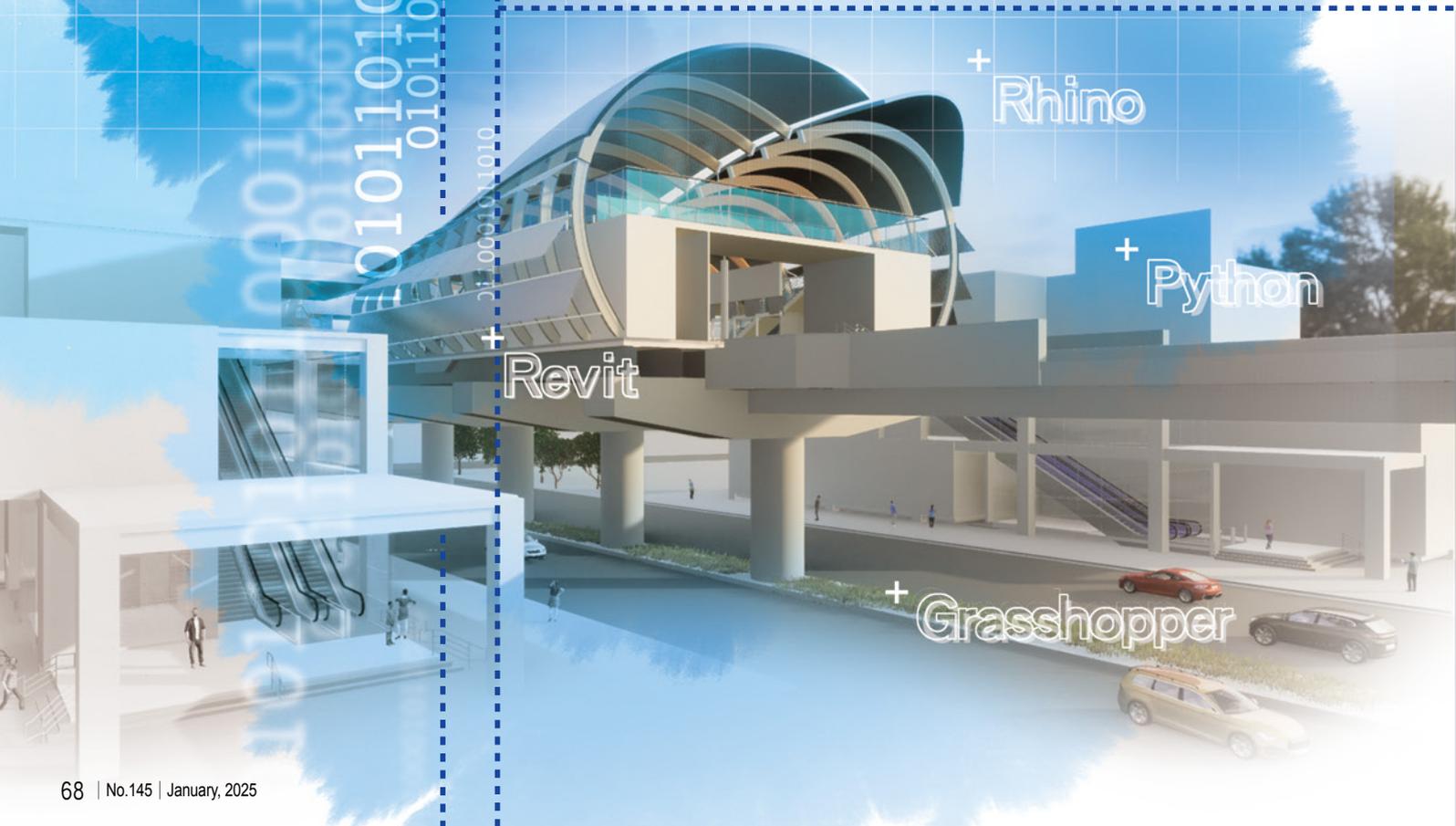
新北市政府捷運工程局／副總工程司兼土木建築科科长／張壯習 (Chang, Chuang-Hsi) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／技術經理／諶家瑞 (Hsunwei Shih) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／黃碩儒 (Huang, Shuo-Ju) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／蕭瑋廷 (Hsiao, Wei-Ting) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／馮興亞 (Feng, Hsing-Ya) ❺



## 摘要

在過去的數年裡，建築資訊模型（BIM）的發展顯著改變了建築設計和施工管理的方式。隨著輔助程式的出現，設計者能夠進行自動化的規劃，快速且準確地完成任務，並能夠有效地處理固定及可供評估的資訊。這種自動化不僅提升了工作效率，也減少了人為錯誤的可能性。然而，隨著生成式AI在文書、程式語言及圖像生成等領域的迅速發展，自動化的潛力已經超越了傳統專家系統所規劃的目標。生成式AI不僅能夠協助設計者達成既定任務，還能夠創造出更具多樣性的設計成果。國內捷運工程在這波技術革新中，透過BIM與生成式AI的結合，開創了全新的設計途徑。本研究以實際案例探討此技術整合的應用成效：在高架車站設計中，運用Rhino、Grasshopper、Revit等工具，結合AI輔助設計，建立了從概念發展到建築資訊模型的完整工作流程；在自動化程式開發方面，則運用生成式AI優化捷運設計報告的製作流程。研究結果顯示，這種創新方法不僅提升了設計效率、促進了跨專業協作，更重要的是為設計者開啟了更多創新思維的可能性。透過參數化設計與AI技術的結合，使捷運工程在保持精確性的同時，也能探索更多元的設計方案，為未來捷運站體的設計提供了新的發展方向。



# The Future of AI-Driven Metro Design: From Automation to Innovative Thinking

## Abstract

In recent years, Building Information Modeling (BIM) has significantly transformed the approach to architectural design and construction management. With the emergence of auxiliary programs, designers can now perform automated planning, completing tasks quickly and accurately while effectively handling fixed and assessable information. This automation not only improves work efficiency but also reduces the possibility of human error. However, as generative AI rapidly develops in areas such as documentation, programming languages, and image generation, the potential of automation has transcended the goals originally planned by traditional expert systems. Generative AI not only assists designers in accomplishing predetermined tasks but also creates more diverse design outcomes. In this wave of technological innovation, Taiwan's metro engineering has pioneered new design approaches through the integration of BIM and generative AI. This study examines the practical applications of this technological integration through case studies: in elevated station design, utilizing tools such as Rhino, Grasshopper, and Revit combined with AI-assisted design to establish a comprehensive workflow from concept development to building information modeling; in automated programming, employing generative AI to optimize the production process of metro design reports. The results demonstrate that this innovative approach not only enhances design efficiency and promotes cross-professional collaboration but, more importantly, opens up new possibilities for innovative thinking. Through the combination of parametric design and AI technology, metro engineering can maintain precision while exploring more diverse design solutions, providing new directions for future metro station design.

3

專題報導

## 壹、前言

在捷運車站的設計中，建築資訊模型（BIM）技術的引入標誌著一個全新的時代。BIM作為一種數位化的建築設計工具，透過三維模型整合了建築物的所有資訊，使得設計者能夠在同一平台上進行協作和決策。自2000年代初期BIM技術問世以來，其在全球範圍內的應用逐漸擴大，尤其是在公共工程領域，許多國家開始將BIM納入建設標準。台灣自2009年以來也逐步推動BIM技術的實施，並在公共工程中強制要求使用BIM模型，以提高設計效率和施工質量。

隨著科技的進步，生成式AI作為一種新興技術，正在改變傳統的設計思維和流程。生成式AI不僅能夠自動生成設計方案，還能根據特定需求進行優化，為設計者提供多樣化的選擇。這種技術的發展使得捷運車站的設計不再受限於專家系統規劃，而是能夠探索出更多創新且具實用性的設計成果。因此，研究BIM與生成式AI在捷運車站設計中的結合，不僅具有學術意義，也對實務應用具有重要價值。

本研究旨在探討BIM與生成式AI技術如何協同作用於捷運車站的設計過程中，以提升設計效率、降低成本並促進創新。通過分析這兩種技術的特點及其在實際案例中的應用，本研究希望能夠為未來捷運車站設計流程提供新的思路和方法。

## 貳、由自動化到人工智能

在捷運車站設計導入BIM後，藉由輔助程式建立自動化工具搭配參數式元件，來提高設計工程師在建立BIM模型過程中的效率。這些工具能夠自動處理重複性高且繁瑣的任務，從而節省時間並減少人為錯誤：藉由輸入各車站的運

量，自動依規範標準計算各車站運量所對應的需求，如：售票機、驗票閘門、男女廁間等，並協助產生對應的參數式元件，除提高設計團隊設計建模的效率外，並可協助評估符合規範的數量，這些功能不僅提高了工作效率，也確保了模型的準確性。

然而，自動化工具仍然存在一定的局限性。它們通常只能針對預先設定的工作項目進行操作，無法靈活應對變化多端的設計需求。在建築設計中，隨著客戶需求和施工環境的不斷變化，工程師需要快速調整模型以符合最新要求。這時，自動化工具可能無法完全滿足需求，因為它們缺乏對於非結構性問題的理解和處理能力。

### 一、BIM自動化的特點與限制分析

如上言，建築資訊模型BIM自動化具有提高工作效率和設計品質方面的優勢。然而，這些系統同時也面臨著一些限制，這些限制在越來越複雜的建築設計需求面前愈加明顯。

#### （一）現有BIM自動化的特點

首先，BIM自動化系統的運作基於明確的規則和預設的工作流程，使得系統能夠準確執行各種標準化任務，例如：特定空間（無障礙廁所）的標準化建模、圖說的生成與更新、工程數量的統計等，這些功能使得BIM自動化在處理標準化工作時具有快速且正確的優勢。

其次，BIM自動化系統在效率和穩定性方面也有明顯的優勢。透過減少人工重複操作，這些系統能夠降低人為錯誤的機率，並藉由將規範的計算程序編寫入自動化系統，可協助計算出正確的需求，並搭配參數式元件來確保設計標準的一致性。

## (二) 現有BIM自動化的限制

儘管BIM自動化系統在許多方面表現出色，但其彈性受限是最明顯的限制。這些系統只能在預設框架內運作，對於非標準化需求的處理能力較弱。此外，它們缺乏自主調整工作流程的能力，對特殊情況也缺乏應變能力。

在創新能力方面，自動化系統同樣顯示出不足之處。這些系統無法產生創新性的解決方案，也缺乏對設計意圖的理解，因此無法進行方案優化，其創意表現受限於既定規則。

整合性方面也有其不足之處，尤其是當遇到複雜的議題時，協作能力受到規劃自動化的能力影響。資訊交換往往受限於預設格式，使得新技術要求難以適應。

## 二、發展瓶頸與未來發展

目前BIM自動化所面臨的主要瓶頸可以分為技術層面和應用層面。在技術層面上，程式設計複雜度高、維護成本持續增加、擴展性受限等，都是亟需解決的問題。在應用層面上，高要求的使用者培訓、工作流程改變所帶來的大阻力以及投資回報週期長等問題，也使得推廣和應用變得困難。

雖然當前BIM自動化系統在提高工作效率方面貢獻顯著，但固有的局限性在面對日益複雜的建築設計需求時愈發明顯。這正是推動向人工智慧技術演進的重要動力之一，也為下一代智慧化BIM系統的發展指明了方向。

## 參、AI驅動捷運設計導入實作案例

參數化導入捷運工程應用，將透過以下二個案例做說明：

### (一) 案例一：人工智能搭配參數化輔助高架車站設計

三鶯線延伸八德高架站設計，「融合」AI與傳統捷運設計方式，發展出完整的BIM工作流程，兼顧設計創新及效率。

### (二) 案例二：生成式AI輔助編輯自動化程式

將擅長幾何的工具，透過參數化「應用」於東環段地下隧道施工，能夠有效降低重複作業的機率，同時能夠協助建築資訊模型的幾何生成。

## 一、人工智能搭配參數化輔助高架車站設計

LB13車站為高架站，位於桃園台地。本案使用RIR的工作流程，並且導入電腦算圖來進行車站設計，共分成四個階段：

第一階段：蒐集基地現況資料，進行物理環境分析，及確認法規與設計規範要求，形成車站的「基礎模型」(Basic Model)

第二階段：透過「基礎模型」，按照土建基本設計報告書中整體建築風貌定位和車站設計概述，篩選出「設計關鍵字」(Prompt)輸入AI，並搭配基礎模型樣貌，讓電腦算出「概念模型」(Concept Model)

第三階段：將「概念模型」進行「合理化」(Rationalization)，使設計概念轉化成具有可行性的「設計模型」(Design Model)

第四階段：透過資料交互(Data Change)，使「設計模型」能夠與其他專業項目共同整合，形成完整的「建築資訊模型」(BIM Model)

本流程圖展示了一個從初始資料輸入，到最後BIM模型產出的完整工作流程，涵蓋了軟體工具整合和參數化設計過程，如圖1所示。

(一) 第一階段：建立「基礎模型」(Basic Model)

根據機房需求表，以Revit建構「基礎模型」。在站體設計上呈現必要的柱、梁、牆、板，更多需要考量的是在有限的站體空間內，如何巧妙地安排各個功能區域。這不僅涉及到空間的有效利用，還需考慮設備空間的關聯性、人員動線的流暢性、以及未來維護的便利

性，如圖2所示。

接著透過RIR進行資料轉換，將Revit模型傳輸至Rhino進行幾何優化，再將Revit車站模型整合進Google Earth。這種視覺化方法，不僅能夠直觀地展示車站與基地的關係，還能幫助評估站體在實際環境中，是否能適應周邊的城市脈絡和自然環境，如圖3、圖4所示。

使用Grasshopper中的Ladybug來處理和分析EPW氣象資料(Energy Plus Weather)，並生成風花圖(Wind Rose)。透過視覺化的方式了解基地風向和風速的分布情況，透過年均風花圖

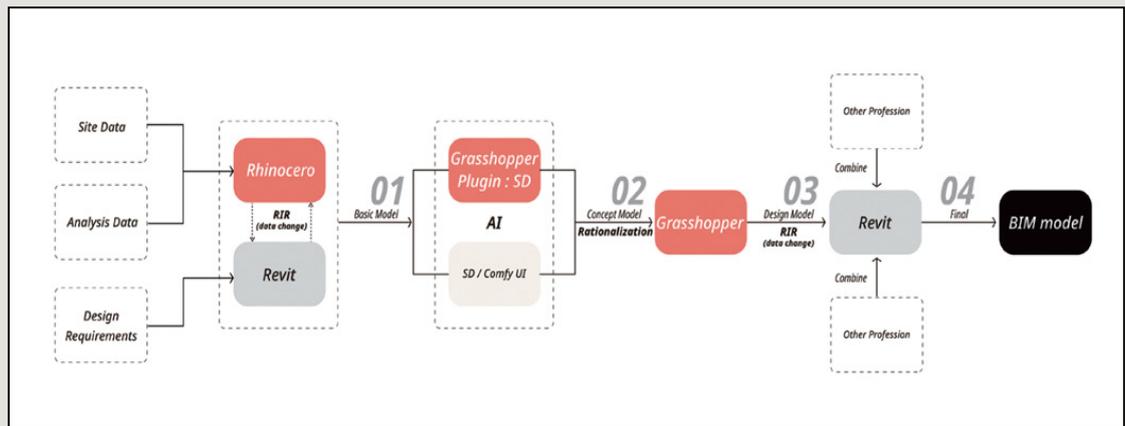


圖1 人工智能搭配參數化輔助高架車站設計工作流程圖

編號	房號	房名	ROOM TITLE	面積(平方公尺)
A.31	通風機	Talkall Unit - TWU		
A.31	資訊設備房	Information Equipment Room	基 > 12m <sup>2</sup>	
A.37	機房	TTL Room	40m <sup>2</sup> 淨高至少 3m	
A.4A	機房控制室A/B	SCS Control Room	90m <sup>2</sup> (地下層) 80m <sup>2</sup> (地上層)	
A.4E	機房機房	Isolation Room	基 > 12m <sup>2</sup>	
A.4C	空調機房	Air Conditioner Area	120m <sup>2</sup>	
A.4D	冷卻塔	Cooling Tower	130	
A.4E	機房機房	SCS Plant Room	基 > 200m <sup>2</sup>	
A.4F	機房機房	ISCU Room	110m <sup>2</sup>	
A.4G	機房機房A/B	Intake Air Fan Room	70m <sup>2</sup>	
A.4H	機房機房A/B	Exhaust Air Fan Room	70m <sup>2</sup>	
A.4I-1	機房機房	Return Air Fan Room	40m <sup>2</sup>	
A.4I-2	機房機房	Plenum for Return Air Fan	32m <sup>2</sup>	
A.4J	軌道區排風機房(供排風)	Trackside Exhaust Fan Room	40m <sup>2</sup> (淨高) 18-20m <sup>2</sup>	
A.4K	機房機房A/B	Intake Vent Shaft	18-20m <sup>2</sup>	
A.4L	機房機房A/B	Exhaust Vent Shaft	18-20m <sup>2</sup>	
A.4M	機房機房(供排風)	Plenum for Tunnel	供風機房淨高	
A.4N	機房機房A/B	Tunnel Vent Fan Room	240m <sup>2</sup>	
A.4O	機房機房A/B	Tunnel Vent Shaft	20m <sup>2</sup>	
A.4P	機房機房A/B	Tunnel AHU Room	240m <sup>2</sup>	
A.5A	機房機房A/B	Propulsion Power Substation - PPS	200m <sup>2</sup> (淨高) 14-16m (淨高) 機房機房 PPS W-250 xH-3200mm	
	機房機房(供排風)	SHAFT	供風機房淨高	
	機房機房	SHAFT	供風機房淨高	
	機房機房	SHAFT	供風機房淨高	
	機房機房	SHAFT	供風機房淨高	

### 地面層配置

圖2 機房需求表與相關機房配置



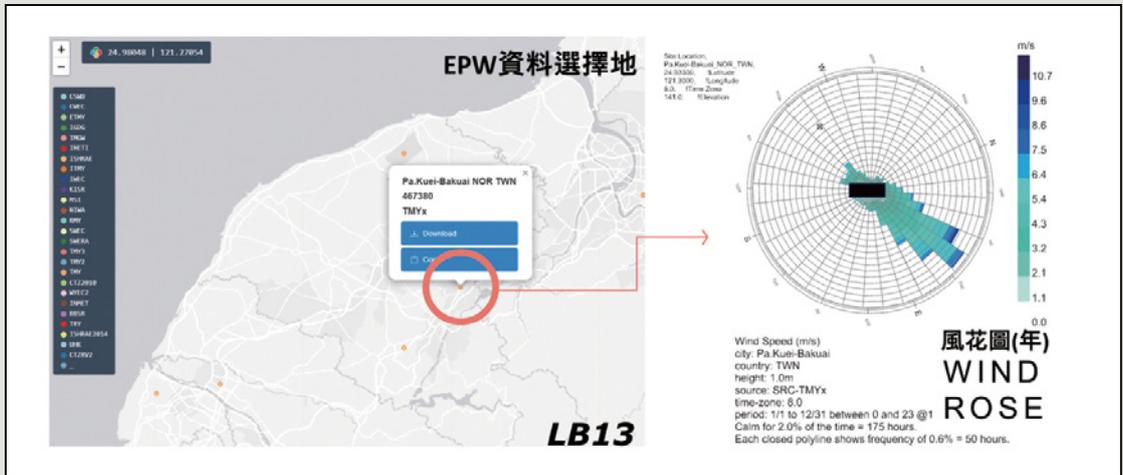


圖5 基地氣象資料（EPW）收集與環境年均風花圖



圖6 基地環境月均風花圖

(二) 第二階段：AI輔助設計與建立「概念模型」（Concept Model）

利用AI技術和Grasshopper進行基本模型優化，為LB13站帶來了獨特皮層設計。根據「生態共融」核心理念，融合基地周邊自然環境與

都市風貌，並特別強調與生態公園的連結，塑造多種曲線屋頂。透過這些曲線來表達埤塘水波紋理，實現與周邊自然景觀和諧共存，如圖7所示。

將手繪概念轉化至電腦模型，利用Rhino

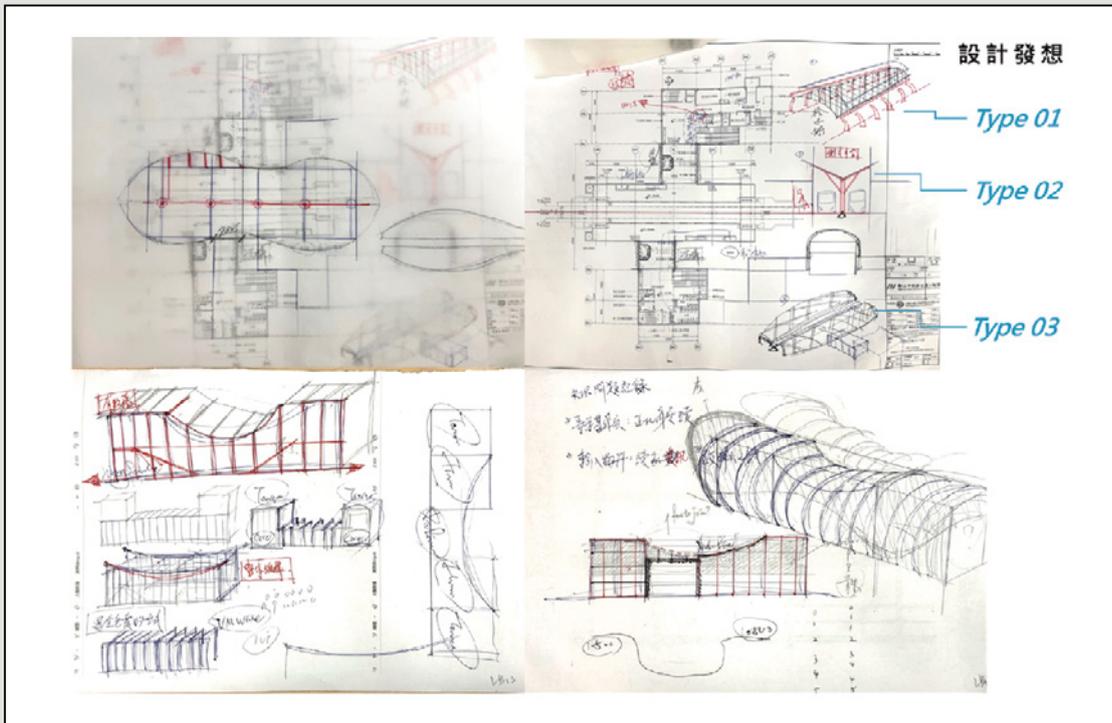


圖7 LB13車站設計發展草案

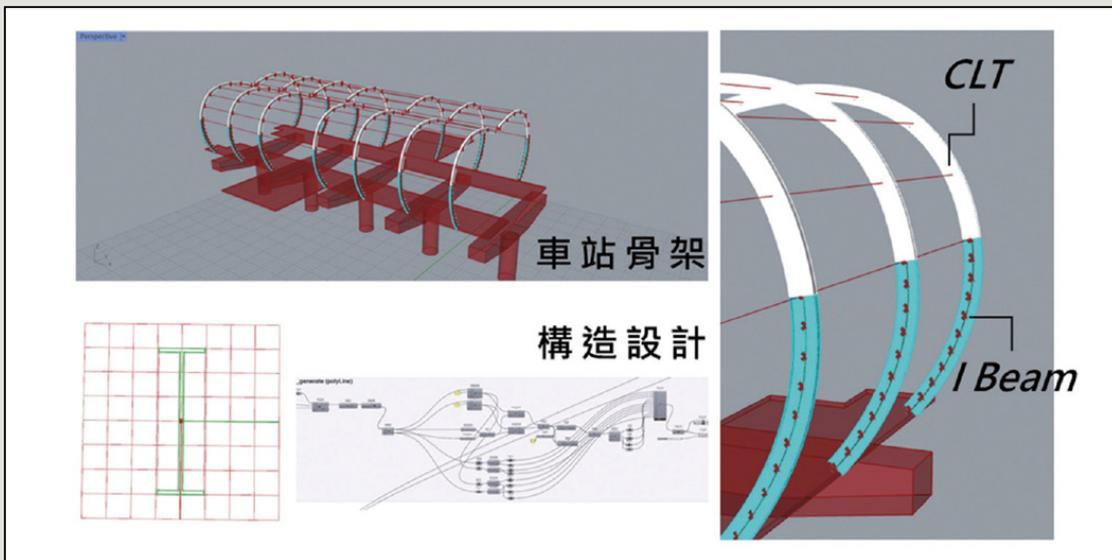


圖8 車站基礎模型(Basic Model)

參數化設計功能Grasshopper，在「基本模型」(Basic Model)上建立車站骨架，並且先設定使用集成材(CLT)與鋼構的材料結合，並且配合穿堂層配置，將構造平均分配在月台左右兩側，並同時避開連通道與人流動線，如圖8所示。

在第二階段的AI輔助設計過程中，從報告書萃取出關鍵詞：「木頭」、「鋼構」、「流線」、「律動」、「通透」，以契合基地的生態環境，也為後續的電腦算圖生成提供明確方向，如圖9所示。

### LB13高快車站設計理念

本車站設計以「生態共融」為核心，融合城市和平原周圍自然環境與都市風貌，特別呼應鄰近的大滄埭濕地生態公園，創造出一座與環境和諧共存的現代化交通樞紐。

車站造型採用流線型設計，靈動的輪廓靈感源自大滄埭塘的水波紋理，有效減輕了視覺衝擊，與周邊自然景觀完美融合。結構上新穎地採用鋼構與交叉層木架(CLT)相結合的方式，CLT作為一種新型綠色建材，具有極佳抗彎性能與優良的保溫隔熱特性，不僅增強了建築的堅固性，還大幅提高了能源效率。木構元素的大膽應用不僅增強了溫暖感，也呼應了周邊的自然生態，彰顯了對可持續發展的堅持。

站體設計秉承開放性和通透性原則，不僅減輕了建築的體積感，還為乘客提供了良好的視野，使其能夠欣賞周邊的自然景觀，同時有效控制室內溫度。這種設計也便於乘客快速辨識方向，提高了站內的通行效率。

屋頂採用高反射率的金屬發板，其波浪形狀不僅與整體造型相呼應，還能有效排水、反射陽光並提供遮蔭，降低建築物熱島效應。再結合設計覆蓋全長月台，在保護乘客免受風雨侵襲的同時，也充分考慮了自然通風，創造舒適的候車環境。

車站外部和高架橋下方將進行景觀綠化，選用耐旱、低維護的當地原生植物，不僅美化環境，也為城市增添綠意。這些植栽不僅能軟化建築結構的視覺感受，還能營造出與大滄埭濕地生態公園呼應的自然美景，提供生物棲息地，增加城市生物多樣性。

整體設計遵循設計要求的輕量化、簡約化原則，色彩選擇溫和協調，既現代又不失與自然的連結。LB13車站不僅是一個交通設施，更成為連接城市與自然的綠色橋樑，為乘客提供一個舒適、安全且富有美感的公共空間，同時也成為城市可持續發展的典範和新地標。

prompt

→ 木頭 鋼構 流線 律動 通透

圖9 AI圖像生成關鍵詞 (Prompt)

選擇Stable Diffusion Web UI (SD) 作為AI圖像生成工具。SD是一種基於「擴散模型」(Diffusion Models) 的開源圖像生成AI，通過去噪過程來生成圖像，同時能加入文字描述或其他條件來引導生成特定內容。為確保電腦能夠準確理解和生成捷運站設計，利用SD的ControlNet外掛工具辨識圖像的特性，藉ControlNet分析照片中的深度、輪廓等信息，搭配上使用者的描述，使電腦逐漸「認知」到車站的特徵，此過程提高了生成結果的相關性和實用性。AI生成圖像的主要優勢，在於能夠快速產出大量的設計方案。通過AI，工程師能在短時間內生成數種方案，豐富了設計的靈感來源，如圖10所示。

AI生成圖像過程中，會需要不斷調整和優化各種參數，例如：提示詞的精確度、圖像的分辨率、生成的步數等。每次調整後，都需仔細評估結果、分析優缺點，進行下一輪優化。在這個過程中，每一次迭代都帶來了新的改進，如圖11所示。

AI輔助設計過程中，大量嘗試不同參數組合和提示詞設置，直到找到最能體現「生態共融」理念，同時又契合車站相關功能需求的設計方案。通過反覆迭代和優化的過程，最終得到了一系列富有創意且切實可行的設計概念，體現了「埤塘水波」的自然韻律，在材料上對應到了木頭、鋼構、通透的特性，並兼顧車站的功能需

## Generation Process



方案  
選擇

圖10 電腦算圖產出之設計方案



圖11 車站造型方案優化記錄過程

求，使車站設計能夠探索在傳統方法中，難以觸及的設計可能性，如圖12、圖13所示。

(三) 第三階段：概念模型「合理化」形成「設計模型」(Design Model)

將二維圖像轉化為三維空間：「合理化」不僅是概念的簡單調整，更是一個將抽象想法轉化為可被執行的過程，需深入考慮材料、結構、及工程中遇到的各種實際問題。利用Grasshopper的參數化設計功能，進行以下幾點設計考量：



圖12 車站「概念模型」(Concept Model) - 1

## Final Concept Model



圖13 車站「概念模型」(Concept Model) -2

1. 結構可行性評估：使用Grasshopper，對概念模型進行初步的結構評估。根據分析結果，調整屋頂曲線和支撐結構，確保設計的結構穩定性，如圖14所示。
2. 材料選擇優化：根據前期設定的集成材（CLT）與鋼構結合的構造方案，進一步細化材料使用，例如：在曲線較為複雜區域，採用靈活的鋼結構；而在平直部分，則更多地使用CLT，以平衡美觀和經濟性，如圖15所示。
3. 功能需求整合：重新審視車站功能需求，確保美學設計不影響實用性，例如：調整屋頂形態，以優化自然採光和符合防飄雨效能，如圖16所示。

## 車站屋頂設計

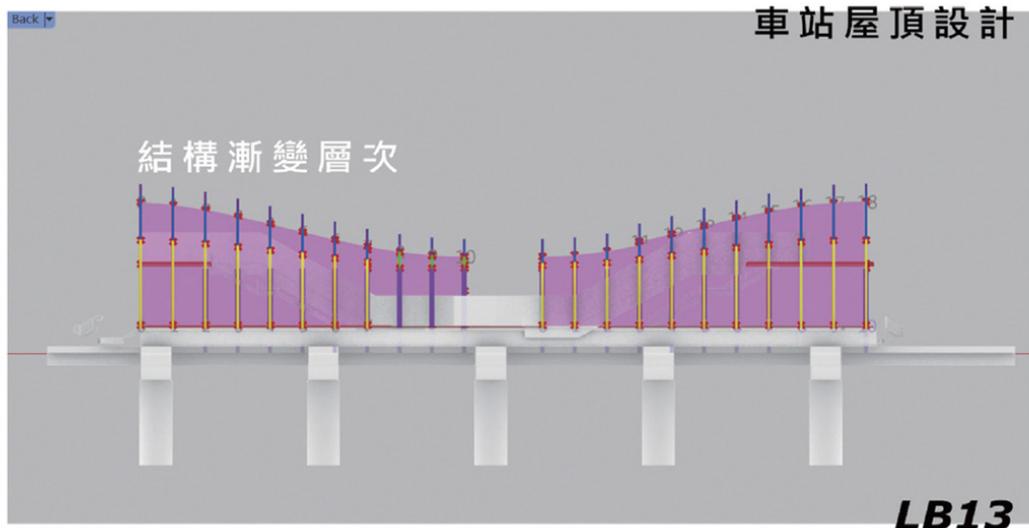


圖14 將概念模型之屋頂造型進行「合理化」屋頂結構設計

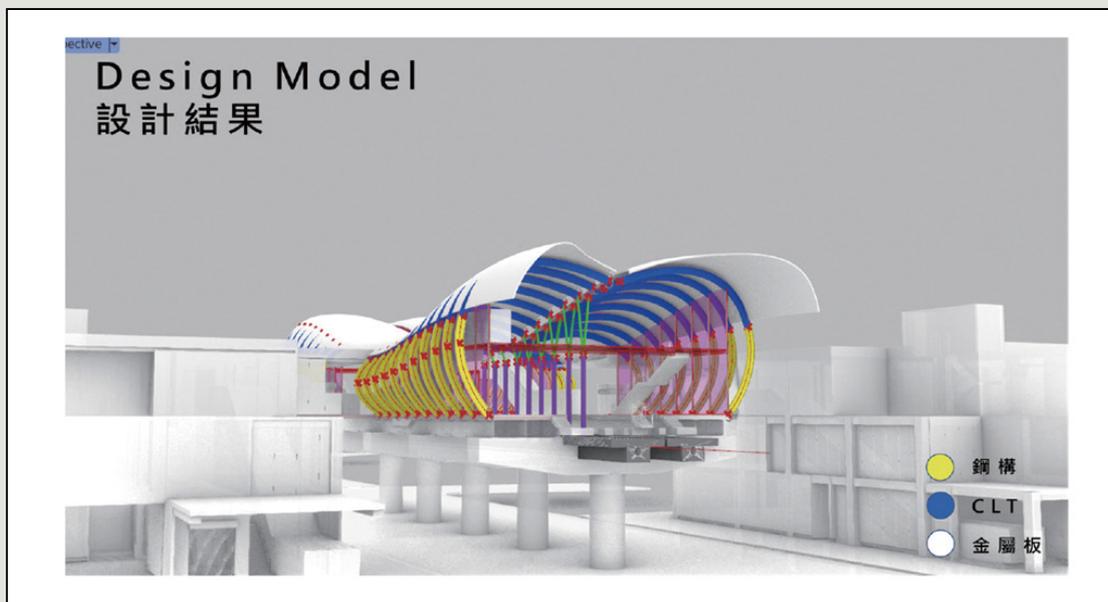


圖15 車站結構材質布局

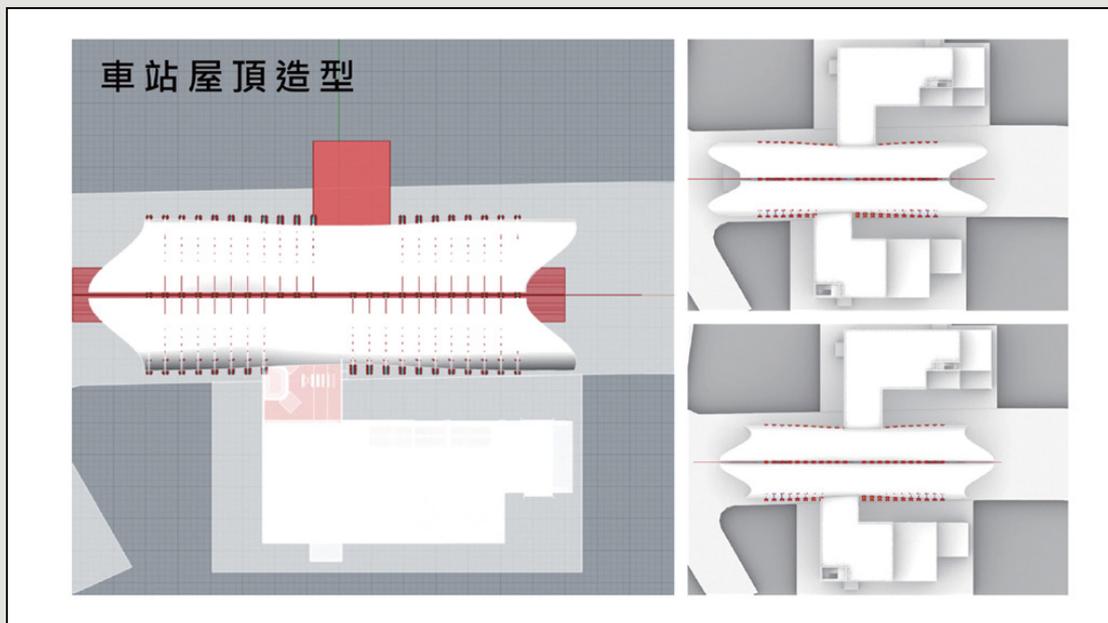


圖16 參數化調整車站屋頂型態

4. 建造可行性評估：考慮施工難度和成本因素，必要時簡化某些過於複雜的設計元素，並利用Grasshopper快速生成和評估多個簡化方案。
5. 環境性能模擬：使用環境模擬工具（如：Ladybug、Honeybee）評估模型能源效

率、自然通風效果，並據此進行優化。

另，Python對於一些複雜的幾何形態或特殊的結構需求，編寫了自定義的Python腳本，這些腳本不僅用於處理難以實現的幾何運算，還用於生成一些特有的、但尚未有現成的rfa，如圖17所示。

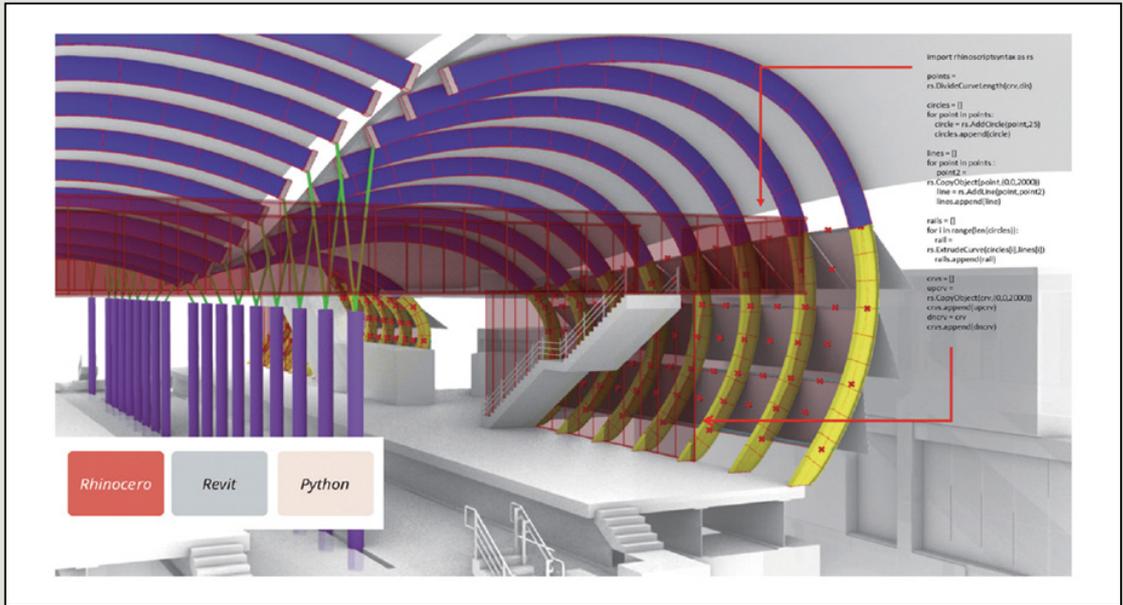


圖17 Python 編寫自動化扶手元件

通過「合理化」過程，將富有想像力的概念模型轉化為實用的車站「設計模型」，這個模型不僅體現了原始設計的創意精神，還充分考慮了建造的可行性和長期使用的實用性，如圖18所示。

(四) 第四階段：完成「建築資訊模型」(BIM Model)

使用RIR，將Rhino/Grasshopper中的幾何模型精確地轉換到Revit中，並為模型各個元素，指定詳細的材料資訊。透過RIR建立Grasshopper和Revit之間的參數連接，使得在Grasshopper中的設計更改，可以即時反映在Revit模型中，並且利用Revit的功能生成完整的車站圖紙和明細表，如圖19、圖20、圖21所示。

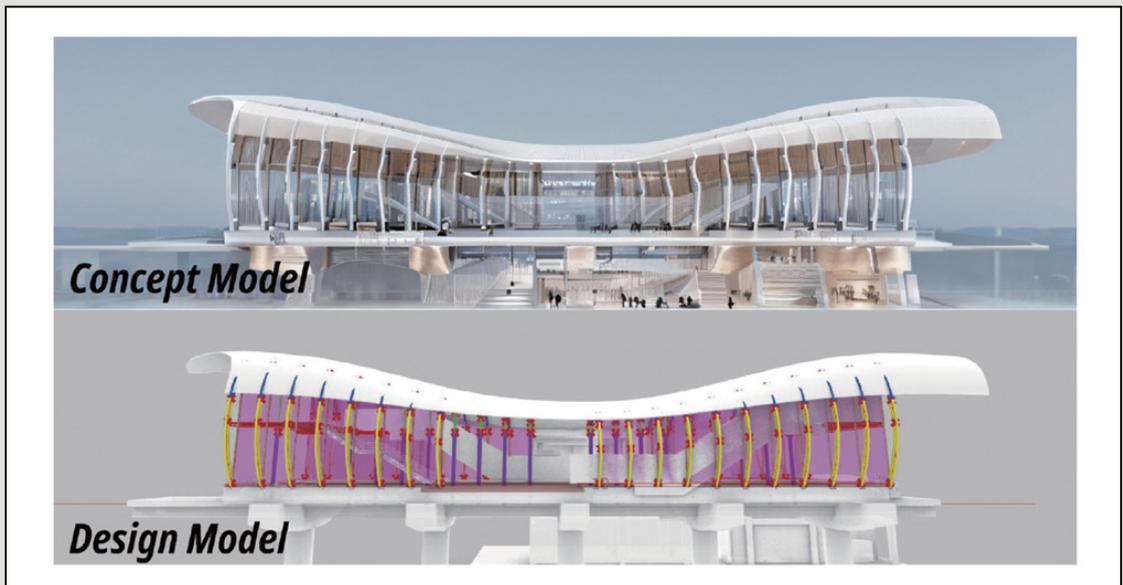


圖18 車站設計模型與概念模型前後比對

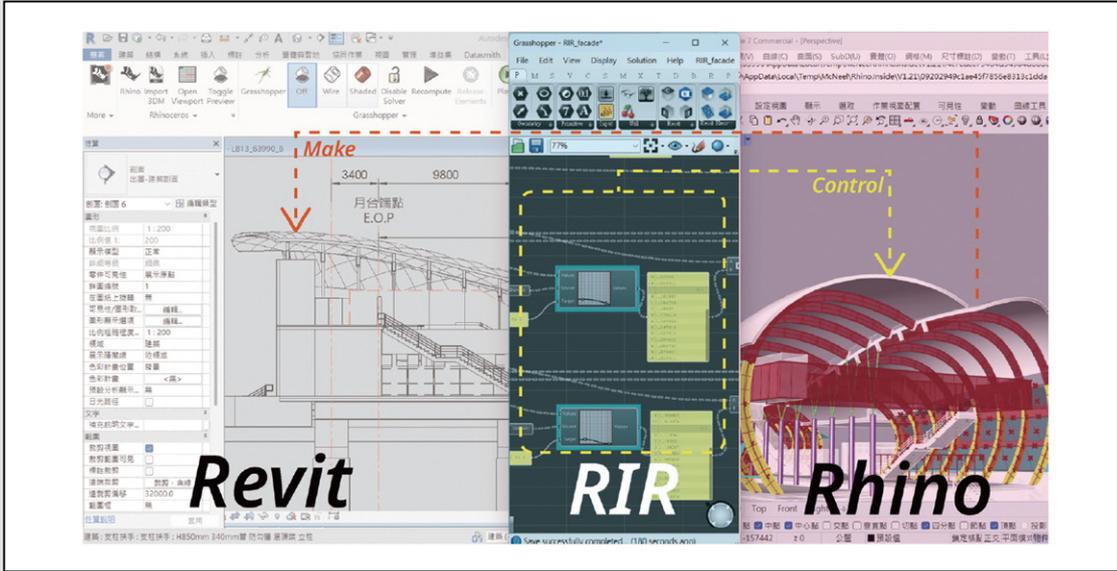


圖19 參數化調整車站模型及時連動圖面呈現

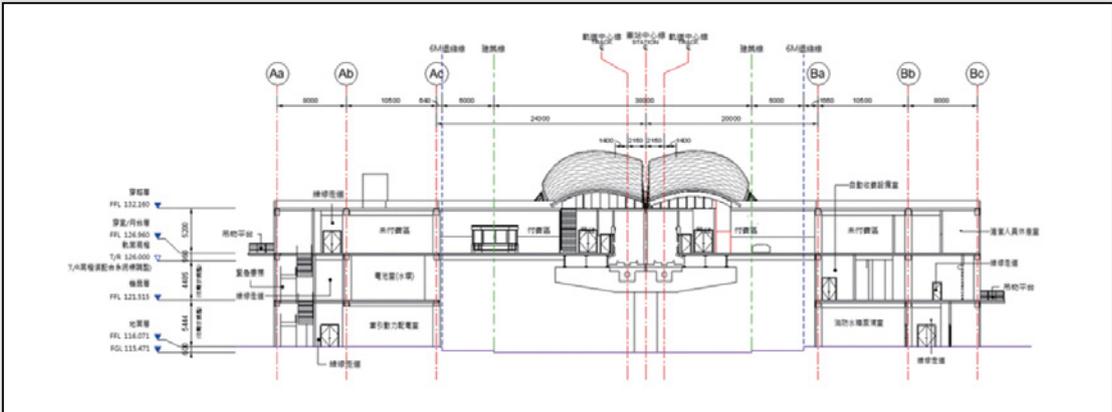


圖20 車站剖面圖呈現

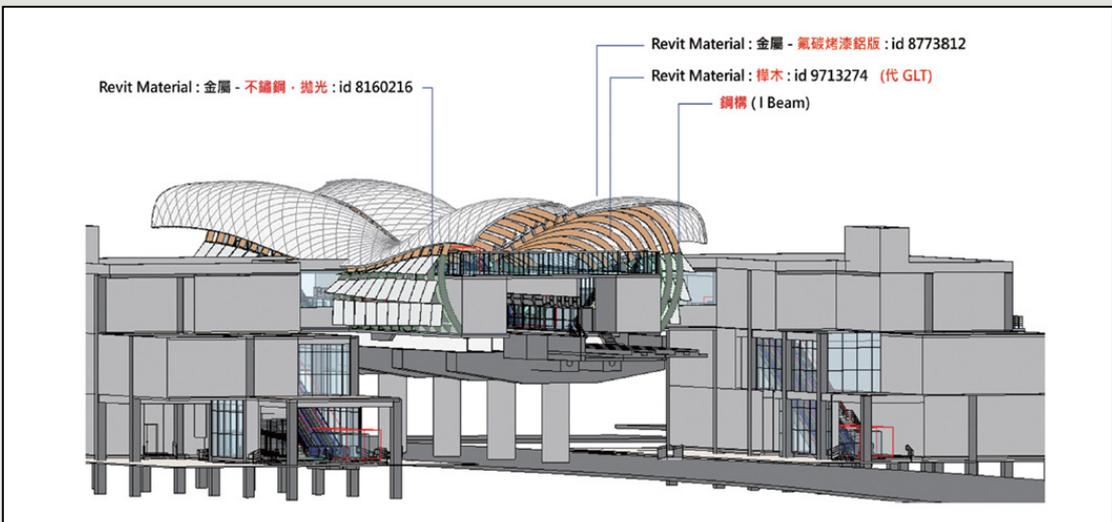


圖21 LB13車站BIM模型

### (五) 小結

本案結合了參數化設計、AI輔助創意和BIM技術，為傳統設計流程注入了新的創意源泉，縮短了設計周期、優化設計性能表現，並為各專業間協作提供了統一的平台，提高整體協調性，及能夠靈活應對後期可能出現的變更需求。

然而，這種方法也面臨一些挑戰：使用者須具備跨領域的技能，以及在保持設計意圖的同時確保現實工程環境中的可行性。更多AI和參數化技術在複雜工程項目中的應用，也將進一步推動捷運車站設計的創新和效率提升。

## 二、生成式AI輔助編寫自動化程式

這是將原有自動化程式藉由生成式語言模型修正更新的操作。在捷運車站的基本設計報告書中，有一個篇章是針對各站的運量進行分析計算，各站的說明及評估流程在報告書說明的格式相似，唯二的差異是各車站的運量，及是否為與其他路線轉乘的交會站。在前一版的自動化程式時，考量當時執行的專案路線均為一般車站，所以輔助自動化產生報告書的程式，僅針對單一類型的車站來編寫，並考量編寫程式者的能力，在資料輸入及輸入資訊的運用與計算，都採用相對粗淺且簡單的直述法。而此次面對新的專案時，考量未來使用的擴展性及彈性，希望在輔助生成報告書的程式中，提供可藉由輸入表格的方式將全線車站資料導入，並可依據導入資料自動判斷車站類型，進而產生設計參考資訊及基本設計報告書，並可據以畫出捷運車站轉乘運量泡泡示意圖，如圖22。此次搭配測試的生成式語言模型，為便於取得且免費使用的「Copilot」的網頁版，生成與修正時間約為五個工作天。以下說明生成式語言的概念及相關執行流程與成果。

在本專案中，利用生成式AI的輔助，編寫

了一個Python程式，主要針對捷運車站運量表進行分析，並產生相關計算成果，以完成各車站的設計報告書。專案的核心挑戰在於如何根據運量表中的轉乘資訊來判斷車站類型（一般站或轉乘站），以便生成不同內容的報告書。以下是對整個專案的案例分析，詳細說明了生成式AI在這一過程中的應用與成效。

### (一) 初始提問與基礎解決方案

專案開始時，提出了關於如何在Python中根據不同車站類型生成不同報告段落的基本問題。生成式AI理解此需求後，提供了一個初步的解決方案，包括：基本的程式架構和必要的函數設計。在這一階段，要求生成式AI採用物件導向的方式來設計程式架構，以便未來能夠根據需求持續修正和擴展功能。生成式AI建議使用類別來定義車站的屬性和方法，將車輛區分為轉乘站與一般站，如圖23。

這樣的設計不僅提高了程式碼的可讀性，也使得後續功能擴展變得更加簡單和直觀。物件導向方法提供了清晰的結構，使得每個車站都能夠獨立處理其屬性和行為，從而提高了代碼的模組化程度。

### (二) 多行段落與詳細說明

在專案後期，要求在報告段落中加入多行文字，並提供具體的測試文字以確認文字放置的位置。生成式AI不僅能夠生成多行段落，還能根據具體要求添加測試文字，並詳細解釋每個步驟的邏輯和實現方法。這種清晰的溝通能力促進了對代碼背後邏輯的理解，也提升了對Python編程語言的深入學習，例如：在報告中加入多行描述，如圖24。

這樣不僅使報告內容更為豐富，也提升了報告的可讀性。此外，透過使用格式化字符

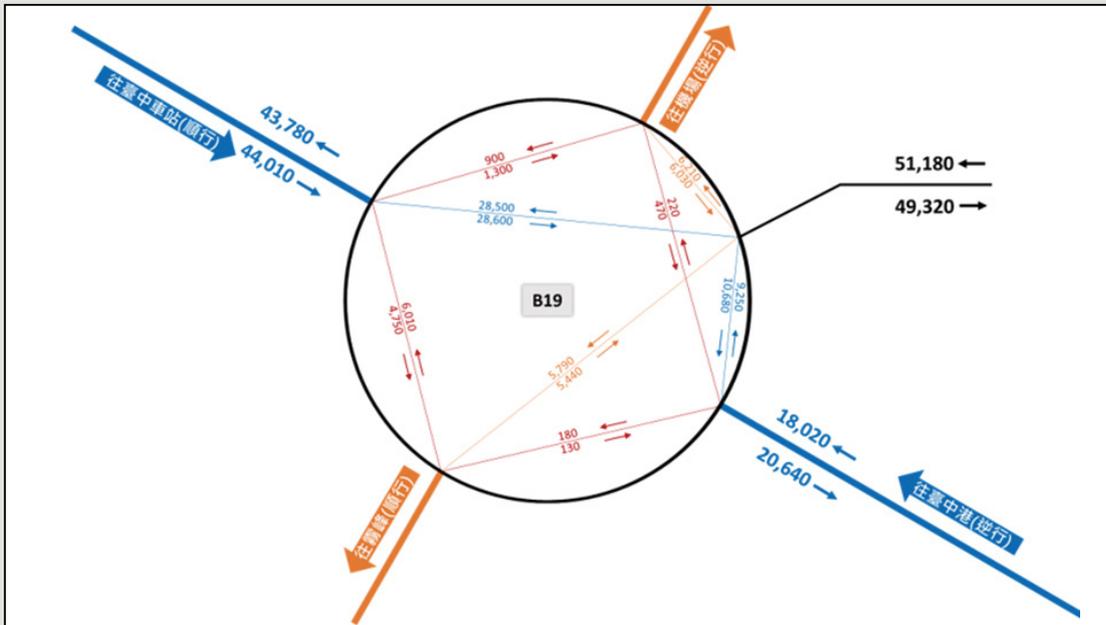


圖22 捷運車站轉乘運量泡泡示意圖

```
class Station:
    def __init__(self, name, volume, transfer_info):
        self.name = name
        self.volume = volume
        self.transfer_info = transfer_info

    def is_transfer_station(self):
        return self.transfer_info.lower() == 'yes'

    def generate_report(self):
        if self.is_transfer_station():
            return f"{self.name} 是轉乘站，運量為 {self.volume}。"
        else:
            return f"{self.name} 是一般站，運量為 {self.volume}。"
```

圖23 於類別中區分車站為轉乘站與一般站

```
def generate_detailed_report(station):
    report = f"車站名稱: {station.name}\n"
    report += f"運量: {station.volume}\n"
    report += "此車站是轉乘站。" if station.is_transfer_station() else "此車站是  
一般站。"
    return report
```

圖24 於程式中加上可自行擴充的文字欄位

串，可以輕鬆地調整報告內容，以滿足不同格式要求。

### (三) 需求變更與靈活應對

隨著專案的進展，需求發生了變更，例如：希望將輸入資料從手動輸入改為從CSV檔案讀取，並將輸出結果從文字檔案改為Word檔

案。面對這些新需求，生成式AI靈活地調整了程式碼，提供了相應的讀取和寫入功能。生成式AI協助添加了CSV檔案讀取功能，讓後續的使用者可以於各式明細表軟體中編輯車站運量資訊，再轉成CSV的格式後，便可以此程式進行分析，並使用`pandas`庫進行數據處理，如圖25，圖26。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O													
1	運出站放次量				轉乘放次量				總計				站量運量															
2	在內湖運站		在內湖出站		往臺北運站		往臺北出站		在內湖轉運		在內湖轉出		往臺北轉運		往臺北轉出		後置運站		後置出站		轉乘運站		轉乘出站		東行		西行	
3	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O													
4	SB01	1390	0	0	990	-	-	-	-	1390	990	-	-	1390	990													
5	SB02	770	30	10	490	4300	570	370	2780	780	520	4670	3350	5860	3880													
6	SB03	750	170	80	520	6000	780	410	4950	830	690	6410	5730	11660	8860													
7	SB04	710	2840	1140	460	-	-	-	-	1850	3300	-	-	9530	8180													
8	SB05	440	970	970	330	-	-	-	-	1410	1300	-	-	9000	7540													
9	SB06	760	1460	1350	580	-	-	-	-	2110	2040	-	-	8300	6770													
10	SB07	210	1460	700	140	1680	680	590	1980	910	1600	2270	2660	8050	7600													
11	SB08	600	2310	2990	540	-	-	-	-	3590	2850	-	-	6340	5150													
12	SB09	180	1040	540	450	-	-	-	-	720	1490	-	-	5480	5060													

圖25 具有開放式的CSV運量表格

```
import pandas as pd

def load_stations_from_csv(file_path):
    df = pd.read_csv(file_path)
    stations = []
    for _, row in df.iterrows():
        station = Station(row['Name'], row['Volume'], row['Transfer'])
        stations.append(station)
    return stations
```

圖26 於程式組中加上導入CSV檔案的方式

```
from docx import Document

def generate_word_report(stations, output_file):
    doc = Document()
    for station in stations:
        doc.add_paragraph(station.generate_report())
    doc.save(output_file)
```

圖27 於程式組中加上匯出至WORD檔案的方式

這段代碼有效地將CSV檔案中的數據轉換為`Station`物件列表，使得後續處理變得更加方便。同時，也要求協助將結果輸出至Word檔案，以更方便地製作報告，如圖27。

這一過程展示了AI的高度適應性，使得能夠迅速應對變化，而不必從頭開始編寫代碼。透過這種方式，不僅提升了開發效率，也確保了最終報告格式的一致性。

#### (四) 持續改進與最終成果

整個專案過程中，生成式AI根據反饋不斷進行調整和優化。在每次測試後，都會將結果反饋給AI，並請求進一步改進。最終獲得了符合預期效果的報告書格式和內容。這種持續改進的能力，使得生成式AI能夠提供越來越精確和滿意的解決方案，最終達成了專案目標。

#### (五) 成果展示與評估

最終所產出的報告書不僅涵蓋了各車站的基本資訊，如：名稱、運量及其類型（一般站或轉乘站），還包括了針對每個車站特性的詳細描述。這些報告不僅滿足了技術需求，也在視覺上呈現出良好的排版效果，使得閱讀者能夠快速抓住重點信息。

### 三、小結

生成式語言輔助編寫Python是一種具有廣泛應用前景的新興技術。在本專案中，物件導向設計不僅提升了程式碼的可維護性，也使得能夠靈活應對需求變更。而透過使用生成式AI，不僅提高了開發效率，更促進了使用者對Python語言的理解與運用，而未來可更進一步藉由生成式AI輔助，將設計成果導入設計軟體中，協助進行設計流程中的協調與確認，讓完整度及資訊關聯性更加全面。

## 結論

隨著生成式AI技術的迅速發展，捷運車站設計的未來充滿了無限的可能性。這一技術不僅能夠提升設計效率，還能促進創新，讓工程師在面對複雜需求時，擁有更多靈活的解決方案。

### 一、未來的想像

#### (一) 智能化設計流程

隨著生成式AI的進一步成熟，捷運車站的設計流程將變得更加智能化。工程師可以利用AI自動生成多種設計方案，並根據實際需求進行快速調整。這種智能化的設計流程不僅能夠提高工作效率，還能促使設計更具創造性。

#### (二) 使用者導向

隨著數據分析技術的進步，未來的捷運車站設計將更加注重使用者的經驗累積。生成式AI能夠協助工程師更全面的考量乘客的需求和行為模式，提供更完整的設計方案。

#### (三) 可持續發展

在全球對可持續發展日益重視的背景下，生成式AI也能夠幫助捷運車站設計更環保。通過模擬不同材料和建築方法對環境影響的評估，AI可以協助設計師選擇最佳方案，以降低碳足跡和資源消耗。

### 二、可能面對的挑戰

然而，隨著這些機會而來的，要運用生成式AI協助設計工作進行也有不少挑戰需要克服：

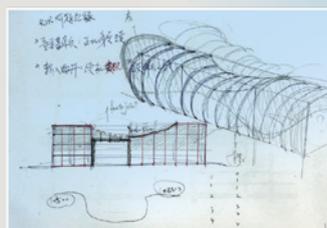
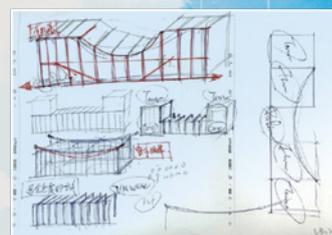
### (一) 數據隱私與安全

在使用生成式AI時，大量數據的收集和處理不可避免地涉及到個人隱私問題。如何在確保數據安全和使用者的隱私之間取得平衡，是未來必須面對的重要挑戰。

### (二) 技術接受度

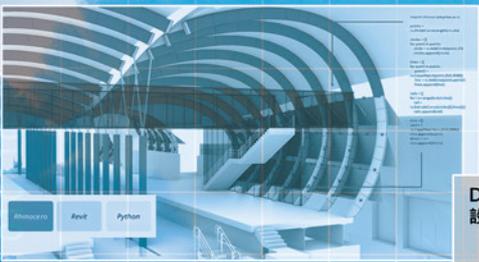
設計師和相關專業人士對新技術的接受程度可能會影響生成式AI的實施效果。一些傳統觀念可能會阻礙技術的推廣，因此需要加強教育與培訓，以幫助專業人士理解並掌握這一新興技術。

總而言之，由自動化走向生成式AI是捷運車站設計的一次重大變革，它不僅提升設計效率，更為創新提供了新的動力。面對未來，我們需要積極應對各種挑戰，以確保這一技術能夠真正服務於社會、環境與經濟發展。透過持續探索與合作，期望在未來實現更智慧、更人性化的捷運系統設計。





0101101011000101  
010110101101011000  
010110101101011010  
010110101101011010



+ Revit

+ Rhino

+ Python

+ Grasshopper

3

專題報導

# 運用AI預測模型 優化空調能耗

**關鍵詞(Key Words)：**大型建築空間(Large-Scale Building)、節能控制算法(Energy-Saving Control Algorithms)、供暖通風和空調系統(Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) Systems)、多元迴歸模型(Multiple Linear Regression)、人工神經網絡(Artificial Neural Networks)、長短期記憶網絡(Long Short-Term Memory (LSTM))、室內溫度預測(Indoor Temperature Prediction)、差分進化算法(Differential Evolution Algorithms)、能源節約(Energy Consumption)

國立臺灣科技大學/工管系/特聘教授/王孔政 (Wang, Kung-Jeng) ①

國立臺灣科技大學/工管系/研究生/陳璽安 (Chen, Hsi-An) ②

國立臺灣科技大學/工管系/研究生/Le Phuong Thao ③

Can Tho University/工管系/系主任暨資深講師/Nguyen Hong Phuc ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司/機械部/工程師/張平興 (Chang, Ping-Hsing) ⑤

台灣世曦工程顧問股份有限公司/機械部/經理/陳聖堯 (Chen, Shang-Yao) ⑥

台灣世曦工程顧問股份有限公司/機械部/資深協理/施亮輝 (Shih, Liang-Hui) ⑦



## 摘要

大型建築被視為是耗能高的建築類別，如何提升空調系統能效達到節能目的對於大型建築相當重要。本研究旨在開發應用於大型建築空間的智能節能控制算法，以降低供暖、通風和空調系統（HVAC: heating, ventilation and air conditioning）的能源消耗，同時保障旅客的舒適度。HVAC系統約佔建築總能耗的30%至40%，尤其在機場航廈這類全天候運營的設施中，其節能需求尤為關鍵。本研究以某國際機場航廈候機室為研究案例，開發節能控制演算法，提出數學最佳化模型，目標在維持旅客舒適的室內溫度的同時，達到最小化能源消耗，其中閥門開度是決策變數，以實現對HVAC設施的智慧調度。本研究比較「可解釋性較強的傳統統計模型（如多元回歸模型）」與「深度學習技術（如長短期記憶網絡）」，以預測室內溫度，並發展差分進化算法，對空調系統的控制閥門開度進行最佳化調整，達成節能效果。此外，本研究亦結合外部開放數據，提高模型的預測準確度。透過數據分析與最佳化能源管理技術，從實驗數據顯示，可有效降低能源成本。



## Optimize HVAC Energy Usage with AI Prediction Model

### Abstract

Large-scale buildings are considered to be the most energy-intensive building category, and it is important to improve the energy efficiency of their air-conditioning systems. This research aims to develop an intelligent energy-saving control algorithm applied to large-scale building spaces to reduce heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems while ensuring passenger comfort. Taking airport terminals as a case study, this study considers that HVAC systems account for about 30% to 40% of a building's total energy consumption, especially in facilities such as airport terminals that operate around the clock. In this study, we developed a smart energy-saving control algorithm and corresponding mathematical optimization model for each waiting room, with the goal of minimizing energy consumption while maintaining a comfortable indoor temperature for passengers, and valve opening as decision-making variables. In this study, traditional statistical models (such as multiple regression models) and deep learning techniques (such as long short-term memory networks) were compared to predict the trend of indoor temperature, and the control valve opening of the air-conditioning system was optimized and adjusted through the differential evolution algorithm to achieve energy saving. In addition, this study combined with external open data to explore ways to improve the prediction accuracy of the model. Experimental data show that this study can effectively reduce energy costs through data analysis and optimization of energy management systems.

3

專題報導

## 壹、背景

商業建築的節能碳排是達到碳中和目標的重要議題之一，機場航廈被認為是耗能最高的商業類別建築物之一。在大型建築物如航站樓中，HVAC（Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC；供暖、通風和空調）系統佔總能耗近30%至40%（Wang等人，2021年）。HVAC系統可以調節室內空氣、改善空氣品質和提供舒適環境。有效控制並減少HVAC系統所產生的能耗，不僅可以降低運營成本，還可以顯著降低溫室氣體排放，利於環境的可持續性，並適度提升系統壽命，減少維護成本。

機場航廈建築由於其功能和運營特性，需要全天候的運作模式，被視為是耗能最高的商業建築類別之一，其中，HVAC系統在滿足室內環境的舒適性方面發揮重要作用，並為主要的能源消耗所在處之一。因此，提升空調系統能效達到節能目的，對於機場航廈相當重要。然而，現有的HVAC系統受限於系統複雜度，未能以最有效的方式運作。因此，本研究利用大數據分析方法和技術，對HVAC系統進行最佳化，以實現更高效的能源利用，減少運營成本的同时亦減少對環境的影響。以期達到以下目標：

### 一、能源效益最大化

機場航廈由於需要全天候的運營，能源消耗與負載極大，尤其反映在HVAC系統，所消耗的成本通常很高。透過大數據技術最佳化能源管理，如能源消耗預測與管理，將可以降低能源浪費、節省能源成本、同時減少環境負擔，對於旅客和業主都很重要。

### 二、舒適度提升

機場航廈的舒適度直接影響旅客的旅遊體驗，期望在使用環境中能享有良好的舒適度，

包括室內空氣品質、適當的溫度。透過大數據分析，動態調整系統確保區域內的溫度和空氣品質，以有助於提升機場整體服務品質。

### 三、智能調度與自動化管理

通過整合HVAC系統上的感知元件與管理控制系統資訊，開發節能控制算法，期望實現對空調和其他建築設施的智能調度。這種自動化方式可以根據實時數據和預建立的預測模型自動調整設備運行，有效應對突發事件和非計畫性活動，保證系統運行的最佳化，以應對建築的使用情況。

## 貳、文獻回顧

在進行機場航站樓中HVAC系統的能源消耗優化至關重要，不僅可以降低運營成本，還能保持乘客的舒適度。機場航站的HVAC系統的主要目的是維持室內空氣品質和溫度。然而，傳統的比例積分微分（Proportional - Integral - Derivative, PID）控制器常因無法適應動態室內條件而顯得不足，目前學術界已經開發出若干先進方法來優化暖通空調的能源消耗。

這些方法包括結合使用支持向量回歸（Support Vector Regression, SVR）和遺傳演算法（Genetic Algorithm, GA）來預測回風溫度，並優化閥門開度和溫度設定點以節省能源。可以全域性優化控制同時管理補充空氣單元（Make-up Air Unit, MAU）和分布式乾式冷卻盤管（Dry Cooling Coil, DCC）單元，以保持穩定性並降低能源使用。當室內溫度低於設定的容忍度時，由MAU加熱盤管負責加熱能力的調控；當溫度超過設定點時，則由DCC冷凝機負責冷卻能力。根據室內熱動力學的即時變化，動態調整MAU的設定點和DCC閥門的開度，這些調整能顯著有效的節約能源和室內溫度的穩定

(Wang et al., 2021)。

另一種沒有加熱組件系統是通風空調系統(Air Conditioning and Mechanical Ventilation System, ACMV)。在ACMV中，空氣處理單元(Air Handling Units, AHU)根據冷卻需求，將混合的外部新鮮空氣與回風調節後送入房間。系統的關鍵功能包括冷水循環和制冷劑循環以進行熱交換。系統利用冷水機將冷水通過蒸發器和AHU的冷卻盤管循環，將循環空氣中的熱量轉移到冷水中。制冷劑迴路包括高壓和低壓側，壓縮機提供壓力以維持連續的制冷劑循環。學者曾開發一個多目標最佳化框架在能源消耗(Energy Consumption, EC)和熱舒適度(Temperature Comfort, TC)之間取得平衡，控制變量包括室內空氣溫度、相對濕度、供氣溫度、氣流率和水流率。並以人工神經網絡模型(Artificial Neural Network, ANN)描述這些變量與EC和TC目標之間的關係，通過使用多目標鯨魚最佳化算法(Multiple-objective Whale Optimization Algorithm, MOWOA)進行優化，實現了最小化能源消耗和最大化熱舒適度之間的平衡(Wang et al., 2022)。

適應性室內溫度控制模型被提出在減少能源消耗的同時，需平衡熱舒適度(TC)和任務表現(Task Performance, TP)。有學者使用PMV-PPD(Predicted Mean Vote - Predicted Percentage of Dissatisfied)模型來估算熱舒適度，考慮個人和環境因素，任務表現模型結合組裝和拆卸任務中的產出率表現來評估整體表現，以及使用ANN來建模能源消耗，根據運行頻率和室內溫度預測能源消耗(Wang et al., 2023)。另使用雙層隨機最佳化模型處理室外和室內溫度的不確定性，通過結合MAU和DCC的建模，以優化HVAC系統的能源使用。該模型分為兩層：上層控制進氣的室外空氣溫度，下層處理室內加熱源。這種方法通過有效處理溫度的不確定性和最小化溫度偏差，達到顯著的能源

節約(Wang et al., 2022)。

學者對機場航站進行的全面能源消耗分析，提出多種節能策略。對於空調系統，建議進行定期維護、安裝高能效比例的空調單元及使用環保冷媒。改進調節和控制、使用節能燈源及定期維護能提高照明系統的效率(Chao et al., 2017)。基於去除二氧化碳的需求控制通風(Demand Control Ventilation, DCV)，根據即時二氧化碳濃度數據調整通風率，維持室內空氣品質的同時，最小化能源消耗。並發展出一個動態室內空氣品質模型，根據使用情況預測室內二氧化碳水平，相應調整通風率，確保最佳的空氣品質和能源使用，實驗結果顯示此方法能顯著節省能源並有效維持室內空氣品質(Li et al., 2010)。

以模型預測控制(Model Predictive Control, MPC)結合R-C(Resistive - Capacitive)網絡模型控制和ANN模擬。有效利用兩種方法的優勢，可優化機場航站的HVAC能源使用，顯示節省5%至18%的能源。模擬結果證明MPC在減少能源消耗和維持熱舒適度方面的有效性，能夠預測並反應建築動態變化(Huang et al., 2014)。此外，機場航站中減少能源消耗和二氧化碳排放的策略包括調整設定溫度、夜間通風和自由冷卻、增加旋轉式熱交換器、從恆量空調系統(Constant Air Volume, CAV)改造為變量空調系統(Variable Air Volume, VAV)、以及用變速泵替換單速或三速泵，這些措施可以快速收回成本並降低電力消耗(Yildiz et al., 2022)。

## 參、模型

### 一、模型架構

本研究提出了一個整數非線性模型，目標是通過最小化能源消耗，決策變數為閥門開

度 (Control Valve Opening, CV)。此外，為了保持乘客的舒適度，模型的另一個優化目標是最小化室內空氣溫度與期望溫度之間的差異。研究架構如圖1所示。為了解決這一問題，本

研究採用預測模型與差分進化 (Differential Evolution, DE) 演算法。預測模型選擇的算法採用長短期記憶 (Long Short-Term Memory, LSTM) 深度學習模型，求解過程詳如圖2。

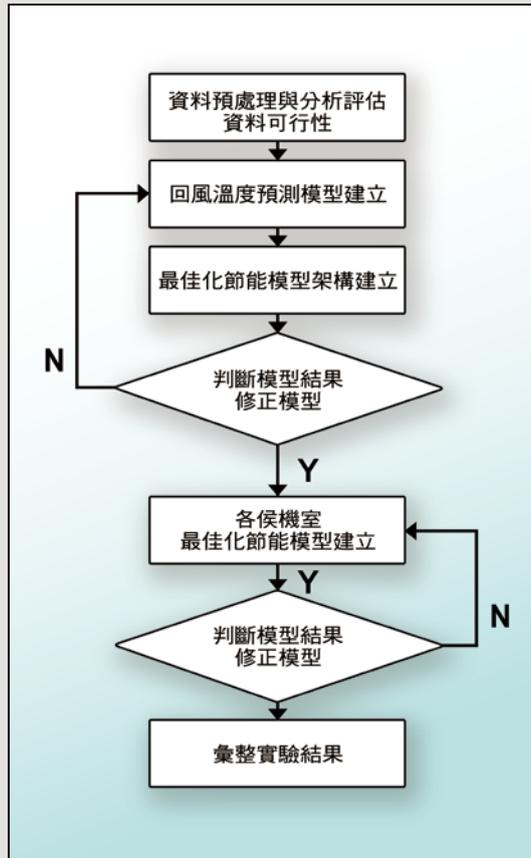


圖1 研究流程

預測模型將基於每個候機室收集的數據來預測下一期的回風溫度 (Return Temperature,  $RT_{t+1}$ )，這些數據包括回風溫度 (RT)、供應空氣溫度 (Supply Air Temperature, ST)、空氣品質 (Air Quality, AQ, 以  $CO_2$  濃度表示)、閥門開度 (Control Valve, CV 以%表示)，以及室外溫度 (Outdoor Temperature, OT)。透過深度學習模型來預測回風溫度，並將預測結果整合到優化目標中。差分進化算法則用於求解非線性最佳化模型，以確定最佳的閥門開度。

## 二、長短期記憶模型

長短期記憶 (Long Short-Term Memory, LSTM) 是一種特殊的遞迴神經網絡 (Recurrent Neural Network, RNN)，專門設計用來解決標準RNN無法處理的長期依賴問題。由於其能夠保留時間序列數據中的長期信息，LSTM成為解決時間序列預測任務的理想選擇。LSTM由記憶單元、輸入門、遺忘門和輸出門構成，這些門

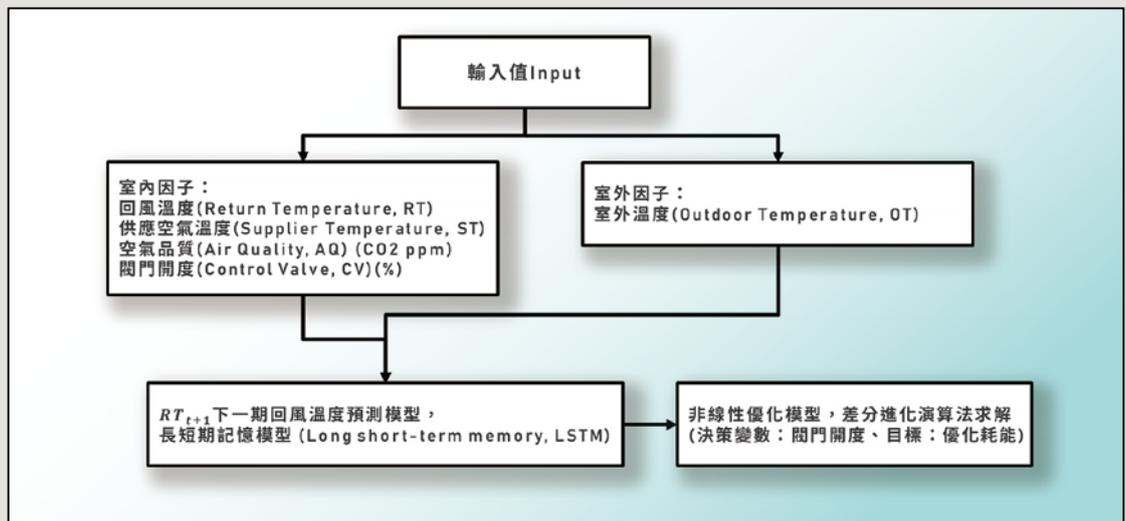


圖2 智能模型求解架構

控機制能夠選擇性地保留或遺忘資訊，從而避免了長時間間隔內的梯度消失問題，這是傳統RNN的一大局限性。

在本研究中，LSTM被用於預測HVAC系統中的回風溫度。由於HVAC系統運行的數據具有顯著的時間依賴性，LSTM能夠有效捕捉到數據中的複雜模式和長期趨勢。具體而言，我們使用LSTM模型來處理包括空氣品質（AQ）、閥門開度（CV）、回風溫度（RT）、供應空氣溫度（ST）以及室外溫度（OT）在內的多維特徵數據，並預測下一時刻的回風溫度（ $RT_{t+1}$ ）架構如圖3。

本研究LSTM模型包括兩層，每層含有50個單元。第一層允許該層輸出每個時間不長的序列信息，以便傳遞給下一層；第二層不再返回序列，僅輸出最終結果。最終的全連接層將LSTM的輸出映射為預測結果。模型訓練過程中使用Adam優化器和均方誤差（Mean Squared Error, MSE）作為損失函數，以每次32個樣本的

批量大小訓練50輪。

LSTM模型的關鍵特點在於其記憶能力，能夠根據時間序列數據的變化自動調整記憶單元中的信息量，進而有效學習長期和短期的數據依賴關係。這使得LSTM不僅能夠捕捉到數據中的即時變化，還能反映更長時間範圍內的趨勢變化。因此，LSTM對於需要處理長期依賴性且具時間連續性的預測問題，如本研究中的HVAC系統溫度預測，具有顯著優勢。

### 三、智能節能控制算法模型

本研究提出一個數學最佳化模型，目標是在維持乘客舒適的室內溫度的同時，最小化能源消耗。最佳化模型的第一項目標是在最小化能源消耗，第二項目標是在最小化室內溫度變化，以減少期望溫度與室內溫度之間的差距，閥門開度則是關鍵的決策變數。所有參數與決策變數定義如表1。

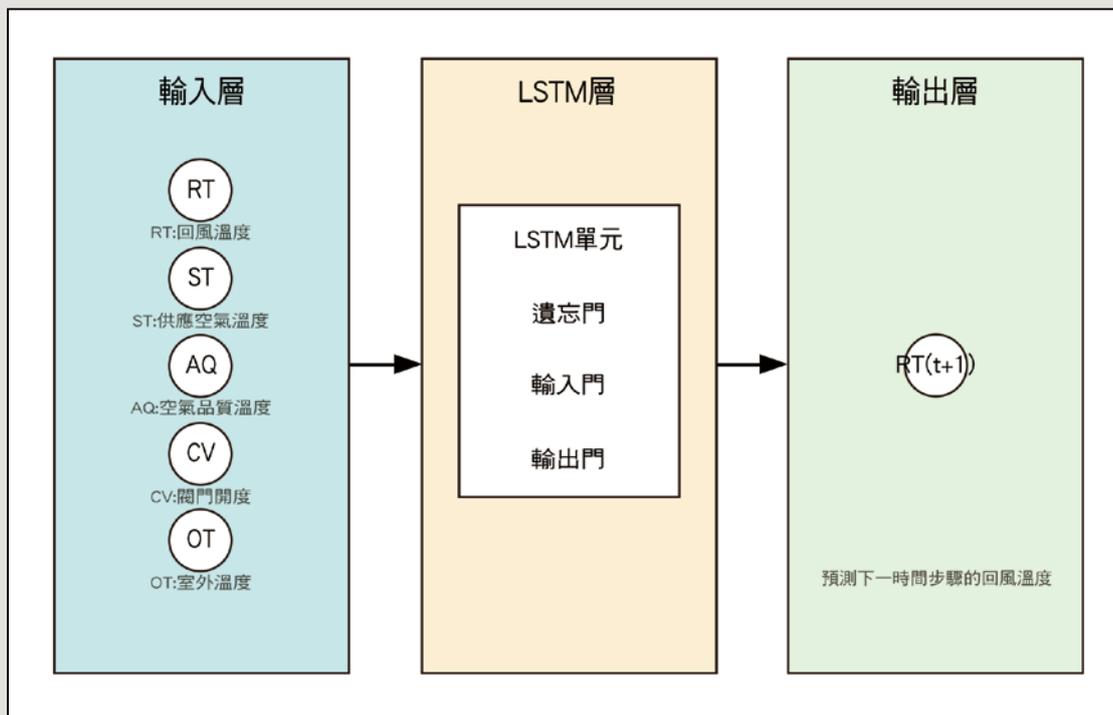


圖3 本研究長短期記憶模型(LSTM)示意圖

表1 參數與決策變數定義

$M$	AHU系統水流量 (m <sup>3</sup> /h)
$cp_2$	空氣比熱容 (kJ/Kg* °C)
$AQ_{t1}$	以二氧化碳水平 (ppm) 來衡量的空氣品質 (下一個十五分鐘)
$ST$	供應空氣溫度(°C)
$OT$	室外空氣溫度(°C)
$CV_t$	等候室目前閥門開度(%)
$RTlb$	回風溫度下界(°C)
$RTub$	回風溫度上界(°C)
$CV_{t1}$	最佳閥門開度(%)
$RT_{t1}$	模型預測之回風溫度(°C)

提出的數學最佳化模型如下：

$$\text{最小化：} \sum_{j=1}^n M cp_2 \left| RT_{t+1} - \frac{RTlb_j + RTub_j}{2} \right|$$

目前，考慮  $j = 1$  由於一個房間只有一個閥門開度

Subject to (限制條件)：

$$M = 2000 * CV_{t1}^2 \quad (1)$$

$$\text{Predicted } RT_{t1} = f (ST, CV_{t1}, AQ_{t1}, OT) \quad (2)$$

$$|CV_{t1} - CV_t| \leq 0.1 \quad (3)$$

$$0 \leq CV_{t1} \leq 1 \quad (4)$$

$$RTlb_j \leq RT_{t1} \leq RTub_j \quad (5)$$

(1) 描述在AHU中冰水的流量與閥門開度的平方呈非線性關係。

(2) 基於供給空氣溫度、當前閥門開度、空氣品質 (CO<sub>2</sub> ppm) 和室外空氣溫度估算候機室的回風溫度。

(3) 限制閥門開度的變化小於10%，以避免閥門開度的劇烈震盪。

(4) CV開度範圍的狀態。

(5) 和 (3) 維持室內溫度在期望範圍內的穩定，以避免過於劇烈。

## 肆、分析與討論

### 一、敘述性統計分析

本研究以某國際機場A5、A6、A7候機室臥式空調系統，進行實驗。各候機室AHU系統運作架構，如圖4。使用之歷史數據，如表2。在將數據導入模型之前本研究先以敘述性統計進行分析，目的為驗證數據品質，並發覺數據間可能之關係，俾作為智能節能控制最佳化建模之基礎。探索不同的數據呈現方式，以提升分析的準確性與效率。其中，機率密度函數圖 (Probability Density Function, PDF) 具備資料分析與識別資料分布方面的顯著優點，將使用於本研究之集中趨勢、偏態、峰度等統計特性分析。

針對每個候機室的數據，繪製機率密度函數圖，包括回風溫度 (RT) 如圖5、供應空氣溫度 (ST) 如圖6、空氣品質 (AQ) (CO<sub>2</sub> ppm) 如圖7、閥門開度 (CV) (Percent, %) 如圖8。

圖5中的三個場域 A5、A6和A7 顯示了回風溫度的分布，呈現近似常態分布趨勢，但集中區域有所差異。A6場域的回風溫度偏向高溫端，集中在26-28度之間，表現出較高的溫度，可能

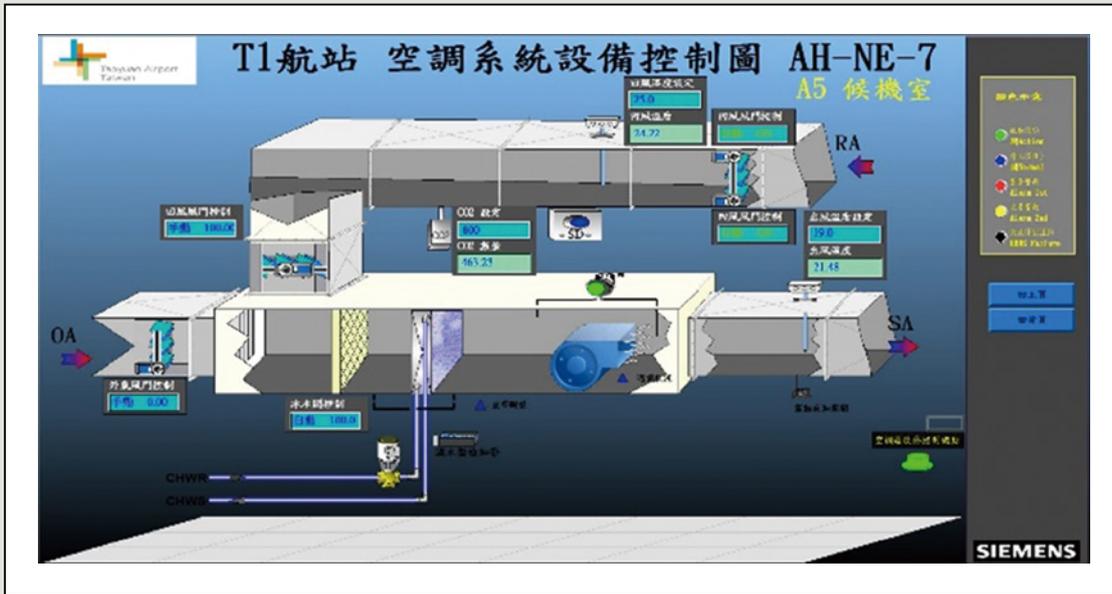


圖4 候機室空調系統設備控制示意

表2 各候機室資料蒐集情況

休息室	紀錄時間	記錄資料筆數
A5	2023/3/2-2024/6/13	45,793
A6	2023/1/9-2024/6/13	46,025
A7	2023/1/12-2024/6/13	45,973

與空調負載或環境條件有關。相對地，A5和A7場域的回風溫度較為集中且對稱，A5的平均回風溫度略高於A7。這些分佈形狀反映出HVAC系統在不同場域的運行差異，並揭示了系統對季節性需求的反應。在夏季，回風溫度上升反映較高的冷氣需求，而在冬季，回風溫度較低，顯示出較少的供暖負荷。

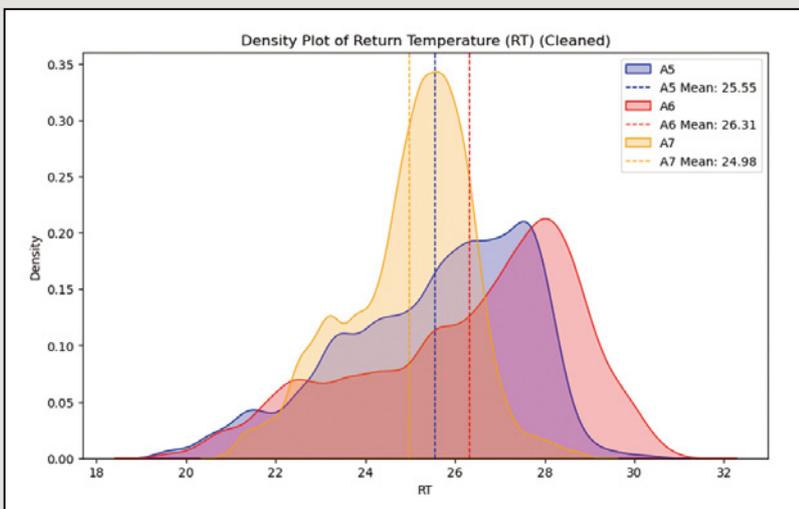


圖5 回風溫度 (Return Temperature, RT) 機率密度函數

圖6顯示供應風溫度 (ST) 的多峰分佈，揭示出不同場域在季節性需求下的變化特徵。A5場域的分佈集中在23.85度，顯示其供應風溫度相對穩定，可能與中等冷卻需求或冬季運行相關。相比之下，A6和A7場域

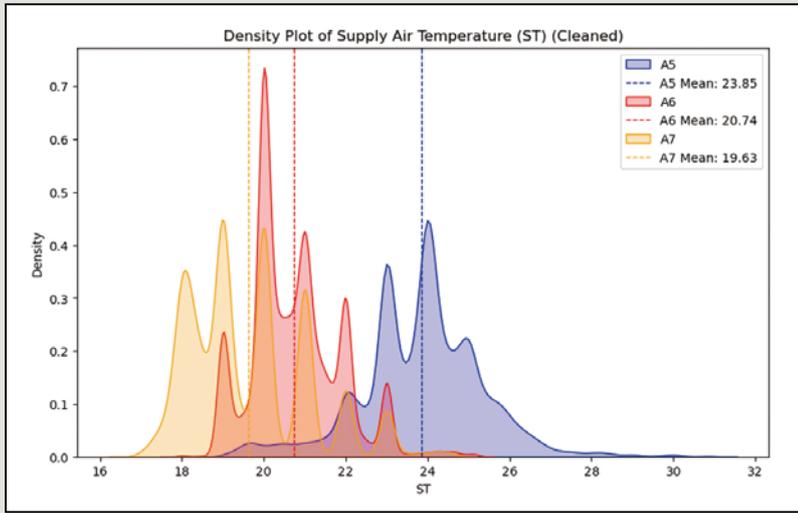


圖6 供應空氣溫度 (Supplier Temperature, ST) 機率密度函數

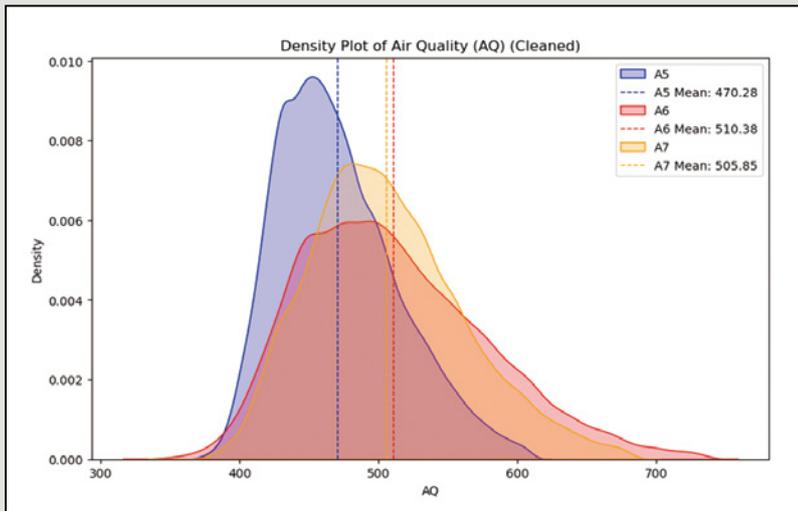


圖7 空氣品質 (Air Quality, AQ) 機率密度函數

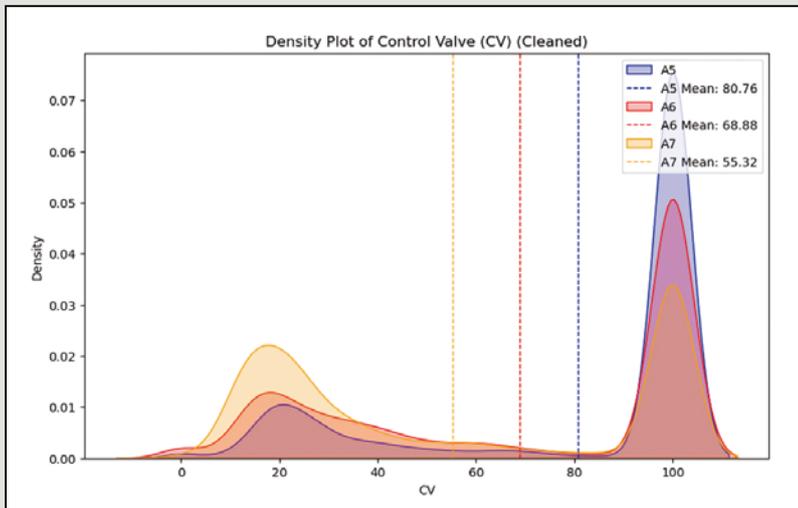


圖8 閥門開度 (Control Valve Opening, CV) 機率密度函數

的多個峰值集中於19~21度，代表較低的供應風溫度，這反映了夏季時高冷卻需求的運行模式。A6和A7的多峰分佈表示冷卻負荷隨時間變化，反映系統對外界環境變化的即時調節。這些分佈差異顯示出HVAC系統根據季節和需求進行動態調節，達到室內舒適度和節能效果的平衡。

圖7顯示三個場域的空氣品質 (AQ) 分佈形狀相對穩定，且趨勢相似。A5場域的AQ分佈較集中，平均值約為470.28，並呈現明顯的峰值，表明該場域的空氣品質控制較穩定。相較之下，A6和A7場域的AQ分佈均向右偏移，平均值分別為510.38和505.85，顯示出較高的AQ讀數。總體來看，這些場域的AQ分佈範圍主要集中在400至600之間，分佈形狀呈現正偏態。這表明HVAC系統在不同場域的空氣品質調控效果一致且穩定，無明顯異常或極端數據。

圖8中的閥門開度 (CV) 雙峰分佈顯示不同場域在夏冬季節間的調節策略差異。A5和A6場域的分佈集中在接近

100%開度，中位數均為100，表明這些場域在夏季高冷卻需求時，閥門長時間接近全開，滿足強冷卻需求。而A7場域的分佈顯示出兩個明顯的峰值，一個在接近20%開度，另一個接近100%開度，反映出該場域在冬季低負荷和夏季高負荷運行時的不同需求。這種閥門開度的雙峰分佈說明HVAC系統根據季節調整運行狀態，但極端開度，特別是接近全開的情況，可能會導致較高的能耗。在夏季，長期的高冷卻需求可能增加系統的運行壓力，導致能耗上升。因此，適當的調整與優化閥門開度，避免長期極端運行，對於提高系統的能源效率至關重要。

根據分析結果，季節性對於HVAC系統的運行至關重要。從閥門開度（CV）、供應風溫度（ST）及回風溫度（RT）的分佈形狀可以看出，夏季與冬季對系統負荷的需求造成影響。夏季通常需要更高的冷卻負荷，導致閥門開度接近全開；而冬季負荷需求較低，系統調整到較小的開度或較高的供應風溫度。因此，在本研究中，分析將著重於冬夏兩季的情景分析，冬季以2023/11月至2023/1月作為代表，夏季以2023/6月至2023/8月為代表，以驗證模型在不同季節下的有效性。這種季節性分析不僅有助於更好地理解HVAC系統的運行模式，也能為優化系統運行策略以降低能耗提供依據。

## 二、長短期記憶模型效能驗證

本研究模式之驗證，分析數據後建立預測回風溫度（RT）的迴歸模型，並以建立好的AHU能耗最佳化模型進行分析。在進入最佳化模型前，以整個數據集劃分為90%的訓練數據和10%的測試數據。預測模型性能通過如均方根誤差（RMSE）衡量模型準確性和決定係數（Coefficient of Determination,  $R^2$ ）衡量模型對數據擬合程度的指標，用來評估預測模型的預測能力。

以下為基於測試數據計算的驗證指標，決定係數（ $R^2$ ）和均方根誤差（RMSE）：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{n}} \quad (2)$$

其中， $\bar{y}$ 是y的平均值即 $\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{n}$ ， $y_k$ 代表第k個實例的實際回風溫度（RT）， $\hat{y}_k$ 表示第k個實例迴歸模型的預測值，n 是樣本數量，均方根誤差（RMSE）指標的值越小表示模型具有良好的預測能力，決定係數（ $R^2$ ）的值介於0和1之間。當 $R^2=1$ 時，表示模型完美預測了數據；當 $R^2=0$ 時，表示模型無法解釋數據的變異，僅使用平均值來做預測。

根據三個場域的數據分析如表3、表4、表5，LSTM模型在不同季節和運行條件下表現出顯著差異。A5場域在所有資料和冬季的模型表現尤為突出，整體 $R^2$ 值接近0.99，RMSE值也處於較低水準，顯示模型能準確預測HVAC系統的運行。而在夏季，A5場域的 $R^2$ 降至0.92，RMSE較高，反映出模型在冷卻負荷變化較大的條件下預測準確度下降。A6和A7場域也呈現類似趨勢，冬季 $R^2$ 表現較好（0.95和0.92），而夏季的 $R^2$ 分別降至0.62和0.55，RMSE則顯著上升，顯示夏季負荷變動對模型穩定性的挑戰。

整體來看，LSTM模型在數據量較大、系統負荷穩定的情況下具備良好的預測能力，特別是在冬季。然而，夏季的高負荷運行帶來了預測準確度的下降，這表明模型對季節性波動的應對能力需要進一步強化。在下一小節針對智能節能控制算法模型的分析結論本研究取用相對穩定的A5候機室進行示例。

表3 A5候機室LSTM模型驗證指標

休息室：A5	All data		夏季(2023/6-2023/8)	冬季(2023/11-2024/1)
R <sup>2</sup>	train: 0.99	test: 0.96	0.92	0.99
RMSE	train: 0.177	test: 0.165	0.238	0.129

表4 A6候機室LSTM模型驗證指標

休息室：A6	All data		夏季(2023/6-2023/8)	冬季(2023/11-2024/1)
R <sup>2</sup>	train: 0.96	test: 0.91	0.62	0.95
RMSE	train: 0.494	test: 0.352	0.613	0.294

表5 A7候機室LSTM模型驗證指標

休息室：A7	All data		夏季(2023/6-2023/8)	冬季(2023/11-2024/1)
R <sup>2</sup>	train: 0.96	test: 0.91	0.55	0.92
RMSE	train: 0.494	test: 0.352	0.46	0.27

### 三、智慧節能控制算法效能驗證

從夏季的數據(圖9、10、11)，可以觀察到

在較高的負荷下，系統能有效地預測下一期的室內溫度(RT)圖9。隨著負荷的增加，模型適時地調整閥門開度(CV)圖10，保持溫度在

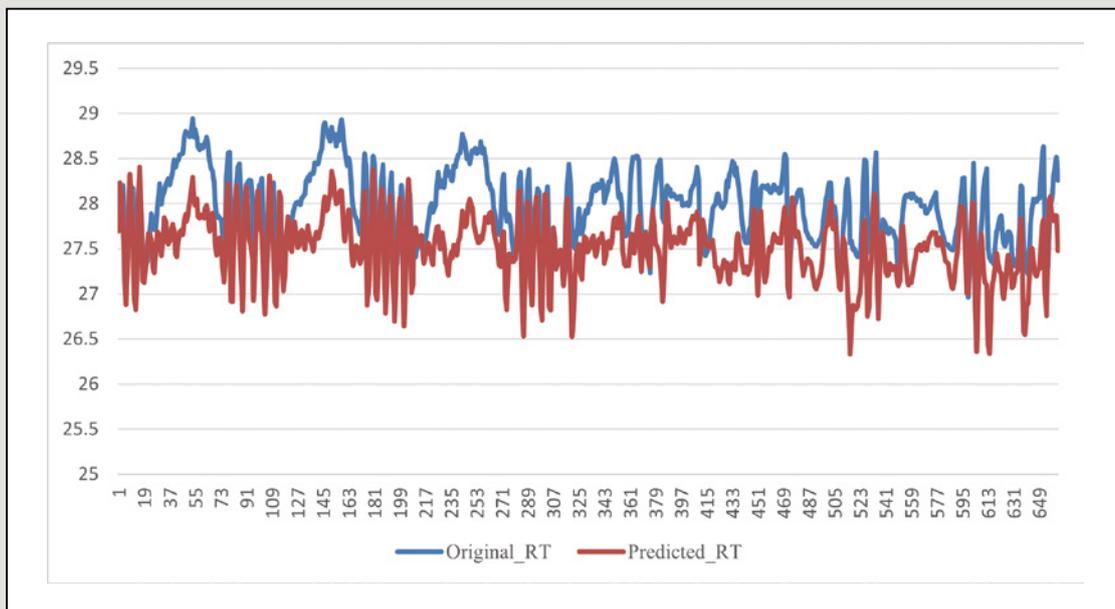


圖9 A5候機室夏季7月7-13日RT實際與預測比較

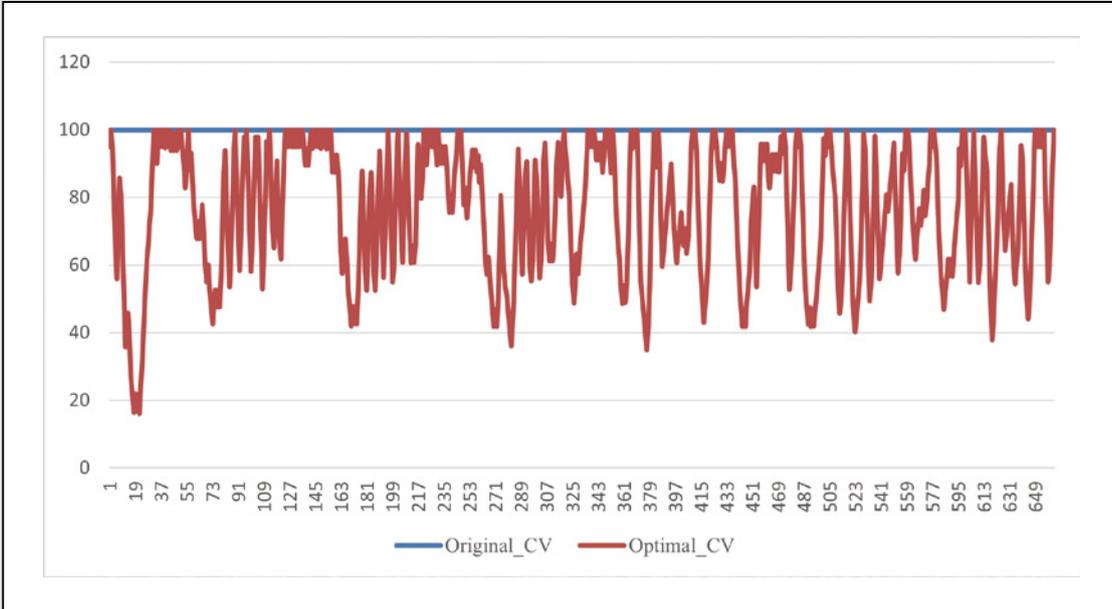


圖10 A5候機室夏季7月7-13日CV實際與預測比較

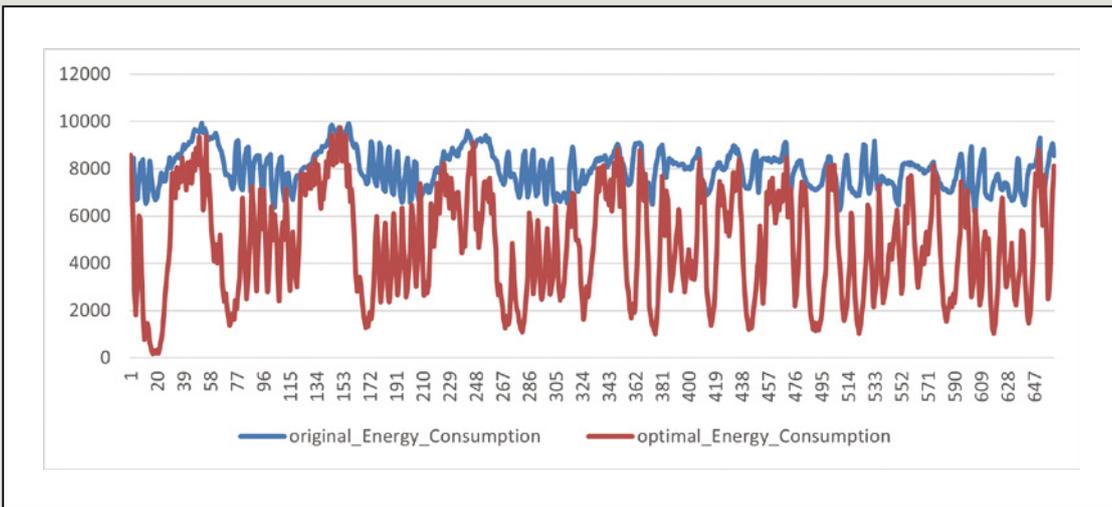


圖11 A5候機室夏季7月7-13日能源消耗實際與預測比較

預設範圍內。經由智慧化的閥門控制策略，系統有效地在負荷波動較大的情況下維持溫度穩定，同時優化能源消耗。夏季的能源消耗圖11顯示出，在頻繁調整閥門開度後，總體能耗明顯低於原始系統設定，經計算約40%。

冬季(圖12、13、14)顯示，系統在負荷相對穩定的環境下仍能準確預測室內溫度，並適當調整閥門開度以維持溫度在設定範圍。即便在負荷較小的情況下，系統自動控制閥門的策略依舊展現出節能效果。由於冬季的能源需求理論上相對較低，調整後的能源消耗顯示出更為顯著的減少，系統最多可達到85%的能耗降低。

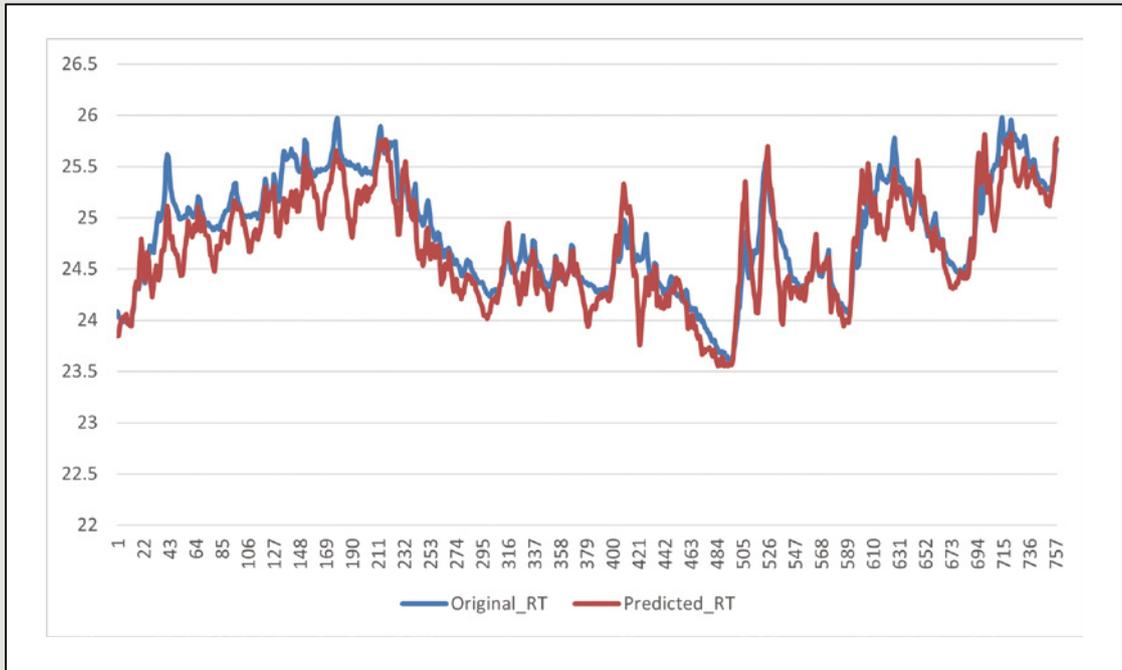


圖12 A5候機室夏季12月2-9日RT實際與預測比較

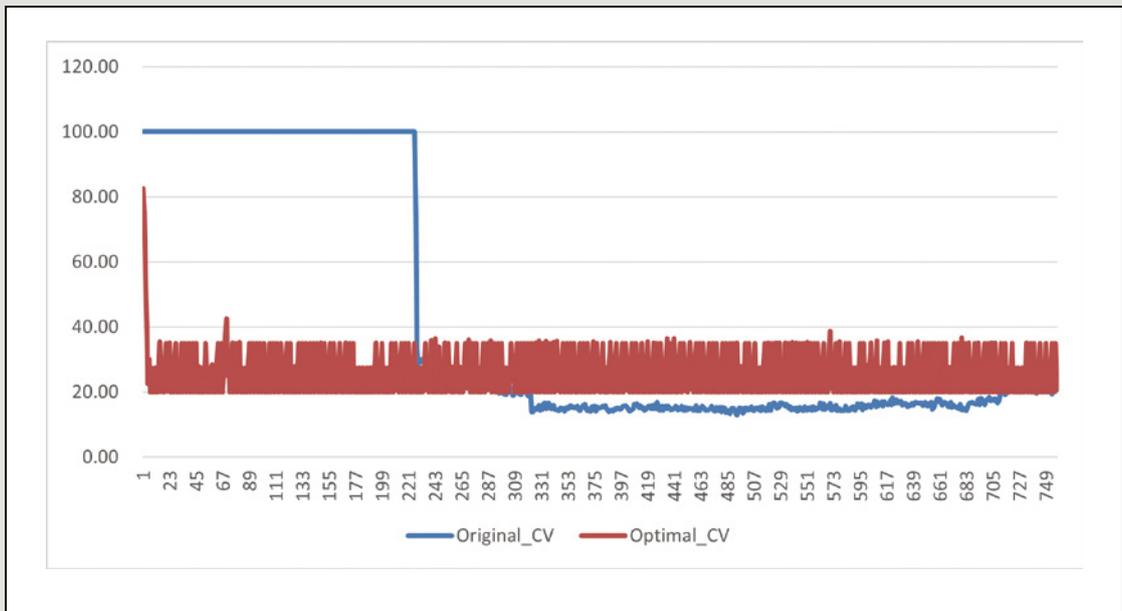


圖13 A5候機室冬季12月2-9日CV實際與預測比較

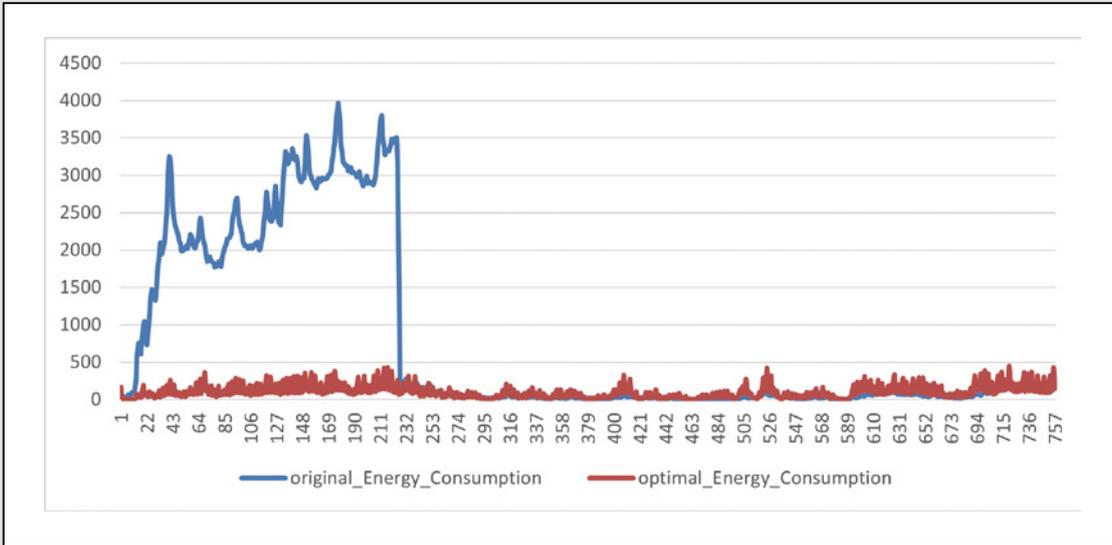


圖14 A5候機室冬季12月2-9日能源消耗實際與預測比較

## 結論

本研究開發了一套應用於大型建築的智能節能控制算法，並以某國際機場候機室的HVAC系統為案例，進行模擬驗證。結果顯示，無論在夏季高負荷環境下，或是冬季相對穩定的負荷情境中，該系統皆能夠準確預測下一期的室內回風溫度（RT），並通過調整控制閥門開度（CV）以達成最小化能源消耗的目標。尤其在冬季負荷較小且波動較小的情況下，系統展現了顯著的節能效果，達到約85%的能耗降低，而在負荷變化劇烈的夏季，也能有效降低約40%的能源消耗，顯示出本系統在各種負荷條件下的穩定性和節能優勢。

未來的研究可進一步探討多方面的優化策略以提升系統效能。例如，可增加感測器來收集更多有關環境變數的數據（如人流密度、其他室內熱源變化等），這將有助於模型更準確地捕捉影響室內溫度的因素。此外，針對不同季節及氣候條件，採用自適應的模型參數調整機制，使得系統能夠動態應對外部環境的變動，進一步提高能源效率。同時，也可研究採用更多的深度學習技術（如變分自編碼器、生成對抗網絡等）進行數據擴充及異常情境偵測，以增強模型的穩健性(Robustness)和預測準確性。通過這些改進，未來的HVAC控制系統將能在保持乘客舒適度的同時，實現更高的節能效益，為智慧建築節能技術奠定良好的基礎。

## 參考文獻

1. Hu, S. C., Lin, T., Huang, S. H., Fu, B. R., and Hu, M. H. (2020). Energy savings approaches for high-tech manufacturing factories. *Case Studies in Thermal Engineering*, 17, 100569.
2. Kumar, R., Wenzel, M. J., ElBsat, M. N., Risbeck, M. J., Drees, K. H., & Zavala, V. M. (2020). Stochastic model predictive control for central HVAC plants. *Journal of Process Control*, 90, 1-17.
3. Lin J. Chiuhsiang, Wang K. J., Teshome Bekele Dagne, Bereket Haile Woldegiorgis (2022). Balancing thermal comfort and energy conservation - A multi-objective optimization model for controlling air-condition and mechanical ventilation systems. *Building and Environment*, 219, 109237.
4. Lu, Y., Peng, T., & Xu, X. (2019). Energy-efficient cyber-physical production network: Architecture and technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 56-66.
5. Qiu, S., Feng, F., Zhang, W., Li, Z., and Li, Z. (2019). Stochastic optimized chiller operation strategy based on multi-objective optimization considering measurement uncertainty. *Energy and Buildings*, 195, 149-160.
6. Rahman, S., Said, Z., & Issa, S. (2020). Performance evaluation and life cycle analysis of new solar thermal absorption air conditioning system. *Energy Reports*, 6, 673-679.
7. She, X., Cong, L., Nie, B., Leng, G., Peng, H., Chen, Y., ... & Luo, Y. (2018). Energy-efficient and-economic technologies for air conditioning with vapor compression refrigeration: A comprehensive review. *Applied Energy*, 232, 157-186.
8. Wang K. J., Chiuhsiang Joe Lin, Teshome Bekele Dagne (2023) An adaptive indoor temperature control approach accommodating thermal comfort and task performance. *International Journal of Thermal Sciences*, 193, 108542.
9. Wang K. J., Lin C. J., Dagne T. B., and Woldegiorgis B. H. (2022 May). Bilinear stochastic optimization model for smart energy conservation systems. *Energy*, 247, 123502.
10. Wang, K. J. and Dao L. D. (2019) Resolving conflict objectives between environment impact and energy efficiency - an optimization modeling on multiple energies deployment. *Computers and Industrial Engineering*, 138, 106-111.
11. Zhou, Y., Lork, C., Li, W. T., Yuen, C., & Keow, Y. M. (2019). Benchmarking air-conditioning energy performance of residential rooms based on regression and clustering techniques. *Applied Energy*, 253, 113548.

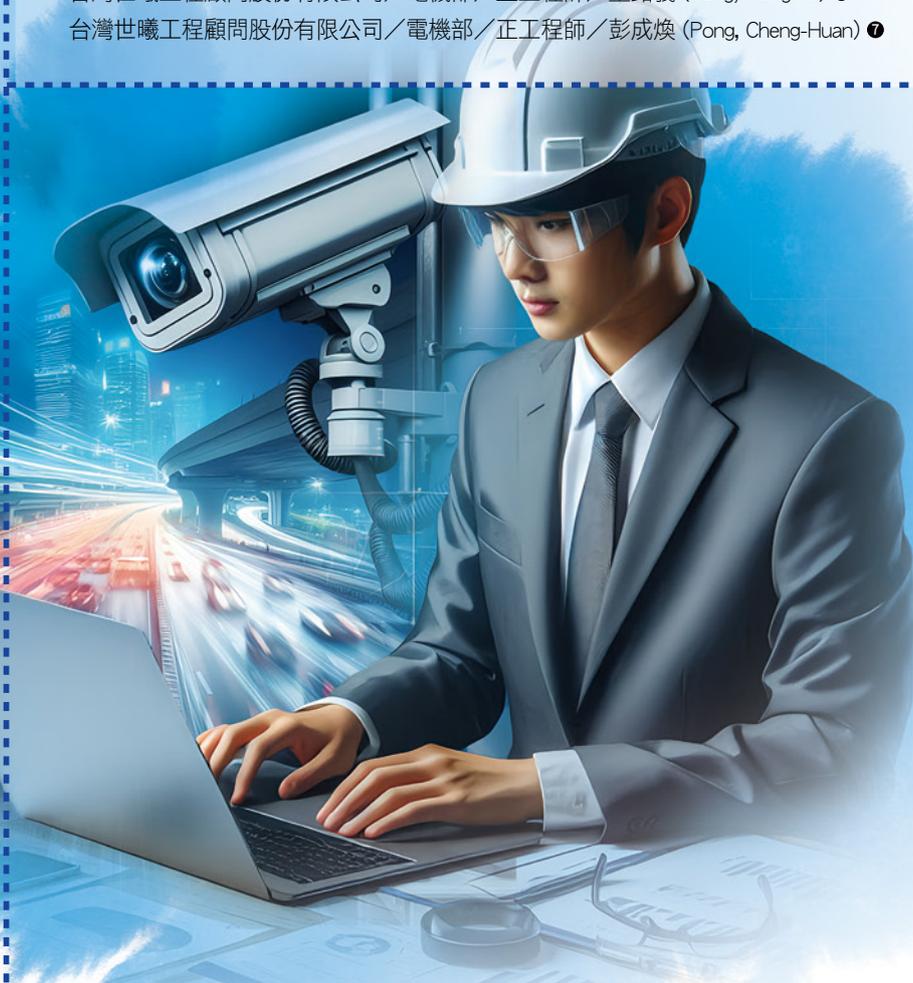
12. Zhou, Y., Lork, C., Li, W. T., Yuen, C., & Keow, Y. M. (2019). Benchmarking air-conditioning energy performance of residential rooms based on regression and clustering techniques. *Applied Energy*, 253, 113548.



# 高速公路交通控制系統—AI智慧分析導入與應用

關鍵詞(Key Words)：短期旅行時間預測 (short-term travel time prediction)、深度學習 (deep learning)、長期旅行時間預測 (long-term travel time prediction)、適應性號誌控制 (Adaptive Traffic signal Control)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／姚尹馨 (Yao, Yin-Hsin) ❶  
高速公路局北區養護工程分局北區交控中心／幫工程司／李姝儀 (Lee, Shu-Yi) ❷  
高速公路局北區養護工程分局北區交控中心／副工程司／常書娟 (Chang, Shu-Chuan) ❸  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／正工程師／吳家帆 (Wu, Chia-Fan) ❹  
高速公路局北區養護工程分局北區交控中心／副主任／蘇稚翔 (Su, Chih-Hsiang) ❺  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／正工程師／童銘義 (Tung, Ming-Yi) ❻  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／正工程師／彭成煥 (Pong, Cheng-Huan) ❼



## 摘要

高速公路交通控制系統藉由導入AI智慧分析技術，提升交通管理的效率、準確性及安全性。本文介紹四項應用，作為智慧交通發展的參考。「中央電腦雲平台旅行時間預測」系統利用AI模型進行精確的旅行時間預測，並結合分時預測模型與多元數據，進一步提升準確性。此功能協助駕駛人選擇最佳路線與時間，並支援交通管理者優化流量分配，最終提升道路效能。「北區影像事件偵測」應用AI技術即時偵測交通事故與異常情況，透過學習影像數據，準確判斷車輛停等、逆行、散落物等事件，並迅速通知相關單位處理，縮短事故反應時間，降低對交通的影響。「中區重型機車偵測」專注於監控重型機車誤闖高速公路的行為，精確辨識路線與行為並發出預警，降低事故發生，對交通安全提升具重要意義。「南區匝道逆向偵測」可即時辨別逆向行駛的車輛，迅速發出警告，防止事故。上述應用展現AI技術在智慧交通管理中的潛力，能有效提升突發事件應變能力、優化交通流量控制，並改善駕駛人行車體驗，推動交通管理的數位化與智慧化。期待相關技術的進一步發展，持續提升交通管理效能。



## Highway traffic control system-AI intelligent analysis introduction and application

### Abstract

The freeway traffic control system leverages AI intelligent analysis technology to enhance the efficiency, accuracy, and safety of traffic management. This article introduces four applications as references for the development of intelligent transportation. The "Central Computer Cloud Platform Travel Time Prediction" system utilizes AI models to accurately forecast travel times, further improving precision by integrating time-segmented prediction models and diverse data sources. This functionality helps drivers select optimal routes and times while supporting traffic managers in optimizing flow distribution, ultimately enhancing road efficiency. The "Northern Region Image-Based Incident Detection" system applies AI technology to promptly detect traffic accidents and anomalies. By learning from image data, it accurately identifies events such as vehicle stoppages, wrong-way driving, and debris, quickly notifying relevant authorities to shorten response times and minimize traffic disruptions. The "Central Region Heavy Motorcycle Detection" system focuses on monitoring unauthorized heavy motorcycles on freeways, accurately identifying their routes and behaviors while issuing alerts to reduce accidents. This plays a crucial role in improving traffic safety. The "Southern Region Ramp Reverse Detection" system promptly detects vehicles driving in the wrong direction, issuing timely warnings to prevent accidents. These applications demonstrate the potential of AI technology in intelligent traffic management by significantly improving response capabilities to incidents, optimizing traffic flow control, and enhancing the driving experience. The continued development of these technologies is anticipated to further advance the efficiency of traffic management.

3

專題報導

## 壹、前言

隨著智慧型運輸系統（ITS）在高速公路上的應用，交通管理效益大幅提升，行車安全增進，同時為用路人提供即時交通資訊。然而，隨著高速公路網絡持續擴展及交通量快速成長，交通壅塞與事故已成為亟待解決的課題。

近年AI技術迅猛發展，促使其在各領域廣泛應用，高速公路交通管理亦逐步導入AI技術，帶來創新性變革。本文將介紹AI於高速公路交通管理的具體應用，包括旅行時間預測、事件偵測、重型機車監控及適應性號誌系統等，希望為相關計畫及未來技術精進提供參考。

「中央電腦雲平台系統」透過AI進行旅行時間預測，減少壅塞並優化交通流量；北區交控以AI快速偵測交通事故及異常，縮短反應時間；中區交控運用AI影像技術精準辨識違規進入高速公路的重型機車，防範事故發生；南區交控運用即時偵測逆向車輛，提升交通安全。這些應用已實際運營並展現顯著成效，其相關成果將逐步推廣於各合適路段，另隨技術進一步發展，AI在智慧交通領域的應用前景值得期待。

## 貳、中央電腦雲平台旅行時間預測

隨著電腦技術和資料運算進步，過去用路人僅能在實際出行後了解道路上的車流狀況，如今已能透過AI與大數據進行分析及預測。除了讓駕駛提前掌握行車資訊，規劃出行時間並調整路徑；交通管理部門亦可事先掌握壅塞情況，以時間、空間分流方式降低道路負載，增進安全及效率。

### 一、旅行時間預測功能

交通部高速公路局（下稱高公局）「高快

速公路交通控制系統之中央電腦軟體雲端化建置」專案，已將旅行時間預測功能上架至1968即時路況網站與App[1]。該功能利用AI模型處理每日超過1,600萬筆ETC數據，運算並提供短時間（2小時內）及未來日（100天內）的行車時間預測。除了透過定期校正模型參數保持良好的預測能力外，在112年高速公路行車時間預測資訊服務辦理成果[2]中，更進一步研討透過改良模型架構提升預測精度的可能。相關功能持續優化下，已逐漸成為用路人查詢路況的重要參考。

### 二、AI模型預測流程及邏輯

「未來日行車時間預測」運用多種模型，包括類神經網路、增強型決策樹及統計方法。根據歷史數據和經驗，針對不同路段和日期類型選擇最適合的模型，匯集各路段的最終預測結果。同一路段在一般日與連續假期使用不同模型，而模型內特徵如月份、星期別等，則可反應一般日內的路況變化。「短時間預測」使用長短期記憶網路(Long Short-Term Memory, LSTM)模型[3]，配合高公局「交通資料庫」之M03、M04、VD資料及中央氣象署雨量資料，每5分鐘串流運算一次並即時更新至系統。行車時間預測真值則使用M06資料計算，其記錄包含旅次經過各門架的時間及門架編號。相關資料蒐集、模型預測及資訊發布流程，如圖1。

### 三、以分時預測及增加日期種類優化模型

對於未來日行車時間，模型主要針對國定假期進行預測，然而暑期、補班日等特殊日期之交通特性亦與一般日或假期不同，出遊高峰時段也有差異。若將其與一般日數據混合預測，可能無法反應真實情況。建立獨立模型，增加特殊日期分類，以期更有效應對不同時段的交通需求，如圖2。

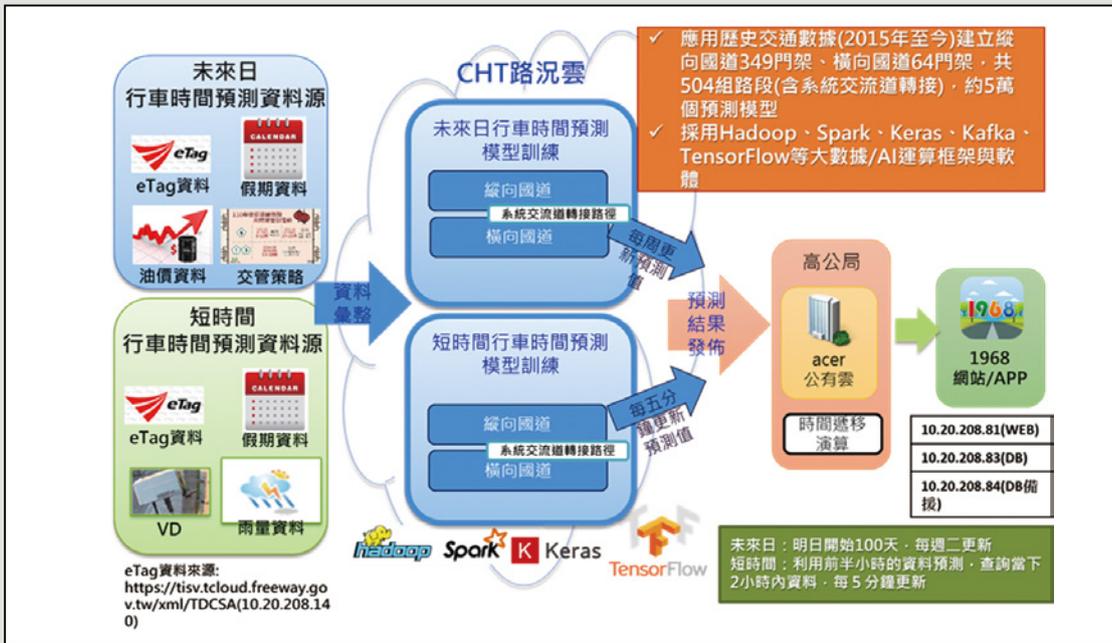


圖1 旅行時間預測模型建置、預測及發布流程

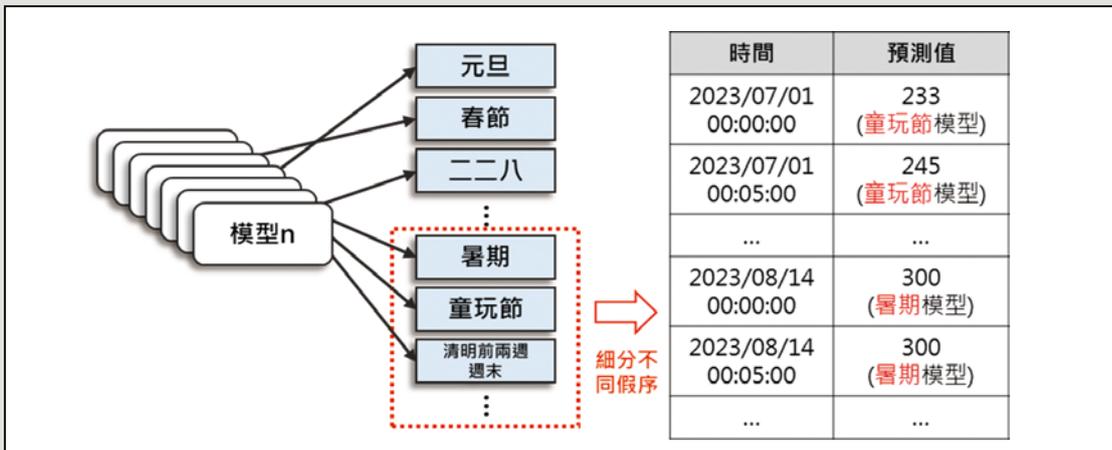


圖2 未來日行車時間預測模型優化架構(增加日期種類)

另外，未來日行車時間預測於同一天內皆使用同一模型。即某路段在平日或連續假期中是逐日進行模型選擇，對於單日內的不同時段只能使用同一種模型。然而某些路段在尖離峰可能存在極大的流量差異，若使用單一模型將難以處理這種混雜車流。針對這類路段，將晨、昏峰模型獨立處理（晨峰時僅參考晨峰歷史資料，昏峰時僅參考昏峰資料），並在其他非尖峰時段也建立不同模型，如圖3。

由於原始短時間預測流程並不區分一般日或連續假日，在所有時段皆採同種模型，故模型優化方向將採分時模型，依時段進行預測。調整模型選擇機制，在資料清洗階段加入VD佔有率判斷路段壅塞程度。當佔有率超過30%時，依時段使用分時架構模型進行預測，7:00-10:00使用晨峰模型；17:00-20:00使用昏峰模型；其餘時段則採非晨昏峰模型。當佔有率不及30%時，則使用非晨昏峰模型進行預測，並產生30/45/60/90/150分鐘後的短時間預測結果，如圖4。

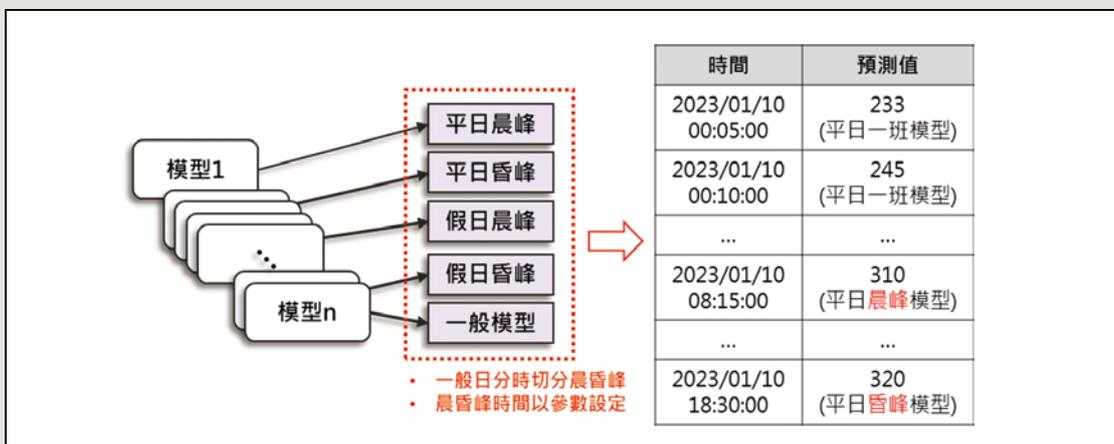


圖3 未來日行車時間預測模型優化架構(增加分時預測)

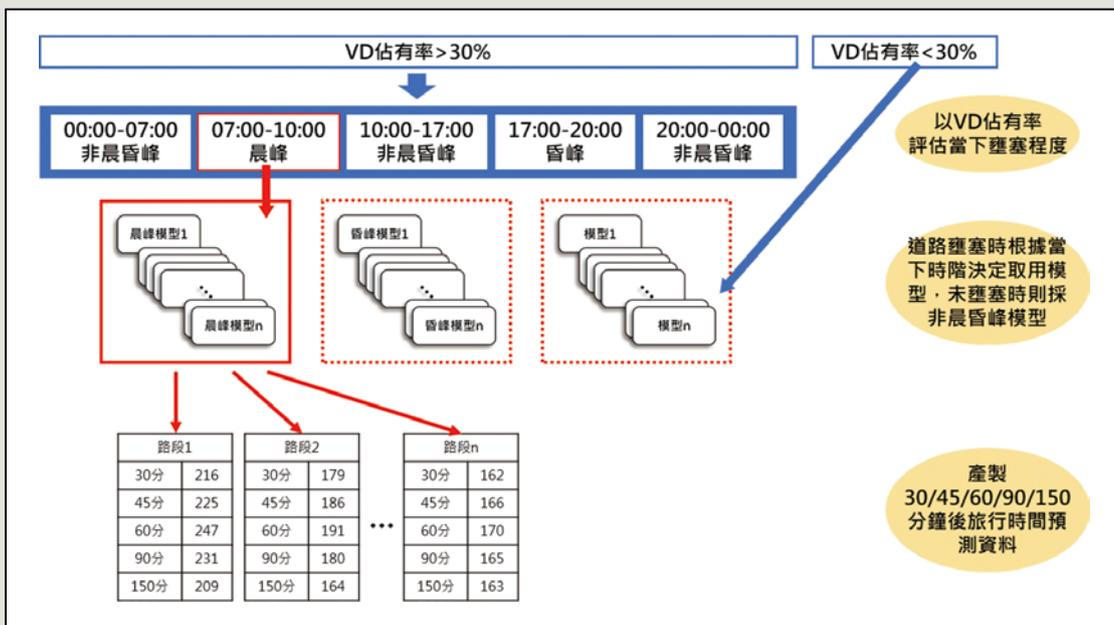


圖4 短時間串流運算預測模型選擇機制

#### 四、預測效能

112年高速公路行車時間預測資訊服務辦理成果[2]，將原模型改良為未來日分時，於實務使用上其模型預測準確度並未顯著提升（相較原始模型有些微改善，但主要可能來自訓練資料的更新，而非模型性能的提升）。然而，針對特殊日期，如補班日、暑期、童玩節等的模型切分方式，在結果中顯示出一定程度的改善。因此預期未來若可統計特殊日期資料並獨立建模，模型將能更準確地預測非連續假期的

交通變化，減少混淆一般日資料的誤判。

另外，對於短時間預測模型的改良，其驗證結果未見明顯改善。考量到訓練流程繁複，且必須切分多套模型可能降低系統效能及增加維護成本，未來若欲套用至所有國道路段，應優先評估系統能否於5分鐘內完成預測。根據此次驗證經驗，分時模型切分平假日資料後的績效改善低於重新訓練的原模型，說明定期更新訓練資料便足以提升預測準確性，因此建議未來可考慮開發模型監控與自動再訓練機制。

### 參、北區影像事件偵測

高速公路早期影像事件偵測技術方法係使用二值化(Thresholding)影像處理技術，將一個彩色影像轉成灰階影像後，針對影像中的每個像素點設定一個灰階值標準，稱作閾值(Threshold)，凡影像本身灰度值大於閾值者為白點，低於閾值者為黑點，如此可得到一個二元的影像，如圖5。由於影像分析易受外在環境影響，高速公路主要用於隧道內之事件偵測，可有效控制誤判之偵測，但環境影響仍無法避免，隧道內常見之環境影響，如隧道洞口光影

跳動、工程車輛爆閃燈、隧道燈光調控影響等。在人工智慧(AI)技術發展日趨成熟下，高速公路局北區交控中心於2020年辦理影像事件偵測採購案，開始應用AI技術於隧道內，並且為利勤務人員使用增加效率，開發影像事件偵測管理平台。

#### 一、事件偵測功能

隧道影像事件偵測主要功能包括車輛滯留、散落物、車輛逆行、行人、機車及能見度(煙霧)等六類事件類別之偵測，如圖6，有別以



圖5 全彩影像轉二值化影像示意圖[4]

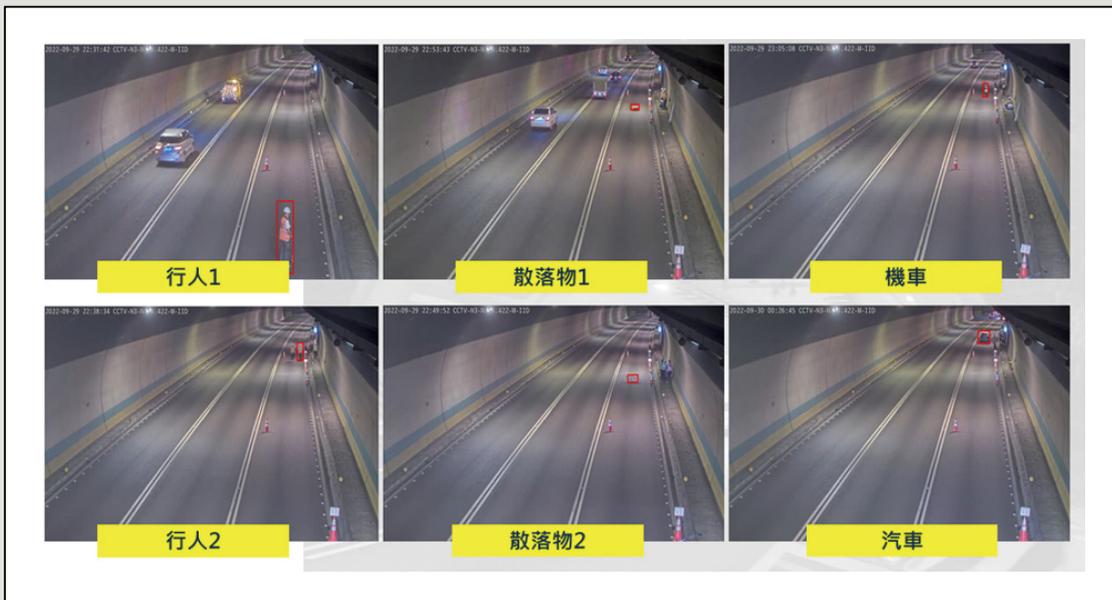


圖6 影像事件偵測類別[4]

往傳統二值化偵測技術，使用物件導向及AI影像分析技術，除大幅降低環境影響之誤報外。另為持續精進可靠度，建置事件管理軟體，將影像分析器所分析之事件原形資料(Raw Data)建立事件規則，有效提供勤務人員檢核並回饋事件準確率，以利藉由深度學習的再訓練，能夠從大量數據中學習複雜的物件特徵及環境，提升辨識效能。

## 二、系統架構

影像事件偵測系統包括：影像事件偵測伺服器及影像事件工作站、AI影像分析器及影像事件偵測攝影機等設備，如圖7。各設備因應AI功能強化，系統設計特色如下：

(一) 攝影機安裝時應考量安裝位置及高度，以北區高速公路隧道群為例，大都為多車道，攝影機安裝於側壁容易受大車遮蔽，安裝於車道上方可取得最佳攝影畫面，影像偵測有效距離為17M~100M，如圖8，



圖7 影像事件偵測系統架構[4]

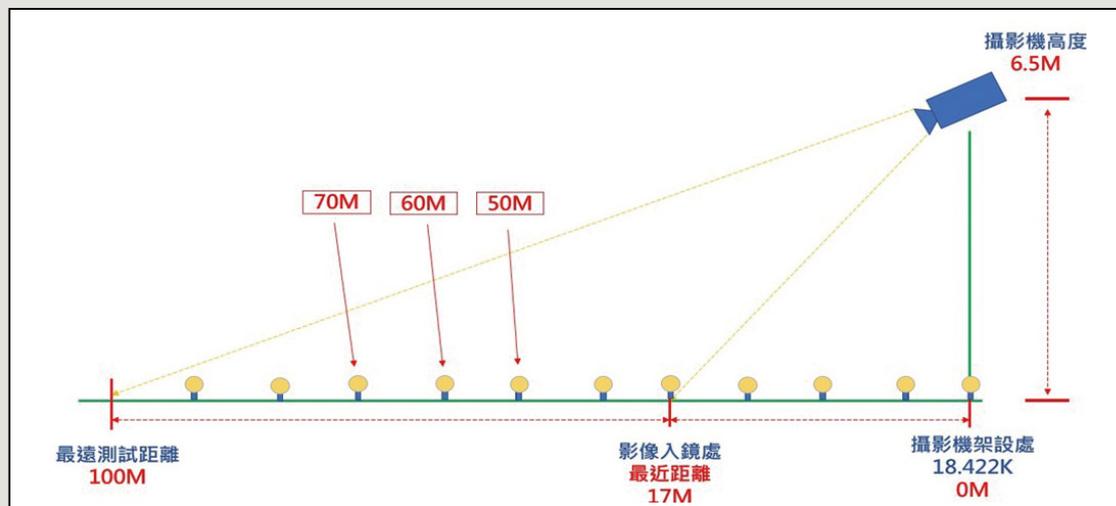


圖8 攝影機偵測有效距離示意圖

惟考量偵測物件種類有大小之分，物件過小容易造成物件誤判，因此在實務上過遠之物件取消物件追蹤，增加攝影機佈設密度，原布設間距100公尺調整為70公尺以取得較佳之辨識準確度，不同物件種類偵測相對距離如圖9，另考量隧道背景環境、攝影機具全彩、逆光補償及防震功能。

### 三、AI影像事件偵測邏輯

AI影像分析的技術邏輯[4]，係藉由攝影機進行大量物件採集，將動態之影像轉成連續之靜態圖片，並對每張靜態圖片之物件樣本(車輛、行人、散落物)作標記，目的在定義機器學習認知物件。並且為了強化物件認知的能力，

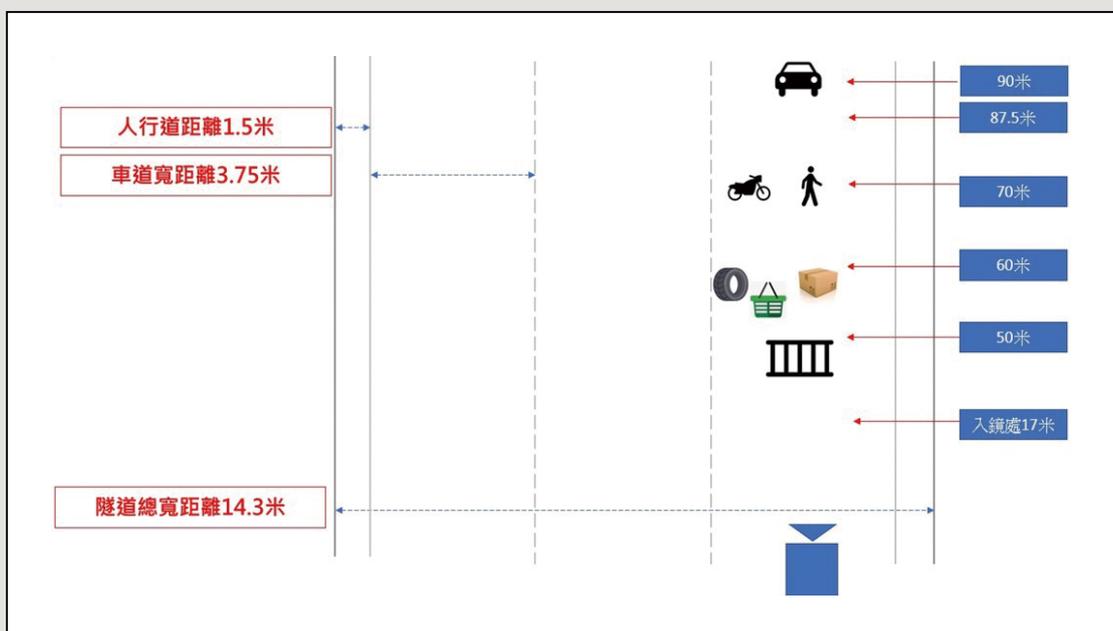


圖9 物件種類偵測相對距離示意圖

(二) AI影像分析器須具GPU，且為精進準確率，AI模型須依環境調校更新，故採後端辨識，每一伺服器同時作多路影像事件類別分析，並可提供事件錄存及事件告警功能。

(三) 影像事件偵測伺服器主要功能為歸納整合影像分析器之原始事件資料；並具監控、管理與操作影像分析器之功能，影像事件工作站則提供勤務人員易於操作及檢核之軟體管理平台，勤務人員需於管理平台檢核影像事件分析結果，對於辨識錯誤之事件類別，系統人員可定期收集影像再進行深度學習，降低系統誤報。

使用深度學習技術(Deep Learning)進行物件採集、特徵提取、模型訓練及行為分析等。其中特徵提取是影像分析的關鍵步驟，目的在於將重要資訊提取出來並壓縮不必要的細節，而模型的訓練過程是讓AI在框架環境內學習如何正確分析物件種類及學習物件追蹤，強化物件的認知能力，並透過AI演算法使模型實現轉換，建立物件行為分析能力，例如辨識車輛滯留、車輛逆行等異常行為。經過AI影像分析所得之初始資料(Raw Data)，再藉由軟體開發提供後端勤務人員所需求之應用服務，如圖10。

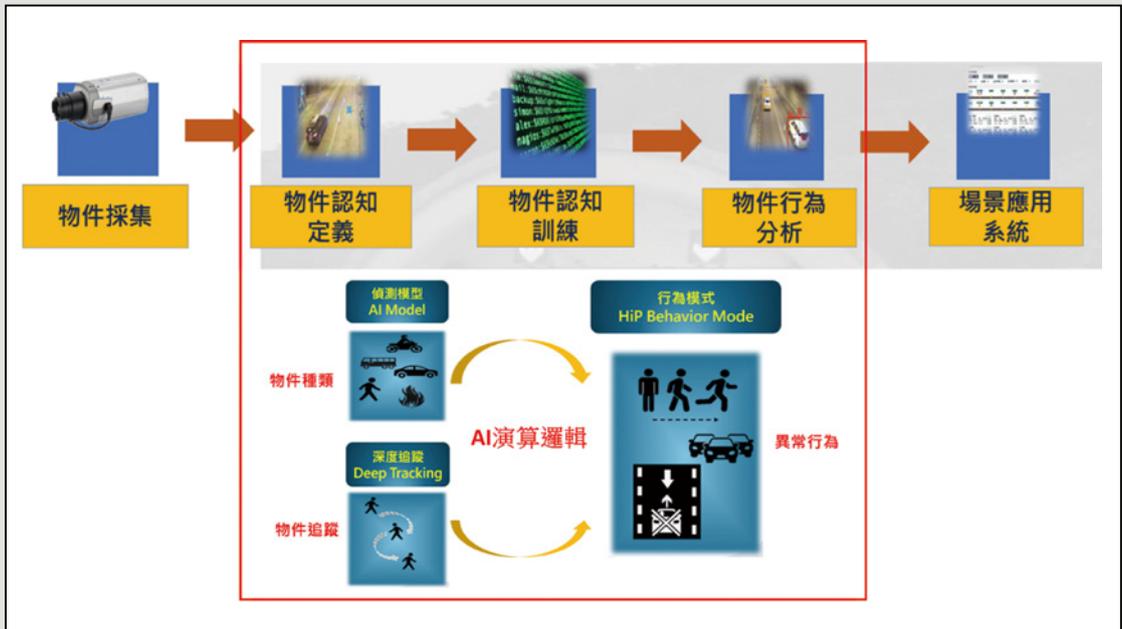


圖10 AI影像事件偵測軟體運作程序[4]

#### 四、建置效益

影像事件偵測系統已於高速公路局北區交控中心上線使用，因各隧道情境不同，具有不同的交通事件狀況，以下統計北區交控轄區共12座隧道於112年6月1日至112年6月30日期間數據[4]，分析偵測成效如下：

##### (一) 以事件準確率分析

分析器端偵測事件統計6732件，正確事件偵測之項目及數量6649件(佔98.77%)、誤判事件偵測項目及數量64件(佔0.95%)、種類錯誤事件偵測項目及數量為19件(佔0.28%)。

另依不同物件類型比率分析車輛滯留正確事件2830件(佔42.56%)、行人3017件(佔45.38%)、逆行770件(佔11.58%)、散落物27件(佔0.41%)、煙霧0件(佔0.0%)、機車5件(佔0.08%)，隧道車輛滯留、行人及逆行為佔比最大宗，如圖11。

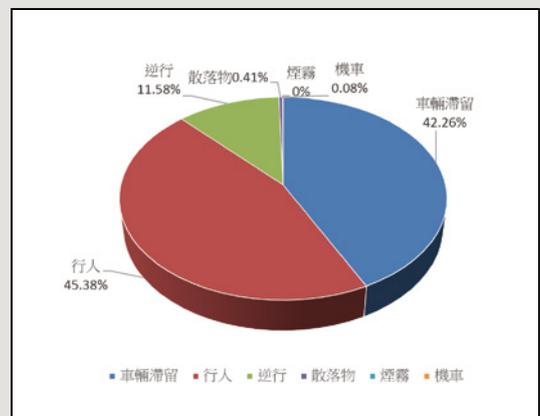


圖11 事件準確率統計

##### (二) 誤判事件分析

依誤判事件(即事件種類偵測錯誤)偵測項目及數量分析，如圖12，車輛滯留事件2件(佔3.13%)、行人23件(佔35.94%)、逆行0件(佔0.0%)、散落物26件(佔40.63%)、煙霧10件(佔15.63%)、機車3件(佔4.69%)。

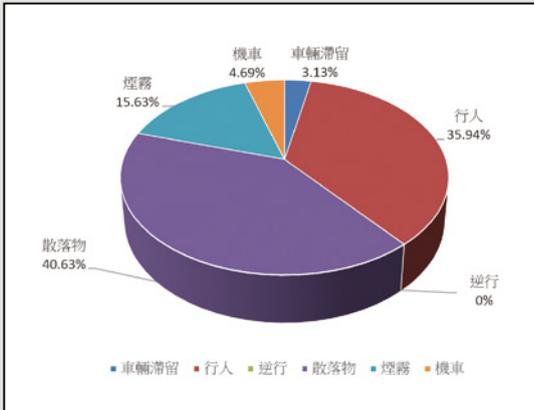


圖12 事件誤判率統計

### (三) 綜合事件統計

當事件發生上游車流易受影響，故往往伴隨著多數的事件類別；例如車禍發生，將產生車輛滯留事件，因人員下車產生行人事件，上游發生重置事件；又如封閉車道施工，封閉車道內產生車輛滯留事件、施工人員產生行人事件、車輛倒車產生逆行事件等，上述情形可歸類為綜合事件。依據上述事件數據分析，將高公局常見綜合事件分為一般異常事件、塞車事件、施工事件等三類來統計，一般異常事件1430件(佔21.51%)、塞車事件2251件(佔33.85%)、施工事件2968件(佔44.64%)，如圖13。

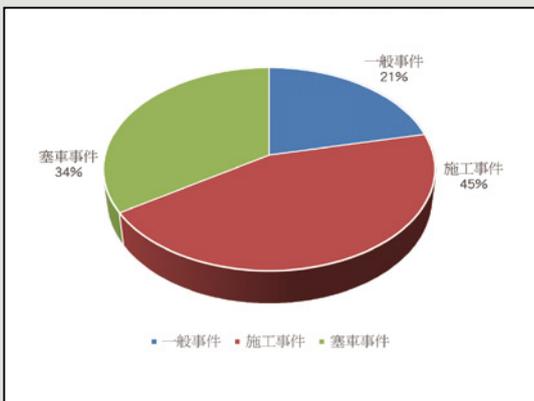


圖13 綜合事件類別統計

因隧道內禁止變換車道，當相鄰攝影機發生事件時，經交控中心歸納大多屬相同事件連鎖導致之事件，故將同一事件類別及事件關

聯性高的集合成綜合異常事件告警，減少同一事件發報告警。經影像事件偵測管理系統歸納後，原分析器端事件數量6732件，經過系統歸納整理後告警發報數量減少至3383件，事件發報減少率49.74%，提高了交控操作人員之作業效率。

## 肆、中區重型機車偵測

台76線及台74線快速道路目前除末端與高速公路銜接之路段尚未開放重型機車行駛外，其餘路段均已開放重型機車行駛，考量國道3號霧峰交流道、中興系統交流道分別與台74、台76線快速道路末端銜接，重型機車行駛動線易發生誤闖進入高速公路之虞，因此透過設置偵測設備，偵知重型機車誤闖高速公路行為，以利當重型機車誤闖時，可同步提供交控中心及公路警察單位進行後續處置，確保用路人行車安全。

### 一、系統運作功能

因應誤闖事件係因重型機車於快速公路上未注意續行係銜接高速公路，故將偵測設備設置於台74及台76線快速道路銜接國道3號霧峰交流道及中興系統交流道，如圖14、圖15，於匝道入口配置重型機車事件偵測攝影機及車牌辨識攝影機，主動篩選違規誤闖進入高速公路之重型機車，便於交控中心進行後續誤闖事件資訊發布，而公路警察單位亦可透過勤務中心之管理工作站，同步接收誤闖告警資訊，並派員至現場攔停，另可透過管理工作站下載違規照片及影像資料進行違規開單取締，以達嚇阻及降低重型機車誤闖高速公路。



圖14 國道3號霧峰交流道重型機車誤闖國道位置示意圖



圖15 國道3號中興系統交流道重型機車誤闖高速公路位置示意圖

## 二、系統架構

重型機車誤闖偵測系統架構，如圖16，包含前端辨識系統及後端管理系統，系統設計特色如下：

(一) 前端辨識系統：採分散式架構，主要考量事件及車牌攝影機影像直接於現場端主機進行影像分析，不受與中心端網路連線的影響，即使傳輸線路故障或中心端伺服器異常，仍能正常執行分析，並將分析結果儲存於前端辨識主機內，後續再回補資料。現場單一點位設備故障僅會影響單一點位運作，其他點位設備仍可正常運作分析，故障維護風險較低。另事件及車牌辨識影像不須回傳機房，偵測影像透過安裝於現場之AI誤闖偵測分析主機立即辨識，無影像延時問題亦可減少傳輸網路頻寬使用需求。

(二) 後端管理系統：於交控中心、國道公路警察局第七公路警察大隊快官分隊及名間分隊勤務中心設置管理工作站，後端管理系統提供功能包含：

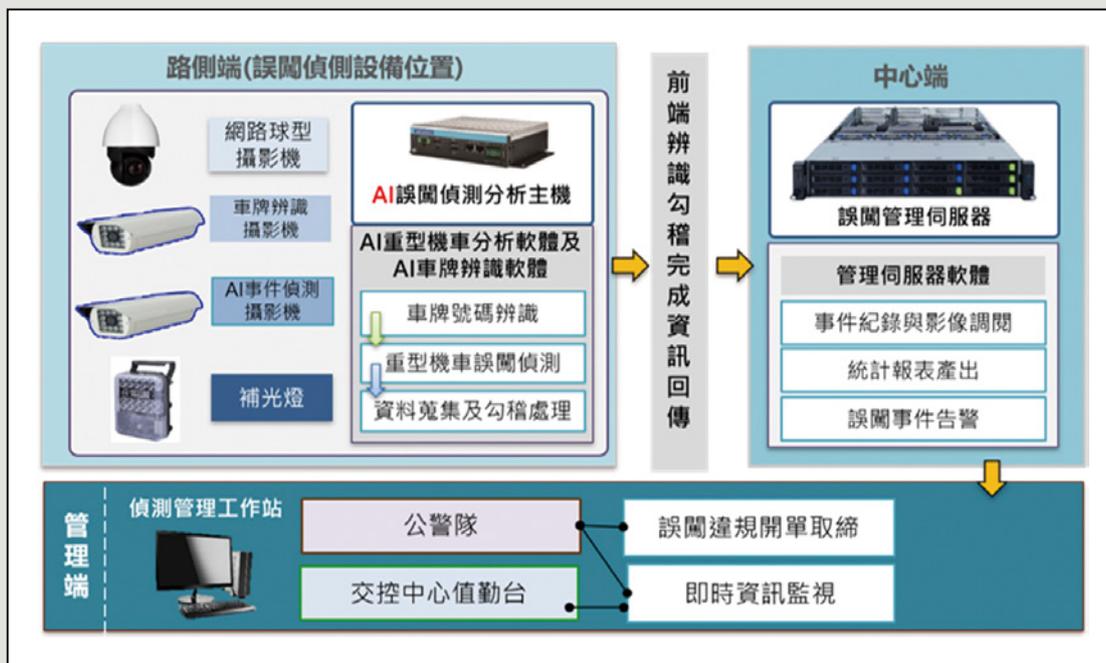


圖16 系統架構圖

1. 攝影機管理：操作人員可依觀看需求，設定即時資訊頁面所顯示之攝影機畫面，方便人員觀看與管理。
2. 即時誤闖告警資訊：採彈跳視窗告警方式，即時顯示誤闖車輛之車型及車牌號碼。
3. 違規資料查詢：自動將誤闖事件、違規影片及照片結合為1個檔案，便於公路警察單位取締及佐證。

### 三、AI影像事件偵測邏輯

採AI影像辨識技術與深度學習演算法來偵測重型機車誤闖國道情形，當有機車誤闖進入高速公路時，AI影像辨識系統透過現場攝影機影像即時辨識出車型、車牌號碼、行進方向等資訊，將誤闖告警事件與車牌號碼自動勾稽，自動記錄事件前、後之影像，並將違規影片及照片自動結合為1個誤闖事件檔案，便於公路警察單位取締及佐證。

另透過系統已建立可能造成誤報之現象進行比對，藉由大數據資料訓練與調校，有效降低傳統辨識技術易受現場光影、路面積水反射等環境干擾所造成之誤報，提高系統準確率及可靠性。

### 四、建置效益

應用AI技術偵測重型機車誤闖高速公路，效益如下：

- (一) 以AI技術可全天候偵測機車，較不受限夜間、天候不良等環境影響，降低人工監視或傳統偵測可能遺漏之誤闖事件。
- (二) 公路警察單位可即時得知誤闖告警資訊，即時調派主線巡邏員警至現場進行攔停，後續亦可下載誤闖事件照片及影像，進行開單取締，以達嚇阻及降低重型機車誤闖高速公路情形。
- (三) 交控中心可即時得知誤闖告警資訊，以資

訊可變標誌顯示重型機車誤闖高速公路事件，提醒用路人注意。

## 伍、匝道逆向偵測

近年高速公路陸續發生多起車輛逆行事件，高速公路局為防制汽、機車逆向進入國道，於平面道路與各交流道出口匝道銜接處設置禁止進入、禁止左（右）轉標誌，及於匝道繪設指向線並設置雙色標記（順向：白色，逆向：紅色），如圖17，以提醒用路人勿逆向進入出口匝道，有鑑於逆行事件所導致的人員受傷或車輛損害嚴重性最高，高速公路局透過出口匝道布設之環路線圈式車輛偵測器進行車輛逆行偵測，唯僅採環路線圈式車輛偵測器(VD)時無法偵測機慢車，設備雖經調校仍難以完全避免因駕駛人因素所造成之誤報(如變化車道)。

因此導入AI影像分析技術，期依實際場域環境調校設備參數，以及早掌握逆行事件現場狀況，降低逆行事件的發生與傷亡程度。

### 一、系統功能

南區交控匝道逆向偵測系統係於出口匝道上設置影像偵測系統，逆行車輛(含機車)、行人透過AI影像辨識技術，偵測於匝道上逆行之車輛、機車及行人(不分方向)，以補足環路線圈式車輛偵測器無法偵測到機慢車、行人之缺點，並同時提供事件前後現場影像，有利管理人員立即作確認，並展開上游各CCTV之追蹤，即時通報公安局。

### 二、系統架構(集中式)

南區逆行偵測系統共分為三處偵測區，如



出口匝道設置「禁止進入」標誌



地方道路設置「禁止右轉」標誌



出口匝道地面繪設「指向線」與設置「雙色標記（逆向：紅色）」



入口匝道處繪設「↑高速公路」地面標字

圖17 平面道路與各交流道出口匝道標誌圖

逆向事件偵測運作架構，如圖18：

(一) 考量車輛於匝道逆行時，可能於中途即發現誤闖車道而未繼續逆向行駛，因此南區交控匝道逆向偵測系統設置三個偵測區域，以供管理人員立即判斷逆行車輛行駛路徑或位置，第一區使用環路線圈式車輛偵測器偵測，以既有偵測器增加車輛逆向演算功能，第二區及第三區設置固定式攝影機，將影像回傳交控中心，透過AI影像分析伺服器進行車輛逆行辨識，第三區再

增加設置一套全景攝影機，以供管理人員監看現場即時影像。

(二) 當系統於任一偵測區接獲車輛逆行告警時，可連動現場警示牌面，如圖19，提醒逆行車輛之駕駛注意，系統亦可將車輛逆行事件立即傳送中央電腦系統建立事件反應計畫，同時高速公路主線上之資訊可變標誌發布車輛逆行告警資訊，以期達到提醒主線上用路人之目的，降低逆行事件引發之事故發生與傷亡程度。

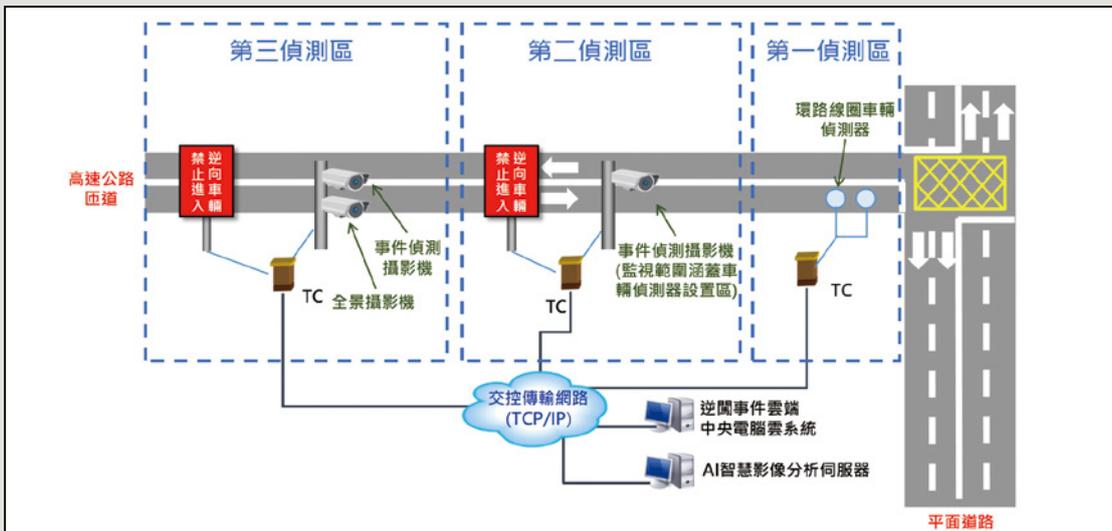


圖18 逆向事件偵測運作示意圖



圖19 逆向行車禁止進入標誌圖

(三) 採集中式架構，將不同匝道之攝影機透過同一伺服器進行影像分析，可減少硬體設備數量而降低建置和維護成本。另系統有故障或異常時，管理人員可以在同一伺服器進行日誌檢查、異常修復，有助於更快的反應和解決問題，當有匝道需增加逆行偵測功能時，僅需將現場攝影機影像接入伺服器，即可進行逆行偵測，可減少軟體開發與重新學習的時間及複雜度。

### 三、AI影像事件偵測邏輯

因早期影像辨識系統常受到光影變化、路面反光、車燈等因素影響辨識結果，使準確度降低，南區逆行偵測系統導入AI影像辨識技術，當AI模型檢測到車輛後，會以連續畫面追蹤，以通過車輛在影像中的運動軌跡分析車輛的運行方向，並且模型可以學習並判斷車輛是否沿著匝道行駛。如果車輛方向與匝道規劃方向相反，就判定為逆行行駛。亦可與AI模型中已建立可能造成誤報之現象及事件特徵值進行比對，可有效排除異常環境因素所造成之誤報，以提高辨識結果的可靠性及準確性。

### 四、預期效益

匝道逆行偵測系統的預期效益如下：

- (一) 提高道路安全：匝道逆行偵測系統能夠迅速識別逆行行駛的車輛，並及時發出警報或啟動其他安全措施，有效防止由逆行行駛引發的交通事故，另此類事故通常更加致命或嚴重。通過即時偵測和預警，可以大幅降低此類事故的發生機率和嚴重性。
- (二) 提高事件處理效率：匝道逆行偵測系統可快速識別並鎖定車輛逆行情況，讓管理人員在最短時間內獲得車輛逆向的即時信息，減少交通事故對路網的影響。另大幅

降低誤報，減少操作人員之負擔。

## 結語

高速公路交通控制系統引入AI智慧分析技術後，其效益顯著。從中央電腦雲平台精準預測旅行時間、北區即時影像事件偵測、中區監控重型機車違規行為，到南區匝道逆向偵測，這些應用成功提升了交通管理效率、準確性與安全性，不僅為管理單位提供決策支援，減少事故與壅塞，也改善用路人出行體驗，提升整體運輸效能。隨著AI技術進步，未來應用將更加多元，進一步增強突發事件的預測與處理能力，優化交通流量調控，實現更靈活的智慧交通。此外，透過持續更新與自動再訓練機制，AI模型可隨交通環境變化保持高精準性與可靠性，確保系統穩定運作。

未來發展方向可朝向即時交通分析與預測，生成式AI結合即時交通與歷史數據，可自動產生交通狀況報告、預測壅塞區域，並提供即時路況建議，協助駕駛者迅速因應，同時作為交控反應計畫之參考。在資產管理與資安優化方面，透過OCR影像辨識技術，提升維護報表檢核效率，包括天氣、出工狀況與檢修結果驗證，進一步優化資產管理流程。為強化資安管理，引入AI資安設備，能自動評估網路安全與漏洞，減少人力負擔並降低風險。

AI智慧分析技術的應用為高速公路交通管理注入新動能，有效提升效率與安全性，並為智慧交通奠定基礎。未來，隨著技術深化與應用推進，系統將朝可靠性、預測能力及自動生成能力發展，提升交通運輸順暢性與社會效益。期待各界專家攜手推動技術進步，建設新世代智慧交通管理系統。

## 參考文獻

1. 交通部高速公路局，1968即時路況資訊網站及App 112年度使用情形分析
2. 交通部高速公路局，112年高速公路行車時間預測資訊服務辦理成果
3. J. Zhao, Y. Gao, Y. Qu, H. Yin, Y. Liu and H. Sun, "Travel Time Prediction: Based on Gated Recurrent Unit Method and Data Fusion," in IEEE Access, vol. 6, pp. 70463-70472, 2018--
4. 綠捷能智控股份有限公司，人工智慧影像技術應用於交通隧道場域異常事件偵測之研究與實域驗證，技術文件



# AI與數位模擬技術 於智慧號誌控制之 應用經驗

關鍵詞(Key Words)：智慧號誌控制(Smart Traffic Signal Control)、人工智慧(Artificial Intelligence)、數位模擬(Digital Simulation)、人工智慧物聯網(Artificial Intelligence of Things)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／正工程師／齊瑞峻 (Chi, Jui-Chun) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／張悅朗 (Cheung, Yue Lang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／楊博鈞 (Yang, Bo-Jyun) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／經理／張智華 (Chang, Chih-Hua) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／經理／游上民 (Yu, Shang-Min) ❺

## 摘要

近年來國內智慧交通ITS發展趨勢，在智慧號誌發展上逐漸受到重視且建置數量日趨龐大，智慧號誌從早期的單點路口或幹道局部路廊建置，到現今大範圍以路網方式建置，所面臨到之道路幾何配置與車流型態之複雜性，與過去面臨之挑戰大相逕庭，因此本篇文章主要探討在現今AI人工智慧浪潮之下，如何應用AI技術來解決與優化目前智慧號誌控制之應用課題，以及推動AI與數位模擬技術於智慧號誌之展望，期許未來有效提升國內智慧交通管理應用之技術能力，協助管理單位更有效地執行交通號誌控制，紓解塞車問題。



## The Application Experience of AI and Digital Simulation Technology in Smart Traffic Signal Control

### Abstract

In recent years, the development trend of Intelligent Transportation Systems (ITS) has increasingly focused on smart traffic signals, with installation numbers growing rapidly. The development of smart traffic signals has progressed from early applications at single intersections or specific sections of major roads to large-scale deployment across entire road networks. This shift brings new challenges, as current road geometries and traffic flow patterns are more complex than in the past. Therefore, this article primarily explores how Artificial Intelligence (AI) technology can be applied to address and optimize current issues in smart traffic signal control. Additionally, the article envisions future prospects for integrating AI and digital simulation technologies into smart traffic signal systems to enhance Taiwan's technical capabilities in smart traffic control and effectively alleviate congestion issues.

3

專題報導

## 壹、前言

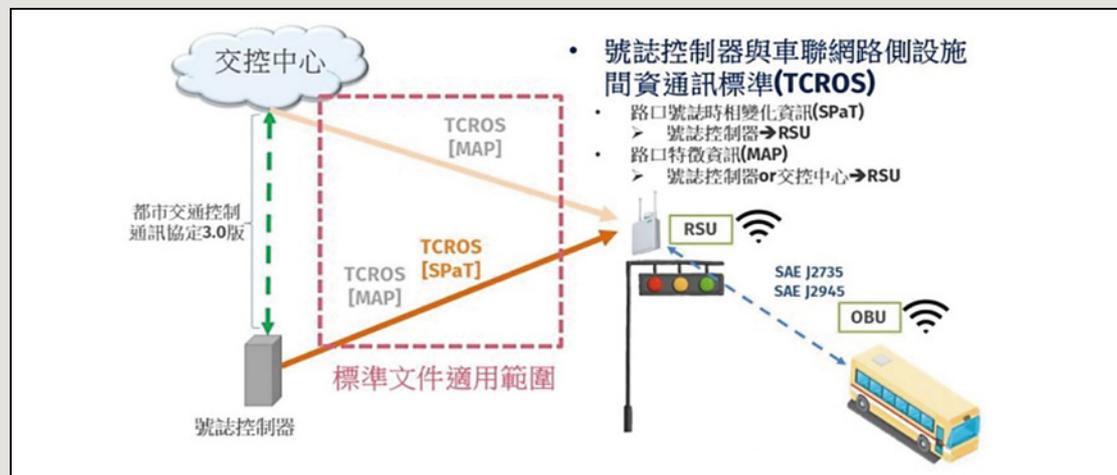
交通壅塞是都市中最常見的問題，造成壅塞的原因包含道路幾何狀況、交通流量變化、號誌時制運作不符、事件或天氣等多重因素導致，在道路條件不改變之情況下，透過號誌控制來改善壅塞狀況為最直覺且有效的控制手段。目前我國許多都市在基礎道路系統發展上已趨近飽和，漸漸開始朝向智慧化號誌及系統整合發展，能在不同道路情境作出有效之號誌控制對應方法。國內在智慧號誌領域上已發展許久，實務上具有多種不同控制策略邏輯來因應不同的道路及交通環境，近年來更著重應用AI或數位模擬技術來優化提升控制效率，因此本文以台灣世曦公司在智慧號誌之建置經驗為例進行分享，先說明國內智慧號誌、AI與數位模擬的發展概況，接著針對AI與數位模擬技術對於智慧號誌之趨勢及未來展望進行說明。

## 貳、國內智慧化號誌發展概況

交通部於智慧型運輸系統(ITS)之標準化交通控制系統系列研究，自民國88年起分年進行都市交通控制之標準化通訊協定、控制邏輯、控制軟體及號誌控制器等研究，於93年頒布

「都市交通控制通訊協定3.0版」與都市交通控制系統軟體，並透過交通部運研所之交通控制實驗室，構建我國標準化都市交通控制系統之研發、測試與整合平台，並將標準化交通控制系統推動至國內各縣市交控中心，並依據通訊協定標準，建立號誌與中心系統間資料交換格式，透過中心系統或路側IPC經由即時交通資訊進行邏輯演算，並將時制內容與號誌控制器進行即時指令交換，達到智慧號誌控制應用。因此，在智慧號誌定義上，只要號誌時制內容能因應「路況」或「使用需求」變化，自動且即時進行適當調整，廣義上可稱為智慧化號誌。

此外，我國因應國際車聯網發展，自104年起由交通部及經濟部帶領相關ITS產業，投入資源研發車聯網技術、實驗軟體平台及設備雛型，並於示範場域實現車聯網V2I的建置及情境測試，以展示其可行性及應用輪廓，車聯網應用網路架構如圖1所示，智慧號誌扮演車聯網重要角色，過去交通號誌的設置是為了提供用路人資訊，駕駛者與行人依號誌狀態，決定停止、行進、轉彎等動作，分配通行權以維持路口秩序，而隨著自駕車技術發展、聯網、通訊功能的演進，車/車、車/路之間具備溝通能力，如專用短程通訊(DSRC)、C-V2X等技術，使各別車輛資訊與號誌控制器資訊產生交換與傳遞需求。



資料來源：號誌控制器與車聯網路側設施間資訊通訊標準草案規劃，台灣車聯網產業協會

圖1 號誌控制器與車聯網路側設施間資訊通訊標準文件適用範圍

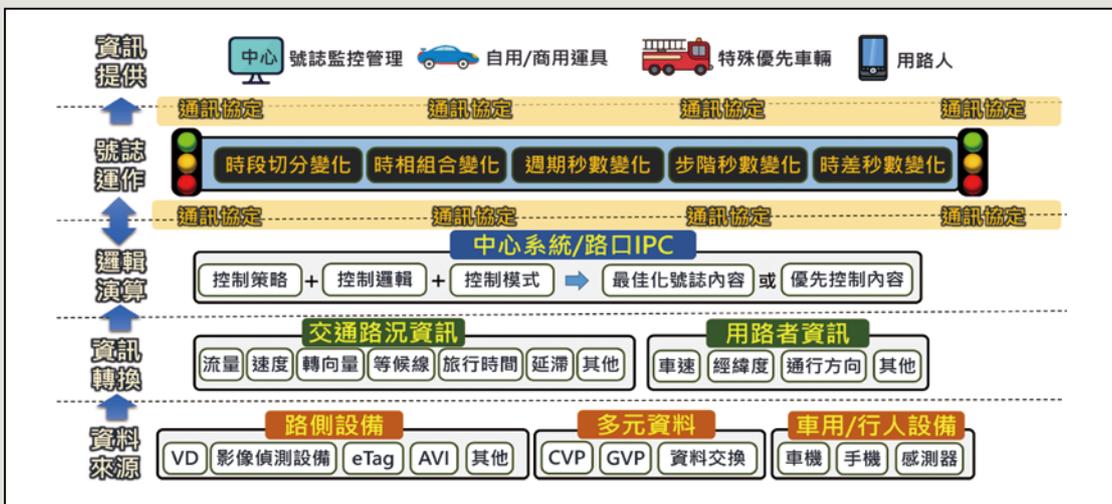


圖2 智慧化號誌運作架構

綜整上述智慧號誌發展與應用內容，彙整智慧化號誌之運作架構，如圖2所示，說明如下。

### 一、資料來源與資訊轉換

智慧化號誌資料來源，包含各項能偵測交通狀況之路側設備偵測資料、手機信令、探偵車或與它單位資料交換等多元資料，以及透過車機、手機、感測器等個別用路者移動資料。路側設備或多元資料經由轉換成為交通路況資訊，如路段流量、速率、路口轉向量、停等車隊長度等，或由用路者設備取得行駛速率、經緯度座標、通行方向等用路者資訊。

### 二、策略邏輯演算

藉由建立合適之號誌控制策略、邏輯與模式，透過交通路況資訊、用路者資訊、現場號誌時制等內容，由邏輯演算模組進行運算，產出符合道路交通狀況之號誌秒數，或是符合特定用路需求之優先控制指令，在邏輯演算部分可由中心軟體系統負責執行，或於現場路口IPC(工業電腦之簡稱，全名為Industrial PC)進行演算。針對國內智慧號誌案例，以下列舉常見之控制策略邏輯、適用情境以及控制方式，如圖3所示。

適用情境	控制方式	
動態查表	以幹道交通量為主之控制路段	依交通資訊逐週期查詢對應時制
動態TOD	時段開始結束有變化性之路口	依交通資訊決定時段轉換時間
動態時比	幹道交會之重要路口	依各分相車流需求逐週期控制
感應性控制	幹支道交通量懸殊之路口	若支道無車則維持幹道綠燈運作
適應性控制	交通量及變化性均大之路口	依各流向車流需求逐分相控制
AI學習控制	考量整體效益之區域範圍	依學習機制結果逐週期/分相控制
緊急優先	消防救護車輛優先通行路口	車輛需求進行紅燈截斷/綠燈延長

圖3 智慧號誌策略邏輯常見類型

### 三、號誌控制運作

經由邏輯演算後之號誌時制或秒數，透過通訊協定指令交換，傳達至現場路口號誌控制器，進行對應控制內容，如時段切分變化控制、週期秒數變化控制、步階秒數變化控制、時差秒數變化控制等，達到智慧化號誌控制之使用目的。

### 四、即時資訊提供

經由上述號誌控制運作內容，再由通訊指令查詢，進一步提供至交控中心進行號誌監控管理作業，或是提供號誌時制秒數至自用/商用車輛、特殊優先車輛之車載系統，甚至是用路人手機等加值應用服務。

## 參、AI與數位模擬發展

模擬技術一直為科學研究或工程規劃設計之重要測試與驗證工具，可針對各項模型或方案進行結果輸出與改進設計，而透過人工智慧(AI)的結合，使模擬功能更廣泛結合多元資訊、洞悉各種可能變數與結果，更重要的是，可更快速的識別、判斷、分析更複雜的模式，尤其針對千變萬化的交通環境，使交通專業領域能更有效率進行各項數據結合、預測，甚至是做

到與現實世界相同的擬真環境即時呈現。以下以AI演算與數位模擬在交通控制之應用為例進行說明。

### 一、AI演算應用案例

人工智慧(AI)為電腦科學的範疇，可以廣泛定義為模仿人類與人類思維相關認知功能的機器或計算物件，例如：感受環境影響並採取行動作為，並能夠從過去的經驗中不斷的學習，快速且做出合理的決策。一般在產業實務應用上，可以透過分析大數據的廣泛資料，經由訓練找出應用模式，進而自主執行設定的任務目標，實現自我學習、發現及解決問題的能力，因此，AI可以看成是一種更聰明、有效率的運算機制。

以臺北市智慧號誌控制應用為例，透過設置AI影像偵測器，以AI技術辨識道路上不同類型車輛與行人等物件，並將行人、機車、自行車、小客車、大型車輛等進行分類，以及偵測各項物件直行、左轉、右轉、停止、行駛速度等移動情形，並能將行駛(行走)於道路上之用人與路邊停車等不同用路行為進行區隔，即時提供各路口車流量變化情形，作為智慧號誌於綠燈時比調整、綠燈延長/縮短等控制判斷依據，AI影像辨識畫面如圖4所示。



圖4 臺北市應用AI影像辨識進行號誌控制之範例

以高雄台88交流道智慧號誌控制為例，針對下匝道交通量以AI演算法進行流量預估，作為既有號誌邏輯架構之資料來源，藉此降低下匝道設備建置成本。其AI演算法的建置流程如圖5所示，包含資料蒐集、資料儲存、ETL(萃取、轉置、載入)、資料倉儲、資料檢視、資料預處理、資料分析、資料視覺化、深度學習模型創建、模型訓練、模型部署上線、模型監控等，而AI演算法所預測之上游到達量可作為邏輯參數，藉以設定相關門檻與權重，強化適應性控制對於判斷等候線變化之成效，使策略邏輯更貼近路口真實情況。

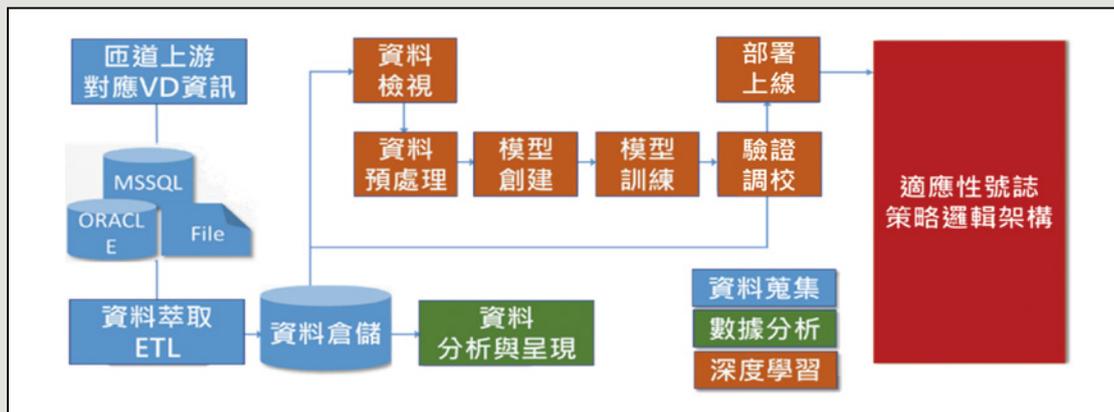


圖5 高雄台88交流道之AI演算法建置流程示意圖

## 二、數位模擬應用實例

數位孿生(Digital Twin)係指將實體物件、實體環境等，同步映射在虛擬模擬環境中，又可以稱為數位映射、數位分身等名詞。其基本概念為將各項資料、系統資訊與數位環境之間進行串聯，創建盡可能與現實環境相似的世界，進而使資訊科學家、維護管理者可藉此模擬環境進行各種可能性分析、策略執行，從而瞭解目標執行狀況及任何可能潛在問題。數位模擬技術廣泛應用於各項專業領域，如製造工程、航太發展、醫療保健、運輸能源等產業，用於產品設計、流程優化、決策分析、維護管理等各種項目應用。

以Google在交通控制管理應用為例，Google研究院與美國西雅圖交通單位合作，透過SUMO (Simulation of Urban Mobility)模擬軟體，匯入西雅圖體育館周邊環境的交通流量、號誌運作等數據，藉此重現體育館大型活動結束時之壅塞車潮，分析評估各種交通管理措施之實施成效。

以國道1號高雄交流道周邊平面道路智慧號誌控制為案例，同樣透過SUMO模擬軟體，即時匯入上下交流道車流量及各路口號誌運作內容，構建與現場交通環境相同之模擬環境，從而組成可供AI訓練的模擬環境。該案例

為反映真實號誌控制操作，自行開發程式擴充SUMO內建之號誌控制器，使其具備與現場號誌同步下載、號誌時差改變等控制功能；同時實作現場偵測器，模擬取得包括車輛偵測器、轉向量偵測器的觀察資料，透過TraCI(Traffic Control Interface)介面，可以控制SUMO環境大部分物件及參數資訊，提供AI必要模擬環境，對實作號誌控制和獲取路網反饋相當重要。以訓練AI為例，通過TraCI傳輸AI動作(時比)至SUMO號誌控制器，SUMO模擬時制改變後路網交通變化，然後AI取得SUMO虛擬偵測器的讀數變化，轉譯為AI動作(時比)所帶來的狀態和獎勵變化，接著AI更新其內部網路參數。透過SUMO模擬訓練之物件統整如表1所示，路網模擬示意畫面如圖6所示。

表1 AI模擬訓練介接SUMO物件統整表

SUMO物件	TraCI	AI介接
模擬器	開始/關閉模擬、目前模擬秒數等	控制路網模擬，計算AI步階
路網沙盒	車輛位置、車輛資訊等	計算AI獎勵，包括進入路網車輛數、離開路網車輛數等
號誌控制	時相組成資料、控制時相的啟動、切換、延長	計算AI狀態，取得目前號誌狀態；執行AI行動，下載時制至號誌
虛擬偵測器	即時車輛通過數、等候時間、路口轉向量、車輛平均速度	計算AI狀態，包括VD、轉向量偵測器等資料輸入

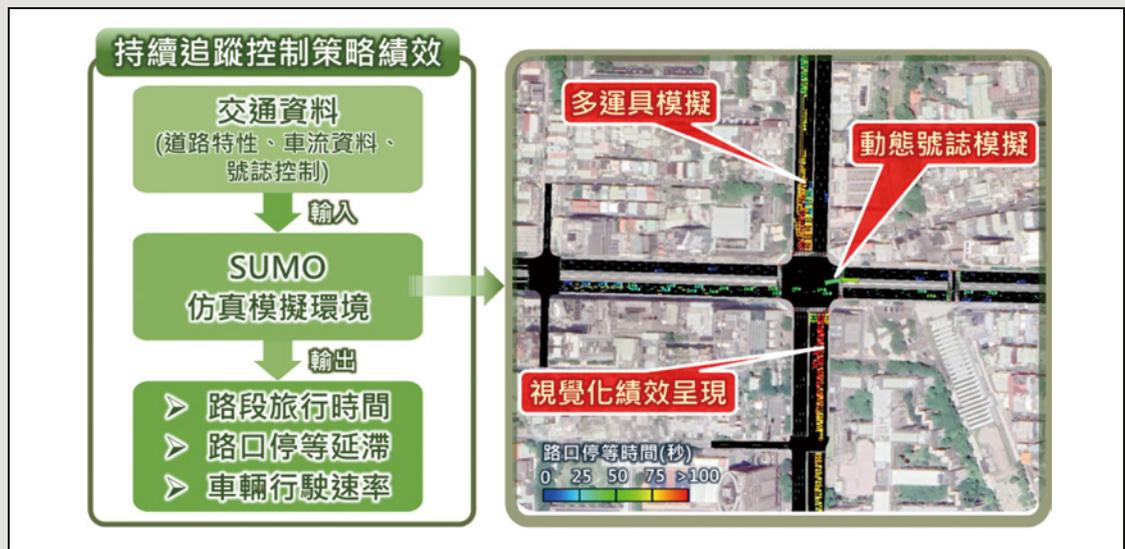


圖6 SUMO交通模擬環境示意圖

### 肆、AI與數位模擬技術應用趨勢

智慧化號誌的運作成效仰賴準確的交通即時資訊、精準的控制策略目標，以及完善的控制邏輯運作，並需要良好的維護管理機制確保運作績效一致性，透過AI與數位模擬能持續優化精進智慧號誌運作成效，以下從智慧號誌在交通資訊分析、號誌控制策略、維護管理機制等不同應用面向進行說明。

#### 一、交通資訊分析應用

##### (一) 即時交通數據分析

目前交通資訊之取得方式，多為透過路側設備偵測交通狀況，如車輛偵測器、轉向量偵測器、等候線偵測器、eTag偵測器等，依據

偵測設備所產出之即時交通數據，進行相關策略邏輯應用。透過AI與數位模擬的應用支援，能於模擬環境中自行建立虛擬觀測點或路段，以微觀方式掌握各項指標，例如：車輛延滯秒數、旅行時間、路段壅塞比等交通資訊，有助於補足資料的完整性與多樣性，並能觀測分析路口間車流變化互動的關聯性。(圖7)

##### (二) 即時事件資訊分析

目前即時事件資訊之取得方式，經常是透過預先分析設計事件情境，或由人工掌握預先施工/管制等影響路段，輔以交通資訊進行觀測，並建立號誌控制策略內容。透過AI與數位模擬的應用支援，能藉由AI演算與數據化呈現突發性交通變化情形，並微觀產生事件影響範圍與時間，有助於掌握事件資訊，並能立即提

供最適切之號誌控制策略。(圖8)

### (三) 區域路網分析應用

針對區域路網交通分析，目前多以即時性資訊為主，然而路網交通控制之所以複雜，在於其交通量變異性高，以及車流轉向運作、突發事件所造成的影響，經常以面的方式擴散，其影響因子變數多且具有隨機性存在。因此透過AI與數位模擬的應用支援，能將車流遞延變化納入考量，滾動推演未來最可能之交通狀況，並可進一步分析車流與號誌控制策略之互動關聯，使號誌時制能超前部署預為因應。(圖9)

## 二、號誌控制策略應用

智慧號誌控制策略規劃與邏輯設計，仰賴決策者過去執行的經驗，然而因為執行場域的差異，仍需依據實際運作時之現場交通狀況調整，為能更完整確認與掌握控制策略執行對於

路網之影響，透過AI與數位模擬技術的應用，可協助建立更貼近現實的模擬環境，於策略實施前可預先透過模擬，進行初步的成效評估，並依據模擬環境中的交通狀況變化，適時調整策略邏輯或控制參數，達到更符合實際交通環境的智慧號誌運作方式。(圖10)

## 三、維護管理機制應用

當智慧號誌上線運作後，能持續維持穩定績效執行是實務上重要課題，透過AI數位模擬應用，管理者可在擬真環境下即時監測交通與維持良好控制績效，進而降低維運成本，同時並能針對交通環境之改變分析相關數據，自動適切調整時制，提升維運品質。(圖11)

## 伍、未來推動展望

### 一、智慧號誌推動建置需求

	傳統作法	AI與數位模擬應用	智慧號誌優化
交通流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>路段設備單點偵測流量</li> <li>路口設備偵測轉向量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立虛擬觀測點，微觀掌握各車種各流向的變化情形</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通資訊微觀，助於車流需求掌握</li> </ul>
旅行時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>eTag或車牌辨識設備</li> <li>比對計算路段旅行時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立虛擬觀測路段，能微觀掌握路段前中後等細部變化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時制調節與車流變化互動關係掌握</li> </ul>
停等延滯	<ul style="list-style-type: none"> <li>路口前偵測等候線長度</li> <li>依流量推估停等延滯</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>微觀掌握各車輛與停等情形，各項理論延滯計算得以實現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有助於號誌路口間時制配合，甚至打破既有號誌群組綁定</li> </ul>

圖7 即時交通數據分析應用說明

	傳統作法	AI與數位模擬應用	智慧號誌優化
壅塞溢流	<ul style="list-style-type: none"> <li>預先建立有交通資訊路段之壅塞溢流情境</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>微觀掌握壅塞溢流影響時間、影響範圍、恢復所需時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>微觀與預測能力，掌握影響時間及範圍</li> </ul>
交通事件	<ul style="list-style-type: none"> <li>預先建立車流資訊門檻，進行事故可能性偵測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>依據歷史數據、自由流變化，自動進行微觀路段事故告警</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動產出控制策略，如截流疏流、週期時相調整等控制策略</li> </ul>
施工/管制	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工掌握施工/管制範圍，交通資訊觀測影響情形</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>微觀掌握施工/管制範圍即時與即將影響之數據化資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無需事先綁定，打破既有類規則庫做法</li> </ul>

圖8 即時事件資訊分析應用說明

臺灣許多都會區道路系統之發展已趨近飽和，開始朝向智慧化號誌及系統整合發展，根據日漸成熟的交通管理模式、路側基礎建設與管理、資訊數據分析等應用經驗，能在不同道路情境作出有效之號誌控制對應方法。但目前智慧號

誌主要發展仍仰賴路側設備建置，多著重發展於局部性路段之動態號誌控制，AI導入較偏向於控制邏輯層面，當路網環境或號誌時制改變時，往往調校學習的時間成本較高，因此現階段AI與數位模擬之應用仍有精進突破空間。

	傳統作法	AI與數位模擬應用	智慧號誌優化
<b>路徑預測</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>僅單一路段交通資訊預測，下游或整體區域變化情形難以掌握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>車流遞延與指派模式導入，推演未來時間整體路網之交通資訊及事件變化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 預先執行動態時制以因應未來衝擊波變化</li> <li>✓ 無須區域通盤考量，無須事先設定特殊日控制或員警站崗因應</li> </ul>
<b>活動/特殊日</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>依據歷史或預先沙盤推演，建立可能影響結果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>以路徑預測結果，動態產出未來時間最可能之交通影響</li> </ul>	

圖9 區域路網分析應用說明



圖10 號誌控制策略應用說明



圖11 智慧號誌維護管理應用說明

有鑑於此，智慧號誌在AI與數位模擬未來應用上，不僅是控制邏輯的應用，需朝向擴大適用範圍、降低維護與時間成本、號誌時制輸出結果彈性化等重要目標，尤其針對智慧號誌在維護管理、參數調校等需以高人力為主的作業工作上，逐漸以人工智慧取而代之，朝向智慧城市管理的方向邁進。

## 二、新興交通數據應用與資訊串聯

透過AI模型與數位模擬為基礎之智慧號誌控制，對於交通偵測的資料品質與傳輸頻率有較高的要求，若資料不穩定將使模擬環境失真，進而使智慧號誌無法有效因應車流變化進行控制。近年來新興交通數據應用百花齊放，如電信數據CVP、Google旅行時間、TomTom旅行時間或PTV Flows等，其數據資料穩定性與範圍涵蓋性均較有優勢且具使用彈性，有助於未來數位模擬之應用發展與技術演進。

此外，近年來綜整性的交通數據資料勾稽與串聯應用為交通管理之發展重點，例如：交通戰情儀表板、多元資訊交控平台等應用，其分析概念與AI數位模擬等技術息息相關，以AI技術分析預判各式交通事件，以路網視覺化方式掌握交通資訊，而號誌控制為其決策應變之重要手段，因此AI技術與數位模擬在新興數據應用與串聯上，將是未來智慧號誌重要基礎方向。

## 三、AIoT應用發展

IoT物聯網技術之蓬勃應用，已讓數位裝置之間產生緊密連結，是數位時代來臨的重要關鍵，而在IoT技術中導入AI技術，形成所謂的AIoT，隨著5G通訊快速發展，其擁有eMBB(增強型行動寬頻)、uRLLC(超可靠低延遲通信)和mMTC(巨量多機器型態通訊)3大核心技術，與AIoT結合後可應用在更廣的層面，尤其在交通控制管理應用上，能具體實現交通號誌自動化

管理及垂直應用領域串聯。

現況智慧號誌系統運作模式，係透過路側設備收集交通資訊，針對各種道路環境及控制策略進行客製化，並進行軟硬體開發的封閉系統。當人工智慧技術微型化導入感測器，搭載AIoT的嵌入式裝置運算能力將提升，如此一來，數據不一定得再回傳中心進行人工智慧分析，邊緣端就能進行基本運算，邊緣運算在整體架構的占比提升，路側設備即使沒有與中心串聯也不影響其運作能力。如交通號誌以邊緣計算方式，結合路側感測設備、車機設備、行人行動裝置、天氣、事件等多元化大數據資料來源，依據區域性交通狀況提供最佳化控制模式，並將時制下載後之人車交通狀況，滾動式學習比對調整，自動化因應內外交通環境，提升區域交通運行效率。此外，目前交通號誌設備會以人工定期巡檢的方式，或由民眾進行通報，由維修小組進行檢修作業，因此在設備維護管理上，需花費許多人工時間成本及設備維護成本，透過AIoT之物聯網通信及邊緣計算應用，中心管理者能主動掌握設備妥善狀態，降低人力巡查作業成本，並能在異常狀況時有效縮減維護時間，提升道路交通服務品質。

## 參考文獻

1. 臺北市政府，臺北市智慧號誌初步規劃案，民國110年。
2. 臺北市政府，111年度臺北市導入智慧動態號誌控制策略計畫1，民國111年。
3. 高雄市政府，111-112年度高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用計畫委託專業服務案，民國111年。

# 應用深度學習於 GoPro行車影像 車道線偵測研究

關鍵詞(Key Words)：數位道路 (Digital Road)、車道線偵測 (Lane Line Detection)、  
深度學習 (Deep Learning)、行車影像 (GoPro Driving Images)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空資部／工程師／林展慶 (Lin, Zhan-Qing) ❶

國立陽明交通大學／土木工程學系／教授／張智安 (Teo, Tee-Ann) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空資部／工程師／洪愷頡 (Hung, Kai-Chieh) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空資部／工程師／楊軒 (Yang, Hsuan) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空資部／工程師／李冠毅 (Lee, Kuan-Yi) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空資部／技術經理／吳錫賢 (Wu, Hsi-Hsien) ❻



## 摘要

隨著數位道路圖資 (Digital Road Map) 在交通管理及導航服務等應用上日益廣泛，對於更精細的空間資訊需求也越來越高。為了研發能夠快速產製且低成本的數位道路圖資產製方法，本研究提出利用 GoPro 行車影像與深度學習 (Deep Learning) 技術進行車道線偵測之方案，透過簡單的裝置架設與日常行車過程中的影像蒐集，實現自動化的車道線辨識與地圖建置，為交通與智慧道路 (Smart Road) 應用提供了一種具成本效益的資料產製方式。

本研究著重於開發基於 GoPro 行車影像的車道線偵測技術，包含影像資料獲取、影像密匹配 (Dense Matching) 及方位重建、應用深度學習模型 LaneNet 進行車道線識別與實例分割 (Instance Segmentation)、將影像上辨識出之車道線反投影至物空間後透過 DBSCAN 聚類演算法並擬合，以完成精準的車道線三維坐標重建。研究成果不僅降低圖資產製成本，也提高了空間資訊生產效率，有助於未來對於交通管理及智慧道路之發展。



## Applying Deep Learning to Lane Detection with GoPro Driving Images

### Abstract

With the increasing application of digital road maps in traffic management and navigation services, the demand for more precise spatial information is also increasing. In order to develop a fast and low-cost method for producing digital road maps, this study proposes solution for lane detection using GoPro driving images and deep learning technology. By employing simple equipment setups and data collection during regular driving, the system achieves automated lane line detection and map construction, providing a cost-efficient way to produce data for transportation and smart road applications.

This research focuses on developing the lane line detection technology based on GoPro driving images, including image data acquisition, dense matching and orientation reconstruction, and lane line identification and instance segmentation through the deep learning model LaneNet. The detected lane lines are then back-projected into the object space, and the DBSCAN clustering algorithm is applied to fit and reconstruct the precise 3D coordinates of the lane lines. The results of this study not only reduce the cost of map production but also improve the efficiency of spatial information generation, which contribute to the future development of traffic management and smart roads.

## 壹、前言

近年隨著數位道路圖資應用迅速發展，智慧交通對於精確細緻的空間資訊需求與日俱增，傳統的圖資已難以滿足現代智慧交通應用需求，因此需建構一種細緻至車道等級的數位道路圖資，亦即「車道地圖」，以優化智慧道路服務、輔助交通管理，提升系統效能，為未來智慧交通發展奠定基礎。

車道地圖是一種以車道為基礎的數位地圖，其適用範圍涵蓋動力車輛可行駛的行車帶空間，記錄道路空間中包含路面範圍、縱向標線、停止線、網狀線等資訊，並包含虛擬圖徵如基礎車道中心線，其屬性設計更記錄與關聯了許多重要交通資訊。透過對於道路空間的精細描繪，車道地圖有助於高效交通管理與安全駕駛，成為未來交通基礎設施的重要元素。

為了因應車道地圖發展趨勢，本研究研發重點為導入AI人工智慧發展智慧測繪技術，以深度學習發展自動化行車影像之道路標線判識

及空間定位。此計畫主要包含三個核心研究項目：行車影像地理對位、車道標線偵測、以及車道重建，對應的研發項目包含序列式行車影像方位重建、影像密匹配產生路面並將行車影像投影至路面區域、AI萃取車道標線、以及車道標線重建車道，期望透過先進的人工智慧技術，實現以行車影像自動萃取車道地圖標線的目標。

## 貳、研究方法

### 一、行車影像地理對位

研究資料收集採架設多相機系統，包含前視雙相機及後視雙相機共4臺相機，雙相機優點是增加立體重疊率，分為前視及後視能涵蓋較為完整之路面區域，盡可能降低標線被遮蔽的問題。此外，為了提供初始方位值供方位重建計算使用，應同時搭載簡易定位定向系統，以獲得影片拍攝時的概略坐標位置及姿態。地理對位之主要目的是利用電腦視覺之Structure-

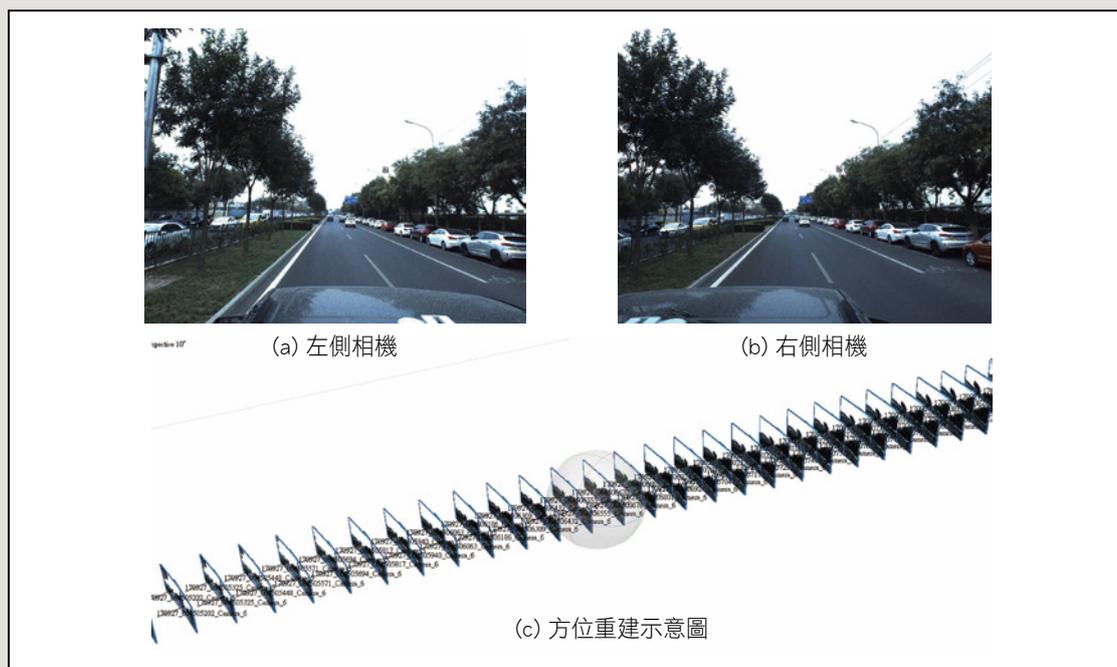


圖1 前視雙相機示意圖

from-motion技術恢復相機之相對方位參數 (Teo, 2015, Westoby et al., 2012)，再配合地面控制點及光束法平差獲得相機外方位參數 (如圖1)，以利後續車道標線物空間定位使用。

以四臺GoPro 11廣角相機進行資料獲取為例，其優點是輕巧且可以獲取5K (5312 x 2988 pixels) 畫質的影片，在取樣頻率為30fps時，車速60km/hr拍攝照片的相幅與相幅間的距離約為0.5m。假設GoPro焦距為2.7mm，Pixel Size是0.0015mm，在距離10公尺處的空間解析度約為5mm，應足以進行標線識別。需注意的是GoPro為廣角相機，必須進行相機率定，以消除廣角影像的畸變差。獲得影像方位重建後，再以影像匹配技術獲取道路環境之三維點雲 (Remondino et al., 2014) (如圖2)，再經由點雲地面點過濾，取得路面概略高程。因路面



圖2 路面影像重建示意圖

高程具有平滑及連續的特性，稀疏三維路面點雲可經由多項式平面擬合取得路面高程，再將影像色彩數貼至路面，以快速檢視路面標線資訊。影像匹配技術可採用影像密匹配 (Dense Matching) 技術，已知相機位置 ( $h_{cam}$ ) 及相機在載具上的高度 ( $-d$ )，可反算概略地面高程 ( $h_{ground} \approx h_{cam}-d$ )，設定一區域先排除大量非路面點，再經由三角網過濾點雲地面點 (Cheng et al., 2020)。

## 二、車道標線偵測

車道標線偵測利用深度學習技術辨識道路上的車道標線，相較於使用二元化影像處理技術獲取車道標線，深度學習有更佳的能力獲取標線語義屬性。本研究採用LaneNet (Neven et al., 2018) 車道標線實例分割 (Instance Segmentation) 的方法。LaneNet是一個由兩個網路分支組成的架構 (如圖3)，用於進行車道標線偵測，其優點是端到端 (End-to-End) 的車道標線偵測，可分類不同車道標線，並經由線形擬合補足局部遮蔽區域的車道標線。在LaneNet中，第一個特徵提取分支 (Embedding Branch) 負責生成一個稱為Embedding向量的特徵表示，用於將同一個車道標線的像素 (Pixel) 聚類在一起，形成一個概略的車道標線區域。第二

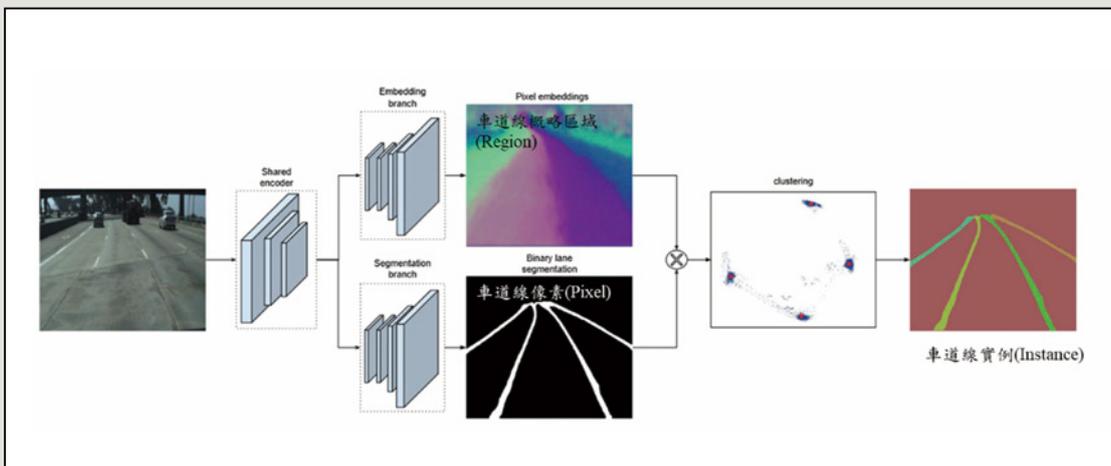


圖3 LaneNet網路架構圖 (Neven et al., 2018)

個分割 (Segmentation) 分支負責訓練一個二值化的分割圖，用於將非車道標線和車道標線的像素進行區分。這個分割圖將車道標線像素標記為 1，而非車道標線像素則標記為 0。最後，兩個分支的結果被整合起來進行群聚 (Clustering) 分析，以獲取每條車道標線的實例 (Instance)。群聚分析可以通過將相鄰的車道標線像素聯繫在一起，並將它們視為同一條車道標線的一部分來實現。

本研究採用 LaneNet 深度學習模型，模型訓練使用 tuSimple (Neven, 2018) 車道標線資料集 (如圖 4)，這份資料集總共包含了 3,626 張用於訓練的影像和 2,782 張用於測試的影像，這些影像涵蓋了白天的各種時段，包括 2 車道、3 車道、4 車道甚至更多車道的高速公路。

由於 tuSimple 車道標線資料集多集中在高速公路，缺少市區道路資料，本研究加入 Mapillary (Neuhold et al., 2017) (如圖 5) 資料集，以增加訓練資料的樣本。這份資料集包含了來自世界各地在各種條件下所捕獲的影像，涵蓋了不同的天氣、季節、時間及各式攝影器材 (包含手機、平板電腦、運動相機、以及專業的照相機) 進行拍攝，從標籤影像內選取道路標線部分，該資料集分為 12,772 張用於訓練的影像和 1,618 張用於測試的影像，並以人工剔除訓練影像中非車載相機視角的影像，如側拍車道或人行道 (圖 5(d) 及 5(e))，更新後用於訓練的影像共 11,968 張。

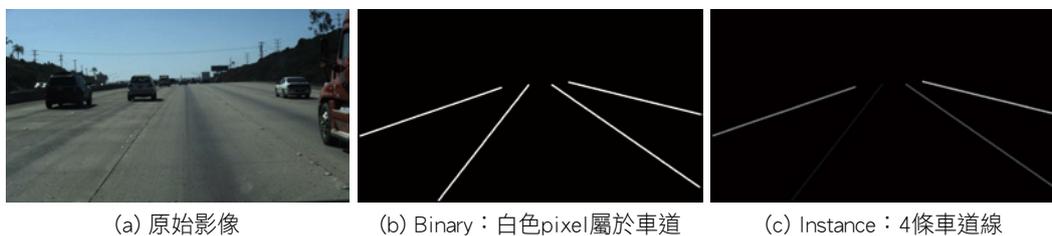


圖 4 LaneNet 資料集與提取車道線示意圖 (Neven et al., 2018)



圖 5 Mapillary 資料集及剔除影像示意圖 (Neuhold et al., 2017)

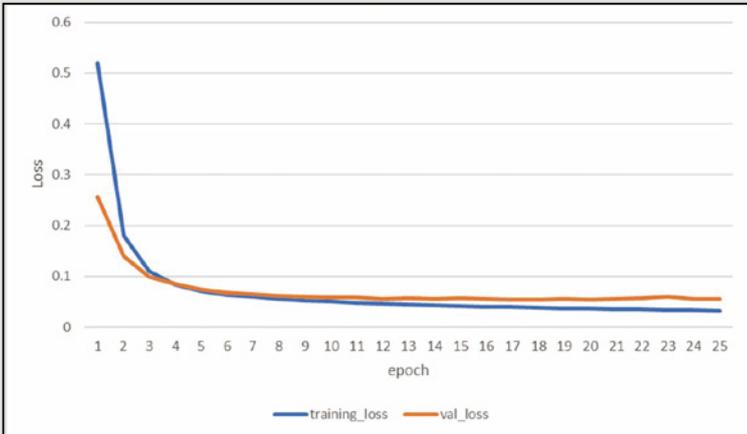


圖6 Loss Function收斂圖

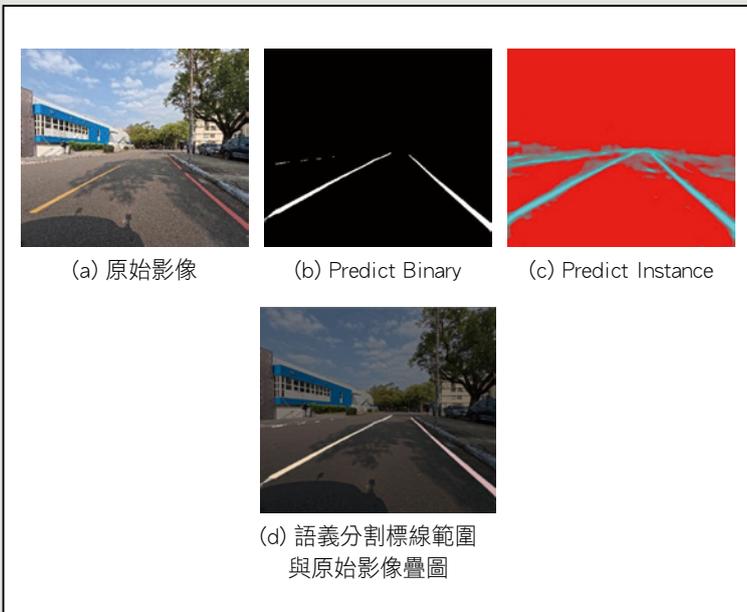


圖7 模型偵測測試區成果展示

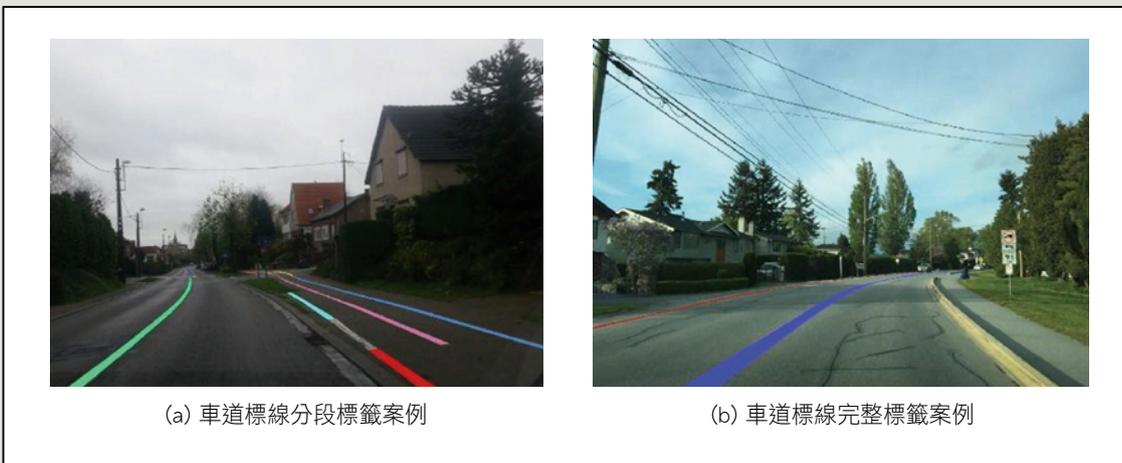


圖8 Mapillary標籤影像展示

本研究將tuSimple與Mapillary資料集整合建立模型，隨機將80%的資料作為訓練（Train）資料集、20%的資料作為檢核（Validation）資料集。經訓練後模型的Training Loss及Validation Loss（如圖6），呈現訓練模型收斂的狀態。

經過訓練的模型，可成功應用於測試區的影像。將原始影像輸入至深度學習模型進行預測，輸出偵測成果如圖7。將偵測成果縮放為與原始影像同比例尺寸，並透過語義分割標線範圍與影像疊圖（如圖7(d)）可看出偵測成果良好，此模型成功應用在測試區與其他區域。而Mapillary標籤影像在資料特性上是每條線段都會是不同標籤（如圖8），並非如tuSimple資料集同一車道標線有相同標籤，導致實例分割成果均為同類別。

### 三、車道標線投影至物空間

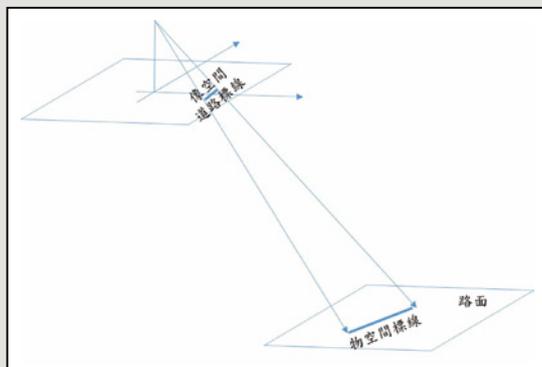


圖9 道路標線光線追蹤

深度學習萃取出二維影像空間之車道標線，三維車道標線可經由立體影像匹配及空間前方交會獲得，但需要較多的運算資源。考量路面平整的特性，可使用光線追蹤法 (Ray-tracing) 將二維車道標線轉換到三度空間，使用自動化偵測的二維車道標線點 (Sample Line) 建立視線 (Line-of-sight, LOS)，並以已知路面高度，計算LOS與路面的交點，得到車道標線點物空間的三維坐標(E,N,H) (如圖9)。以下為光線追蹤法將二維標線轉換至三維標線之詳細公式說明：

(一) 利用式1及式2將在影像坐標P(S, L)轉換到相片平面上的相片坐標系統(x, y)，並以相機焦距作為z值 (式3)。

$$x = 0.5w + IOP_{Cx} - S \quad \text{式1}$$

$$y = L - 0.5h - IOP_{Cy} \quad \text{式2}$$

$$z = IOP_f \quad \text{式3}$$

其中，

S, L：P點影像坐標系統；

x, y, z：相片坐標系統；

$IOP_{Cx}, IOP_{Cy}$ ：像主點偏移量；

$IOP_f$ ：焦距；

w, h：影像長度及寬度。

(二) 用式4及式5將像片平面坐標系統向量[x, y, z]乘上三個旋轉角度( $\omega, \varphi, \kappa$ )得出之旋轉矩陣M，得到該向量於物空間坐標系統的[x', y', z']。

$$M_\omega = [1 \ 0 \ 0; 0 \ \cos\omega \ -\sin\omega; 0 \ \sin\omega \ -\cos\omega]$$

$$M_\varphi = [\cos\varphi \ 0 \ -\sin\varphi; 0 \ 1 \ 0; \sin\varphi \ 0 \ \cos\varphi] \quad \text{式4}$$

$$M_\kappa = [\cos\kappa \ \sin\kappa \ 0; -\sin\kappa \ \cos\kappa \ 0; 0 \ 0 \ 1]$$

$$M = M_\omega M_\varphi M_\kappa$$

$$[x' \ y' \ z'] = M * [x \ y \ z] \quad \text{式5}$$

其中，

M：三個旋轉角度( $\omega, \varphi, \kappa$ )得出之旋轉矩陣(3×3)；

x', y', z'：物空間坐標向量。

(三) 利用式6求向量[x', y', z']之單位向量[x'', y'', z'']。

$$[x'' \ y'' \ z''] = [x' \ y' \ z'] / \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} \quad \text{式6}$$

(四) 透過相機架設高度 $H_{cam}$ 與z''的比值得出比例尺 (Scale)，將其乘上單位向量[x'', y'', z'']，並加上攝影中心在物空間的坐標，即得出影像坐標投影至物空間坐標系統之點P[E, N, H]。

$$Scale = (-H_{CAM}/z'')$$

式7

$$[E \ N \ H] = Scale * [x'' \ y'' \ z''] + [X_C \ Y_C \ Z_C]$$

其中，

$H_{cam}$ ：相機架設高度；

$X_C, Y_C, Z_C$ ：攝影中心在物空間的坐標；

$E, N, H$ ：影像坐標投影至物空間坐標系統之位置。

#### 四、車道標線聚類

影像中的二維車道標線投影至物空間形成三維離散點，使用DBSCAN演算法進行點雲聚類將離散點初步聚類，形成線段並剔除雜訊和離群值，再以二次多項式 (Polynomial) 分段進行線段擬合 (Gwon et al., 2017)，產生連續且平滑之車道標線函數。為判別前後線段的連結性，先進行車道標線函數外插，再以KDTree尋找鄰近點，並判斷前後線段連接關係，最後以Set Consolidation建立所有類別連線關係。詳細步驟說明如下：

(一) 使用DBSCAN進行點雲聚類如圖10所示，將離散點初步聚類成線段 (圖10(a)) 並剔除雜訊和離群值 (圖10(b))。DBSCAN是一種根據點雲密度與鄰近性來分群資料的演算法，能處理雜訊和離群值，並將它們不分類至任何群集中，因此適合用於異常偵測。

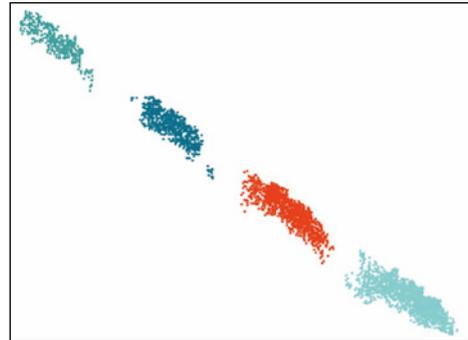
(二) 在分群後根據相機拍照時間進行編碼，產生以時間為基礎的編號 $id_i$ ，將每個 $id_i$ 代入多項式中進行初步擬合，計算新的坐標值 $x(id)$ 、 $y(id)$ 、 $z(id)$ ，成果示意如圖11。

$$x(id) = a_0 + a_1 id$$

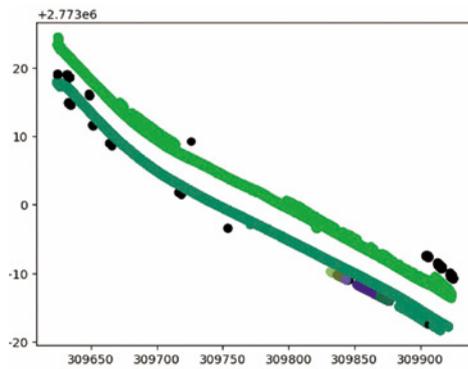
$$y(id) = b_0 + b_1 id$$

式8

$$z(id) = c_0 + c_1 id$$



(a) DBSCAN分類示意圖



(b) 雜訊和離群值檢測範例 (黑色區域)

圖10 DBSCAN分類示意圖

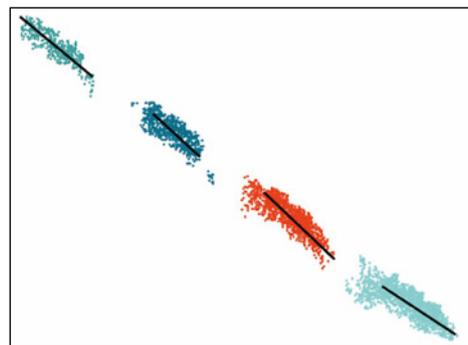


圖11 Polyfit多項式分段進行車道標線擬合

(三) 所有線段都帶有起始時間 $t_1$ 、結束時間 $t_2$ 、及直線方程式係數，進行 $n$ 秒前後的小幅度直線方程式外插，成果如圖12(a)。

(四) KDTree為一種高效計算點到點鄰近關係的演算法，能夠有效地快速的搜索鄰近點，如圖12所示。給定搜尋半徑 $r$ 可以尋找鄰近點，圖12(b)藍色與黑色點在KDTree設定 $r=0.5$ 時有互相鄰近（紅色標示），由此判斷此兩條線段應屬於同一類別。

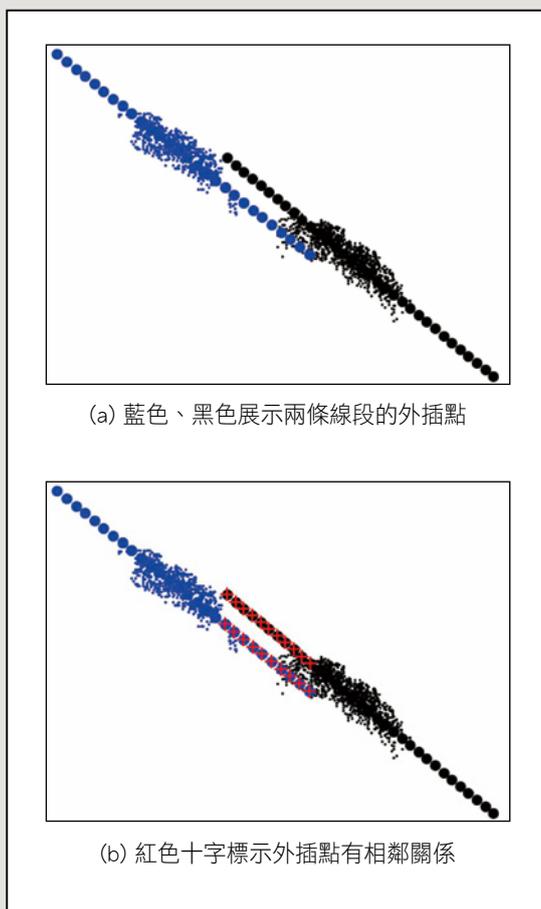


圖12 利用Polyfit外插點透過KDTree尋找鄰近關係

(五) 線段之間相互連線關係用集合來表示，以圖13為例四條線段之間相互關係可表示為 $\{24,25\},\{25,27\},\{27,31\}$ ，這些集合可以進行Consolidation計算簡化成 $\{24,25,27,31\}$ ，將所有線段歸類到同類別，完成同一車道線之聚類。

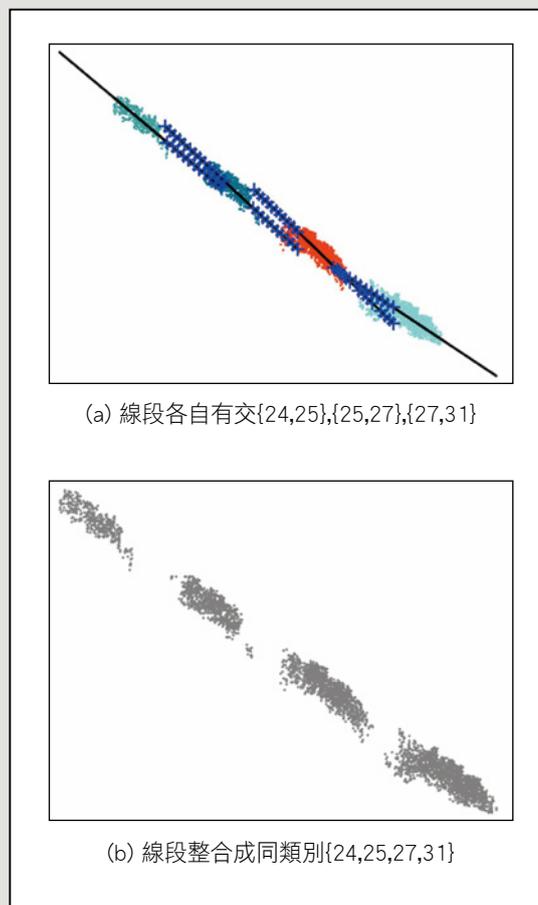


圖13 將各線段集合合併示意

### 五、車道線重建

前一階段的車道線聚類建立類別間的連線關係，接著進行車道線重建。考量道路線平滑特性，本研究利用Spline Line生成平滑車道線，首先將相同類別車道線產生Smooth Spline Line節點，在Smooth Spline Line節點附近搜尋正確車道線點並剔除錯誤節點，最後進行完整高密度Spline Line 擬合，產生高密度節點生成Shapefile，完成車道線重建。詳細步驟說明如下：

(一) Smooth Spline Line擬合（圖14）：相同類別車道線產生平滑Spline Line節點（圖14(a)），然而Spline Line函數在遭遇無資料空白處會有不正常行為（圖14(b)），在此設定每10公尺取節點進行初步的函數擬合。

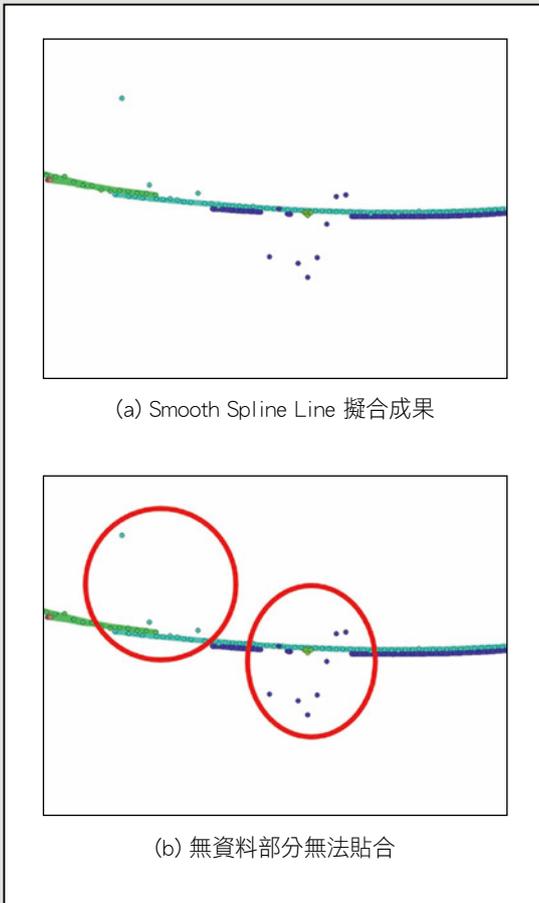


圖14 Smooth Spline Line成果示意圖

(二) 剔除錯誤節點：在Smooth Spline Line節點搜尋正確車道線點，設定搜尋半徑0.5m，只取一倍標準差內的點，如圖15所示，在節點搜尋原始的車道線點並計算分布，將離群雜點去除。

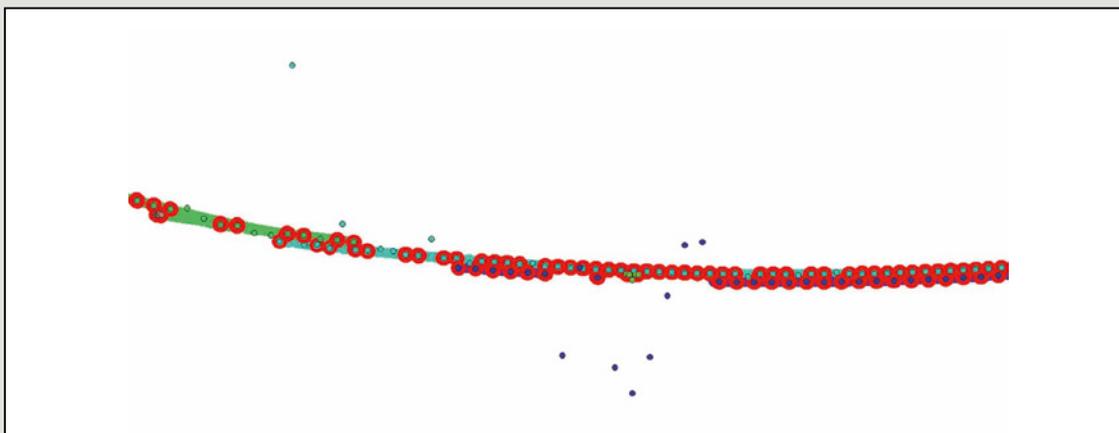


圖15 只選取車道線旁的節點（紅圈標示）

(三) 完整Spline Line擬合：使用過濾後的節點，再次以Spline Line進行擬合，產生1m間距的節點，如圖16所示。

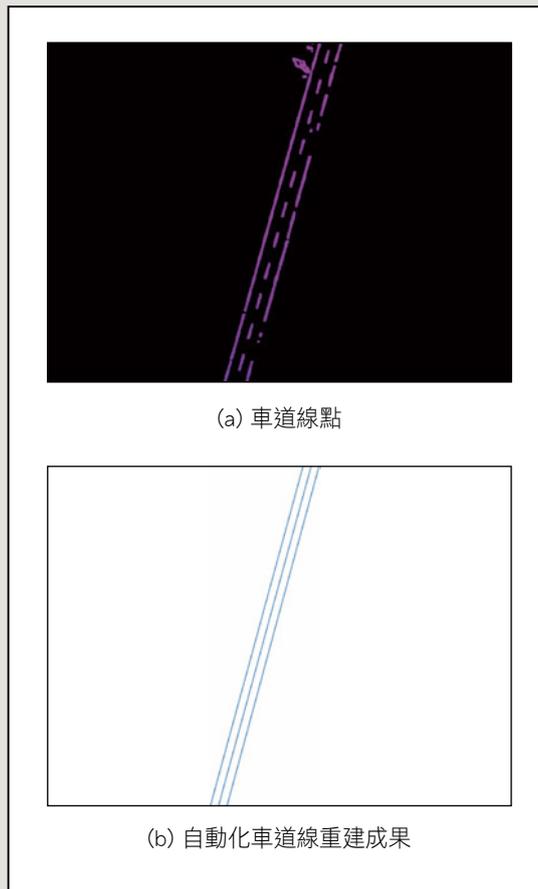


圖16 車道重建成果示意圖

## 參、研究成果

### 一、行車影像資料收集

實驗分析以GoPro 11獲取國道1號內湖段、淡海新市鎮測試區資料，資料格式包含有影片。5K影片像幅大小為5312 x 2988 pixels，取樣頻率每秒29.97幅（29.97fps），並採用GoPro 11內建的鏡頭變形線性改正設定，消除透鏡畸變差。此資料拍攝路段包含車道分向線、紅線、黃線、白線、斑馬線、停車格線等一般路面常見標線，可用於檢測模型的泛用性。獲取範圍及角度如圖17所示。實驗拍攝設置參數如下表1及表2所示。

研究中比較了左側GoPro 11與右側GoPro 11的GNSS軌跡。在現實世界中兩臺GoPro的水平距離和高度差為0.8公尺和0.05公尺左右，然而，根據GoPro內建的GNSS軌跡紀錄，其相對的水平距離和高度差了4公尺及10公尺。手機內建的GNSS也不適用，因部分手機應用程式會自動將GNSS軌跡調整到Google Map的路徑上，會破壞軌跡資訊。為了獲取高精度的GNSS軌跡資訊，因此將採用e-GNSS數據以提升精度。此外，在高程資訊的部分可使用DEM內插的方式來提升高程數據的準確性。適當地使用和選擇軌跡及高程數據來源，是提升車道標線偵測與製圖技術準確度的重要因素。

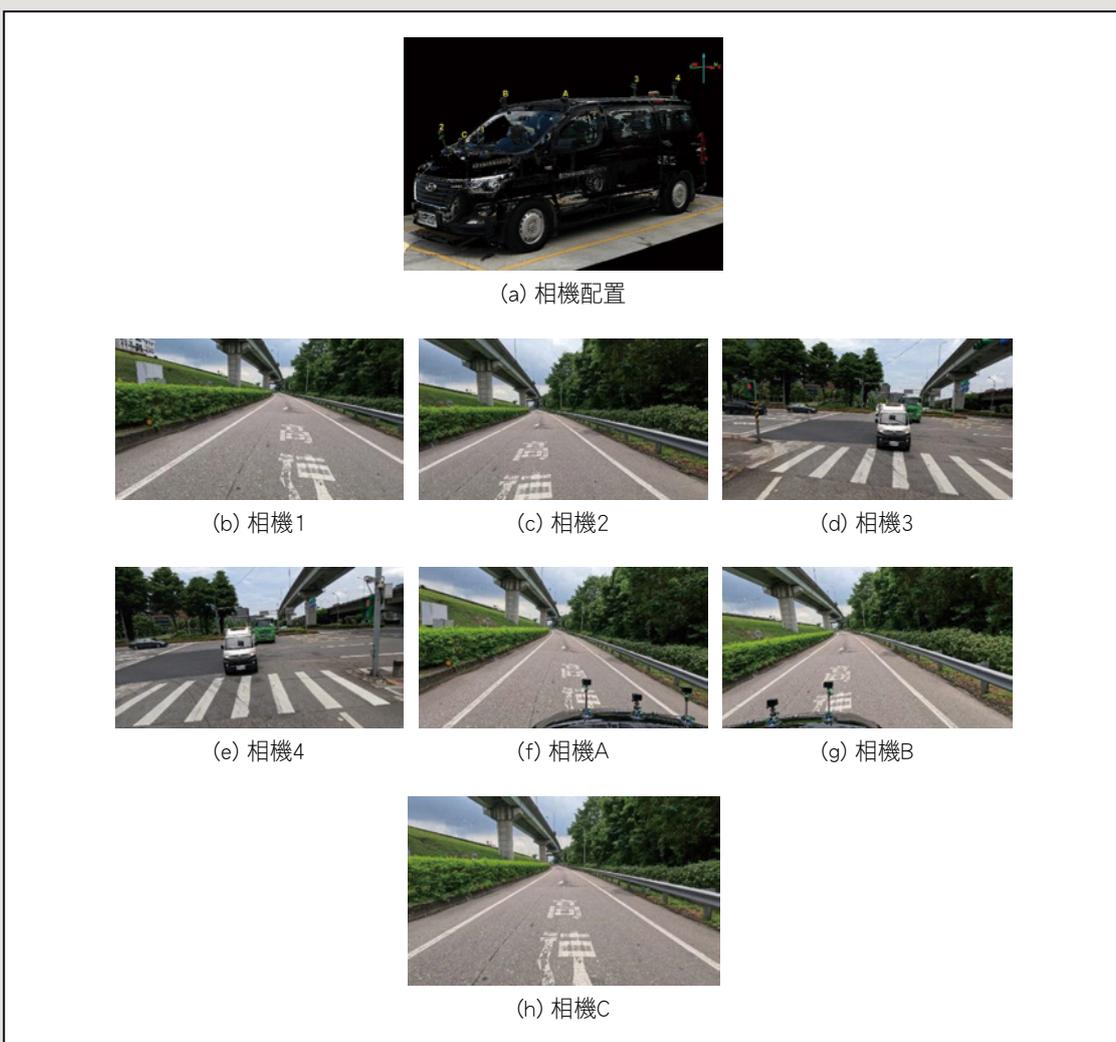


圖17 不同位置拍攝的道路影像

表1 國道1號內湖段實驗拍攝設置參數表

規格	說明
地點	內湖國1 (Case 1, 全長4km)
觀測資料	包含車道分向線、紅線、黃線、白線、斑馬線、停車格線
拍攝格式	線性FOV 4:3 5K (5312x3984) (約21MP) 線性FOV 16:9 5K (5312x2988) (約16MP) 每隔 1/29.97秒拍攝一張影像 影片長度：180秒，GPS記錄在mp4內
基線	前0.88m、中1.29m、後0.88m
高速公路上車速	~80km / hr
相機架設	前視三相機 中間車頂二相機 後視二相機
架設高度	約1.487-2.157m (車高)
GNSS	e-GNSS

表2 淡海新市鎮實驗拍攝設置參數表

規格	說明
地點	淡海新市鎮 (Case 2, 全長1.6km)
觀測資料	包含車道分向線、紅線、黃線、白線、斑馬線、停車格線
拍攝格式	線性FOV 16:9 5K (5312x2988) (約16MP) 每隔 1/29.97秒拍攝一張影像 影片長度：180秒，GPS記錄在mp4內
基線	80公分
車速	~60km/hr
相機架設	前視三相機 中間車頂二相機 後視二相機
架設高度	約1.000-1.500m (車高)
GNSS	e-GNSS

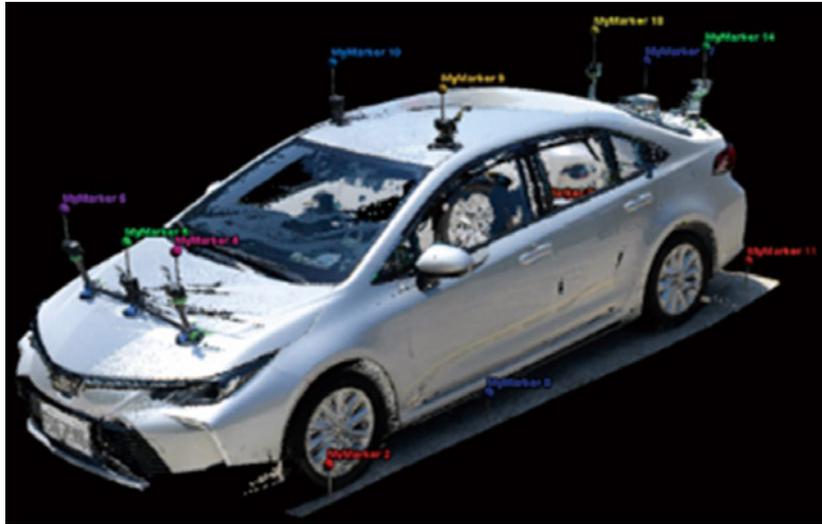
(一) 相機時間同步

以相機CamA (車頭中央位置) 時間為基準，計算其他相機相對CamA的時間差 (以Frame為單位)，方法1使用外部手機的GPS Time作為時間基準，方法2使用GoPro內建GPS Time為時間基準，兩種方法的時間差趨勢是相似的，差異至多2 frames。以下提供兩法做相機時間與GNSS時間對應，建議於在透空度良好 (有GNSS訊號) 時，兩種方法都可以使用。若不做時間差補償，相機時間不同步，例如Cam3相對CamA有差異8 frames，車速40km/hr時，8 frames的差異會造成2.96m (約一臺車身長) 的距離差，因此時間同步是必需要考量的因素。

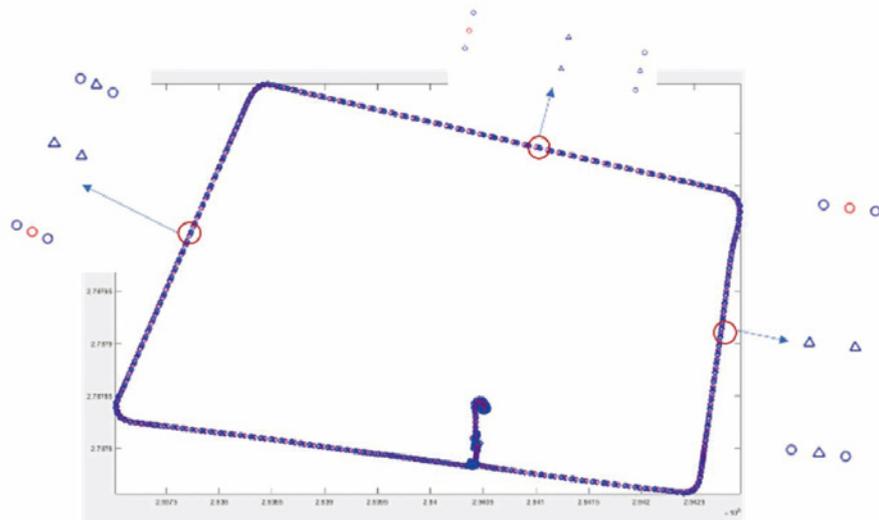
(二) 相機初始位置與系統率定

利用e-GNSS坐標 (E, N, H)、及GNSS/Cam相對平移量 (dE, dN, dH)，可推估每臺相機在製圖坐標系統的坐標位置 (如圖18)。

e-GNSS可反算每臺相機的初始位置，但不是精確的位置；此外，



(a) (dE, dN, dH)從TLS (Terrestrial Laser Scanning) 量測而來



(b) 軌跡圖，紅色圓圈為GNSS坐標反算成果，藍色圓圈為GoPro編號1,2,3,4位置，藍色三角形是GoPro編號A,B,C位置

圖18 從GNSS反算每臺相機的初始位置示意圖

缺乏每臺相機的姿態角，因此需要進行系統率定，透過式9、10 (Teo, 2015) 求相機與主相機 (Cam A) 間的安置角 (Boresight Angles) 及率定臂 (Lever Arm)。只要求得Cam A的外方位參數，即可經由系統率定參數得到其他相機的外方位參數，以提供良好的方外初始值。選定

一小路段密集影像取樣，以光束法平差計算每一臺相機的外方位參數，取樣間距50cm，共79個攝影站，系統率定距離誤差介於0.006-0.043m之間，角度誤差介於0.050-0.491度之間 (如表3)。

Rotation matrix (Boresight Angles) between master and slave cameras :

$$R_{Slave}^{Master} = R_{Mapping}^{Master} \times R_{Slave}^{Mapping} \quad \text{式9}$$

Lever-arms between master and slave cameras :

$$d_{Slave}^{Master} = R_{Mapping}^{Master} (d_{Slave}^{Mapping} - R_{Master}^{Mapping}) \quad \text{式10}$$

### (三) 方位求解及無控制點之精度評估

取樣間距1m，共1,648個攝影站，5臺相機共8,240張相片，從e-GNSS提供位置初始值，進行方位求解及影像密匹配，使用Metashape並以Sequential方式解算，以PC運算所需計算1天之時間。5臺前視GoPro匹配良好，但與2臺後視GoPro視角不同，前視和後視匹配有困難，故不納入後視影像。密匹配後對成果進行精度評估，以UAV正射影像量測16個檢核點，並與GoPro產出之點雲進行比對（如圖19），在無地面控制的情況下，平面dE、dN、dEN之均方根誤差RMSE分別為2.253m、1.222m、1.179m（如表4）。

表3 各相機間系統率定成果表

N=79		Lever_arm_X	Lever_arm_Y	Lever_arm_Z	Boresight_angle_omega	Boresight_angle_phi	Boresight_angle_kappa	相機間的距離
		(m)	(m)	(m)	(deg)	(deg)	(deg)	(m)
Cam1-CamA	Mean	-0.536	0.144	-0.102	2.918	-6.733	0.843	0.564
	Std	0.010	0.006	0.009	0.283	0.137	0.110	0.011
	相對精度	-2%	4%	-9%	10%	-2%	13%	2%
Cam2-CamA	Mean	0.329	0.062	-0.099	0.578	19.065	2.685	0.350
	Std	0.012	0.011	0.017	0.315	0.064	0.157	0.012
	相對精度	4%	18%	-17%	55%	0%	6%	3%
Cam3-CamA	Mean	0.231	1.077	-4.048	163.321	-12.314	177.121	4.195
	Std	0.017	0.043	0.070	0.491	0.167	0.041	0.057
	相對精度	7%	4%	-2%	0%	-1%	0%	1%
Cam4-CamA	Mean	0.368	0.848	-4.111	166.605	8.742	177.821	4.214
	Std	0.023	0.038	0.063	0.351	0.201	0.013	0.055
	相對精度	6%	4%	-2%	0%	2%	0%	1%
CamB-CamA	Mean	-0.977	0.434	1.883	1.472	-9.918	0.722	2.165
	Std	0.025	0.020	0.029	0.294	0.086	0.050	0.039
	相對精度	-3%	5%	2%	20%	-1%	7%	2%
CamC-CamA	Mean	0.921	0.223	1.704	0.715	23.934	3.915	1.950
	Std	0.012	0.018	0.018	0.341	0.087	0.182	0.020
	相對精度	1%	8%	1%	48%	0%	5%	1%



圖19 淡海新市鎮實驗密匹配成果與檢核點分布

表4 無控制點之精度評估表

ID	UAV_E	UAV_N	GoPro_E	GoPro_N	dE (m)	dN (m)	dEN (m)
0	293931.314	2787802.148	293931.883	2787801.547	-0.569	0.601	0.828
1	293907.415	2787796.651	293908.556	2787796.490	-1.141	0.161	1.152
2	293833.257	2787806.295	293835.086	2787806.320	-1.829	-0.024	1.829
3	293779.037	2787815.315	293778.646	2787815.987	0.391	-0.672	0.777
4	293736.480	2787820.787	293733.374	2787822.073	3.106	-1.286	3.362
5	294035.292	2787782.022	294032.916	2787781.679	2.377	0.342	2.401
6	294146.105	2787770.003	294149.462	2787766.646	-3.358	3.358	4.749
7	294256.792	2787771.927	294255.894	2787771.199	0.898	0.729	1.156
8	294279.854	2787907.751	294281.262	2787909.926	-1.408	-2.175	2.591
9	294287.425	2787958.747	294289.442	2787959.760	-2.017	-1.013	2.257
10	294279.167	2788045.117	294281.635	2788044.068	-2.468	1.049	2.682
11	294184.290	2788061.732	294182.526	2788061.364	1.763	0.369	1.801
12	294106.708	2788081.503	294103.002	2788081.992	3.706	-0.489	3.738
13	294005.153	2788111.561	294002.978	2788111.891	2.175	-0.331	2.200
14	293946.674	2788124.303	293946.168	2788124.494	0.506	-0.191	0.541
15	293859.123	2788145.616	293862.244	2788144.779	-3.120	0.837	3.231
				Mean	-0.062	0.079	2.206
				RMSE	2.253	1.222	1.179

#### (四) 行車影像地理對位：移動車輛的影響

高速公路環境中，由於大量移動車輛的存在，易導致影像匹配錯誤，其中共軛點可能錯誤匹配至移動車輛，進一步引發方位解算錯誤。為減少此類問題，本研究採用AI技術偵測車輛，生成車輛區域遮罩（Mask），使車輛區域不參與影像匹配。此方法有效降低錯誤匹配點數量，進而減少方位解算錯誤。然而，該方法可能導致匹配點分布不均，進而增加解算失敗的風險。相關結果詳見圖20：在未使用車輛遮罩的情況下，影像解算成功率為81%（1,747/2,142張），但存在明顯的方位錯誤

（圖20(f)紅圈所示）；採用車輛遮罩後，解算成功率提高至91%（1,968/2,142張），雖部分影像出現方位解算失敗（圖20(g)紅圈所示），但已無顯示出明顯錯誤。

#### (五) 行車影像地理對位：布設控制點

GNSS軌跡帶有誤差，GoPro相機和GNSS時間同步也有誤差，造成影片對應軌跡精度不佳。使用航照影像及DSM做為控制點的物空間資料來源，建議每100至300公尺布設一個控制點，以人工量測控制點，可改正誤差，提升絕對坐標的精度。（圖21）



(a) 車頭左側相機



(b) 車頭右側相機



(c) 無車輛遮罩成果：藍色為匹配成功點，部分點座落在移動中車輛上



(d) 車頭左及右側相機，白色外框為AI自動化標注車輛遮罩



圖20 未完，請接下頁 ↓

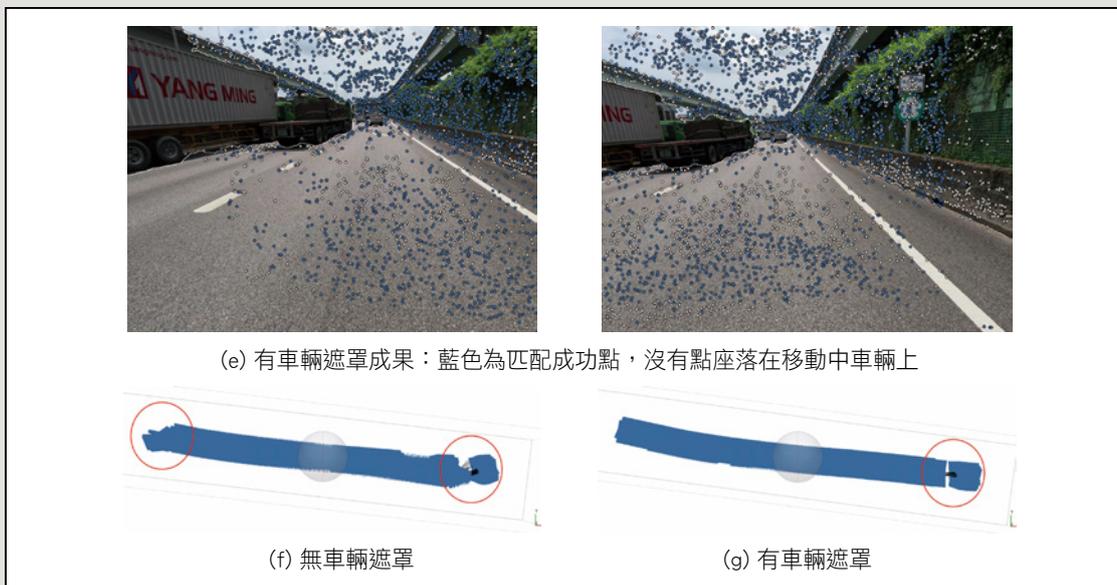


圖20 移動車輛的影響及消除後成果



圖21 布設控制點成果

## 二、車道標線偵測

檢視語義分割標線範圍與影像疊圖，整體車道線偵測成果良好，僅少部分隔島邊緣會被誤判成標線。(圖22)

## 三、車道標線投影

本研究GoPro 11架設方式可參考圖17，拍攝及GNSS等規格可參考表1。利用前述研究方法將影像投影至物空間成果，標線離攝影中心

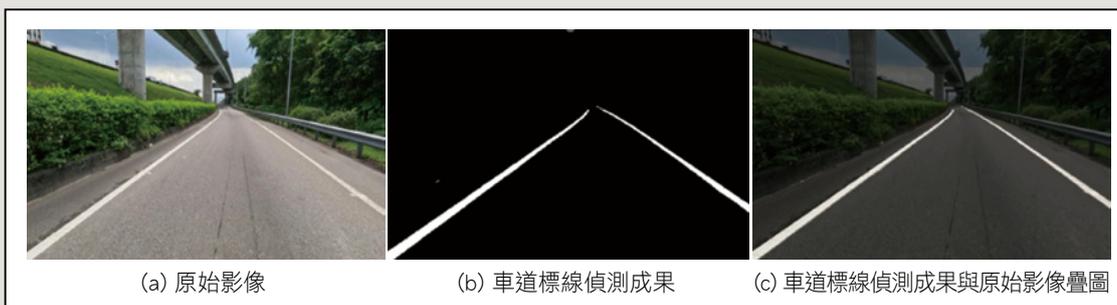


圖22 車道標線偵測成果展示

越遠，投影回物空間成果則與真值越遠，因而造成左側相機投影成果中車道分隔線較準確，右側紅線則明顯偏離；右側相機投影成果則反之。因此採用左側相機投影左側標線、右側相機投影右側標線方法如圖23(a)，投影成果如圖23(b)，著色區域為LaneNet偵測成果投影至物空間成果。

#### 四、車道線聚類

##### (一) DBSCAN

使用DBSCAN進行點雲聚類，將離散點初步聚類成線段並剔除雜訊和離群值（如下圖24所示）。

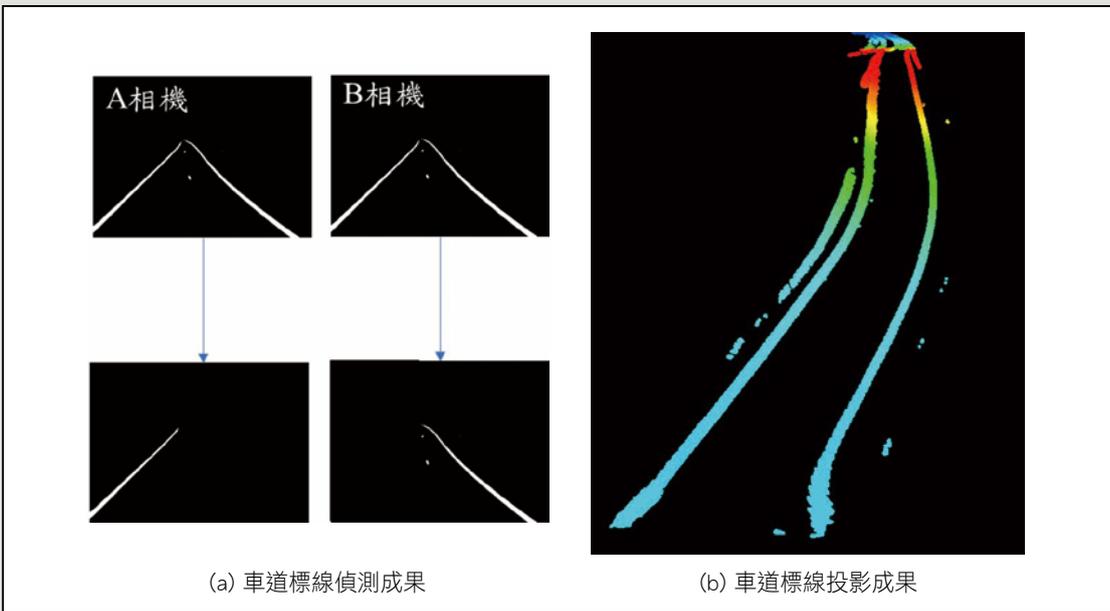


圖23 車道標線偵測及投影成果展示

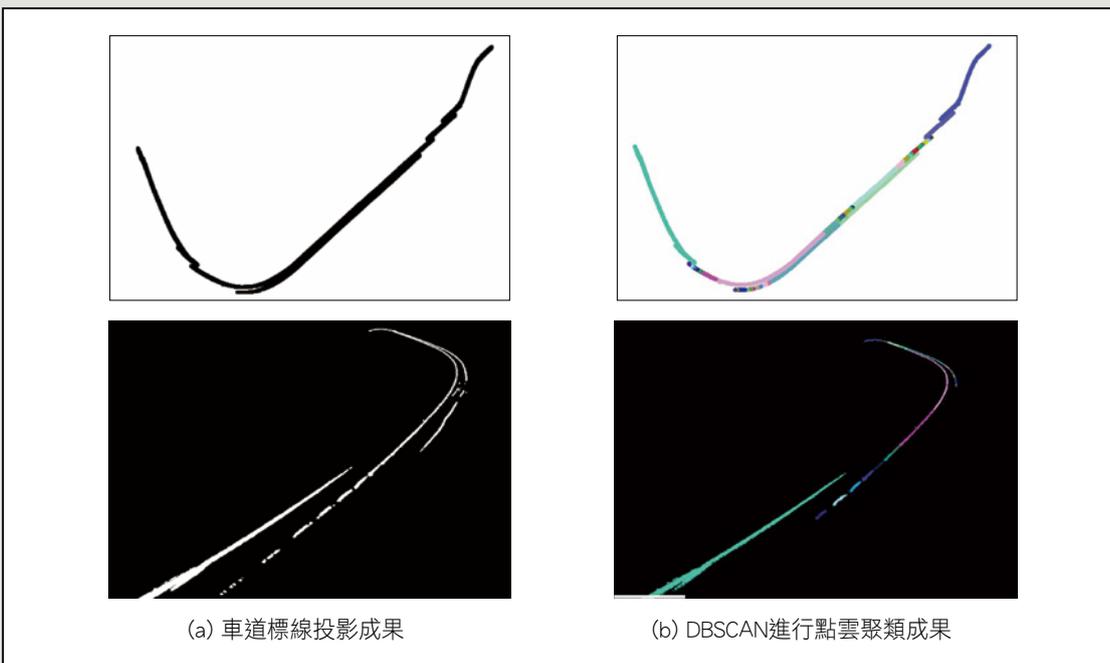


圖24 DBSCAN點雲聚類成果展示

## (二) 分段擬合車道線及連接破碎線段

利用直線方程式分段進行車道標線擬合，以直線方程式進行小幅度外插後，以KDTree尋找鄰近點，並判斷線段連接關係以Set Consolidation方式建立所有類別連線關係，成果如圖25。

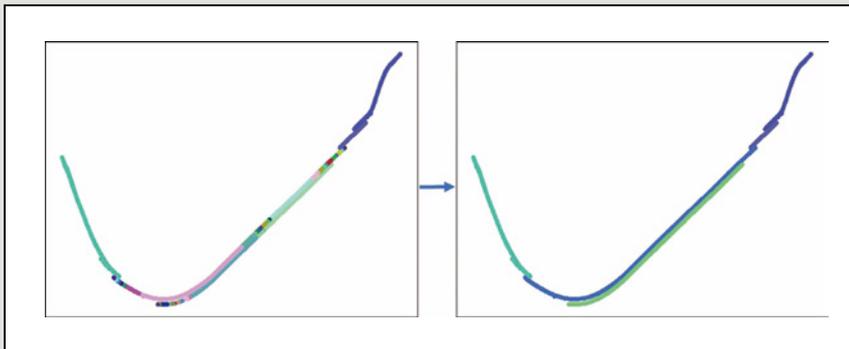


圖25 全線段集合合併示意圖

## 五、車道標線重建

在車道標線聚類後與建立所有類別連線關係後，進行車道標線重建。應用Spline演算法來生成平滑曲線，將相同類別車道標線產生Smooth Spline Line節點（如圖26(a)），

在Smooth Spline Line節點搜尋正確車道線點並剔除錯誤節點（如圖26(b)），最後完整Spline Line擬合，產生高密度節點生成Shapefile（如圖26(d)），完成車道標線重建。

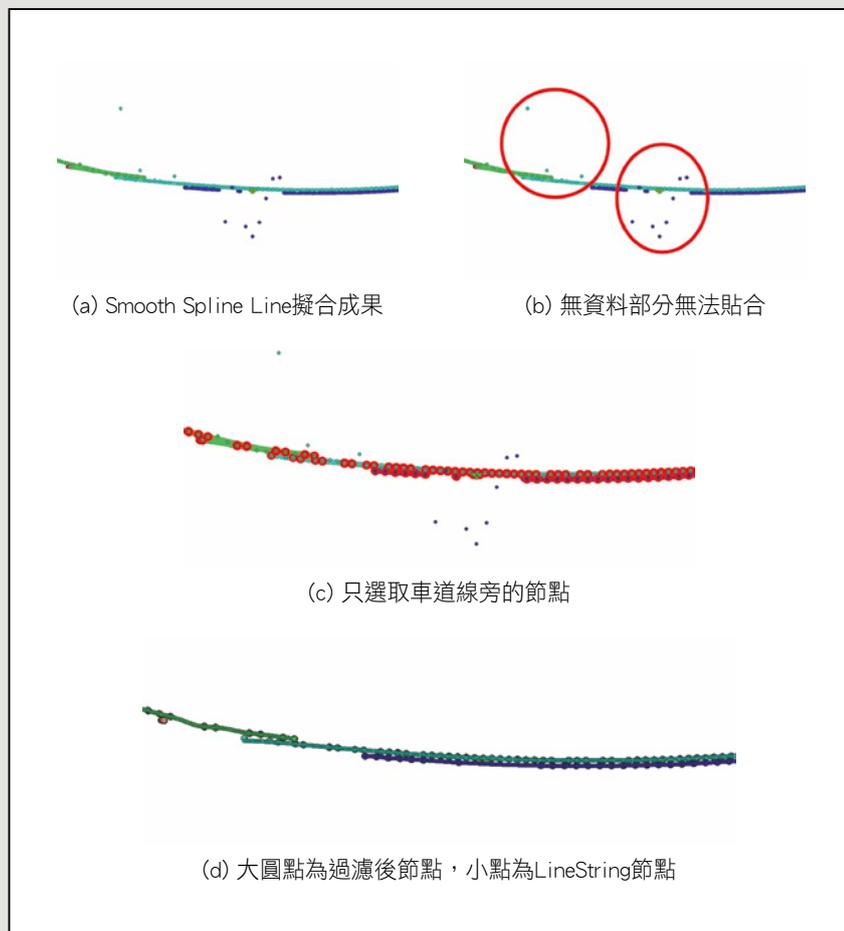


圖26 車道標線重建流程

## 六、車道標線重建成果精度評估及效率分析

經前述之車道標線聚類與重建流程（如圖27），最終完成車道標線重建（如圖28）。以UAV生成的正射影像作為地面真實資料，與重建車道標線的擬合結果進行比對，並每隔約100公尺設置一檢核點（如圖29），共取40點進行精度分析。檢核結果詳見表5、表6，其中檢核點的平均殘差為0.187公尺，平面距離的均方根誤差（RMSE）為0.263公尺，精度優於0.5公尺，滿足次公尺等級精度要求。

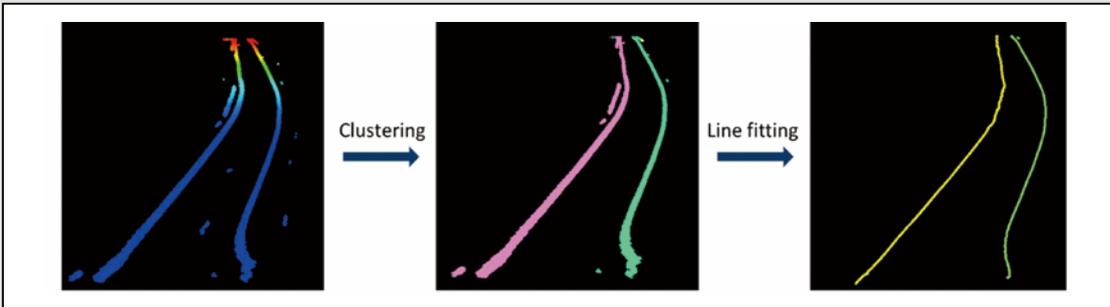
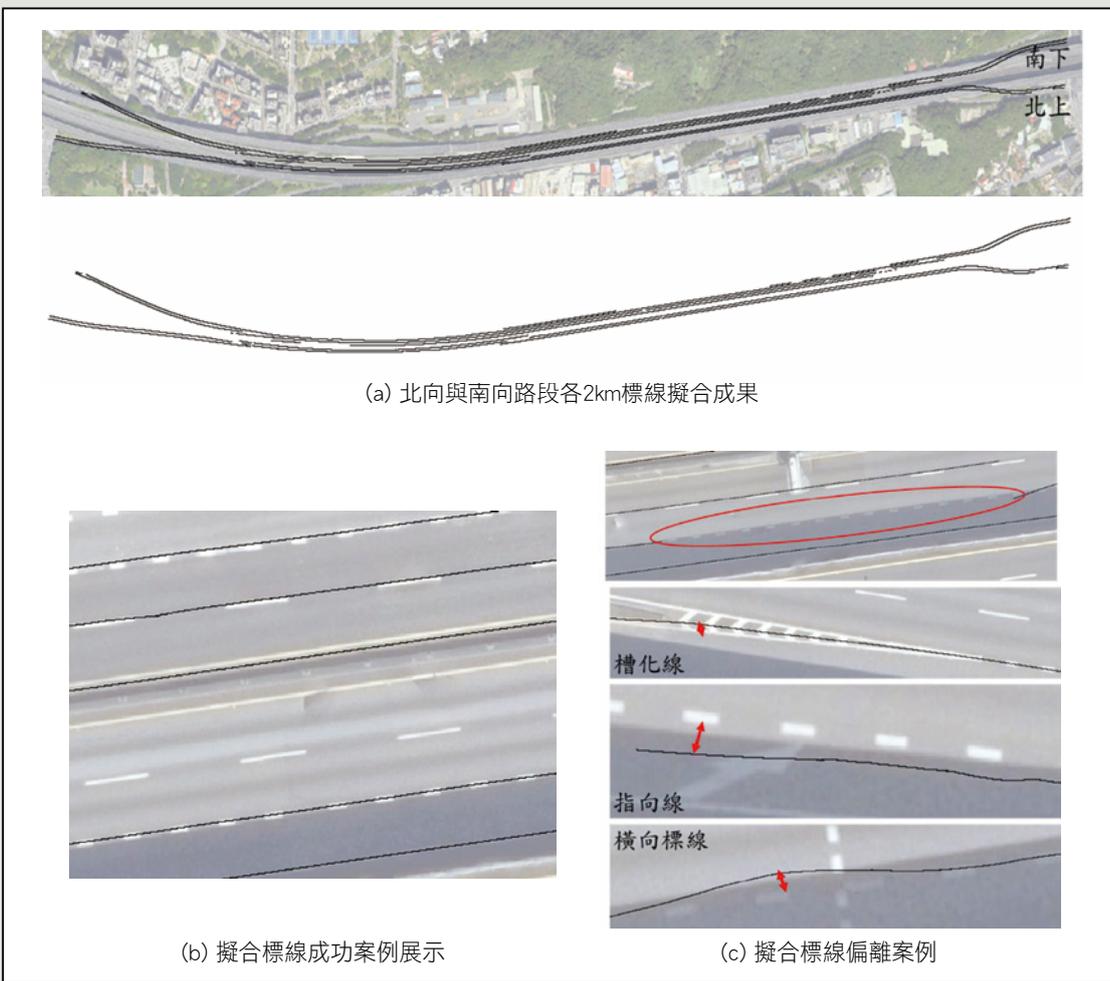


圖27 車道標線聚類與重建流程示意圖



(a) 北向與南向路段各2km標線擬合成果

(b) 擬合標線成功案例展示

(c) 擬合標線偏離案例

圖28 北向與南向路段各2km標線擬合成果展示



圖29 北向與南向路段檢核點分布

表5 檢核點精度分析

Number of Check Points=40	dE(m)	dN(m)	dEN(m)
Mean(m)	-0.011	0.066	0.187
RMSE(m)	0.063	0.256	0.263

表6 檢核點詳細坐標表

ID	E_check points	N_check points	E_ground truth	N_ground truth	dE(m)	dN(m)	dEN (m)
1	309638.346	2773020.968	309638.305	2773020.794	0.041	0.175	0.180
2	309694.189	2773005.733	309694.206	2773005.800	-0.017	-0.067	0.069
3	309862.587	2772993.744	309862.542	2772993.348	0.045	0.396	0.399
4	310030.587	2772976.407	310030.595	2772976.446	-0.009	-0.039	0.040
5	310110.162	2772964.980	310110.179	2772965.156	-0.017	-0.177	0.178
6	310201.600	2772965.076	310201.599	2772965.222	0.001	-0.147	0.147
7	310326.473	2772963.322	310326.470	2772963.244	0.003	0.078	0.078
8	310438.733	2772975.086	310438.735	2772974.997	-0.002	0.089	0.089
9	310529.314	2772978.341	310529.333	2772978.183	-0.019	0.158	0.159
10	310606.678	2772992.636	310606.693	2772992.472	-0.015	0.164	0.165
11	310714.298	2773008.068	310714.270	2773007.872	0.028	0.195	0.197
12	310800.799	2773016.704	310800.808	2773016.660	-0.009	0.044	0.045
13	310869.861	2773030.448	310869.882	2773030.271	-0.021	0.177	0.178
14	310980.109	2773046.788	310980.179	2773046.448	-0.070	0.340	0.348
15	311076.168	2773056.429	311076.161	2773056.448	0.008	-0.019	0.021
16	311160.249	2773072.508	311160.272	2773072.386	-0.023	0.122	0.124
17	311238.542	2773079.647	311238.562	2773079.497	-0.020	0.150	0.152
18	311328.489	2773096.196	311328.523	2773095.961	-0.034	0.235	0.238
19	311384.701	2773099.726	311384.701	2773099.726	0.000	0.000	0.000
20	311498.458	2773096.321	311498.435	2773096.065	0.023	0.256	0.257
21	311559.722	2773179.392	311559.769	2773179.126	-0.047	0.265	0.269
22	311438.779	2773133.230	311438.678	2773133.433	0.100	-0.202	0.226
23	311383.613	2773124.689	311383.547	2773124.857	0.066	-0.168	0.180
24	311271.190	2773108.358	311271.118	2773108.660	0.072	-0.302	0.310
25	311189.526	2773093.378	311189.526	2773093.327	0.000	0.051	0.051
26	311100.301	2773080.555	311100.325	2773080.507	-0.024	0.048	0.054
27	311009.275	2773063.951	311009.291	2773063.908	-0.016	0.042	0.045

表6未完，請接下頁↓

ID	E_check points	N_check points	E_ground truth	N_ground truth	dE(m)	dN(m)	dEN (m)
26	311100.301	2773080.555	311100.325	2773080.507	-0.024	0.048	0.054
27	311009.275	2773063.951	311009.291	2773063.908	-0.016	0.042	0.045
28	310893.160	2773051.731	310893.153	2773051.516	0.007	0.215	0.215
29	310773.481	2773031.046	310773.537	2773030.780	-0.056	0.266	0.272
30	310681.701	2773021.434	310681.716	2773021.314	-0.015	0.120	0.120
31	310595.264	2773005.342	310595.286	2773005.247	-0.022	0.096	0.098
32	310507.265	2772997.064	310507.268	2772996.999	-0.003	0.064	0.064
33	310402.132	2772983.023	310402.119	2772983.058	0.013	-0.035	0.038
34	310320.149	2772982.194	310320.158	2772982.132	-0.010	0.062	0.063
35	310226.289	2772977.676	310226.285	2772977.571	0.004	0.106	0.106
36	310179.044	2772983.702	310178.975	2772982.658	0.068	1.044	1.046
37	310035.950	2772988.777	310036.010	2772989.083	-0.059	-0.306	0.311
38	309949.079	2773009.147	309949.108	2773009.235	-0.028	-0.088	0.092
39	309863.755	2773024.367	309863.834	2773024.562	-0.079	-0.195	0.210
40	309706.090	2773085.391	309706.408	2773085.969	-0.319	-0.578	0.660

以下彙整試辦區域路段之各項車道重建任務效率，其電腦規格如表7，試辦區域各項任務花費時間如表8所示：

表7 實驗用電腦規格表

類別	型號
CPU	i7-12700F
記憶體	32GB
顯卡	NVIDIA RTX 3060

表8 試辦區域各項任務花費時間

項目	花費時間	
2km標線（14,000張影像）方位重建	約24小時計算及4小時人工量測控制點	
2km標線（2,000張影像）車道擬合運算效率分析	車道標線偵測	約15~20分鐘
	車道標線投影	約15~20分鐘
	車道標線聚類	1,000,000點約3分鐘
	車道標線擬合	1,000,000點約2分鐘
	合計	約45分鐘

## 肆、結論與建議

本研究成功研發以消費型GoPro相機系統達成車道地圖測製的目的。透過採用成本較低的消費型光學相機，結合AI技術，快速提供車道標線資料，提升了實際測製任務的可行性。其中，突破大量多視角車載影像資料處理的困難，使用序列式影像匹配技術，重建車載影像的方位，達到測製精度要求。完成行車影像地理對位，並重建三維道路環境。

本次研究成果彙整如下所列：

- 一、透過訓練LaneNet模型，實現車道標線的偵測，並將投影方法應用於GoPro的影像資料。
- 二、完成總長4公里之車道標線重建試辦，精度評估顯示RMSE絕對精度優於50公分，滿足車道地圖精度要求，驗證重建流程的實用性。
- 三、整合行車影像地理對位、AI車道標線偵測、車道標線投影及車道重建等多項技術，快速且大量產製具有次車道等級精度的車道地圖，提升作業效能。

未來建議在現有成果基礎上，透過平行移動方法獲取鄰近車道標線資訊，進一步提升車道地圖的完整性。綜上所述，本研究以較低成本和高效能的方式，提供一套有效的車道地圖測製方法，對智慧交通和自動駕駛具有重要意義。

## 參考文獻

1. Cheng, Y. T., Patel, A., Wen, C., Bullock, D., & Habib, A. (2020). Intensity thresholding and deep learning based lane marking extraction and lane width estimation from mobile light detection and ranging (LiDAR) point clouds. *Remote Sensing*, 12(9), 1379.
2. Ma, L., Li, Y., Li, J., Zhong, Z., & Chapman, M. A. (2019). Generation of horizontally curved driving lines in HD maps using mobile laser scanning point clouds. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(5), 1572-1586.
3. Neven, D., De Brabandere, B., Georgoulis, S., Proesmans, M., & Van Gool, L. (2018, June). Towards end-to-end lane detection: an instance segmentation approach. In 2018 IEEE intelligent vehicles symposium (IV) (pp. 286-291). IEEE.
4. Neuhold, G., Ollmann, T., Rota Bulò, S., & Kotschieder, P. (2017). The mapillary vistas dataset for semantic understanding of street scenes. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 4990-4999).
5. Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., & Nex, F. (2014). State of the art in high density image matching. *The photogrammetric record*, 29(146), 144-166.

6. Teo, T. (2015). Video-based point cloud generation using multiple action cameras. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(4), 55.

7. Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology, 179, 300-314.

8. Gwon, G. P., Hur, W. S., Kim, S. W., & Seo, S. W., (2017). Generation of a precise and efficient lane-level road map for intelligent vehicle systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66(6), 4517-4533



# 基於穩定擴散模型開發高解析仿真橋柱損傷影像模組及其應用

關鍵詞(Key Words)：人工智慧(Artificial Intelligence)、穩定擴散模型(Stable Diffusion)、低秩適應模型(Low Rank Adaptation)、橋梁震害評估(Bridge Damage Detection)、影像處理(Image Processing)、損傷指數(Damage Index)

國立陽明交通大學／土木工程研究所／碩士生／江亞萱 (Chiang, Ya-Hsuan) ❶

國立陽明交通大學／土木工程研究所／教授／林子剛 (Lin, Tzu-Kang) ❷

國立台北科技大學／助理教授／王柄雄 (Wang, Ping-Hsiung) ❸

國立台灣大學／名譽教授／張國鎮 (Chang, Kuo-Chun) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／副總經理／曾榮川 (Dzeng, Dzong-Chwang) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／協理／彭知行 (Peng, Chih-Hsing) ❻

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／工程師／周贊翔 (Chou, Tzann-Shyang) ❼

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE$$

$$DI = \frac{\Delta M}{\Delta u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE$$

## 摘要

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界，地震頻繁發生，常引致建築物倒塌及橋梁損壞。1999年九二一大地震重創多座公路橋梁，促使政府修訂規範，加強對橋梁結構強度及耐震設計的關注。震後，評估橋梁損傷與進行補強成為保障公共安全的關鍵。橋梁是連接城市的重要通道，對交通和經濟活動有重要影響，因此，學者持續研究橋梁結構健康診斷與震後評估快速且精確的方法。本研究旨在探索人工智慧技術於橋梁震害損傷評估的應用，特別是針對RC橋柱的損傷推定，首先訓練低秩適應模型（LoRA），利用其擷取橋柱損傷特徵的能力，並在訓練完成後，應用穩定擴散模型(Stable Diffusion)技術生成橋柱損傷影像。利用擴散模型之技術不僅能有效處理不同類型的損傷照片，還能生成多樣化的損傷數據，提供全面的損傷評估依據，協助橋梁工程師預測橋柱損傷情況。本研究將有助於提升震後損傷判定的效率，減少人工成本。



## Development and Application of a High-Resolution Generative Bridge Column Damage Image Module Based on Stable Diffusion

### Abstract

Taiwan is located at the boundary between the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate, where earthquakes are frequent, often causing building collapses and bridge damage. The 1999 Chi-Chi earthquake severely damaged many highway bridges, prompting the government to revise regulations and place greater emphasis on the strength and seismic design of bridge structures. After earthquakes, assessing bridge damage and conducting repairs becomes crucial for ensuring public safety. As bridges connect cities and play a vital role in transportation and trade, researchers continue to study bridge structural health monitoring and post-earthquake evaluations. This study aims to explore the application of artificial intelligence in earthquake damage assessment of bridges, particularly in estimating damage to reinforced concrete (RC) bridge columns. First, a Low-Rank Adaptation (LoRA) model is trained to capture the characteristics of bridge column damage. After training, the Stable Diffusion model technique is applied to generate images of bridge column damage. The technique of AI image recognition not only effectively processes various types of damage data, but also generates diverse damage images, providing a comprehensive basis for damage assessment and assisting engineers in predicting bridge column damage. This research can improve the efficiency of post-earthquake damage assessment and reducing labor costs.

## 壹、緣起與計畫目標

考量在台北都會區內橋梁密度高，若橋梁發生震損或倒塌，將造成極其嚴重的災難，爰研提本研究計畫。本研究將蒐集橋柱之損傷影像與損傷指數，運用人工智慧方法，協助橋柱損傷推定及未來破壞情形預測。期望建立一套以橋柱損傷影像判定破壞程度之系統，並生成預測未來橋柱不同損傷程度之影像，欲達成之目標如下：

- 一、本計畫開創性的導入最先進的AI擴散生成預測模型，開發出AI即時橋柱影像損傷偵測模組。
- 二、透過研究擴散模型，精進AI在RC橋柱震害損傷推定方面的技術，可更準確和可靠的預測結果，提供工程師評估橋柱未來損傷之依據。
- 三、本研究建立之損傷預測模型與影像生成模型，將有助於節省橋柱損傷判定之勞力成本，達成以人工智慧進行繁雜之人力計算，並提供客觀且明確之評估標準。
- 四、利用最先進的AI擴散生成預測模型，開發即時橋柱影像損傷偵測模組，預期可提升國內橋梁定期檢測與震後特別檢測作業的工作效率與技術水準，並確保橋梁檢測評估結果的一致性與可靠度。

根據先前研究顯示，容量震譜法及位移係數法都是實務上常用的簡化評估方法，而台灣所使用的公路橋梁耐震評估與補強設計規範，即是採用改良型容量震譜法。近年來，學者們對於耐震評估之方法持續進行研究，於2017年一套平滑遲滯模型被提出[1]，此模型將橋柱之強度衰減與損傷指數結合，預測強度衰減之時機，提供以損傷指數評估橋柱破壞情形之方

法。由於該評估方法需要大量之人力計算，且實驗數據取得不易。而實務上通常需仰賴工程師以目視檢測橋梁，不易察覺微小之損傷，且判定標準較為主觀。

於日本阪神地震發生後，小川篤生等人於1997年發表RC橋墩受災度分類表[2]，根據撓曲破壞、撓曲剪力破壞(地盤面)、撓曲剪力破壞(中間柱)、剪力破壞四種破壞形式分類，再依據受災程度圖提供參考圖片。另一方面，日本道路協會提出RC橋墩基部產生損傷之受災程度評估表，如表1所示，比對不同情況下橋柱受到大損害、中度損傷、小損傷的殘留變形性能。

受到此種破壞程度分類表啟發，本研究蒐集實驗橋柱之損傷影像與損傷指數，運用人工智慧方法，協助橋柱損傷推定及未來破壞情形預測。期望建立一套以橋柱損傷影像判定破壞程度之系統，並生成預測未來橋柱不同損傷程度之影像，更進一步繪製屬於台灣橋柱之破壞程度分類表。該系統將有助於工程師進行震害損傷判定，依據模型預測之損傷指數推定橋柱受損情形，並以預測影像結合實務經驗，達成更加客觀且公正的耐震評估，以利耐震補強與震災防治之進行。

表1 RC橋墩基部產生損傷時受災程度之評估表

觀測到之損傷		水平龜裂	未貫通之斜向龜裂	貫通之斜向龜裂	混凝土保護層剝落	鋼筋鼓出	軸向鋼筋破斷及軀體傾斜	
損傷狀況	一般情況 $\rho \geq 0.5\%$	側面圖						
		正面圖						
	軸向鋼筋較小時 $\rho < 0.5\%$	側面圖						
		正面圖						
受災程度		C：小損傷	C：小損傷	C：小損傷	B：中度損傷	B：中度損傷	A：大損害	
殘留強度		$P_u(1.1P_y - 1.3P_y)$	$P_u(1.1P_y - 1.3P_y)$	$1.1 P_y$	$1.0 P_y$	$P_y$ 以下	$P_y$ 以下	
殘留變形性能		70%	50%	30%	10%	0%	0%	

## 貳、研究方法

### 一、建立資料庫

由於訓練擴散模型時可以使用真實的照片直接進行訓練，且樣本數不必太多就可以訓練，基本上訓練集20張至120張都可以，若張數過

少，同一張訓練的次數會非常多，而訓練出來的LoRA在高權重的情況，會讓AI影像辨識出圖嚴重變形，本研究的訓練集資料庫為7座橋柱分別是C307、C315、C330、C615、C1015、C1S以及CLC，外觀差異如表2所示，而各橋柱的高寬比以及鋼筋比的配置皆有所不同，如表3所示。

表2 七座橋柱的外觀差異比較

						
C307	C315	C330	C615	C1015	C1S	CLC

表3 七座橋柱的高寬比以及鋼筋比

橋柱編號	高寬比	主筋比(%)
C315	3	1.5
C307	3	0.75
C330	3	3.0
CLC	3.2	2.2
C615	6	1.5
C1015	10	1.5
C1S	3.22	1.9

實驗時以兩組固定腳架與鏡頭，固定距離拍攝橋柱不同損傷程度之影像，因此單張影像同時具有兩面的橋柱，並且部分橋柱受到障礙物遮擋，由於同一損傷值之每面橋柱損傷程度不大一樣，且訓練LoRA模型時不必使用大量的數據集，為了不影響影像辨識的判讀成果，本計畫在建立訓練模型數據庫時皆採用東向損傷影像。

為了萃取橋柱影像的損傷，本研究將各橋柱影像進行投影裁切、人工修正以及鏡像影像等影像處理後，獲得140筆影像數據，將140筆數據拆分為80%作為訓練模型之資料庫，其餘20%作為生成照片之比對樣本。

為了將橋柱破壞影像應用於損傷判定，本研究首先著眼於計算損傷指數。確定每個橋柱影像所對應的損傷指數，將有助於人工智慧模型識別橋柱影像與損傷程度之間的關聯。因此，本研究基於Park和Ang提出的損傷指數(Damage Index, DI)計算方法，對實驗橋柱進行損

傷指數的計算，從而量化橋柱的破壞情況，並將其作為訓練人工智慧模型的依據。Park和Ang提出之損傷指數(D)定義，如式(1)所示。

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \dots\dots\dots(1)$$

式(1)中 $\delta_M$ 為橋柱於地震下之最大位移變形量， $\delta_u$ 則為橋柱受單向荷載下之極限位移容量， $\beta$ 為一非負數之實驗參數， $Q_y$ 是計算之降伏強度， $\int dE$ 則是往復載重下所累積之遲滯能量。

本研究針對實驗需求調整之損傷指數(DI)定義如下

$$DI = \frac{\Delta_m}{\Delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \dots\dots\dots(2)$$

其中， $\Delta_m$ 是指橋柱在往復載重作用下經歷的最大位移量，而 $\Delta_u$ 代表在單向荷載作用下的最大位移容量，此位移容量需透過橋柱受單向

荷載之實驗得到 $C_{mon}$ 係數，再與橋柱之降伏位移 $\Delta_v$ 相乘後求得， $F_v$ 為降伏強度， $\int dE$ 是往復荷載下所累積的遲滯能量消散， $\lambda$ 則是考量累積能量消散所造成損傷之影響參數，該參數可由橋柱試體之強度衰減至最大強度80%之極限狀態求得。

本研究中的損傷影響參數 $\lambda$ 以及橋柱單向荷載係數 $C_{mon}$ 需通過實驗結果進行校正，並且這些數據也是本研究蒐集橋柱損傷資料庫的一部分。此外， $\Delta_v$ 的計算考慮了剪力裂縫 $\Delta_s$ ，因此橋柱裂縫的數量與大小與損傷指數的計算密切相關。基於此，本研究假設橋柱損傷影像中的裂縫與損傷指數存在一定程度的關聯性，並計算影像中的裂縫面積，將其作為橋柱受損程度的代表。這些數據將作為低秩適應模型(Low Rank Adaptation, LoRA)的輸入，以探討損傷影像與損傷指數之間的關係。

各橋柱影像數值大致上隨DI值增加而上升，最小值與最大值分別出現在損傷指數0.1與1.0的橋柱影像中，而為了驗證本研究所訓練之模型成效，拆分方法是從每一座橋柱的十個損傷指數中挑選兩個不進行訓練，來驗證模型訓練效果。

## 二、低秩適應模型 (Low Rank Adaptation, LoRA)

低秩適應模型 (Low Rank Adaptation, LoRA) 模型是大型語言模型 (Large Language Models, LLM) 發展中的一種重要技術。LoRA 模型利用低秩適應的概念，通過降低模型參數的秩來優化計算資源的使用，從而在保持模型性能的同時顯著減少訓練和推理的計算成本[3]。這使得LLM能夠在資源有限的環境下進行高效訓練，擴展了大型語言模型的適用性。

LoRA模型主要使用Adapter技術，Adapter技術是一種在大型語言模型 (LLM) 上進行微調的先進技術。它的核心思想是在現有的預訓練模型 (例如BERT、GPT等) 的基礎上，僅通過添加少量的額外模型結構來適應特定任務，同時保持大部分模型參數凍結不變。這種方法相比於傳統的微調方法，大大節省了計算資源和訓練時間，同時能夠保持模型的高效性和泛化能力。

具體來說，Adapter技術在模型架構中添加了小型的可學習模塊，如圖1所示。這些模塊與主要的預訓練模型相連接，並通過輕量級的訓練過程來學習特定任務的信息。這樣做不僅減少了額外參數的數量，還提高了模型的靈活性和可擴展性，使其能夠在不同的NLP任務中進行快速部署和調整。

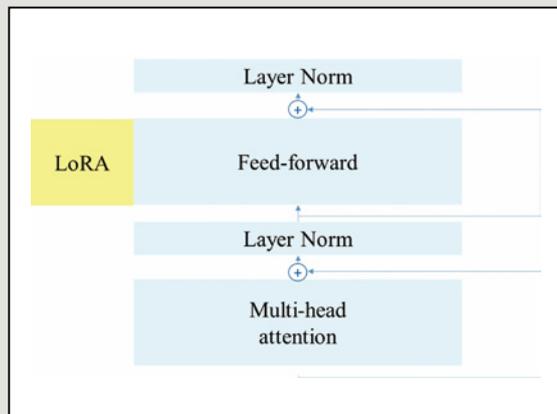


圖1 在特定層中插入小型的LoRA網路

在傳統的微調中，修改預訓練的神經網路的權重以適應新的任務。這種調整涉及到改變網路的原始權重矩陣 ( $W$ )。在微調期間對 ( $W$ ) 做出的變化由 ( $\Delta W$ ) 統一表示，以便可以將更新的權重表示為 ( $W + \Delta W$ )，如圖2所示。而LoRA的原理是尋求分解 ( $\Delta W$ )，而不是直接修改 ( $W$ )，這種分解可以減少微調大型模型相關計算成本的一個關鍵步驟。

以LoRA模型為例，權重更新矩陣 $\Delta W$ 的秩為 $r$ ，且 $r$ 小於等於輸入維度 $d$ 和輸出維度 $k$ 的最小

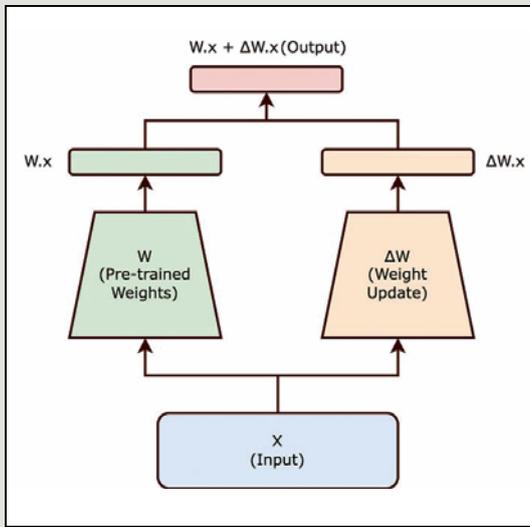


圖2 更新權重[4]

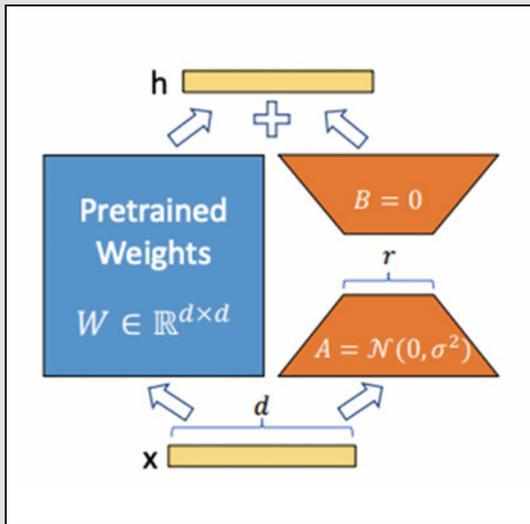


圖3 LoRA模型基本公式示意圖[4]

值，如圖3所示，權重更新矩陣 $\Delta W$ 被表示為兩個矩陣B和A的乘積，即式(3)。

$$\Delta W = BA \dots\dots\dots (3)$$

基於內在秩的假設，將 $(\Delta W)$ 表示為兩個較小矩陣(A)以及(B)的乘積，這兩個矩陣的秩較低。因此，更新的權重矩陣如式(4)所示。

$$W + \Delta W = W + BA \dots\dots\dots (4)$$

在訓練過程中，只有A和B通過梯度下降進行更新，而 $W_0$ 保持不變，對於輸入x的前向傳播被修改如式(5)所示。

$$Wx + \Delta Wx = Wx + BAx \dots\dots\dots (5)$$

在這個等式中，預訓練權重矩陣W在訓練期間保持不變，這種方法的優點在於，其能夠在保持原始模型結構和性能的同時，大幅減少微調過程中的計算資源和存儲需求。這對於大型神經網絡特別有用，因為通常大型神經網絡的權重矩陣非常大，直接更新這些矩陣的成本很高。通過引入低秩近似，即可以實現更高效的模型微調。

使用LoRA模型可減少訓練參數數量，在微調大型神經網絡時，提供了幾個重要的優勢。首先，LoRA模型通過降低需要更新的參數數量，減少了記憶體需求，有助於管理大型模型。其次，LoRA模型通過簡化計算需求，加速了大型模型的訓練和微調，使其能更快適應新任務。此外，LoRA模型的參數數量較少，使得在較不強大的硬體上（如較小的GPU或CPU）進行大型模型的微調成為可能。

### 三、穩定擴散模型 (Stable Diffusion Model, SD)

由於LoRA模型在減少訓練參數數量、加速訓練與推理過程、降低內存需求以及保持預訓練權重不變等方面具有諸多優點，本研究選用LoRA模型進行微調。通過結合Stable Diffusion技術和LoRA模型來生成高質量的照片，從而實現高效且精確的圖像生成。

如圖4所示，擴散模型 (Diffusion Model, DM) 是一個通用框架，由三種可選擴散模型公式組成：去噪擴散概率模型 (Denosing Diffusion Probabilistic Models, DDPMs)、

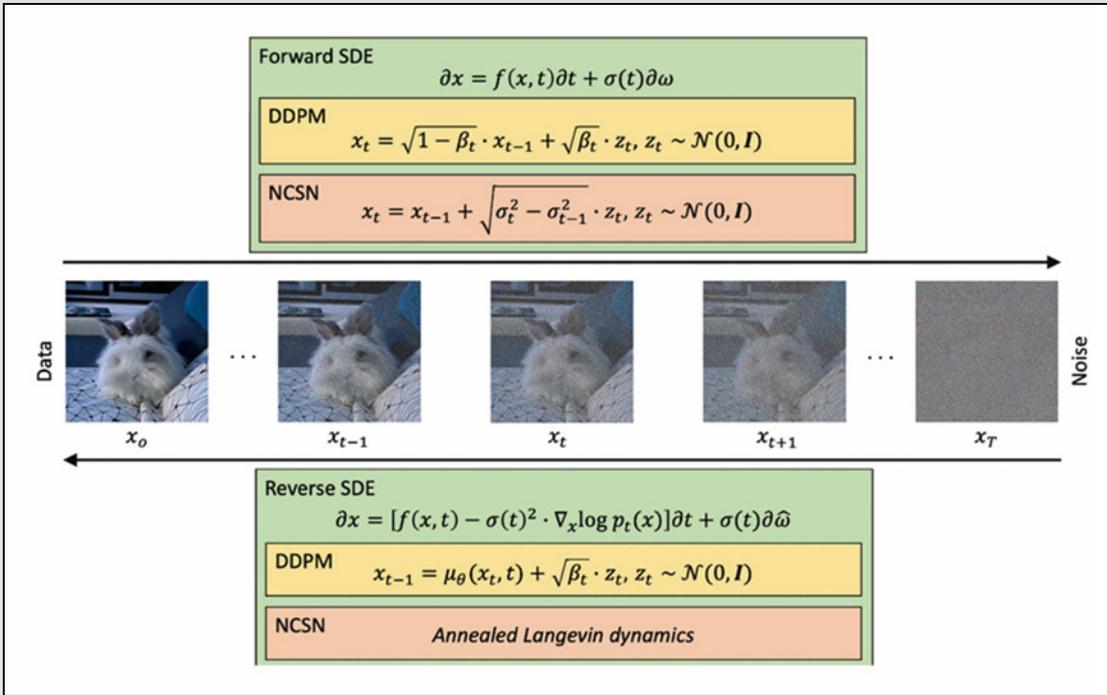


圖4 擴散模型通用框架三種擴散模型公式[5]

噪聲條件評分網絡（Noise Conditional Score Networks, NCSNs）以及隨機微分方程（Stochastic Differential Equations, SDEs）。其中，Stable Diffusion 是基於去噪擴散概率模型（DDPMs）的圖像生成技術[5]。

DDPM（去噪擴散概率模型）通過前向擴散和後向擴散兩個過程來實現數據的生成。在前向擴散過程中，模型從初始數據開始，逐步向其添加噪聲，最終將數據轉變為隨機噪聲，這個過程如式(6)所示，其中 $x_t$ 代表時間步長為 $t$ 時的噪聲數據， $\beta_t$ 是時間步長 $t$ 的噪聲係數。

$$q(x_t|x_{t-1}) = N(x_t; \sqrt{1 - \beta_t}x_{t-1}, \beta_t I) \dots (6)$$

在後向擴散過程中，模型從純噪聲開始，逐步去噪以恢復原始數據。後向擴散的條件分布如式(7)所示，其中 $\mu_\theta(x_t, t)$ 是去噪後的數據預測值，如式(8)所示，其中 $\epsilon_\theta(x_t, t)$ 是噪聲預測模型所預測的噪聲，而 $\alpha_t$ 用以表示數據在經過

噪聲添加後所保留的原始信息比例，如式(9)所示， $\alpha_t$ 表示在時間步 $t$ 中，原始數據所保留的部分。隨著時間步長 $t$ 的增加，由於 $\beta_t$ 的增大， $\alpha_t$ 會逐漸減小，這意味著隨著擴散過程的進行，數據中的原始信息逐漸被噪聲取代。

$$p_\theta(x_{t-1}|x_t) = N(x_{t-1}; \mu_\theta(x_t, t), \Sigma_\theta(x_t, t)) \dots (7)$$

$$\mu_\theta(x_t|t) = \frac{1}{\sqrt{\alpha_t}} \left( x_t - \frac{\beta_t}{\sqrt{1 - \alpha_t}} \epsilon_\theta(x_t, t) \right) \dots (8)$$

$$\alpha_t = 1 - \beta_t \dots (9)$$

如圖5所示，Stable Diffusion是一個基於潛在空間的擴散模型，以U-Net為基本架構，在U-Net中引入文本條件，以實現基於文本生成圖像的功能。SD的核心概念源自於潛在擴散（Latent Diffusion）這項工作[6]。傳統的擴散模型是基於像素的生成模型，而潛在擴散是基於潛在空間的生成模型。首先使用自編碼器將圖像壓縮到潛在空間，然後使用擴散模型生成

圖像的潛在表示，最後通過自編碼器的解碼器模塊即可得到生成的圖像。如圖6所示，依上述可將Stable Diffusion分成三個重要元素，分別為圖片感知壓縮(Perceptual Image Compression)、潛在擴散模型(Latent Diffusion Model, LDM)以及控制機制(Conditioning Mechanism)，而上述所提的引入文本條件就列在控制機制的部分[7]。

素層面進行訓練時需要使用大量內存。相對而言，Stable Diffusion引入了圖像感知壓縮的概念，這意味著透過類似變分自編碼器(VAE)的自編碼模型對原始圖像進行處理，去除高頻信息，僅保留關鍵且基本的特徵。這種方法的好處如引文所述，主要體現在大幅降低了訓練和採樣過程的計算複雜度，使得圖像生成等任務可以在GPU上，幾秒內生成圖像，從而大大降低了操作門檻。

傳統的擴散模型(Diffusion Model, DM)在像

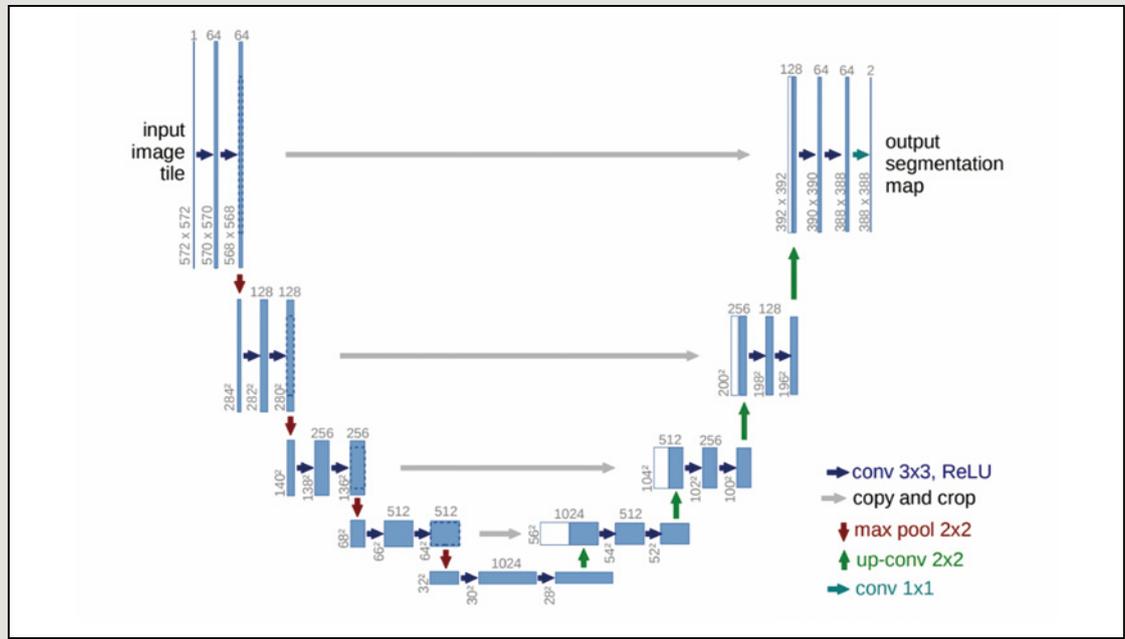


圖5 U-Net架構[6]

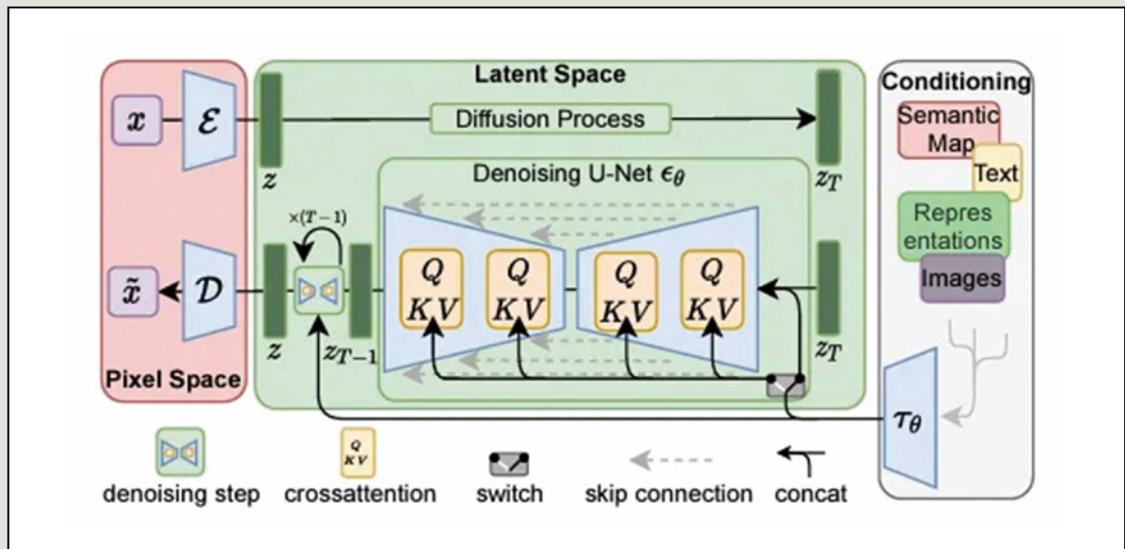


圖6 Stable Diffusion架構與運作[7]

#### 四、訓練模型

LoRA模型的訓練過程中，通常會採用一個大型的基礎模型作為出發點，有許多大型模型可供選擇，而在本計畫的研究中發現使用Stable-Diffusion-v1-5作為訓練模型的基底表現出色，因此本計畫在訓練階段採用Stable-Diffusion-v1-5作為基底模型進行訓練。這樣的選擇是基於對其模型效果的觀察和評估，確保了模型在學習橋柱損傷情況時取得最佳的性能，使用這樣的基底模型，預期能夠更有效地學習和捕捉損傷特徵，提高模型的準確性和對不同場景的適應性。

模型在訓練的過程中依序辨識出描述性文字以及分類詞，會將其結果自動依序個別生成文字檔，在初始辨識階段所得到的結果，不論是描述性文字或是分類型文字，與本計畫所期望的結果相差甚遠。

為了讓模型有效地學習到本計畫所強調

的特徵，需要對每一份文字檔進行精心調整。如圖7所示，在訓練LoRA模型時，更改文字檔過程中，位於前段的字詞將對模型權重產生較大的影響。因此，本計畫在修改文字檔時，若損傷值為0.2，會在第一個字詞標記為DamageIndex2，以此類推。為了使模型能夠靈活應用，根據表3中各個橋柱的高寬比和鋼筋比，同樣將其納入文字檔中。如圖8所示，以C1S橋柱為例，「LH322」代表高寬比為3.22，「rebarratio19」代表主筋比為1.9%。

本計畫的橋柱損傷圖以藍線的多寡表示損傷程度，因此文字檔都會包含blue lines一詞。值得注意的是，在DI=0.7至DI=1.0的情況下，橋柱底部呈現明顯損壞，橋柱內部的混凝土出現外露情況。如圖8，為了使模型學習到這些特定特徵，本計畫在修改文字檔時特意加入rocks一詞。這樣的調整策略考慮到損傷程度的表達，以確保模型更有效地捕捉到我們所著重的橋梁損傷特徵。本計畫針對112個文字檔進行這樣的修改，期望在模型訓練中取得更為準確的結果。



圖7 訓練模型文字檔

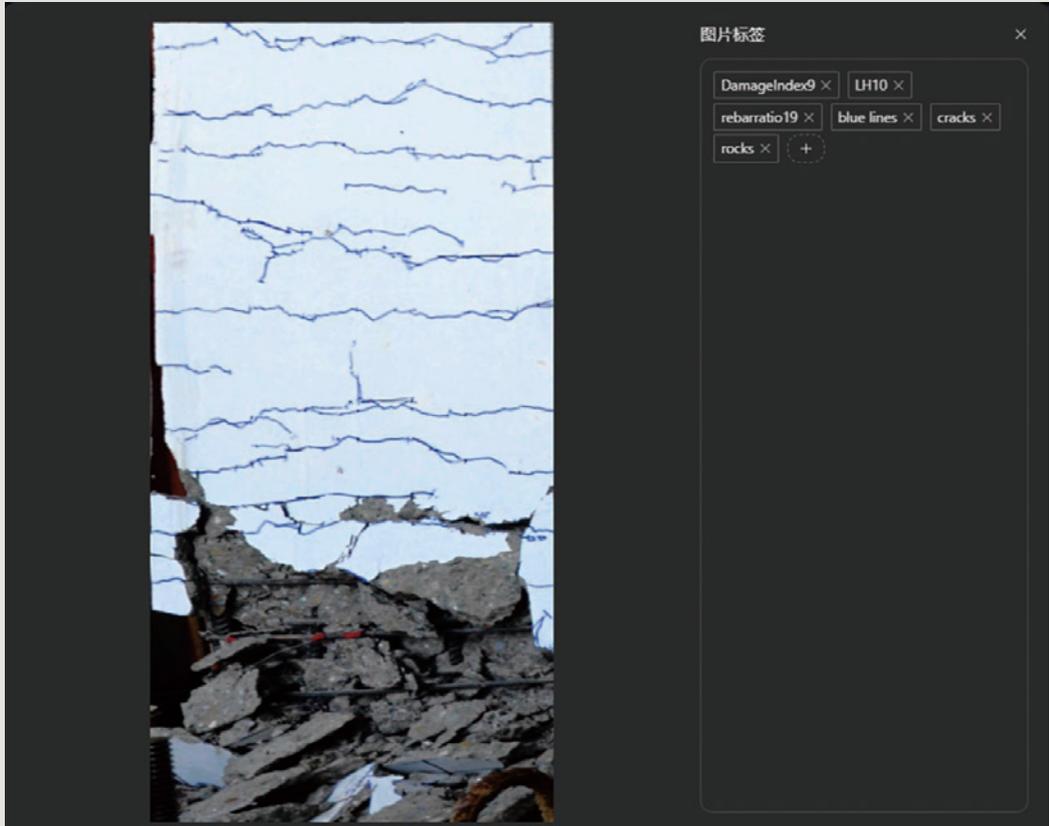


圖8 損傷指數較高的模型訓練文字檔

有了LoRA模型後，將其套用進Stable Diffusion裡，根據先前本計畫基於Stable-Diffusion-v1-5的模型作為基礎模型進行訓練，因此在生成圖像的過程中必須以其作為運作的checkpoints大模型，在Stable Diffusion生成圖像的過程中，使用者能夠根據不同需求進行多項選擇。特別是在像素方面，使用者可以選擇高達2048\*2048的解析度。在生成圖像的數量方面，使用者具有靈活性，可以指定一次運作的批次數量，以及每個批次生成的照片數目。

除了解析度和批次控制之外，一項關鍵選項是相關性提示詞的數值，這可以根據使用者欲呈現的風格進行調整，使得使用者能夠細緻地訂制生成過程，以符合其具體需求和美學偏好。這種靈活性和可調性有助於滿足不同場景和用途的需求，使Stable Diffusion成為一個強大而可訂制的工具。

### 參、模型成果

在本研究中，使用了"Find Same Images OK"軟體來進行圖像相似度的辨識與分析。如圖9為該軟體的使用介面，圖10至圖23為相似度比較結束以後的截圖畫面。該軟體通過掃描指定文件夾中的圖片，識別出相似或重複的圖像文件，從而有效地幫助整理和篩選圖像數據集。由於其能夠設置相似度閾值並且操作簡便，本研究得以高效地對大量圖像進行相似度比對。根據圖10至圖23結果顯示，使用該軟體對本研究所生成的照片與原始照片進行相似度比對後，所有生成的圖像相似度均達到了70%以上，證明了生成照片與原始圖像在視覺特徵上的高度一致性。



圖9 Find.Same.Images.OK的介面

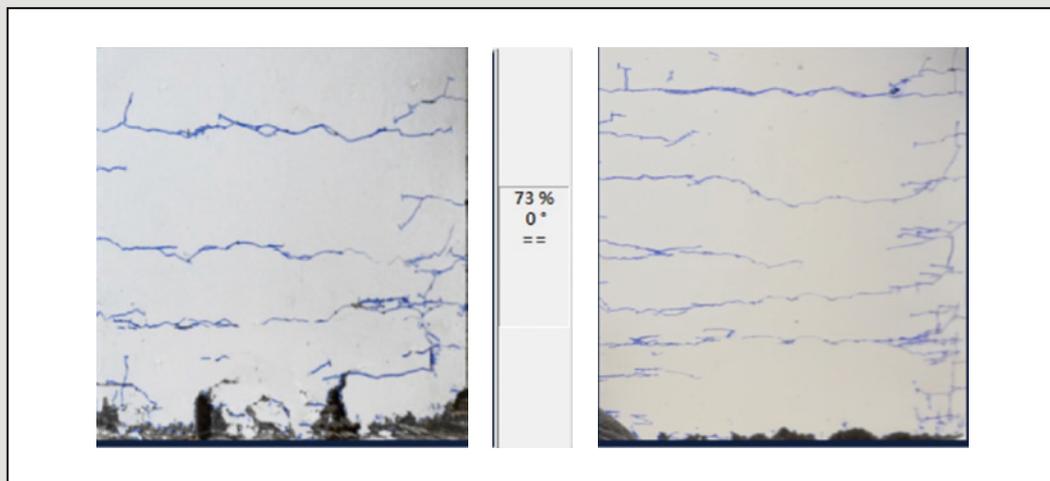


圖10 C315 DI=0.5 相似度比較

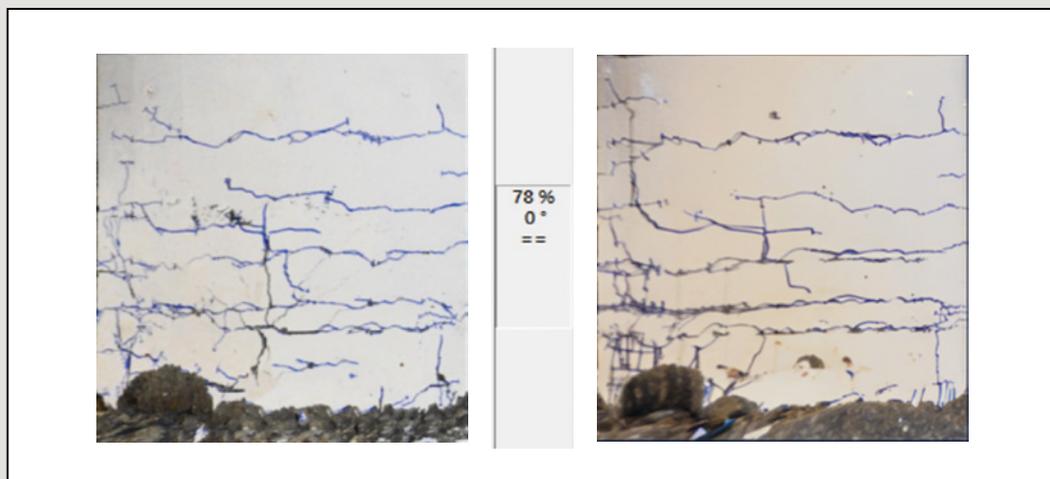


圖11 C315 DI=0.9相似度比較

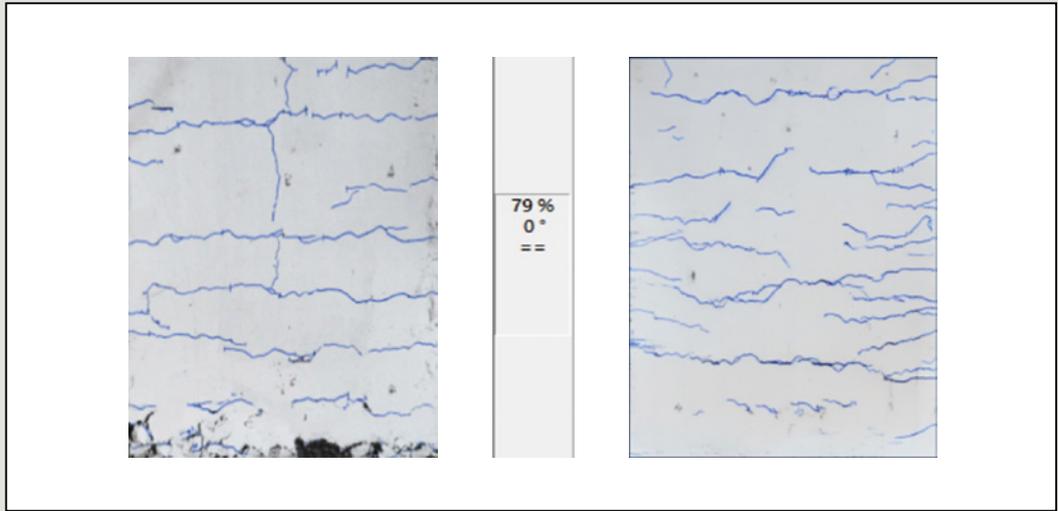


圖 12 C330 DI=0.3 相似度比較

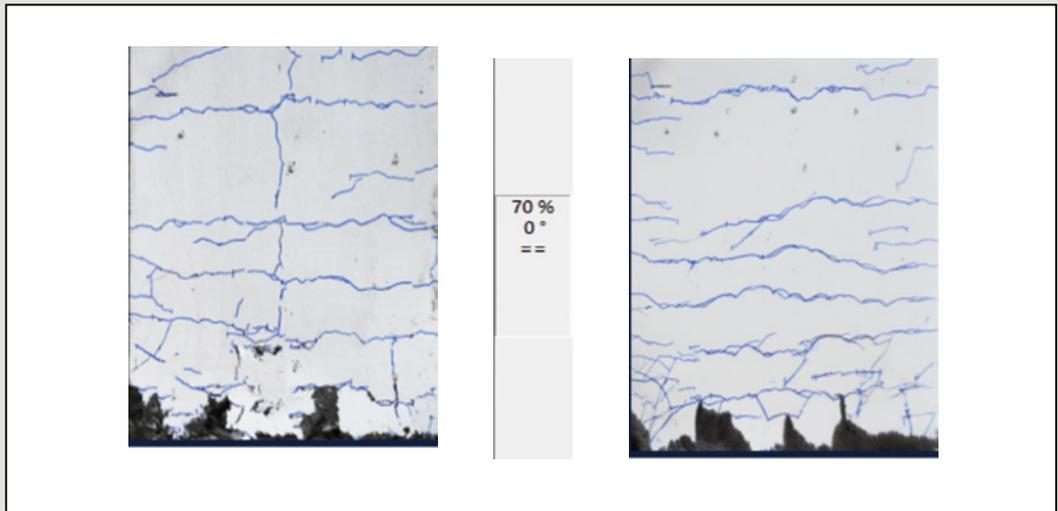


圖 13 C330 DI=0.8 相似度比較

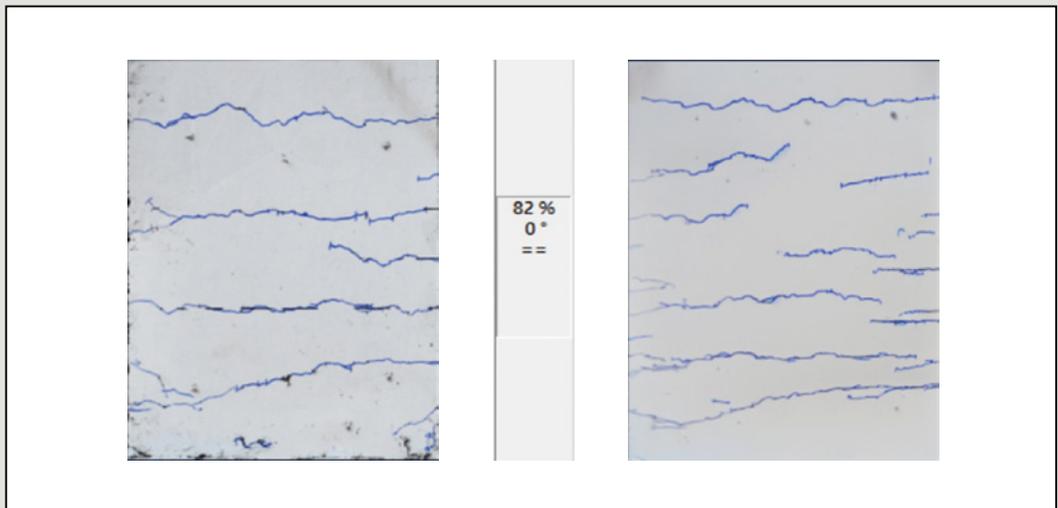


圖 14 C307 DI=0.3 相似度比較

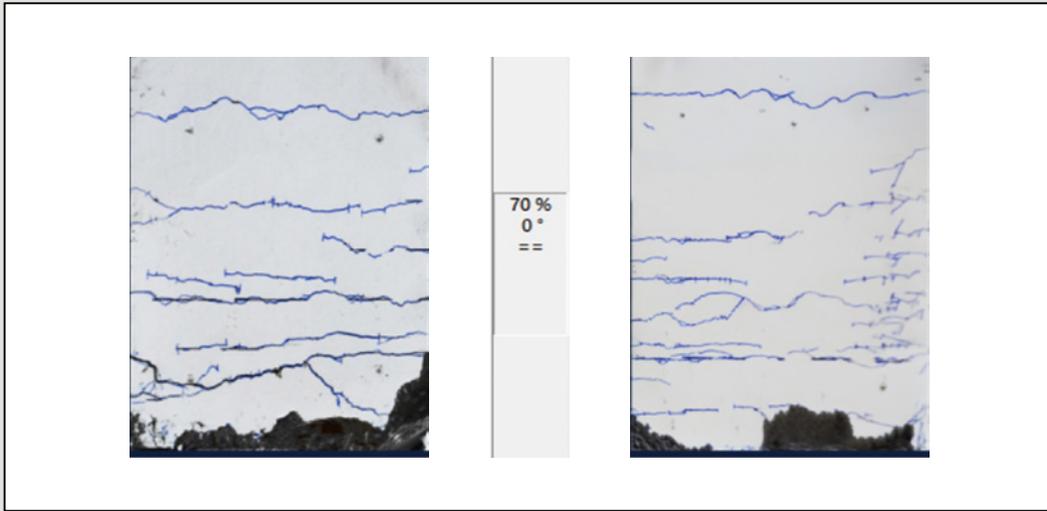


圖15 C307 DI=0.8 相似度比較

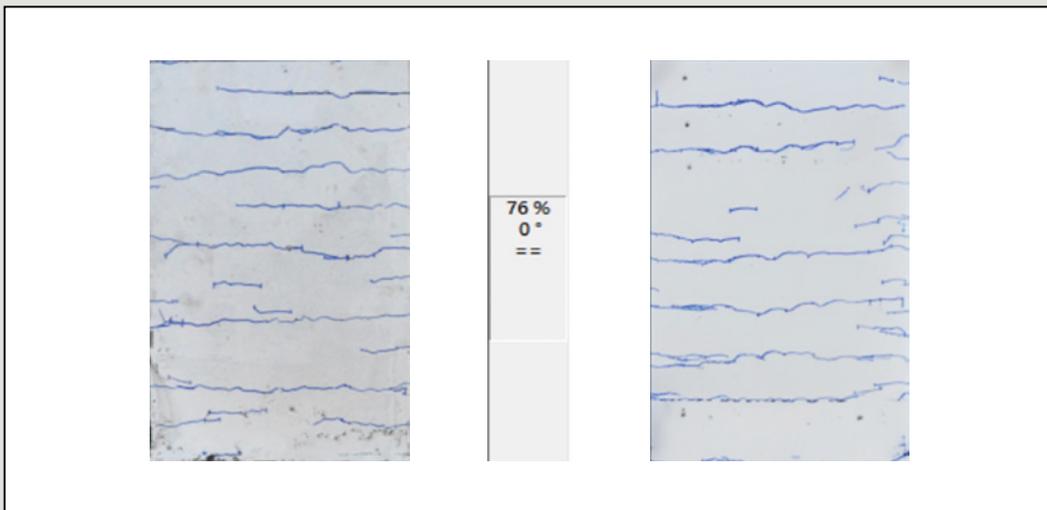


圖16 C615 DI=0.1 相似度比較

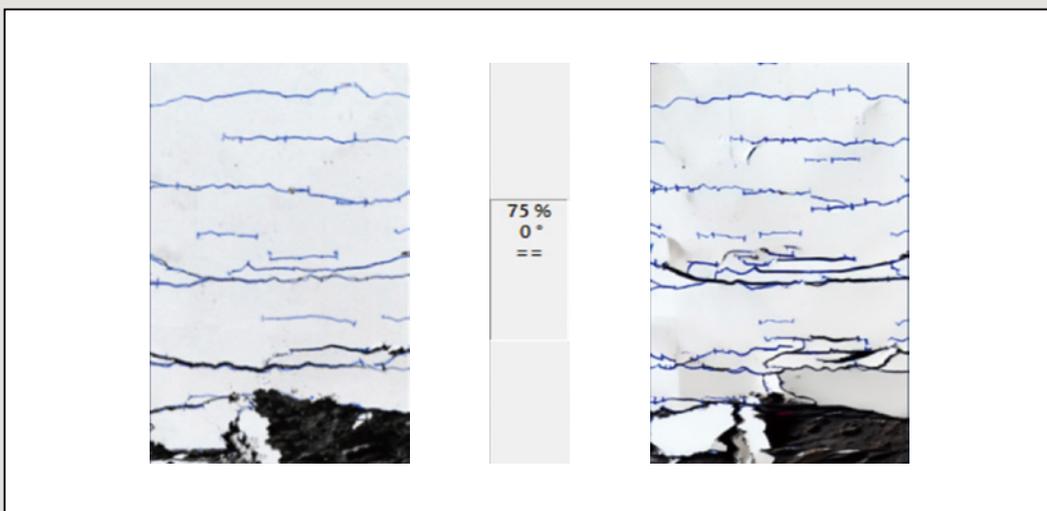


圖17 C615 DI=0.6相似度比較

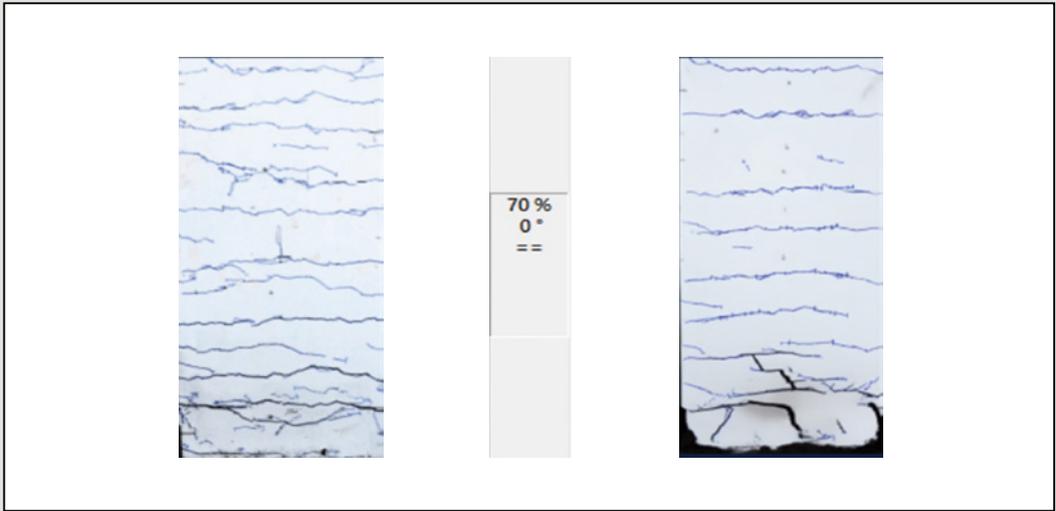


圖18 C1015 DI=0.4 相似度比較

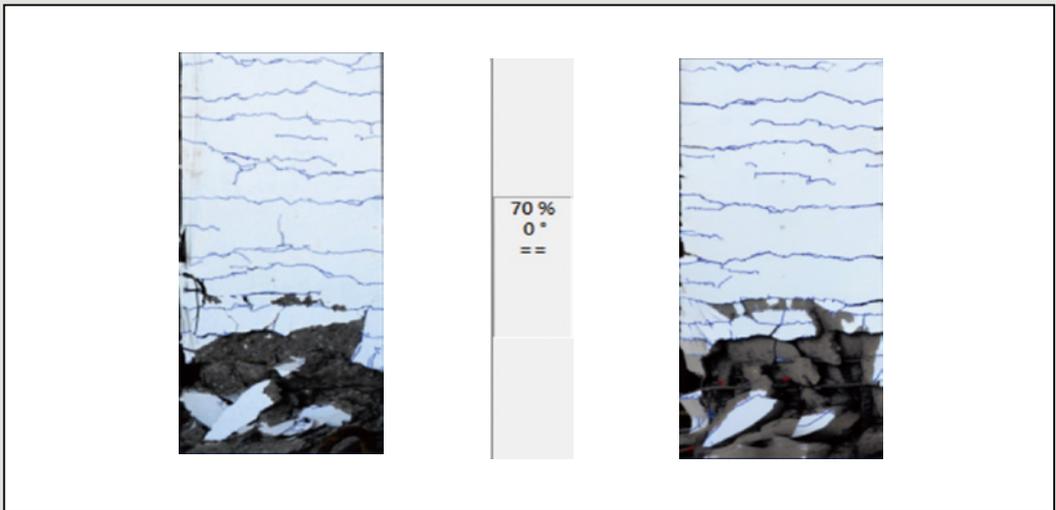


圖19 C1015 DI=0.8 相似度比較

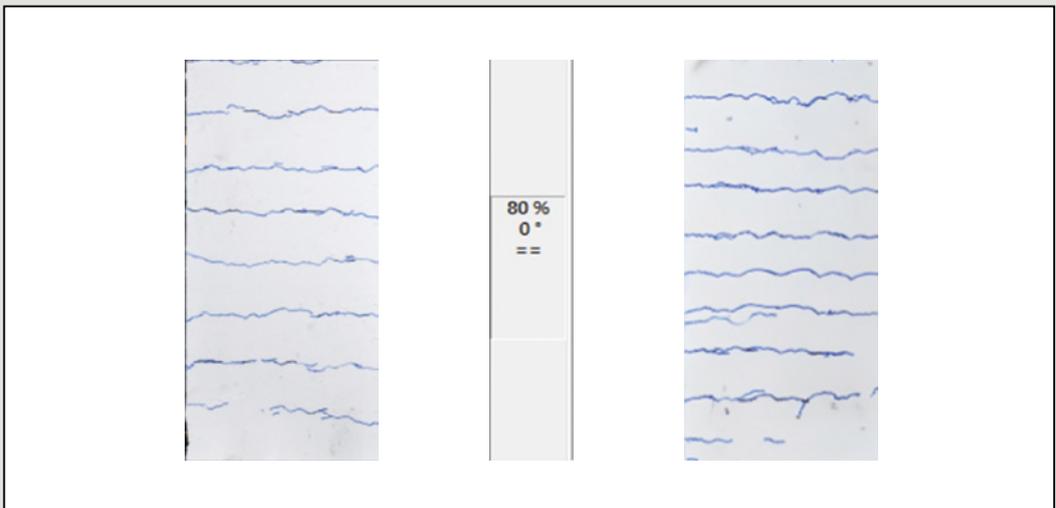


圖20 C1S DI=0.1相似度比較

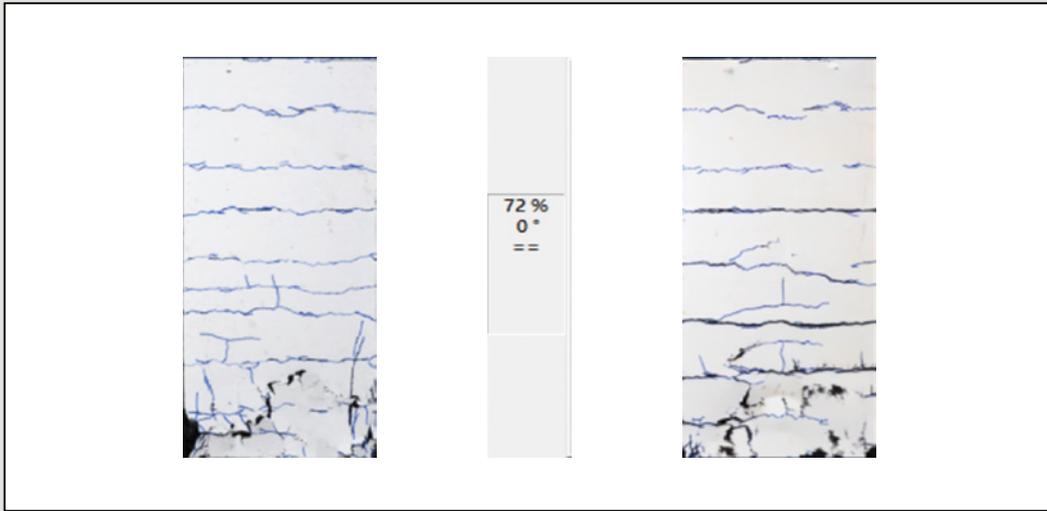


圖21 C1S DI=0.5 相似度比較

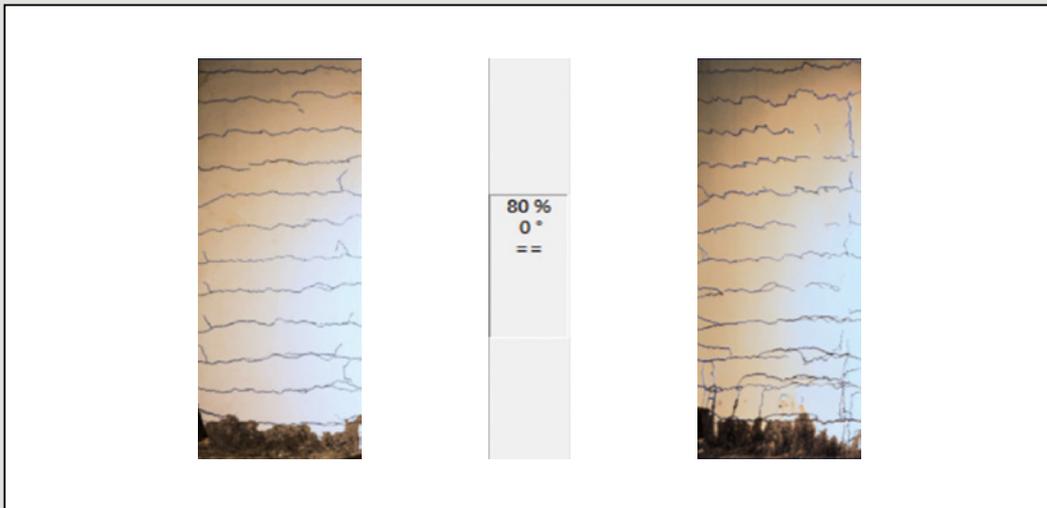


圖22 CLC DI=0.4 相似度比較



圖23 CLC DI=0.6相似度比較

## 結語

本研究首創使用人工智慧方法協助橋梁震損推定，蒐集七橋柱的實驗數據，以橋柱損傷影像、損傷指數、橋柱高寬比，以及橋柱主筋比，建立橋柱損傷資料庫。並建立低秩適應模型，根據隨機取樣將樣本資料分為訓練資料與驗證資料。

訓練低秩適應模型帶來了許多優勢，包括對樣本數量需求較少以及訓練後的模型佔用存儲容量較小，從而降低了數據蒐集成本。將低秩適應模型應用於穩定擴散模型，可以充分發揮其生成能力，使其在生成圖像的過程中能夠更靈活地應對不同需求。這種結合不僅節省了訓練成本，還提高了生成模型的應用彈性。

本研究訓練的低秩適應模型成品，依相似度比較結果顯示，生成照片與原始圖片比較均超過70%，部分甚至達到80%以上。我們成功地利用橋柱損傷影像預測損傷指數，並驗證了損傷影像與指數之間的密切關聯性，進一步展示了人工智慧方法在橋梁震損推估中的可行性。該損傷指數預測流程能有效取代傳統人力計算，節省時間與成本，並實現更高效且客觀的橋梁震害評估。

## 參考文獻

1. Wang, P. H., Ou, Y. C., & Chang, K. C. (2017). A new smooth hysteretic model for ductile flexural-dominated reinforced concrete bridge columns. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(14), 2237-2259.

2. 小川篤生, 本間淳史, 中島祐之, 渡邊忠朋, 北後征雄 & 及川研. (1997). 混凝土構造物之震災復舊及耐震補強. 社會基盤與PC構造物—第25次PC技術講習會.

3. Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., ... & Chen, W. (2021). Lora: Low-rank adaptation of large language models. arXiv preprint arXiv:2106.09685.

4. Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P., & Ommer, B. (2022). High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models.

5. Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A., ... & Shinn, J. (2021). Zero-Shot Text-to-Image Generation.

6. Nichol, A., & Dhariwal, P. (2021). Improved Denoising Diffusion Probabilistic Models.

7. Miller, T., & Singh, G. (2023). Benchmarking Text-to-Image Models: DALL-E 2, Midjourney, and Stable Diffusion.



# 3

## 專題報導

# 基於檢索增強生成技術(RAG)的人工智慧雲端監造助理之開發

關鍵詞(Key Words)：AI監造助理(AI Supervision Assistant)、大型語言模型(LLM)、檢索增強生成技術(RAG)、GPTs

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／資深協理／莊明哲 (Chuang, Ming-Che) ❶

國立高雄科技大學／營建工程系／副教授／陳懿佐 (Chen, Yih-Tzoo) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／計畫經理／鍾增煌 (Chung, Tseng-Huang) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／工程師／陳羿樺 (Chen, Yi-Hua) ❹

國立高雄科技大學／營建工程系／研究生／張詠嬪 (Zhang, Yong-Zhen) ❺

## GPT

AI監造助理的開發，旨在提高監造工程師的工作效率，提供即時、準確的技術規範、契約規定、ISO標準程序等相關文件資訊，輔助監造工程師更有效地進行工作。本報告將介紹該AI監造助理的開發過程，包括需求分析、系統架構設計、模型訓練與部署等。同時，我們也將探討該AI監造助理在實際應用中的表現，並分析其對監造工程師工作的影響。最後，我們將總結該AI監造助理的開發經驗，並提出未來研究的建議。

以下常見的優先順序來處理：(1)詳細的合約文件；(2)最新的技術規範；(3)相關的ISO標準；(4)監造工程師的經驗；(5)ISO

## 摘要

本研究探討如何運用檢索增強生成技術(Retrieval-Augmented Generation,RAG)來建構智能雲端監造助理，以協助監造工程師更高效、準確地完成工作。RAG技術結合了檢索模型與生成模型(如GPT)，透過檢索知識庫中的相關資訊來強化生成模型的回答能力，使其在處理複雜任務時提供更精準的回覆。

研究採用了OpenAI的客製化GPT(Custom GPT)，這是一款易於取得與使用的雲端工具，除了支援RAG進行文本檢索與生成，其內建的程式碼解釋器(Code Interpreter)還可根據需求生成Python程式碼，並在雲端沙盒中進行邏輯處理與數值計算，進一步提升回答的正確性。透過此技術，生成式AI能根據特定範圍的知識庫為工程師提供日常工作支援，如整合施工技術規範、契約條款、ISO標準流程和詳細價目表的檢索生成，並執行工程數量計算，從而提高監造品質與工程管理效能。



## Development of an AI Cloud-Based Supervision Assistant Using Retrieval-Augmented Generation (RAG) Technology

### Abstract

This study explores the application of Retrieval-Augmented Generation (RAG) technology to develop an intelligent cloud-based supervision assistant, aiming to help supervision engineers complete tasks more efficiently and accurately. RAG technology combines retrieval models and generative models (such as GPT) to enhance the generative model's response capabilities by retrieving relevant information from a knowledge base, enabling it to provide more precise answers when handling complex tasks.

The study employs OpenAI's Custom GPT, an accessible and user-friendly cloud tool. In addition to supporting RAG for text retrieval and generation, it also includes a built-in Code Interpreter that can generate Python code based on user requirements, performing logical operations and numerical calculations in a cloud sandbox, further improving response accuracy. Through this technology, generative AI can assist engineers with daily tasks based on a specific knowledge base, such as integrating construction technical standards, contract terms, ISO standard procedures, and detailed cost tables for text retrieval and generation, as well as performing engineering quantity calculations, thereby enhancing supervision quality and project management efficiency.

## 壹、前言

在工程專案的施工過程中，監造單位扮演著至關重要的角色，主要負責確保承包商依據契約內容、設計圖說和業主的標準作業程序(ISO)執行施工，保障工程品質與進度的達成。監造工程師不僅需對複雜的契約條款進行深入理解，還需嚴格遵循業主所設定的ISO標準進行工務和行政作業，這對其專業知識和管理能力提出了極高的要求。然而，隨著專案規模和複雜性的提升，契約條款及ISO標準的內容也愈加繁雜、多樣，給監造工程師的執行工作帶來了極大的挑戰。

在實際執行過程中，監造工程師需要查驗施工品質、進行工務行政處理，並且在每個環節做出符合專案需求的決策。然而，僅依賴以往經驗進行判斷，往往難以全面應對當前專案的需求。傳統方法依賴手工查閱大量文件和規範，這種方式不僅耗時耗力，還可能導致錯誤或遺漏，進而影響工程執行的效率和品質，無法滿足現代工程專案日益複雜與大型化的需求。

為解決這些挑戰，本研究嘗試引入檢索增強生成技術(Retrieval-Augmented Generation, RAG)來協助監造作業。RAG技術將檢索模型與生成模型的優勢結合，能夠從大量的契約文本及ISO文件中快速檢索出相關資訊，並生成具體而精確的建議和回應，協助監造工程師迅速獲取所需的資料。藉由此資訊技術應用，監造工程師可以更高效地進行施工查驗和工務管理作業，確保各項作業的準確性，從而提升整體的監造品質和工程管理效能。

## 貳、資訊技術應用

### 一、大型語言模型(LLM)

隨著深度學習技術的快速進步，人工智慧(Artificial Intelligence, AI)的應用已愈加廣泛，不僅能處理海量資訊和提供精確預測，還在提升生產效率和推動科技創新方面發揮重要作用，對企業管理及公共服務領域的進步具有深遠意義。大型語言模型(Large Language Model, LLM)是AI的一項關鍵應用，基於Transformer架構的深度學習模型，主要應用於自然語言處理(Natural Language Processing, NLP)任務。其中，生成預訓練轉換器(Generative Pre-trained Transformer, GPT)是LLM中最具代表性的例子，通過大量語言數據的訓練，GPT能針對輸入提示或問題進行語法、語義和上下文分析，生成自然且連貫的文字回應，展示出強大的語言處理能力。

然而，LLM的生成能力主要基於訓練數據中的模式與關聯，缺乏真實的推理和理解能力。因此，當面對需要專業知識的任務或即時資訊查詢時，LLM可能產生錯誤的回應。為了克服這些局限性，檢索增強生成(Retrieval-Augmented Generation, RAG)技術應運而生。

### 二、檢索增強生成(RAG)

檢索增強生成(Retrieval-Augmented Generation, RAG)透過語義相似度計算從外部知識庫中檢索相關的事實性文檔片段，為語言模型提供準確且最新的數據，從而增強其理解能力，並顯著提高回應的準確性與可靠性，有效避免大型語言模型產生幻覺(Hallucination)錯誤回應的風險，特別在知識密集型任務中展現其優勢。

RAG技術結合自然語言處理(NLP)的功能，能夠從外部來源檢索並整合相關資訊，從而有效存取和處理大量結構化、半結構化和非結構化數據；這使企業能夠自動化執行資料分析任務，包括資料趨勢總結、相關性識別、模式發

現，以及異常偵測等。此外，RAG技術的整合顯著減少了內容錯誤的風險，並已成為推動聊天機器人發展及提高大型語言模型在實際應用中適用性的重要技術。

在RAG系統中，檢索(Retrieval)、生成(Generation)和增強(Augmentation)三個階段扮演著關鍵角色：

### (一) 檢索

系統從外部資料源中提取相關的文檔或數據，並將其進行分段和向量化處理，存儲在向量資料庫中。此階段的目的是快速檢索與查詢語義最相關的片段，為生成階段提供高精確度且有用的基礎資訊，進一步提高生成結果的可靠性。

### (二) 生成

生成階段將檢索到的相關資訊與語言模

型內部知識相結合，以挑選出與查詢最相關的片段，並進行進一步壓縮和過濾，保留關鍵部分。此過程旨在確保生成模型在長文本處理中不受冗餘資訊干擾，有效避免模型因過長上下文而出現「中途迷失」的問題。

### (三) 增強

增強階段會根據生成需求對檢索內容進行壓縮或選擇，通過優化反覆進行檢索和生成的過程，逐步完善答案，以確保獲得足夠且相關的上下文資訊；這一過程能顯著提升回應的準確性和一致性，並確保系統在處理最新資料時具有持續的時效性，因此外部數據源需要定期更新。

這種方法顯著提升了生成回應時的相關性和可靠性。隨著研究的深入RAG不再局限於推理階段，也逐步融合在LLM的微調過程中，使模型能更有效地利用外部資訊，生成更加精確的答案。

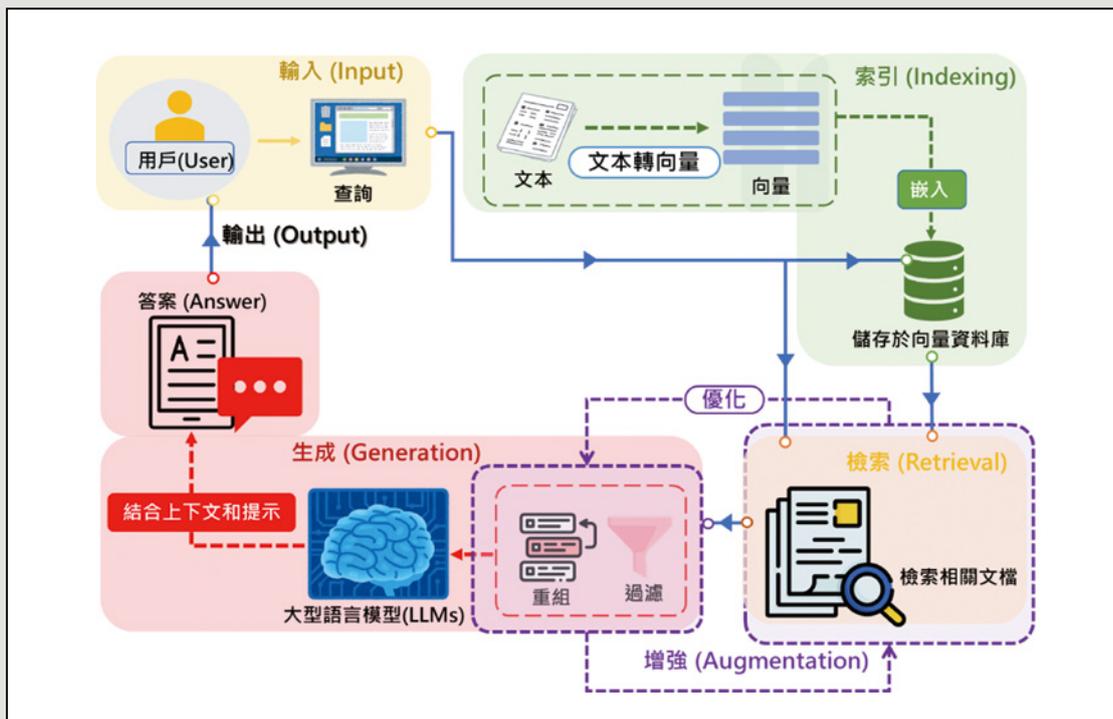


圖1 檢索增強生成(RAG)工作流程

檢索增強生成(RAG)系統工作流程如圖1所示，其結合檢索模型與生成模型，透過查詢與資料檢索的相互增強，生成更具準確性和上下文相關性的答案。此流程分為六個主要步驟，每一階段均有特定功能，確保生成模型能夠從知識庫中獲取最佳的相關資訊，最終為使用者提供精確且詳盡的回應。

#### 1. 輸入(Input)

用戶通過查詢介面輸入相關資訊，透過介面傳送至後續RAG的流程。

#### 2. 索引(Indexing)

系統會對外部資料(如文本、文檔)進行預處理，將其轉換為向量表示，而向量儲存在向量資料庫中，確保檢索階段能夠快速找到與查詢相關的內容。

#### 3. 檢索(Retrieval)

當用戶輸入查詢後，系統會在向量資料庫中檢索出與查詢語義最相關的文檔片段，作為答案生成的基礎。

#### 4. 增強(Augmentation)

檢索到的片段會經過進一步過濾和優化，確保只保留與查詢最相關的資訊，這有助於提高最終生成答案的品質。

#### 5.生成(Generation)

優化後的片段被傳送到大型語言模型(LLM)，LLM將結合這些外部片段和內部知識生成最終答案。

#### 6.輸出(Output)

LLM最終生成的最佳答案(Answer)回覆給用戶。

大型語言模型結合檢索到的片段與內部的上下文知識，透過RAG模型使AI能夠存取最新且最相關的數據，生成最終的答案並輸出給用戶，這種混合方法增強模型準確且資訊豐富的回應能力，尤其在處理複雜或知識密集型任務中。

### 三、應用工具

本研究使用由OpenAI開發之客製化GPT(Custom GPT)作為生成式人工智慧之應用工具，GPTs是ChatGPT的自訂版本，使用者可以通過結合指令(Instruction)、知識庫和功能(網頁瀏覽、生成圖像、程式碼執行器和資料分析)來針對特定任務或主題進行調整生成內容，不論任務的複雜度，GPTs都能靈活應對並支援多種需求。

### 參、客製化GPT(GPTs)應用

#### 一、GPTs之監造應用

本研究旨在應用GPTs於工程執行中，作為輔助執行監造作業的角色，以提高監造工程師在繁複流程及技術文件中的工作效率和準確性。透過對施工契約、施工規範及鐵道局ISO等文本資料的理解和分析，GPTs能夠提供以下幾個主要應用場景：

##### (一) 工務行政輔助

在施工過程中，工程師經常需要快速查詢特定的技術規範。GPTs能根據關鍵字或自然語言檢索技術文件(如契約條款和業主的標準作業程序ISO)，提供準確的答案，涵蓋施工流程、材料要求及施工標準等。同時，GPTs還能協助檢

查施工查驗標準是否符合契約要求，並針對開工、展延、變更等流程提供建議，確保各項作業符合契約規範及機關作業流程。

## (二) 工程量計算與成本估算

GPTs內建的知識庫和程式碼解釋器，可結合設計規範、詳細價目表及計算邏輯等資訊，快速估算工程量並檢核施工成本，從而協助施工團隊縮短初期規劃時間並加快決策效率。

透過設計精確的提示和指令，提高準確性和可靠性，GPTs不僅提升了文檔處理和計算任務的自動化水平，還提供即時的合規性檢查和專業指導，從而顯著提高施工品質與管理效能。

## 二、以指令、提示引導生成內容

GPT模型的核心基於Transformer演算法，特別是在引入自注意力機制(Self-attention Mechanism)後，顯著提升了AI模仿和學習人類語言的能力。其強大的生成能力使其能應用於多種自然語言處理任務，包括自動撰寫文章、回

答問題、語言翻譯及對話生成等。

此外，GPTs模型生成回應優化的方式，可採用基於指令的調整(Instruction-based Tuning)和基於提示的調整(Prompt-based Tuning)，幫助模型在特定情境中生成更加準確且具上下文關聯的回應。

(一) 基於指令的調整：在特定情境中告訴模型應如何行動，使其遵循一組明確的指令或指導方針來執行任務或達成目標。該過程通過提供具體的任務描述和期望的輸出來訓練模型，從而使模型生成符合要求的回應。

(二) 基於提示的調整：設計特定的提示語來引導模型生成所需的回應，提示語可以是問題、描述或開放性陳述等。此過程不涉及模型訓練，而是透過選擇最合適的輸入語句，使LLM生成最佳回應。

GPTs之指令與提示設置於設計後台進行，如圖2。



圖2 GPTs之指令與提示設置

(一) 指令(Instructions)：在設置左側視窗中的「配置」區域進行，這允許研究人員直接設定模型應該如何行動及生成回應的方式。

(二) 提示(Prompts)：可在右側測試視窗中進行設置，用戶可輸入具體問題或陳述，以測試模型對不同提示的即時回應。這讓研究人員能夠即時查看模型生成的文本，並評估其在特定情境下的表現。

通過這兩種調整方法，研究人員可以優化模型生成的文本，確保其在特定任務中的精確性和相關性。

### 三、實際應用

本研究之GPTs透過指令(Instructions)、提示(Prompts)應用於不同場景，將工程契約、施工規範、詳細價目表、鋼筋數據等相關文件導入知識庫，並根據具體任務設計和修改指令，從

而使GPT模型更好地應用於工程監造任務中。

此外，在每個指令前添加井字號(#)，主要目的為有效區分不同的指令，防止模型混淆指令內容，從而確保答案的準確性和一致性。

(一) 工務行政輔助、技術規格檢索(以鐵道局契約為例)

輔助處理工務流程(如開工報核、契約變更、展延工期)及技術規範檢索(如施工查驗點的查驗標準)，使GPTs能夠根據需求檢索相關規範條款並提供合規答案和建議。(圖3、圖4)

#### 1. 知識庫文件

詳細價目表、特訂條款、一般條款、施工技術規範、業主之標準作業程序(ISO文件)。



圖3 GPTs答案-工期展延



圖4 GPTs答案-吸音塗裝查驗及價格

2. 指令(Instructions)

詳表1。

3. 提示(Prompts)

詳表2、表3。

GPTs有效輔助監造工程師在施工現場進行知識庫查詢，透過檢索增強生成技術(RAG)，工程師無需再自行翻查複雜的契約條文和規範，可以藉由知識庫檢索準確的契約條文和規範，並根據查詢需求生成合適的回覆，以優化監造管理流程。

(二) 鋼筋數量計算及成本分析

工程數量估算和成本評估是監造單位在辦

理估驗計價、契約變更的重點，利用適當的指示，將大型語言模型的推論步驟加入工程師的思考邏輯，協助工程師更準確地完成計算，加速工作效率。

1. 知識庫文件

詳細價目表、施工技術規範、鋼筋基本資訊。

2. 指令(Instructions)

詳表4。

3. 提示(Prompts)

詳表5。

表1 工務行政輔助、技術規格檢索-指令(Instructions)

#你是監造工程師的助理，負責檢索並提供施工技術規範、契約規定、ISO標準程序等相關文件資訊，輔助監造工程師更高效且正確地執行工作。  
 #使用繁體中文回答問題。  
 #在回應時，儘量精簡語言，保持回應簡潔並聚焦於核心問題。  
 #當問題超出知識庫範圍時，需註明資料來源，並盡可能提供建議或進一步的研究方向。  
 #在契約條款中，當不同條款之間出現相互衝突或不一致的情形時，依以下常見的優先順序來處理：(1)詳細價目表、(2)特定條款、(3)一般條款、(4)施工技術規範、(5)ISO

表2 工務行政輔助、技術規格檢索-範例1-提示(Prompts)

範例1	
Prompts	請問工期展延申請的關鍵步驟清單。
GPTs之輸出答案	<p>工期展延申請的關鍵步驟如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>延誤事故後提出申請： 承包商應在延誤事故結束後的 28天內 提出工期展延申請，並附上相關證明文件。</li> <li>監造單位初步審查： 監造單位收到申請後，進行初步審查，確認申請的合理性及資料的完整性。</li> <li>補正文件(如有需要)： 若申請文件不齊全或有缺失，監造單位會通知承包商在規定期限內補足或修改。</li> <li>召開審查會議： 監造單位應在收到完整申請後的 14天內 召開審查會議，邀請工務段、工程處等單位參與，討論展延申請並取得審查意見。</li> <li>工務段和工程處核定： 經審查後，由工務段和工程處進一步確認和核定工期展延申請。</li> <li>報送鐵道局(若適用)： 若為查核金額以上的工程，需報送至交通部鐵道局進行審核。</li> <li>最終核准： 工程處或鐵道局核准展期後，工期展延正式生效。 依據：《RBH-2-C43-工程停復工及展延程序》。</li> </ol>

表3 工務行政輔助、技術規格檢索-範例2-提示(Prompts)

範例2	
Prompts	吸音塗裝施工查驗以及價錢(吸音噴結綿)為何?
GPTs之輸出答案	<p>吸音塗裝施工查驗和吸音噴結綿的價錢如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>吸音塗裝施工查驗項目： 根據《附錄D 施工工項抽查流程》與《附錄E 施工抽查標準》的規定，吸音塗裝施工的查驗項目包括：                     <ul style="list-style-type: none"> <li>■施工前查驗：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>●材料進場檢查，確保使用的材料符合設計和規範要求。</li> <li>●提交配比設計資料進行審核。</li> </ul> </li> <li>■施工中查驗：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>●檢查噴塗厚度，通常要求在0.5至1英寸之間。</li> <li>●檢查塗裝的均勻性，避免出現表面不平整或厚薄不均。</li> </ul> </li> <li>■施工後查驗：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>●外觀檢查，確保表面無裂縫、氣泡或污染。</li> <li>●場地清理檢查，確認施工後場地的清潔狀況。</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>吸音噴結綿的價錢： 根據《詳細價目表》，吸音噴結綿的單價為 1,081元/平方公尺，適用於30mm厚度的施工。</li> </ol>

表4 鋼筋數量計算及成本分析-指令(Instructions)

#你是營建工程師的助理，請依據問題檢索資料庫中的內容。  
 #所有回答需以繁體中文回答。  
 #鋼筋「搭接長度」的檢索僅使用「鋼筋數據.xlsx」的「搭接長度」工作表，需考量「結構類型」、「位置」、「鋼筋抗拉強度」、「混凝土抗壓強度」及「徑稱」。雙層配置時，有關「位置」，上層鋼筋使用「頂層」數據，下層鋼筋使用「一般」數據；單層配置則全部使用「一般」數據。若問題中未提供所需條件，應先詢問使用者相關資訊，並允許對名詞相近條件進行彈性檢索。  
 #若要查詢鋼筋的「單價」，請檢索「詳細價目表.xlsx」的「明細表」工作表以抗拉強度名稱去檢索「契約項目」欄位，並允許名詞相近匹配。  
 #在「鋼筋基本資訊」工作表中，「單位重量」的欄位名稱為「單位重量(W) (kg/m)」，將使用此欄位名稱進行計算。  
 #若沒有相關資訊，需要詢問  
 #以下為計算鋼筋需求和成本的公式，請依據以下步驟進行計算：  
 #一.所需要的基本參數  
 #1.地坪長度、寬度(或從圖片識別中獲取)  
 #2.鋼筋配置方式(如雙層、單層配置等)  
 #3.鋼筋間距  
 #4.鋼筋號數、鋼筋抗拉強度  
 #二.鋼筋計算重點  
 #1.鋼筋搭接長度：依據「鋼筋數據.xlsx」中的「搭接長度」工作表檢索。檢索時需考慮「結構類型」、「位置」、「鋼筋抗拉強度」、「混凝土抗壓強度」及「徑稱」。  
 #2.單位重量及抗拉強度：透過「徑稱」，從「鋼筋數據.xlsx」的「鋼筋基本資訊」工作表中檢索(單位重量(W) (kg/m))。需提供鋼筋的徑稱(如D10、D13)進行篩選。  
 #3.單價從「詳細價目表.xlsx」檢索。需根據鋼筋的抗拉強度(如SD280、SD420)進行篩選。檢索時可以考慮名詞相近匹配。  
 #4.依據可訂購鋼筋長度進行搭接次數計算，計算方式為”無條件進位”  
 #5.單支鋼筋標準長度：12 m。  
 #三.鋼筋計算公式  
 #1.確認配置範圍：長方向配置範圍=地坪長度-2\*保護層厚度、寬方向配置範圍=地坪寬度-2\*保護層厚度；保護層以5公分進行計算  
 #2.計算鋼筋根數：長向鋼筋根數=寬方向配置範圍/間距、短向鋼筋根數=長方向配置範圍/間距  
 #3.確定搭接次數：長向段數=長方向配置範圍/單根鋼筋長度、短向段數=寬方向配置範圍/單根鋼筋長度；搭接次數則為段數減去1。  
 #4.計算每根鋼筋的實際長度(含搭接)：  
 #雙層配置時：  
 #上層長向鋼筋長度 = 長方向配置範圍 + 搭接次數 \* 上層搭接長度  
 #下層長向鋼筋長度 = 長方向配置範圍 + 搭接次數 \* 下層搭接長度  
 #上層短向鋼筋長度 = 寬方向配置範圍 + 搭接次數 \* 上層搭接長度  
 #下層短向鋼筋長度 = 寬方向配置範圍 + 搭接次數 \* 下層搭接長度  
 #單層配置時：  
 #長向鋼筋長度 = 長方向配置範圍 + 搭接次數 \* 單層搭接長度  
 #短向鋼筋長度 = 寬方向配置範圍 + 搭接次數 \* 單層搭接長度  
 (搭接長度需由知識庫尋找)  
 #5.計算總鋼筋長度(單、雙層配置)：  
 #雙層配置時：總鋼筋長度 = (長向鋼筋根數 \* (上層長向鋼筋長度 + 下層長向鋼筋長度)) + (短向鋼筋根數 \* (上層短向鋼筋長度 + 下層短向鋼筋長度))  
 #單層配置時：總鋼筋長度 = (長向鋼筋根數 \* 長向鋼筋長度) + (短向鋼筋根數 \* 短向鋼筋長度)  
 #6.計算鋼筋的總重量：鋼筋總重量=總鋼筋長度\*單位重量  
 #7.計算鋼筋的總成本：鋼筋的總成本=鋼筋總重量\*單價  
 ##四.混凝土計算公式  
 #計算混凝土的總成本：長\*寬\*厚\*「混凝土單價」  
 #若要查詢混凝土的「單價」，請檢索「詳細價目表.xlsx」的「明細表」工作表以抗壓強度去檢索「契約項目」欄位，並允許名詞相近匹配。

表5 鋼筋數量計算及成本分析-提示(Prompts)

Prompts	地坪長50公尺，寬40公尺，厚度30公分 鋼筋徑稱為D16，間距20公分，雙層配筋 依據以上條件總共需要多少費用?
GPTs 之輸出答案	<p>1.計算鋼筋需求和成本</p> <p>1.1 配置範圍            地坪長度：50 公尺            地坪寬度：40 公尺            配置範圍計算（考量保護層 5 公分）：            長方向配置範圍 = <math>50 - 2 \times 0.05 = 49.9</math> 公尺            寬方向配置範圍 = <math>40 - 2 \times 0.05 = 39.9</math> 公尺</p> <p>1.2 鋼筋根數            長向鋼筋根數 = <math>39.9/0.2</math>（間距 20 公分）            短向鋼筋根數 = <math>49.9/0.2</math></p> <p>1.3 鋼筋搭接長度            鋼筋的抗拉強度、混凝土抗壓強度及位置將用於查找搭接長度。            查找 D16 的單位重量。</p> <p>1.4 鋼筋單價查找            根據鋼筋抗拉強度查找單價。</p> <p>2.計算混凝土需求和成本</p> <p>2.1 混凝土體積            體積 = 長 × 寬 × 厚度            查找混凝土的單價（依據抗壓強度）。            我將根據這些步驟在文件中查找需要的數據並進行計算。</p> <p>查找並整理鋼筋及混凝土數據</p> <p>1.查找 D16 鋼筋的單位重量及抗拉強度            根據查詢，D16 的單位重量為 1.560 kg/m。</p> <p>2.查找鋼筋搭接長度            在「搭接長度」表中找到適合「雙層」配置的搭接長度，D16 的搭接長度為 90 公分。</p> <p>3.查找鋼筋及混凝土的單價            我將在價格表中依據抗拉強度和混凝土抗壓強度查找相關價格。            已獲取的數據            鋼筋 D16 單位重量：1.56 kg/m            上層鋼筋搭接長度：102 公分            下層鋼筋搭接長度：78 公分            鋼筋單價（SD420）：30906 元/噸            混凝土單價（280 kgf/cm<sup>2</sup>）：4318 元/m<sup>3</sup>            我將根據這些數據進一步計算所需鋼筋及混凝土的總成本。</p> <p>總計費用結果            鋼筋總成本：約 2,058,710 元            混凝土總成本：約 2,590,800 元            鋼筋與混凝土的總費用：約 4,649,510 元            此為雙層配筋的完整計算結果，包括鋼筋及混凝土的需求與成本。</p>

## 結論

本研究展示了大型語言模型(LLM)結合檢索增強生成技術(RAG)後，在經過適當的指示(Instruction)設置後，可有效輔助工程師確保監造作業的正確性，尤其在工務行政輔助與施工

查驗標準確認等方面展現了優異的應用成效。針對數值運算及邏輯比對這些傳統上被視為大型語言模型的弱點，本研究透過程式解碼器(Code Interpreter)依指示生成Python腳本執行邏輯運算，成功實現工程數量精確計算的任務，不僅顯著提升工作效率，更確保了計算結果的

準確性。

透過OpenAI平台開發的客製化GPT，將監造執行經驗系統化轉換為指示集，並結合知識庫管理、RAG技術與程式解碼器等多項技術，成功解決了傳統監造作業中繁瑣的文本檢索和數據計算問題。此整合方案能有效支援監造單位的決策過程，實現將最新資訊科技導入監造作業流程的目標，展現生成式AI在工程監造領域的實際應用價值。

研究成果顯示，生成式AI技術已具備輔助監造作業的基本能力並展現良好的應用潛力。然而，系統效能的關鍵在於如何將監造執行經驗及邏輯思維準確轉化為客製化指示，特別是在知識庫的資料調用及邏輯運算處理方面仍有優化空間。未來研究方向建議：

- (一) 探索優化知識庫檢索機制，以提高資訊檢索的準確性和效率。
- (二) 加入更多監造思維鏈(Chain-of-Thought)推理技術，增強系統的邏輯推理能力。
- (三) 運用微調(Fine-tuning)技術，將開源大型語言模型(如Llama3.2、Mistral 7B)調整為專業領域模型；構建適用於營建工程領域的通用模型，增強AI系統在工程問題解決上的泛化能力。

本研究為工程監造領域引入AI技術提供了可行方案，並期待未來能持續優化，為營建產業的數位轉型做出貢獻。



# GPT

# 應用機械狗與多功能環境辨識監測技術於營建工地安全管理之研究

關鍵詞(Key Words)：工地安全管理(Construction Safety Management)、人工智能(Artificial Intelligence (AI))、影像辨識(Image/Video Recognition)、傳感器(Sensor)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／經理部／副總經理／陳志鴻 (Chen, Chih-Hung) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工地主任／顏俊銘 (Yen, Chun Ming) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／副理／盧祥偉 (Lu, Hsiang-Wei) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／李毓仁 (Lee, Yu-Ren) ❹



## 摘要

本文旨在針對機械狗搭載無線鏡頭模組及傳感器於工地安全管理之應用：

機械狗搭載無線鏡頭模組應用2D影像辨識技術，將資訊影像傳送至智能影像辨識平台後，藉由辨識技術後將判讀結果回傳予現場監造主管或安衛人員，以提供給前述人員作為後續處理之參考依據。

機械狗可依工地需求搭載不同之傳感器，可即時監測機械狗所經過之環境狀況，並可同時於現場監造主管或安衛人員手機顯示監測成果，使相關人員能即時掌握所經路徑的環境監測數據，以做為工地安全管理之參考。



## A Study on the Application of Robotic Dogs and Multifunctional Environmental Recognition and Monitoring Technology in Construction Site Safety Management

### Abstract

This article focuses on the application of robotic dogs equipped with wireless camera modules and sensors in construction site safety management :

Robotic dogs equipped with wireless camera modules utilize 2D image recognition technology to transmit image information to an intelligent image recognition platform. After processing through recognition technology, the results are sent back to site supervisors or safety personnel to serve as a reference for subsequent actions.

Robotic dogs can be equipped with various sensors according to the needs of the construction site, enabling real-time monitoring of the environment they traverse. The monitoring results can simultaneously be displayed on the mobile devices of site supervisors or safety personnel, allowing relevant personnel to promptly access environmental monitoring data from the traversed paths as a reference for construction site safety management.

## 壹、前言

根據勞動部職業安全衛生署統計，2019年我國因為重大職業災害死亡人數多達316人，其中營造業佔了168人，超過總數的一半[1]。

隨著智慧科技時代來臨，數位技術逐漸導入各領域輔助管理運用，台灣世曦(後稱本公司)辦理工程設計監造顧問服務業務，亦投注大量資源研發，期透過數位科技的應用，有效提升工地職安管理效率並協助職災事件預防與避免。

長久以來營建產業面臨設計、監造人才世代交替、人力不足及流動之情況，且既有專業人員分身乏術、一人身兼多專業知識與經驗有限……等侷限情形，應思考於人力資源有限之情境下，如何藉由現行及未來數位科技、資訊技術應用導入，以提高營建業職業安全衛生管理方法、強化管理作業，透過先進機制的導入，推動危害預防、執行安全防護，對於未來職業災害的持續預防與工地安全管理，將有莫大助益。同時現場人員的應用觀念亦應與時並進，始可有效將工地安全管理推展至新的高度。在工地安全監控需求與新科技技術趨勢引領下，思考如何整合新技術，強化現有營建業職業安全管理環境，亦為下一階段應用推展之重要課題。

工地現場危害預防常仰賴專業人員及監視系統，進行施工現場檢查、監控及事後檢討，但一個工地往往有不同工種的人員來來去去、現場受限專業工安及監控人力不足，且工地現場有許多死角等問題，造成工地安全風險仍有待強化改善空間。目前工地大多輔以監視系統監控工地，並開始導入感測器蒐集工地資訊，再透過人工智慧相關技術，進行影像辨識與分析，代替人員監看，以自動化輔助或取代傳統人力。

目前國內營造工地廣為應用臉部辨識系統作為門禁監控、人員管理使用[1][6]，進一步結合電子圍籬及告警系統，以期降低因人員不安全行為及設備缺失所導致之損失。近期國內外皆有研究單位、學術單位積極投入AI影像辨識技術相關應用，期望提高整體辨識率，以推動智慧工地發展。自動辨識項目包括：是否正確配戴安全帽、穿戴安全背心、穿戴安全吊具、行進間的機具安全與危險範圍監測等，結合實務作業有效應用於工地安全管理[5][11]。109-112年本公司與臺灣大學土木工程學系及產業相關單位(建國工程股份有限公司、瑞助營造股份有限公司及豐譽營造股份有限公司)合作之研發計畫「營建工地智慧視覺監視與自動報告系統的研發」，係以AI技術輔助工地影像辨識的整合管理與自動報告平台開發智能影像辨識平台，工地安全辨識標的包含施工架、工區開口……等，透過2D危險影像標的資料蒐集，提供AI識別測試訓練。

現階段工地安全影像辨識研究，多著重於2D影像辨識技術及平台建置。本公司擬進一步結合動態裝置，透過搭載於機械機具如四足機器人(Quadruped Robot)如機械狗、機械車載等上方，將有助於補強工區巡檢或監視區域不足之處。目前工地機器人運用，譬如動態工地影像紀錄實際施工狀態或即時影像監控，則開始採用無人機或工地自動巡檢機器人等[4][12][13]。

## 貳、機械狗搭載無線鏡頭模組及傳感器於工地安全管理之應用

### 一、機械狗搭載無線鏡頭模組於工地安全管理之應用

本公司嘗試自行搭載無線鏡頭模組(圖1)，結合機械狗以組合輔助工地安全管理，參與角色包含監造單位、施工廠商……等，其角色應用



圖1 無線鏡頭模組

情境圖(如圖2)所示；使用手機或無線鏡頭模組拍完照後，經由WIFI將照片直接傳送至智能影像辨識平台辨識，辨識時會根據缺失項目、類別會有其對應之描述(圖3、圖4)。

## 二、機械狗搭載傳感器於工地安全管理之應用

當機械狗進入工地巡查時，同時也可以搭載不同的傳感器，在巡查時，也同步紀錄環境



圖2 載具及無線鏡頭組合輔助智能影像辨識之工地安全管理情境圖

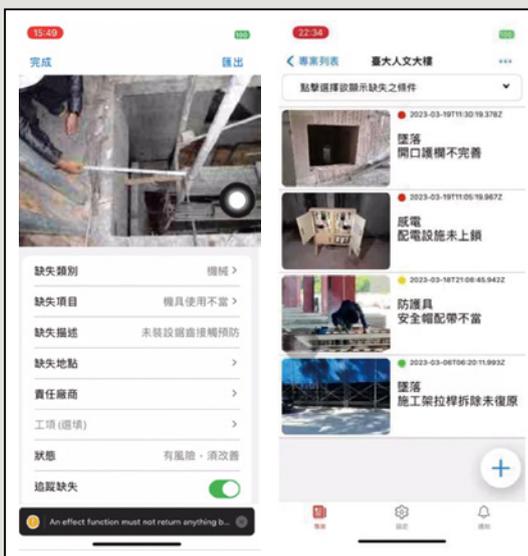


圖3 智能影像辨識平台-手機應用程式辨識後畫面

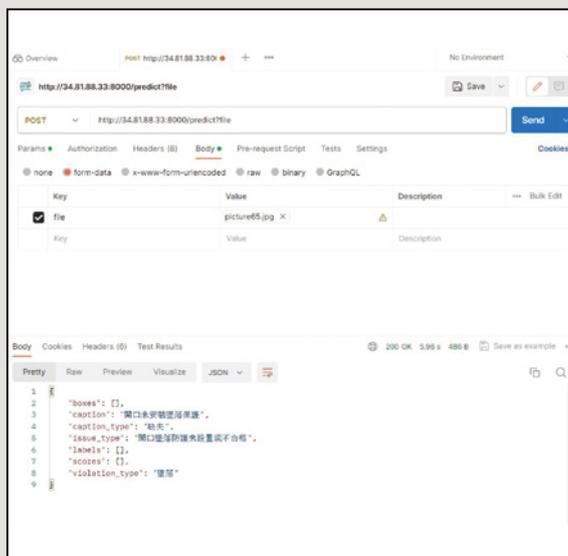


圖4 智能影像辨識平台-無線鏡頭模組照片上傳辨識後畫面

的條件參數(溫度、濕度、氣體、照度...等)，日常用的溫濕度、一般氣體傳感器價格不高，但特殊氣體的傳感器價格則較為昂貴。由於不論哪種傳感器，通常不會在工地現場全面設置(主要有電力及網路架設問題)，因此，由機械狗在巡查工地時，搭載不同的傳感器，可即時知道巡查點的環境狀況。近年來天氣炎熱，白天氣溫更是屢創新高，一般工地現場更不可能有冷氣降暑，僅有自然通風或電扇做為散熱使用，在夏天或高溫環境中電扇所能發揮的功能就有限，一旦超過人體可負荷的溫度環境，就容易發生熱危害等工安的問題。採用機械狗巡查時，可將感測資料回傳現場作業主管人員，即時知道勞工的作業環境是否符合標準，避免危害發生。除此之外，侷限空間作業前的氣體檢測，同樣也可利用機械狗搭載傳感器先行進入檢測，在確認環境對施工人員無影響及危害後，人員再行進入，以避免發生人員缺氧或中

毒的情形。

本次研究的傳感器種類有煙霧傳感器、天然氣傳感器、酒精傳感器、可燃氣傳感器、一氧化碳傳感器、氫氣傳感器、可燃氣體/CO傳感器、空氣質量傳感器、溫濕度傳感器及三合一TVOC/CO2/CH2O氣體傳感器(如表1)[2]，現階段所設置傳感器為三合一TVOC/CO2/CH2O氣體傳感器及溫濕度傳感器，採用ESP8266系統，經WIFI傳至4G網路，並採MQTT通訊模式[3]，通過MQTT伺服器(自行架設)，發送至訂閱者，供電方式為USB供電模式，其傳感器資料傳送架構(圖5)，傳感器資料無線傳輸示意圖(圖6)。

目前已製作完成無線傳輸溫濕度傳感器及空氣質量傳感器，可傳送至自行架設伺服器，做為各類傳感器使用，並於手機上顯示(圖7)。

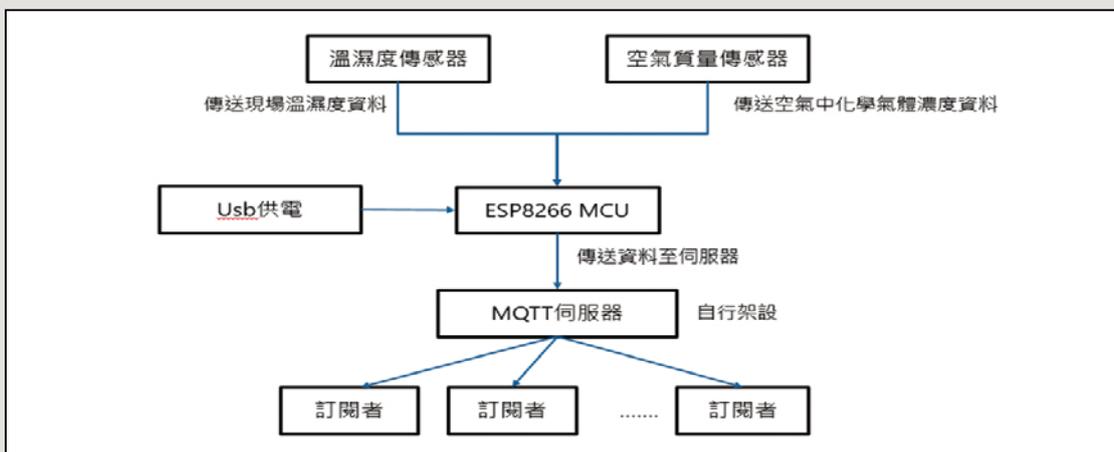


圖5 傳感器資料傳送架構圖

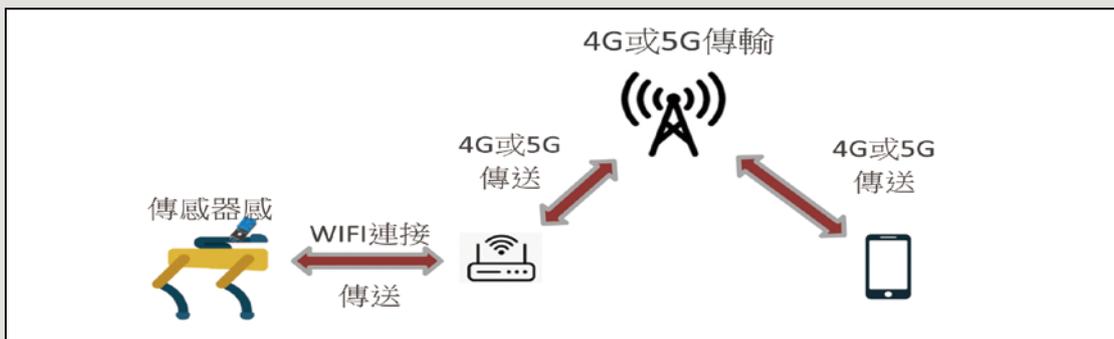


圖6 傳感器無線資料傳輸示意圖



圖7 無線傳輸溫濕度及空氣質量傳感器

表1 各類別傳感器一覽表

照片	型號-名稱	檢測濃度範圍
	MQ-2煙霧傳感器	300-10,000ppm
	MQ-3酒精傳感器	0.04-4mg/l
	MQ-4天然氣傳感器	300-10,000ppm
	MQ-5可燃氣體傳感器	200-10,000ppm
	MQ-6液化氣體傳感器	200-10,000ppm
	MQ-7一氧化碳傳感器	10-10,000ppm
	MQ-8氫氣傳感器	100-10,000ppm
	MQ-9可燃氣體(甲烷)/CO傳感器	100-10,000ppm/ 10-1,000ppm

表1未完，請接下頁↓





圖9 台南車站地下化工程位置圖

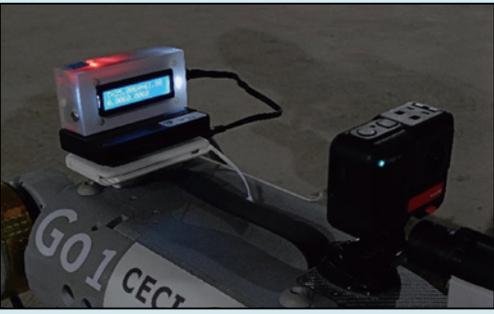


圖10 C212標制高點空拍圖

上的顯示數值，以驗證量測數值與手機接收的數值是否符合(以手機即時查看360相機拍攝現況與傳感器自動回傳至手機的訊息，比對數值是否符合)，也可同時瞭解局限空間內部所偵測

得氣體含量情形。C212標臺南車站地下化工程之工區實際進行共同管道局限空間空氣檢測成果，如表2。

表2 機械狗搭配360相機及自動氣體傳感器於工地應用現況

	
	
<p>機械狗搭配360相機(驗證用)及自動傳感器</p>	
	
<p>共同管道內部偵測現況</p>	
	
<p>360相機影片截取方向(前)</p>	<p>360相機影片截取方向(後)</p>

## 肆、結論與建議

### 一、結論

工地安全管理是營建業管理的重要課題，本研究以低成本、可普遍推廣之快速蒐集工地現況資訊，搭配資訊影像辨識技術，以輔助工地安全管理。

#### (一) 無線鏡頭模組

以無線鏡頭模組拍攝現況，並傳送至(無線鏡頭模組)智能化影像辨識平台及手機(氣體傳感器)顯示；目前無線鏡頭模組所拍攝照片，經傳送至智能化影像辨識平台，辨識後即可將辨識結果回傳。但目前尚無法針對有問題之辨識結果，即時警示並傳送現場人員或監造人員，讓相關人員可及時收到警示訊息，回放瀏覽相關照片，即時處理現場缺失，避免工地安全發生問題。

#### (二) 傳感器

機械狗搭載氣體傳感器(溫濕度及三合一氣體)蒐集行走路徑資料，將沿路檢測到的環境資料傳回(現場作業主管手機、監造人員手機及後端平台)，可即時瞭解現場環境是即將造成或已對施工人員造成危害的情形，讓現場作業主管或監造人員可針對該情形做處理。

### 二、建議

未來工地安全管理作業將朝向智能化及自動化方向，續以無人機或四足

機器人載具為基礎，提出後續研究方向，但仍有以下課題尚需再努力：

#### (一) 無線鏡頭模組

目前無線鏡頭模組雖已串接智能影像辨識平台，但必須透過WIFI即時傳遞拍攝照片，當現場網路條件不佳或干擾太多無法通訊時，其通訊方式則需採用其他傳輸方式或先行儲存照片後再做處理；另外經辨識後發現問題時，如何即時警示告知現場人員，及如何即時回放瀏覽缺失照片等，尚需再研議克服。

#### (二) 傳感器

對於現場網路條件不佳情況(4G/5G網路訊號差或無訊號)時，同樣需採用其他通訊方式(例如射頻無線做為傳輸方式)，以克服網路條件不佳情況；另外，不同的條件需搭載不同的傳感器時，應快速更換感測模組，符合不同場域使用。

驗證用360相機拍攝傳感器數值時，需額外光源，以免造成相機影像過曝無法識別(如圖11)。

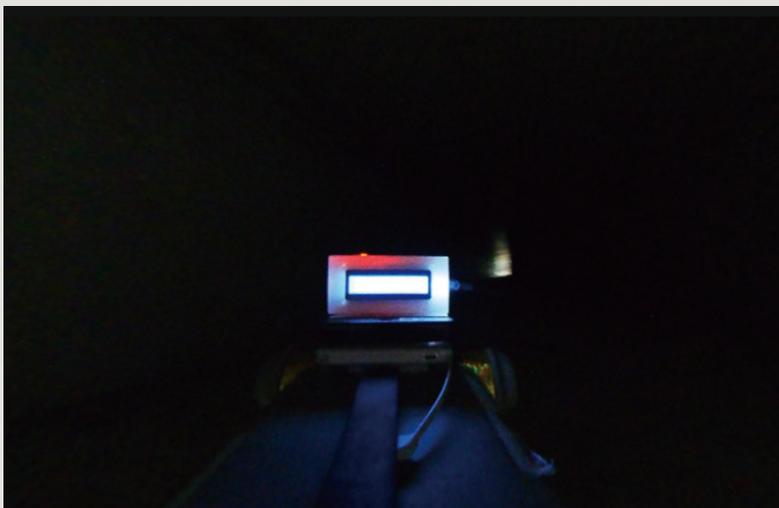


圖11 在光線不足下，360相機拍攝傳感器數值照片

## 參考文獻

1. 林怡慧(2021)。營造業導入智慧科技工安管理有了新的可能。勞動及職業安全衛生研究季刊，29(1)，8-12。
2. 楊明豐。Arduino物聯網最佳入門與應用－打造智慧家庭輕鬆學。
3. 趙英傑。超圖解 ESP32 深度實作。
4. 林之謙(2021)。電腦視覺技術於自動化工程進度管理。土木水利期刊，48(2)，22-31。
5. 勞動部職業安全衛生署(2021)。優良工程金安獎數位科技創新作為，參考日期：2022/4/22。https://coshms.osha.gov.tw/TechShare/download/GSA/%E5%84%AA%E8%89%AF%E5%B7%A5%E7%A8%8B%E9%87%91%E5%AE%89%E7%8D%8E%E4%B9%8B%E6%95%B8%E4%BD%8D%E7%A7%91%E6%8A%80%E6%87%89%E7%94%A8%E4%BD%9C%E7%82%BA.pdf
6. Kim, D., Liu, M., Lee, S., and Kamat, V. R. (2019, May 21-24). Trajectory Prediction of Mobile Construction Resources Toward Pro-active Struck-by Hazard Detection. Proceeding of 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Banff, Canada. 982-988.
7. Jin, R., Zhang, H., Liu, D., and Yan, X. (2020). IoT-based detecting, locating and alarming of unauthorized intrusion on construction sites. Automation in Construction, 118, 103278. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103278.
8. Park, J., Kim, K., and Cho, Y. K. (2017). Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors. Journal of Construction Engineering and Management, 143(2), 05016019. doi:10.1061/(asce)co.1943-7862.0001223.
9. Fang, W., Ding, L., Luo, H., and Love, P. E. (2018). Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection. Automation in Construction, 91, 53-61. doi:10.1016/j.autcon.2018.02.018.
10. 陳韋成、丁肇隆及張瑞益(2016)。營建工地安全系統之工地安全帽及背心偵測。資訊、科技與社會學報，201612(16:1-2)，65-77。
11. 日本建設業勞動災害防止協會(建災防)(2022)。ICT利用示例。預防職業事故的信息通信技術利用數據庫，參考日期2022/3/1-3/31、5/19。https://www.kensaibou.or.jp/safe\_tech/ict/use/ict/ai/index.html
12. Lin, J. J., and Golparvar-Fard, M. (2016). Web-Based 4D Visual Production Models for Decentralized Work Tracking and Information Communication on Construction Sites. Construction Research Congress 2016: Old and New Construction Technologies Converge in Historic San Juan - Proceedings of the 2016 Construction Research Congress (CRC 2016), 1731-1741. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-

84976406270&doi=10.1061%2f978078447  
9827.173&partnerID=40&md5=fac91223407  
6af9c6d21fb318a048fbd

- 
13. Ibrahim, A., Sabet, A., and Golparvar-Fard, M. (2019, July 10-12). BIM-driven mission planning and navigation for automatic indoor construction progress detection using robotic ground platform. Proceeding of 2019 European Conference on Computing in Construction, Chania, Crete, Greece, 182-189.
- 



# 人工智慧(AI)在營建業 施工應用—以桃園鐵路 地下化南段工程為例

關鍵詞(Key Words)：人工智慧(AI)、桃園鐵路地下化工程(Taoyuan Railway Underground Project)、工程智慧化(Engineering Intelligence)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／協理／林聰能 (Lin, Tsung-Neng) ❶

交通部鐵道局／北部工程分局／分局長／夏恒仁 (Hsia, Heng-Jen) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／計畫副理／施學崎 (Shih, Hsues-Chi) ❸



## 摘要

隨著科技日新月異，營建產業競爭瞬息萬變，由於人工智慧(AI)對於資料整理、分析有很強的運算能力，與傳統作法用人力去處理比起來事半功倍，因此營建智慧化逐漸得到工程界的重視。

交通部為智慧化工程管理系统先驅，推動我國系統智慧化發展，鐵道局啟動智慧鐵道雲端系統發展計畫，包含研訂標準技術規範、建置鐵道雲平台、訂定智慧鐵道的雲網端架構等，建置智慧化管理系統，增加雲端平台基礎建設，建置下層IoT（物聯網、Internet of Things，簡稱IoT，是一種計算裝置、機械、數位機器相互關聯的系統），其中包含「智慧化工程管理系统」等建置。

本文除介紹交通部鐵道局智慧化管理系統，智慧化應變監測系統，也探討在桃園鐵路地下化南段執行過程、人臉辨識門禁管理系统及PMIS專案管理系统接合應用。



## Artificial intelligence (AI) application in construction industry - Take the Taoyuan Railway undergrounding southern section project as an example

### Abstract

With the rapid development of science and technology, competition in the construction industry is changing rapidly. Due to the full promotion of the Public Works Committee of the Executive Yuan, and construction automation has a strong ability to organize and analyze various data, it has great advantages compared with the traditional method of manual processing. , so construction intelligence has gradually attracted attention from the engineering community.

The Ministry of Transportation is a pioneer in smart engineering management systems and promotes the smart development of China's systems. The Railway Bureau has launched a smart railway cloud system development plan, including developing standard technical specifications, building a railway cloud platform, and formulating a cloud network architecture for smart railways. Build an intelligent management system, increase the infrastructure of the cloud platform, and build the lower layer IoT (Internet of Things, referred to as IoT, which is a system in which computing devices, machinery, and digital machines are interconnected), including "intelligent "Project Management System" and other construction.

This article not only introduces the intelligent management system and intelligent emergency monitoring system of the Railway Bureau of the Ministry of Transportation, but also discusses the implementation process of the underground section of the Taoyuan Railway in the southern section, and the joint application of the facial recognition door management system and the PMIS project management system.

## 壹、計畫緣起與工程範圍

由於桃園都會區快速發展，搭乘鐵路運輸之旅客急遽成長，旅運服務設施已不敷運用，長久以來桃園市政府及地方民眾皆積極爭取將桃園段鐵路立體化，經行政院98年2月27日核定，同意辦理「臺鐵都會區捷運化桃園段高架化建設計畫」。後因桃園市政府鑒於桃園段鐵路路廊寬度不足，鐵路高架化後對於桃園、中壢等都會區沿線之景觀、噪音衝擊過大，而鐵路沿線居住人口密集，且桃園站與中壢站的運量僅次於臺北車站，為全臺最繁忙的交通運輸樞紐之一，考量兼具宏觀、永續發展與因應地方民眾訴求，經行政院109年9月2日核定，同意辦理「臺鐵都會區捷運化桃園段地下化建設計畫」。

「臺鐵都會區捷運化桃園段地下化建設計畫」主體工程分成CJ11-CJ18標，計畫起點由鐵路里程K53+255.746至K71+200止，全長約18公里，如圖1所示；計畫目標為解決桃園地區鐵路與道路立體交叉所產生之交通瓶頸，提昇鐵路、公路行車安全，藉由「促進都市發展」、「維護文化古蹟」、「拆遷影響最少」、「維持台鐵營運」、「提昇交通防災功能」、「加

強工程安全」等理念，進行本計畫整體施工計畫之規劃與施工。

## 貳、智慧化管理系統

交通部為智慧化工程管理系統先驅，推動我國系統智慧化發展，鐵道局啟動智慧鐵道雲端系統發展計畫，包含研訂標準技術規範（如圖2所示）、建置鐵道雲平台、訂定智慧鐵道的雲網端架構等，經由桃園捷運系統試辦智慧化鐵道系統後，可減少60%以上5分鐘延誤事件；另，鐵道局為鼓勵各鐵道相關主管機關配合建置智慧化鐵道系統(如圖3所示)，補助及輔導台鐵、高鐵、北捷、新北捷、桃捷、中捷、高捷、林鐵、糖鐵等9大鐵道營運機構，主要分為3階段建置智慧化管理系統；第1階段：如尚未建立任何智慧化鐵道管理系統，將優先補助及輔導建置智慧化管理系統。第2階段：如台鐵、北捷、桃捷等已建立雲端管理系統，針對已建置雲端管理系統，再擴展系統功能全面化升級。第3階段：如高鐵、北捷等，就建置智慧化管理系統，增加雲端平台基礎建設，建置下層IoT（物聯網、Internet of Things，簡稱IoT，是一種計算裝置、機械、

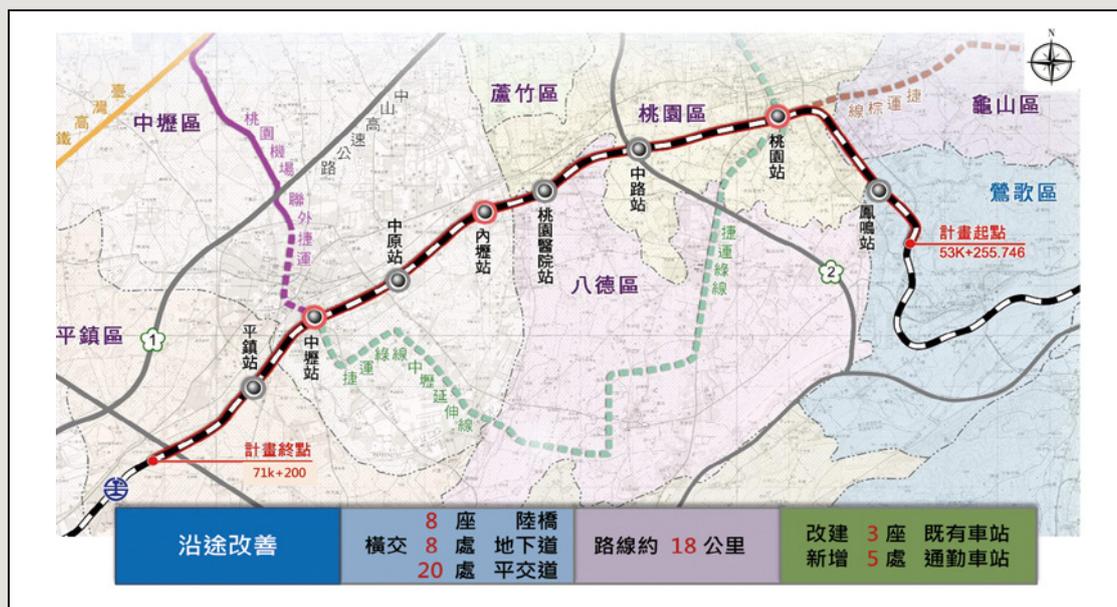


圖1 桃地計畫範圍

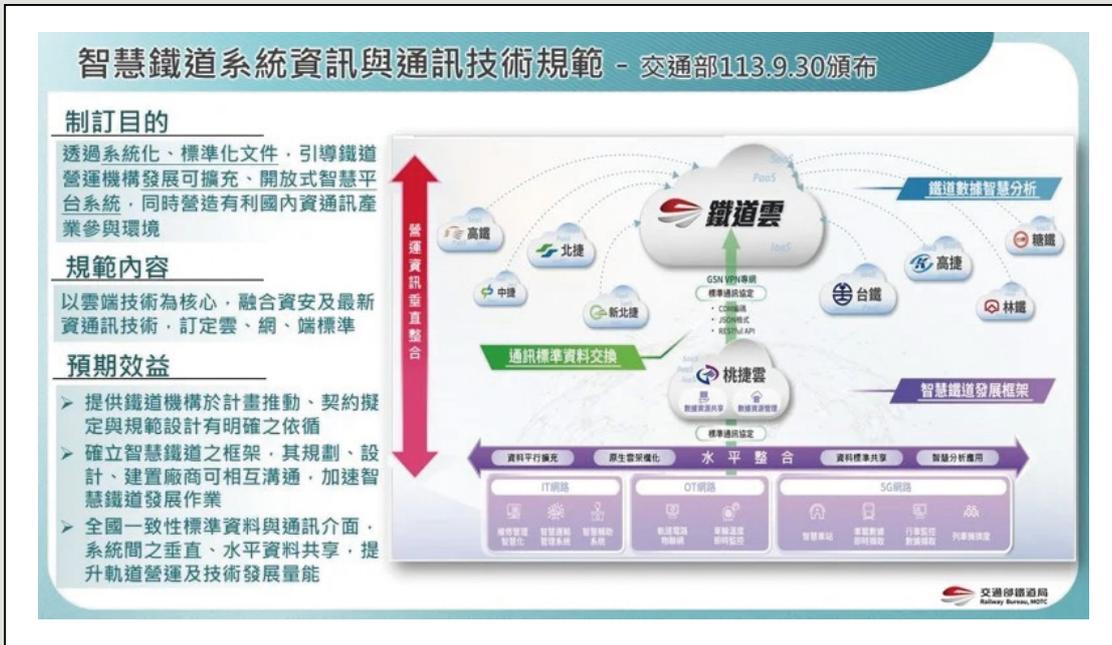


圖2 交通部鐵道局智慧化系統資訊與通訊技術規範 (資料來源：交通部鐵道局網頁)



圖3 國營臺鐵雲平台 (資料來源：國營臺鐵公司網頁)



圖4 鐵道局工程管理智慧化雲端系統 (資料來源：交通部鐵道局網頁)

數位機器相互關聯的系統)，其中包含「智慧化工程管理系统」等建置。

因應智慧化鐵道管理系統未來發展，交通部鐵道局2022年起研訂及建置「鐵道系統智慧化」，2023年啟用「工程管理智慧化雲端系統」，由數位資料取代紙本報告，集合資訊管理、施工管理、危害辨識、統計及維護等數位化資料，上傳「鐵道雲」平台，以整合重要資訊，進一步確保整合工程標案資料、機關組織、危害辨識、門禁管制、CCTV、電子圍籬及應變監測系統等，以強化工地管理作業，並將PMIS系統結合，以自動化及無紙化執行工程各項業務及留存相關電子紀錄（如圖4所示）。

### 參、智慧化應變監測系統

在工程智慧化且自動化技術的應用越來越受到重視，智慧化監測系統技術（如圖5所示）不僅顯著提高了監造的效率，還為受監測標的物提供了更即時且全面的數據分析。透過先進的感測器和數據處理系統，智慧化監測能夠即時反應及收集監測標的物數據和分析，為使用及管理者提供準確的數據分析資料與警戒值或行動值預測。

智慧化監測的主要優勢之一是即時數據更新，傳統的人力量測或警戒方式往往依賴於手動數據收集，不僅耗時且容易人為誤植數據或經驗觀察判定不同導致錯誤。相較之下，智慧化監測系統能夠自動收集各種數據，包括雨量、水位、邊坡穩定、土壤含水量及結構物（如圖6所示）等情況，並將這些監測數據即時傳送至管理平台，幫助使用及管理者隨時掌握現場即時情況，並立即作正確預警判斷。

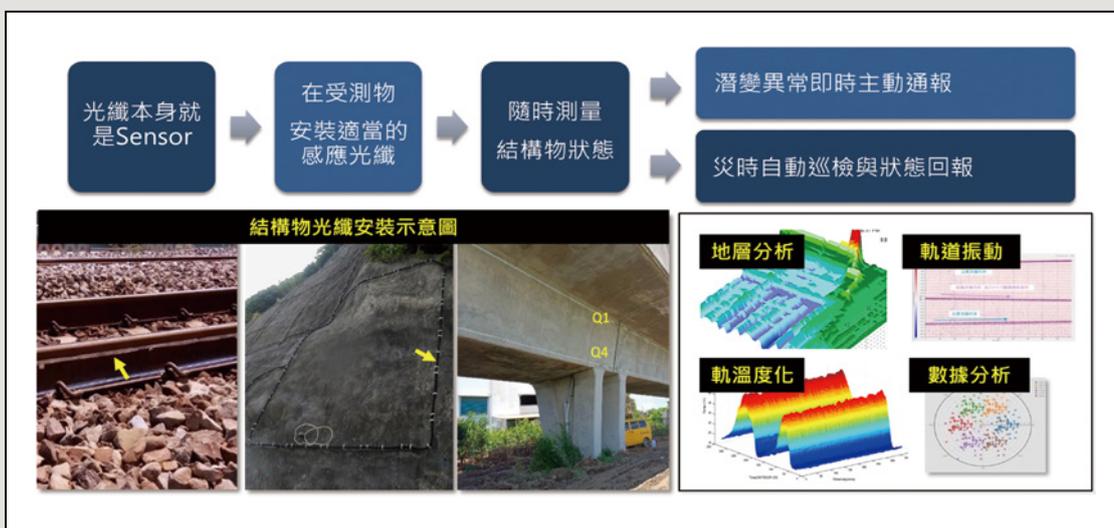


圖5 智慧化監測系統示意圖

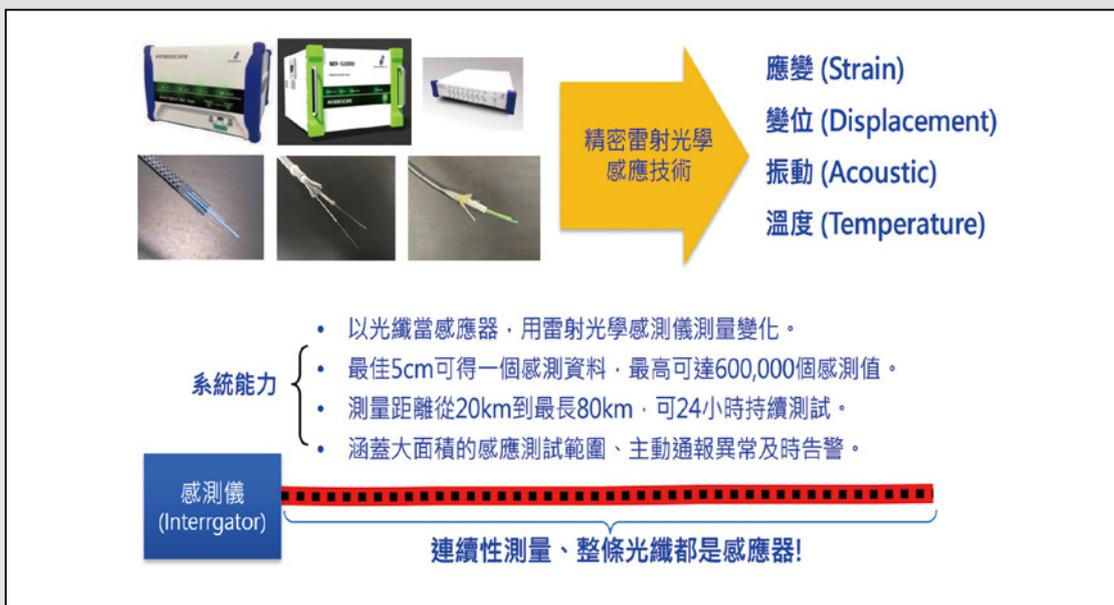


圖6 智慧化光纖系統作用示意圖

智慧化監測系統的另一個顯著的優勢是節省經費成本，透過智慧化監測系統，使用者可以透過感應設備或監測數據，精準識別原設定之警戒值或行動值到達數據，即時針對受監測標的物進行行動管理。例如，當受監測地域發現降雨量或邊坡含水量到達某一警戒值，現場雨量及邊坡含水量持續升高且參酌氣象報告，系統會自動發出警報，提醒使用及管理者即刻採取預警措施，避免用路人遭遇不必要危險。

總結來說，智慧化監測系統的應用，提升工程效率、降低維護成本，具有即時性反應實地情況等，都顯示出其無可替代的優勢。隨著這項技術的進步和普及，未來的智慧化監測系統将更加智能化，為使用者及管理者創造更大的價值及便利。

### 肆、人臉辨識門禁管理系統

交通部鐵道局為達成工地管制進出人員之目的，全力推廣及實施於所轄工程之工地各出入口，建置人臉辨識門禁管理系統等相關管理機制（如圖7所示）。施工廠商、監造單位及主辦機關等，建立人員勞健保、體檢、教育訓練及危害告知等人員管制名冊資料，經由人臉辨識智慧化系統執行人臉辨識門禁

管理（如圖8所示）。

施工廠商於施工前提送所屬各事業單位(包含廠商、協力廠商及分包商等)所有人員管制名冊。人員經廠商自主管理確認合格並每月提送工程司或監造單位備查後，將合格標籤貼於勞工安全帽上，並同時更新資料至基本資料庫內，以實施進場辨識及管制(異動時亦同)。

施工廠商進駐工地之施工相關人員，於施工前應依其作業性質分別施以從事工作及預防災變所必要之營造業安全衛生教育訓練、特殊作業之安全衛生教育訓練與演練。另於入場作業前，應接受工地安全衛生講習及危害告知等

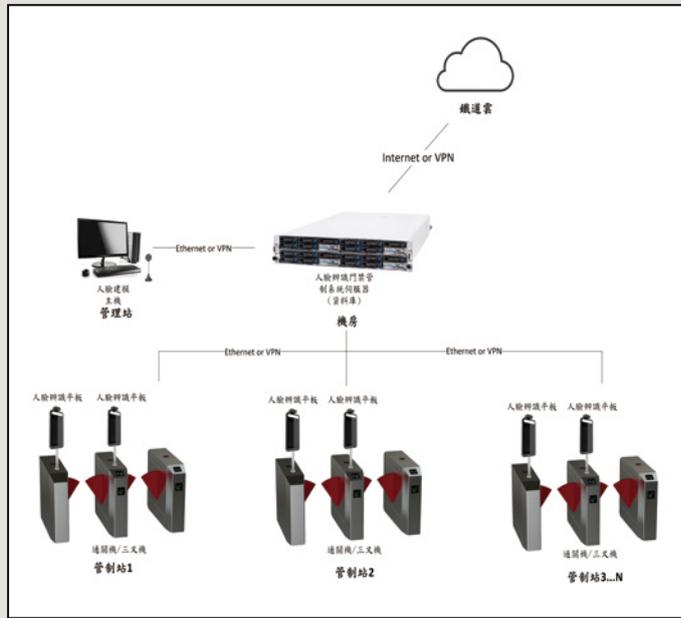


圖7 人臉辨識門禁管理系統示意圖

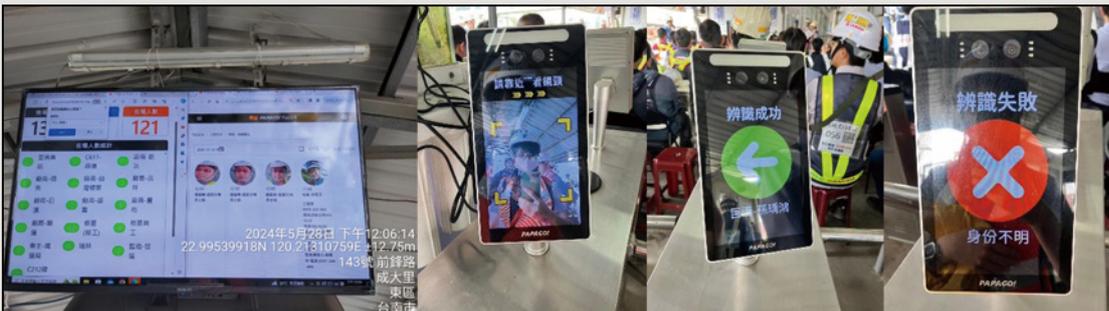


圖8 人臉辨識門禁管理系統智慧化辨識示意圖

相關教育訓練，在職勞工應依其工作性質接受在職教育訓練，訓練時數依「職業安全衛生教育訓練規則」辦理。

### 人臉辨識門禁管理系統包含如下：

- (一) 軟硬體設施(如門禁管理資料庫、門禁管理伺服器、讀卡機、人臉及卡片錄製主機、人臉辨識考勤機、通關機等)。
  - (二) 基本資料庫(如標別、公司名稱、姓名、職稱、血型、教育訓練項目、施工位置，保險登錄、工安日誌、健康檢查等)。
  - (三) 施工廠商應提供工程司與工程司代表查核及查驗所需設備及文件。
  - (四) 人臉辨識考勤機。
  - (五) 人員識別讀卡機與感應卡。
  - (六) 通關機。
  - (七) 系統終端、各出入口連線裝置及卡片感應等設備規格。
- 人臉辨識門禁管理系統執行，其軟體主要

功能包含(不限於)現場人數統計、施工人員、員工識別、門禁管控等，並依不同功能進行基本設定；工地出入人員經由人臉掃描辨識後，應顯示內容包括：相片、姓名、所屬單位(或公司)、職稱、體檢日期、第一次進入工地工作之各項工地危害告知紀錄、勞保投保日期、完成法定勞工6小時職業安全訓練日期、出生年月日、血型及緊急聯絡人(含姓名及電話)計11項等。人臉辨識系統需有示警功能，內容包括：鐵路沿線教育訓練效期1年，勞工保險效期3個月及依照法規進行年齡判定的體檢預警。系統應可支援多個門禁管制站，並可統整各門禁管制站資料。施工人員紀錄統計查詢，施工人員出工時間、次數統計，可提供簡易操作介面查詢與匯出。支援每日進出人數統計以及每日出工總人數顯示與記錄。辨識通關即時LED顯示個人資料以及資料正常或異常(如勞保或體檢資料過期)等訊息，以智慧化系統自動辨識進場人員，達成門禁管控功能。

## 伍、PMIS專案管理系統整合應用

PMIS專案管理系統（Project Management Information System，簡稱PMIS），一個可以輔助工地專案管理電腦系統（如圖9所示），將主辦機關、監造單位與施工廠商等集中同一平

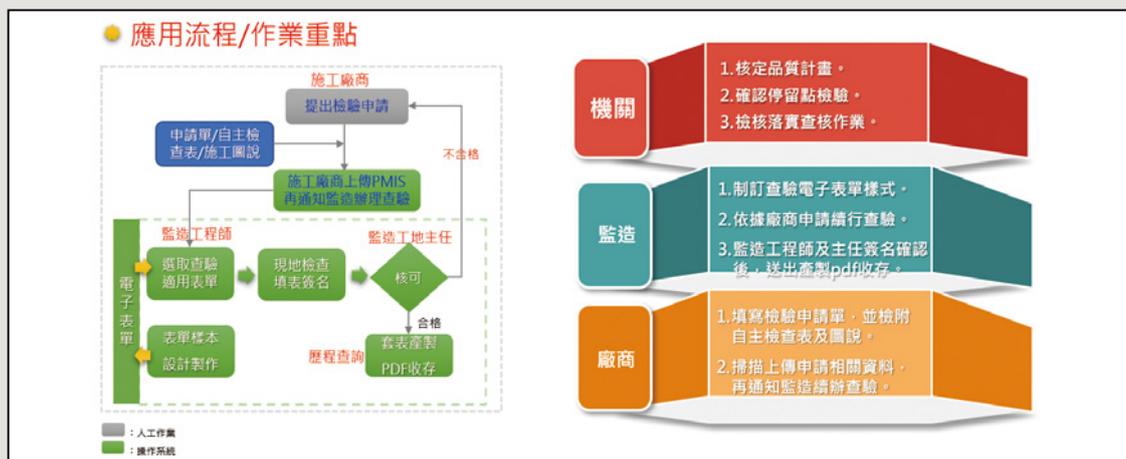


圖9 PMIS專案管理系統示意圖

台，共享即時工地資訊，以落實高效溝通之效益，並確保施工團隊分工協作，一起完成專案任務。

本公司(CECI)目前全面推動及執行應用PMIS專案管理系統整合作業(如圖10所示)，諸如：工程進度控管、待辦工作提醒、整合管制措施-文件送審/材料送驗、施工/監造日誌線上填寫應用、各工作項目完成後透過系統串接各階段計價資訊(如圖11所示)、結合GIS系統了解區域實地現況、整合BIM暨實測成果掌握開發進度、結合各類電子設備訊號同步現況、應用自動警示機制強化區域控管、工程抽查驗

電子化、表單無紙化發展、現地抽查實地填寫並以照片為證、因應環境限制發展離線版應用等，串接廠商查驗申請同步連結自主檢查相關附件，延續監造工程查驗設定表單提供離線查檢查應用(如圖12所示)，整合應用查驗類別及時機，掌握工程推進相關現地抽查驗紀錄。

前述相關功能，透過各單位權責劃分，授權開放記錄與查詢，提供網路化共享確定性與真實性的工程數據及即時資訊，而達成即時並有效之工地管理，另依行政院公共工程委員會於108.03.13工程管字第1080300132號函，已請各機關加強落實執行公共工程工地管理資訊化



圖10 PMIS專案管理系統施工日誌及監造報表線上填寫應用

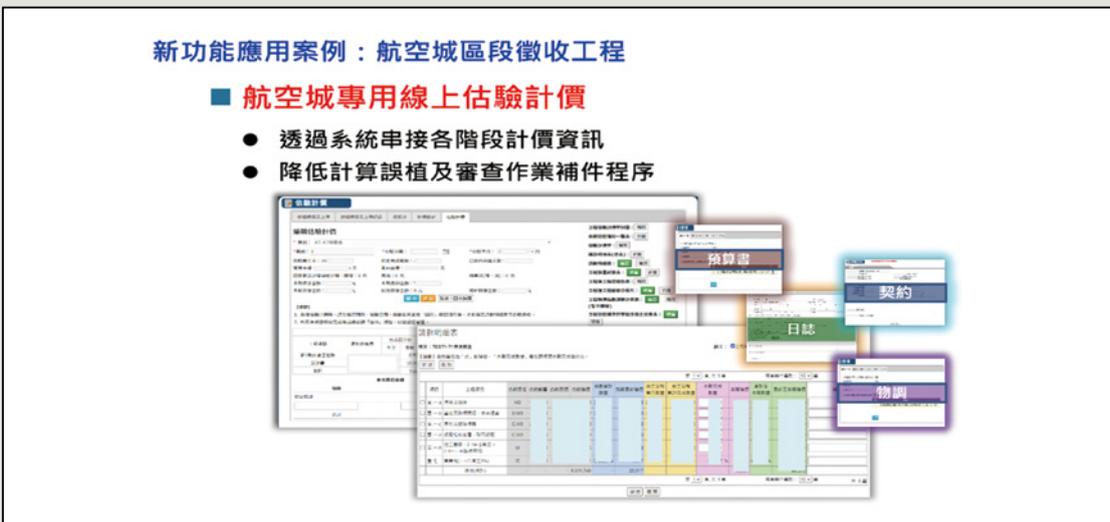


圖11 PMIS專案管理系統線上估驗計價應用

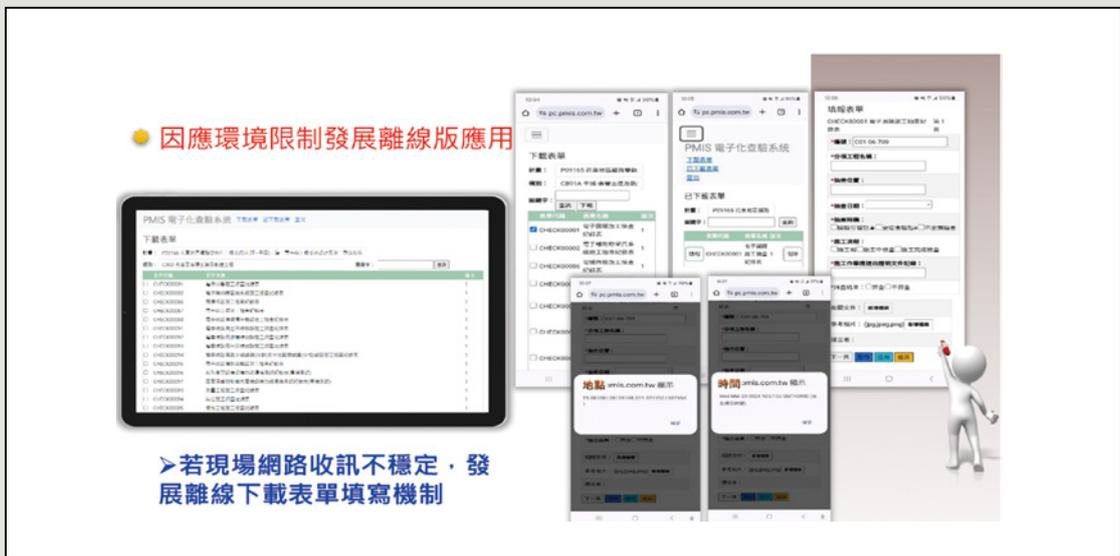


圖12 PMIS專案管理系統線因應環境離線應用

作業，並納入契約約定辦理；透過工地管理資訊化詳細了解工程執行情形等，至少達成以下功能：

- 一、能協助施工廠商將各項施工文件上傳、儲存及整合，並確保主辦機關或監造顧問等文件審查。
- 二、施工廠商、監造顧問及主辦機關等，可即時或每周/月進行資料提交、修改與核定。
- 三、工程相關文件資料，經主辦機關或監造單位審查及核定後，具紀錄不可竄改特性，保障文件真實性。
- 四、解決傳統紙本填寫、傳送及倉庫保存耗時的問題，達成無紙化目標。

PMIS專案管理系統是一套跨域整合應用程序，營建業的應用已成為積極推動之重點趨勢，經由管理階段觀念的轉化、各項資源的調配及施工程序安排，由PMIS導入管理及應用，建立成功範例及培養執行種子，並延伸其他計畫整合應

用，並與工程主管或主辦機關共同研討蒐集、精進、整合，以數位化及圖型化管理資訊之應用判讀，透過即時最新訊息交換做為資料快速蒐集分析，達成智慧化及資訊化管理模式。

## 結語

營建產業相對於其他產業來說，在工程智慧化的運用上相對較為緩慢，而近幾年數位、智慧、創新等科技相繼應用於現場工地，營建業正面臨一個關鍵的轉折點，我們可以將營建工程產業視為一種特殊的製造業，它具有一些獨特的特性，如涉及重大公眾利益、需要龐大資金投入、施工工期長、人力成本眾多、具高度公共安全等，正因為這些特點，營造產業受到高度注意與一般製造業有所不同，然而，我們必須意識到，如果傳統的營造業不積極求變，可能會逐漸被那些擅長智慧化、系統化和科技化施工廠商所取代。

因此，傳統的營建思維需要調整和改變，採用工程智慧化營建模式，可以有效降低成本，但這需要通過實際的設計、重點推展和全

面的智慧化來實現，在推動這種轉變的過程中，我們肯定會面臨許多挑戰，比如，傳統的營造思維可能難以適應新的工作模式，從主辦機關、設計及監造、施工廠商及營造產業人員教育訓練與應用種子培養等，亦需要時間和耐心，為了應對這些挑戰，訂定新的施工規範、開發新的工程專業管理程序、設計思考創新方法、引入新的施工法及培養智慧化種子等，這些方法不僅適用於工程領域，還可以應用於各個產業層面，有助於激發創新思維，促進跨領域合作。

工程智慧化的發展不僅代表營建業的技術革新，更反映了臺灣社會在面對科技變革時的深層挑戰，然而，在當前經濟發展及資訊效率進步，智慧化的轉型帶來的機遇與挑戰並

存，工程智慧化的價值難以通過傳統成本效益分析衡量，我們必須打破傳統固有思維，培養創新的態度和精神。勇敢的面對工程智慧化的發展，重新思考如何通過智慧化提升自己價值和能力，重新定義「智慧化」的含義，唯有如此，營造產業才能在智慧化快速發展的浪潮中實現永續的發展。



# 赴杜拜爭取智慧運輸 ITS世界大會與國際 城市交通政策之啟發

關鍵詞(Key Words)：智慧運輸系統(Intelligent Transportation System)、人本交通(Human-Oriented Transportation)、交通安全(Traffic Safety)、智慧城市(Smart City)

臺北市府／副秘書長／游適銘 (You, Shih-Ming)<sup>1</sup>



## 摘要

智慧運輸世界大會(ITS World Congress)每三年於歐洲、亞太、美洲舉辦一次世界大會，我國先前已3次申請主辦世界大會，卻都未能成功。今年先到紐西蘭、泰國、韓國與當地ITS交流座談，最終在杜拜世界年會，即使面臨澳洲布里斯本競爭對手，最終我國勝出，此次終於申辦成功可歸功於幾項策略：強調AI及ICT強項、強調臺北市為主辦城市淡化中共關心國家問題、事先前往幾個國家拜訪當地ITS及交通當局積極固票、此次投標書特色在於銜接智慧城市展或國際半導體展期程。2029智慧運輸世界大會將於2029年9月假臺北市隆重舉行，大會主題為Harmonizing an AITS World，將以AI+ITS呈現最先進智慧運輸科技及發展，利用AI發現問題及迅速做出決策，促進國內智慧城市及智慧交通相關建設發展及產業升級，達到人本交通、交通安全為首要之目標。



## Inspirations on the ITS World Conference in Dubai and the transportation policies of international cities

### Abstract

The Intelligent Transportation System World Congress (ITS World Congress) is held every three years in Europe, Asia-Pacific, and the Americas. We have applied to host the World Congress three times before, but failed. This year, we went to New Zealand, Thailand, and South Korea for exchanges and discussions with local ITS, and finally at the World Conference in Dubai, even though we faced competitor from Brisbane, Australia, our country finally won. The success of this bid can be attributed to several strategies: Emphasis on our Strengths in AI and ICT, emphasizing that Taipei City is the host city and downplaying national issues that the China care about, and going to several countries in advance to visit local ITS and transportation authorities to actively consolidate support. The feature of this tender is that it is connected to the smart city exhibition or the International Semiconductor Exhibition schedule.

The 2029 ITS World Conference will be held in Taipei City in September 2029. The theme of the conference is "Harmonizing an AITS World". It will present the most advanced smart transportation technology and development with AI+ITS, use AI to discover problems and make quick decisions, and promote smart city and smart transportation-related construction development and industrial upgrading aim to achieve the human-oriented transportation and traffic safety.

## 壹、出國緣起

智慧運輸世界大會(ITS World Congress)每三年於歐洲、亞太、美洲舉辦一次世界大會，每次皆有來自世界各地將近一百國，兩萬人參加。我國先前已3次申請主辦世界大會，卻都未能成功。Garg, Tanya, and Kaur(2023)對智慧交通系統研究論文70篇納入研究，指出智慧運輸系統(ITS)是一個利用數位技術提供服務以順暢交通系統，協助克服事故問題並減少污染及道路交通擁擠。Zear et al. (2009)指出ITS用於解決交通運輸問題，研究發現透過結合各種新技術，如基於代理的運算、雲端運算、VANETS等，ITS已經非常有效地解決智慧城市中的交通相關問題。

中華智慧運輸協會(Intelligent Transportation Society of TAIWAN)前與臺北市政府(下稱北市府)討論，本年以臺北市為主辦城市與該協會(下稱ITS協會)共同爭取2029 ITS世界大會主辦權。為加強爭取亞太地區會員國支持，ITS協會規劃與北市府積極參與亞太地區會員國智慧運輸會議以尋求支持。北市府由筆者代表出席，到紐西蘭、泰國、韓國與杜拜等地，ITS協會亦指派代表會同前往。

## 貳、紐西蘭奧克蘭

### 一、紐西蘭智慧運輸研討會

紐西蘭智慧運輸研討會(T-Tech Conference)於113年6月25日、26日兩天於奧克蘭大學舉行，該活動由紐西蘭智慧運輸協會(ITS NZ)所主辦，邀請我國出席宣傳智慧運輸政策與成果。我國由北市府游副秘代表外，ITS協會亦指派前秘書長景皓共同參與。T-Tech國際研討會有來

自各國及當地產官學智慧運輸官員專家近180位參與，包括日本、澳洲、歐盟、愛爾蘭、馬來西亞、菲律賓等國及當地產官學界專家共同討論智慧運輸系統課題。

T-Tech國際研討會專題演講著重交通安全主題，邀請ANCAP CEO Carla擔任大會主講人。於國際ITS論壇場次，由筆者代表我國以「臺北市人工智慧導向及智慧運輸系統發展~邁向安全、以人為本、綠色運輸(AI-Driven & ITS Development in Taipei-safety, Human-Oriented, and Green)」為題報告。介紹各種ITS創新作法，像是VIPS(Vulnerable Individual Protection Services)、APTS(Advanced Public Transportation Services)、IPS(Intelligent Parking System)及ATMS(Advanced Traffic Management System)等。亦提到交通部於113年3月智慧城市展所提出「智慧城市願景館」，智慧科技即時掌握陸、海、空全域交通數據匯流再應用等作為，為我國中央及地方智慧運輸特色向國外宣揚。

### 二、奧克蘭交通運輸政策

T-Tech國際研討會亦邀請到奧克蘭Wayne Brown市長以「更智慧更快速(Smarter, faster)」致詞開場，Brown市長曾擔任紐西蘭土地運輸(Land Transport)局長，對交通智慧運輸有獨到見解。所轄奧克蘭市政府交通局(Auckland Transport, AT)致力公共運輸，設定市區年公車運量8千萬旅次、火車2千萬旅次、渡輪6百萬旅次為目標，AT員工達1800位左右，亦負責道路維護。交通專案如市區地鐵預算，中央多採補助50%方式，共同推動智慧運輸。奧克蘭市政府年預算營運支出16億紐元，另有資本投資5.8億紐元。市府面對2.95億紐元缺口，計畫從營運成本減少1.25億紐元、調升財產稅評價約7%、出售奧克蘭國際機場股權等填補。

<sup>1</sup> 作者為臺北市政府副秘書長Deputy Secretary-general, Taipei city government

## 參、泰國曼谷

### 一、與ITS泰國協會交流

為宣傳我國智慧運輸政策與成果，並爭取泰方對我國爭取2029 ITS世界大會主辦權支持，我國除由筆者代表，ITS協會指派亞太孫瑀理事共同參與。8月1日拜訪泰國ITS智慧運輸系統協會，理事長Dr. Tongkarn及Dr. Narupiti教授服務於朱拉隆功大學，筆者簡報北市智慧運輸作法與成果。曼谷有近千萬人，雖有MRT、BTS、嘟嘟車等大眾運輸，塞車仍不易紓解，泰方理事長教授亦基於泰國ITS學術角度，協助政府提出Mobility-as-a-Service (MaaS)方案。

### 二、與曼谷市政府交通局交流

8月2日拜訪曼谷市政府(Bangkok Metropolitan Administration, BMA)，曾任交通部長的曼谷Chadchart市長倡議九大良善(Good)，有216項行動綱要，其中交通就佔42項，市區於788處有路口通號誌(42支為中央主管)，市政府管陸運、水運。相較於亞洲其他城市，泰方表示運輸票價相對較貴，使得多數人寧願自駕，十條捷運線總長度275公里是台北捷運一倍以上，但每天約160萬搭乘次低於北捷。曼谷交通局(Traffic and Transport Department, TTD)副局長Waitaya率兩位處長及同仁與我國交流。曼谷全市有6.3萬支CCTV，且開放外界查詢路況，非常實用值得我國參採。泰國BGSR聯營集團新建「高速公路M6/M81案」是與我國廠商<sup>2</sup>合作，可見我國ITS技術與國外互動密切。

## 肆、韓國首爾

### 一、與ITS韓國協會交流

韓國ITS智慧運輸系統協會為重要合作夥伴，為宣傳我國智慧運輸政策與成果，並爭取韓方對北市爭取2029 ITS世界大會主辦權支持，本府除由游副秘出席外，ITS協會亦由曾詩淵副理事長共同參與。本團與韓國ITS協會執行主席等<sup>3</sup>會談，我國ITS協會簡報時強調我國AI及ICT強項，做為北市爭取2029 ITS世界大會主辦權主要訴求。我方也先預祝韓國舉辦2025年第20屆ITS水原市(Suwon)亞太論壇及2026年ITS世界大會於江陵市(Gangneung)舉辦圓滿成功，兩國共同為籌辦國際智慧交通運輸ITS而努力。

### 二、拜訪首爾市政府交通局

首爾是北市府姊妹市，爰安排與交通局(Seoul Transport Director)李局長<sup>4</sup>等交流。首爾有九條地下捷運，輔以韓國鐵道公社路線及仁川地鐵路線，合計日載客量可達8百萬人次。筆者簡報北市智慧運輸作法與成果，首爾交通局則提出2030交通願景計畫(Seoul Transportation 2030)，也提出該市自動化公車凌晨時段營運經驗。

據北市府交通局指出台灣的捷運車廂、台鐵車廂及桃捷車廂，很多都是向現代樂鐵Hyundai Rotem訂購，我國與韓國雙方有一些交通技術互動。先前蔣市長出席首爾國際研討會與首爾市長會談，即觀察到首爾有規劃遮陽傘的設置，其實施及管理值得進一步考察。因此，此行我方亦關注市區大遮陽傘以及仁川先

<sup>2</sup> 該案與遠通電收合作，由FETC提供創新電子收費系統，FETC當地主管Kenny此行亦會同拜會泰國ITS協會及當地市政府交通局。

<sup>3</sup> 除韓國ITS協會執行主席Mr. Jooil Lee外，另有國際事務主委Park Sue及Stan Lee參與。

<sup>4</sup> 韓國首爾交通局李局長Lee Jin-gu及Lee Oneyoung, Lee Chaeyeon及Lee Sang-won等官員交流。

前發生電動車火燒事件，首爾交通局長也一一提出說明。

首爾交通局於各大路口設置大型遮陽傘，共有3033個固定遮陽傘，另有383個可連結IoT遙控開闔遮陽傘，夏季季節有些則有噴水霧以讓城市降溫，冬天則可收闔。首爾李局長說明先前仁川火燒車經查是電池問題，非韓國製造，而是中國製造，事件發生後已要求未來要全面通過檢驗產品來源，且充電7-8成即可，無須滿充，以避免過熱。

## 伍、阿拉伯聯合大公國杜拜

### 一、出席並爭取ITS世界大會

2024年第30屆智慧運輸世界大會(ITS World Congress)於113年9月16日至20日於杜拜世界貿易中心舉行，大會主題為「移動為智慧運輸系統所驅動(Mobility Driven by ITS)」<sup>5</sup>。此次於杜拜有來自80個國家的近15,000名與會者參加，邀請到650位演講者，會中並安排200多場會議綜合活動。大會以AI人工智慧、5G技術應用、車聯網、交通預測等為主軸，路側設備、監控管理平臺及車載系統等系統整合，皆為會展中關注課題。國內以往研究智慧運輸課題眾多，如吳沛儒等(2020)發展一套人工智慧深度學習物件偵測演算邏輯，用以自動化偵測與辨識交通事件。實證分析結果顯示，異常停留之整體準確率為73.33%、紅線違規停車之整體準確率為95.95%、路口溢流偵測之整體準確率為99.40%、逆向行駛之整體準確率為39.28%。蘇昭銘等(2009)研究公共運輸涵蓋率與公共運輸市占率，經以逐步迴歸方法進行分析，發現交通事故嚴重率與區域人口率呈正向關係，而與公

共運輸使用涵蓋率呈負向關係，解釋能力可達0.8以上。因此此次像是逢甲大學蘇院長、台灣大學張教授等亦受邀發表論文，北市府交通局等亦有參與發表。

此次中央與地方產官學界，有來自行政院、交通部、國家運輸安全調查委員會、臺北市政府、新北市政府、國營臺鐵公司、台灣世曦、資訊工業策進會、桃園機場公司、中華電信、逢甲大學建設學院、運輸與物流系、台灣大學土木工程系、先進公共運輸研究中心、成功大學交通管理科系、僑光科技大學、工業技術研究院、財團法人中華顧問工程司、財團法人金屬工業研究發展中心、無人載具科技創新實驗計畫辦公室、財團法人車輛安全審驗中心、台北市商業同業電腦公會、台灣智慧駕駛公司、ITS協會及多家知名公司參與。ITS協會亦安排「ITS台灣之夜」晚宴與台灣台北館交流會，各國ITS理事長代表出席互動踴躍。雖我國前三次爭取都未能成功，此次面臨澳洲布里斯本競爭對手先報告答詢，接著由我國ITS協會與北市府團隊<sup>5</sup>，最終我國以七比四勝出，經歷四次終於申辦成功。

### 二、杜拜致力交通安全

根據國際公共運輸聯會(UITP)統計，杜拜為全世界排名前三的最長全自動無人駕駛鐵路系統，2020年紅線支線綠線開通後，杜拜地鐵共53站、89.6公里，成為世界最長自動化無人駕駛軌道交通。道路與運輸管理局(Roads, and Transport Authority, RTA)局長兼執行董事會主席與杜拜警察總司令定期舉行道安會報，審視杜拜交通安全戰略成果和指標。交通安全是交通安全戰略優先事項，RTA為交通安全戰略訂出目標，杜拜交通安全戰略包括四個主要支柱：

<sup>5</sup> 當天現場簡報答詢團隊，ITS協會由曾詩淵副理事長及孫瑀理事代表，兩位也是陪同北市府游適銘副秘書長前往泰國韓國等國固票重要人士。北市府則由李四川副市長開場表達市府全力支持ITS，並由資訊局趙式隆局長以智慧城市角度簡報。會中各國詢問五個問題，係由曾副理事長與游副秘書長逐一回復。交通部黃新薰司長及北市府游適銘局長亦在場外後勤支援。

執法、道路、車輛工程、交通系統管理等。數據顯示2007年至2023年間，交通事故死亡率已下降93%，死亡率為每10萬人僅1.6人，低於2.0人死亡的目標，並致力持續邁向「零死亡」願景，該國期使杜拜成為世界上交通安全最好的城市。

阿拉伯聯合大公國UAE人口約1100萬人，GDP相當於5千多億美元、人均GDP五萬多美元。杜拜人口3百多萬人，2024年總支出約791億迪拉姆(Dirham)(AED)(換算為6884億NTD為北市府預算三倍多)、總收入約906億AED，扣減保留一般準備金55億AED，盈餘約60億AED，換算為522億NTD。2024年總收入906億AED中，外國銀行營業稅Foreign Bank Branches Tax佔1%、關稅Customs Duties佔8%、加值營業稅特種消費稅與公司稅Value Added Tax, Excise Tax, and Corporate Tax佔14%、費用及罰鍰Fees and Fines佔56%、政府投資獲利Returns on Government Investments佔17%、石油收入Oil Revenue佔4%。多數國家仰賴財源的房產稅收入並未課徵，而是課徵房屋費歸類於56%的Fees and Fines。杜拜去年觀光人次1715萬人次，除了帶來稅收之外，也反映於上述政府投資獲利中。杜拜對於交通違規罰鍰項目眾多金額重，也呈現於上述56%規費及罰鍰比重中。

## 陸、結語

智慧運輸為各國所重視，交通安全亦為各大都會城市列為施政首要課題之一，此次發現各大國際都會都宣揚交通願景口號。諸如德國漢堡交通部長提出城市內任何地方五分鐘內即能抵達交通節點、奧克蘭提出一年8千萬大眾運輸旅次、曼谷提出30分鐘內可以抵達5公里內目的地、首爾提出「2030年三個30：汽車使用量減少30%，大眾運輸行程時間減少30%，CBD城市綠地比例從10%提升到30%」、杜拜提出邁向

交通零死亡等目標。北市府113年亦設定交通安全年，透過35項行動計畫，致力於將死傷事故逐年降低。

我國第四次爭取ITS世界大會主辦權終獲成功，可歸功於幾項策略。第一：強調我國AI及ICT強項，此次宣傳影片邀請宏碁、鴻海、輝達、遠傳、中華郵政董事長總經理等代言，與智慧連結大大加分。第二：此次強調臺北市為主辦城市，即使評選會議有兩位中國代表，本想從國家層次議題提出杯葛變成無著力點，且本次由市府李副市長四川領隊開場致詞致意，獲得評選七項指標之一「當地政府支持」極高分數。第三：本次協會分別指派三位代表，輪番與筆者事先前往幾個國家拜訪當地ITS及交通當局積極固票，出發到杜拜前已有把握爭取到11票中的6票支持，結果最終以7票獲勝，顯見我國出訪策略成功。第四、此次投標書特色在於銜接智慧城市展或國際半導體展期程，讓與會者可1次體驗2種國際大型展覽，進而促進跨產業交流，提供不同領域的專業人士互動和學習。當然北市府蔣市長萬安於ITS亞太秘書長來台場勘時，親自接待表達爭取意願；協會由施理事長義芳率領ITS團隊長期以來與各國互動皆扮演重要角色，財團法人中華顧問工程司王主任等積極參與，可謂群策群力方能成功爭取。

張學孔等(2022)綜整英國、澳洲、德國三個國家在不同層級與區域之交通科技發展趨勢，分別就自動化、連結性、電動化和共享四大趨勢ACES發展特性與作為進行綜整及比較，提出作為我國後續交通科技產業發展與創新服務推動之重要參考。陳敦基等(2018)指出MaaS營運上強調客製化的供需媒合、購票的整合收付、機構的營運協作，以及車隊的整合派遣等機制，並建議採交通行動服務總合者與營運者合一的「公辦民營特許」型態來推動。2029智慧運輸世界大會將於2029年9月假臺北市隆重舉行，預計將有來自世界各國貴賓2萬人以上參

加，活動包含200場論壇、1,000家以上世界知名廠商及機關參展、500場以上展示及技術參觀，大會主題為Harmonizing an AITS World，將以AI+ITS呈現最先進智慧運輸科技及發展，利用AI提早發現問題及迅速做出決策，並促進科技與觀光產業發展，勢必成為一場全球矚目的國

際饗宴，期待各界共襄盛舉，促進國內智慧城市及智慧交通相關建設發展及產業升級。在智慧運輸推動的同時，更應呼應中央及地方政府每年降低交通死傷5%，達到人本交通、交通安全為首要之目標。



杜拜ITS世界大會台北館與各國代表合照



獲頒ITS主辦權評比成績證書



我國到杜拜爭取ITS世界大會合照

## 參考文獻

1. Auckland Transport Annual Report 2024 : <https://at.govt.nz/media/jzgn0uus/at-annual-report-2024.pdf>
2. Dubai ITS World congress : <https://itsworldcongress.com/>
3. Dubai Police Force : <https://www.dubaipolice.gov.ae/wps/portal/home>
4. Garg, Tanya, and Gurjinder Kaur (2023), "A systematic review on intelligent transport systems" , Journal of Computational and Cognitive Engineering, Vol. 2, No.3: 75-188.
5. Government of Dubai Media Office : <https://mediaoffice.ae/en/news/2024/july/10-07/rta-and-dubai-police>
6. Seoul Transportation 2030 : <https://www.seoulsolution.kr/sites/default/files/gettoknowus/Seoul%20Transportation%202030.pdf>
7. Zear, Aditi, Pradeep Kumar Singh and Yashwant Singh(2016), "Intelligent transport system: A progressive review" , Article Metrics, Vol. 9, No. 32.
8. 吳沛儒、蘇昭銘、吳東凌、林良泰、黃啟倡、鍾俊魁&簡君麟(2020), 「建構交通事件之人工智慧物件偵測邏輯與實證研究」, 運輸學刊, 第32卷第3期, 頁299-320.
9. 張學孔、陳雅雯&陳冠任(2022), 「從國際智慧運輸的發展看台灣交通科技應用的潛力與展望」, 臺灣經濟研究月刊, 第45卷第2期, 頁21-30.
10. 陳敦基、陳其華、劉仲潔&張學孔(2018), 「交通行動服務 (MaaS) 之發展理念及營運構想」, 土木水利, 第45卷第2期, 頁60-65.
11. 蘇昭銘、解詠荃、白乙均、洪承揚&魏珮孺 (2009), 「交通事故與公共運輸服務之關聯性分析」, 108年道路交通安全與執法研討會

# 國內外道路交通安全 安全觀測指標之 初探

關鍵詞(Key Words)：道路交通安全(Road Traffic Safety)、道路交通安全觀測指標(Road Traffic Safety Performance Indicators)、零死亡(Vision Zero)

財團法人中華顧問工程司／智慧運輸技術中心／正工程師／劉又升 (Liu, Yu-Sheng)



## 摘要

本文彙整歐盟、美國、韓國、英國和澳洲等主要國家近年制定道路交通安全觀測指標的進展及作法。各國大致包括道路使用者行為、車輛條件、道路基礎設施品質及事故應變處理等多元層面指標，以全面診斷問題並評估改善成效。我國自105年起亦推動相關計畫，目前已建構核心指標、事故違規率及實地調查等完整體系，未來可參酌國際作法，增列車輛及醫療品質指標，強化跨部會資料整合，並與地方合作應用指標結果，以滾動調整策略，逐步實現零死亡願景。



## A Preliminary Study of Road Traffic Safety Performance Indicators in Taiwan and Other Countries

### Abstract

This article summarizes the progress and practices of major countries such as the European Union, the United States, South Korea, the United Kingdom, and Australia in developing road traffic safety performance indicators in recent years. These countries generally include multi-dimensional indicators such as road user behavior, vehicle conditions, infrastructure quality, and emergency response to identify issues and to comprehensively assess the effectiveness of improvements. Since 2016, Taiwan has also launched related projects and established a comprehensive system of core indicators, accident violation rates, and on-site surveys. In the future, Taiwan can refer to international practices, add vehicle and medical quality indicators, strengthen inter-agency data integration, and cooperate with local governments to apply indicator results to rolling adjustment strategies and gradually achieve Vision Zero.

## 壹、緒論

道路交通安全一直是各國政府和社會高度重視的議題，不僅關乎國家發展的效能和成本，更與人民生命財產的基本保障息息相關。就我國而言，歷年來政府單位雖然積極推動各項改善措施，交通事故件數雖有些微下降，但似乎仍難擺脫「行人地獄」的形象及符合民眾對道路安全的期待。全面提升道路環境的安全，需要各級政府主管機關共同努力，並時時廣納民間多方意見，透過科學化的研究分析，找出最佳執法和工程管控方式。

本文概略彙整歐盟、美國、韓國、英國和澳洲等主要國家在近年來針對道路交通安全觀測指標制訂的進展和作法，其中包含各項核心指標與國家道路安全相關策略或計畫的說明，來呈現這些國家的道路交通安全的實務狀況。這些國際間經驗的參考，有助於我國相關單位對照檢視，並進一步發展、優化國內現有的道路安全觀測指標，俾利未來持續改善道路交通安全。

此外，此文也簡要地介紹我國自民國105年起在交通部的指導下，推動「道路交通安全觀測指標」的計畫歷程，包含計畫重點、資料概況、問卷調查方向，以及計畫成果應用之處。這些計畫不僅能讓國人瞭解政府在道路安全議題的重視和投入資源，更重要的是透過指標的定期檢測和改善，能激勵地方政府積極因應並努力提升道路交通安全績效，並協助掌握正確的政策方向，落實各項強化作為，期望可有效減少不當駕駛行為和降低交通傷亡風險，逐步達成零死亡願景(Vision Zero)。

## 貳、國外道路交通安全績效指標概述

### 一、歐盟

僅依賴交通事故數據難以全面評估運輸安全程度，因此歐盟運輸安全委員會(European Transport Safety Council, ETSC)<sup>1</sup>於2001年發布報告，建議以安全績效指標作為補充。該報告將道路運輸安全績效指標劃分為道路使用者行為、車輛、道路及創傷管理等四大類別，共計12項指標。

在道路使用者行為指標方面，包括超過法定速限的行駛比例、超過法定酒精濃度的駕駛比例，以及乘員使用安全帶的比例等三項。車輛相關則為新車符合歐盟新車安全評鑑(The European New Car Assessment Programme, Euro NCAP)的程度。道路相關安全績效指標則針對道路設計與路網等級是否符合標準的比例。最後，創傷管理相關指標則評估發生事故後，緊急救護到達時間與醫療品質是否達到法定或目標水準的比例(ETSC, 2001)。

這些指標可更直接監測政策措施或方案的影響，提早發現新興安全問題，並較事故指標更能探討事故發生的影響因素。ETSC呼籲歐盟應鼓勵成員國建立並定期收集一套科學建制的運輸安全指標，尤其是主要行為面向如超速、酒駕和防護裝備使用率，且須具有跨國可比較性，方能提供各國參考並檢視改善情況。

隨後在2010年，歐盟訂定至2020年將道路交通死亡人數較2010年減少50%的目標(ETSC, 2019a; ETSC, 2019b)。然而直至2020年期屆滿，歐盟整體僅較2010年降低20.7%，年降幅2.8%，遠低於6.7%的預期值，未如期達標。因此，歐盟於2018年通過《歐盟道路安全戰略行動計畫》，訂定到2030年將道路死亡及重傷人數為2020年水準減半的目標。

<sup>1</sup> 歐洲運輸安全委員會是一個非營利組織，致力於減少歐洲發生的交通事故中的傷亡人數。它從2007起開始發布年度道路安全績效指數報告，長期衡量歐盟成員國在減少道路死亡方面取得的進展。

為有效衡量整體道路安全成效，2021-2030年歐盟道路安全政策框架內特別納入8項關鍵績效指標，包含：車速合規比例、正確使用安全帶/裝置比例、佩戴安全帽比例、酒駕比例、手持設備使用比例、新車安全評級比例、行駛安全道路比例，以及事故後緊急救援時間等面向，作為追蹤進度的依據。

根據ETSC最新年度報告(ETSC, 2023)，2022年歐盟27國道路死亡人數較2021年增加4%，仍較2019年少9%，但距離2030年目標之17.2%減幅尚有長路待走。與此同時，嚴重受傷人數減少進度則更為緩慢，過去十年僅下降14%，顯示此面向亟需加強改善措施。在8項關鍵指標中，目前安全帶使用率的數據收集較為完整，但基礎設施、事故後急救及車輛安全等指標的發展則仍待提升。

報告特別點名波蘭為2023年ETSC道路安全績效指數獎項得主，該國在2012-2022年間成功將道路死亡人數減少46.9%，主要作為包括：持續投資改善道路基礎建設品質，以減少使用者面臨危險；加強教育宣導及法規修正，提高民眾風險意識並嚴格取締違規行為；實施數據共享機制，保險公司可查閱違規紀錄以鼓勵安全駕駛等綜合作為，展現績效管理的長期決心與持續性對於道安成效的重要性。

總體而言，為達成2030年遠景目標，歐盟正逐步建構涵蓋速度管理、防護裝備使用、酒駕檢查、車輛及道路基礎設施品質及緊急應變等全方位績效指標體系，作為評估政策改善成效、發現新興問題並及時調整策略方針的工具，以確保能持續改善整體道路交通安全績效。相較起初僅關注結果指標，此一轉向過程面向指標的管理途徑，展現歐盟對於運用績效管理的理念，並期許透過指標體系的建立，能切實掌握問題癥結並有效整合跨領域資源與作為，以提升道安整體品質。

## 二、美國

美國運輸部國家公路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)與州長公路安全協會(Governors Highway Safety Association, GHSA)於2008年共同發佈一套交通安全績效最低指標，作為聯邦及各州推動交通安全政策的參考。這套指標涵蓋14項，分為10項核心結果指標、1項核心行為指標及3項行動指標，旨在涵蓋各州公路安全計畫的主要領域，並源自現有數據系統，可透過既有資料計算取得。

在10項核心結果指標中，包含總體事故死亡人數、重傷人數及延車公里死亡人數等綜合指標，同時也涵蓋不使用安全帶、酒駕、超速、機車騎士、年輕駕駛及行人等高風險群體或行為的事故死亡人數。核心行為指標則為觀察客車安全帶使用狀況。至於3項行動指標，則是經費支持下所執行安全帶、酒駕及超速等執法取締的數量(吳宗修等人，2016; NHTSA, 2008; 2015)。

這些指標根據不同交通議題領域而有所區分對應。以整體指標而言，對應3項核心結果指標，分別為總體事故死亡人數、總體重傷人數及延車公里死亡人數。至於針對使用安全帶、酒後駕駛、超速及侵略性駕駛等議題，則對應相關事故死亡人數及執法取締量等指標。而機車騎士議題需關注事故死亡人數及未戴安全帽導致死亡人數，年輕駕駛者及行人則針對20歲以下及行人事故死亡量作為重點。

各州將在每年的公路安全計畫和年度報告中，針對每項核心結果及行為指標設定目標值並報告達成進度，同時也會報告經費支持下的行動指標執行量。各州亦可視需要為其他重點領域訂定額外的績效指標。NHTSA會將這些核心指標作為向國會、民眾和其他方報告的一部分。

### 三、韓國

韓國近年來積極推動道路交通安全政策，並制定相關績效指標體系，以期達到「朝向零死亡」的安全系統願景。根據經濟合作暨發展組織(OECD)2016年數據，韓國當年道路交通死亡人數高達4,292人，在OECD國家中排名第4<sup>2</sup>，問題相當嚴峻。為因應此一挑戰，韓國運輸部重新設計道路安全管理系統，並建立一套涵蓋組織、改善方案、中介效果及最終結果等四大構面的道路交通安全績效指標。

該指標透過給分方式，評估各地方行政區的道路安全現況，作為制定改善對策之參據。在組織構面，韓國重視主政機關及相關單位的整合運作；改善方案構面則著重道路使用者教育、車輛安全管控及道路設施專案改善；中介效果構面則針對超速、酒駕及老舊車輛等風險因子進行監控；而最終結果則包含死傷事故人數及發生數等一般及特定指標(吳昆峯等人，2018)。

2022年，韓國第九次國家道路安全計畫明確設定2022-2026年的具體目標，包括將道路交通死亡人數自2021年2,916人降至2026年1,800人，降幅38%。此外，亦將每10萬人道路死亡率由5.3人降至3.5人，期使韓國在此一指標上接近OECD平均水平。計畫重點關注行人、老年人、兒童等高風險族群。根據國際經驗及建議，計畫亦確立五大策略領域，包含交通系統、道路安全、車輛安全、道路使用者及碰撞事故後回應(Sohu & Zhang, 2023)。

總體而言，韓國近年制定嚴謹的道路安全績效指標體系，並訂定具體可衡量目標，顯見其政府高度重視及持續努力改善國內道路交通安全情況，期能有效降低嚴重傷亡事故，提升人民生命財產安全。

<sup>2</sup> 根據OECD 2022年資料，韓國已降為2,735人，排名第6(OECD, 2024)。

### 四、英國

為因應世界衛生組織及歐盟執委會呼籲各國建立道路交通安全關鍵績效指標，英國運輸安全國會諮詢委員會(The Parliament Advisory Council for Transport Safety, PACTS)於2018年參考Loughborough大學安全系統課程(請見圖1)，提出8項績效指標初步建議(Etika, 2018；吳昆峯等人，2018)。



資料來源：Etika (2018)

圖1 安全系統

經專家學者審議後，PACTS最終確立5大支柱共8項建議指標，分別為：安全速度(國家公路、地區公路符合速限行駛比例)、安全使用道路(服用藥物與酒類後未駕車、乘員使用安全帶、不使用行動裝置駕駛比例)、安全車輛(新車符合歐洲NCAP最高評價比例)、安全道路及路側(道路符合iRAP安全評價比例)、事故發生後緊急應變(事故18分鐘內抵達比例)。

2022年，英國道路安全領域的相關利益團體舉辦兩場圓桌會議，彙集已經參與這一領域的政策專家、技術供應商、非政府組織和英國公共部門的代表，討論績效指標在國家和地方層級的運用、強化數據來源並擴大指標範疇等議題。會中建議道路安全利害關係人及地方當局應制定績效指標，並將其與減少致命重傷事

故作連結，同時倡導全國一致性架構與策略方向。會議亦建議制定關於監測道路使用行為、基礎設施和速度等標準抽樣方法的國家指南，以及新車銷售安全技術與安全等級的績效指標 (Owen et al., 2022)。

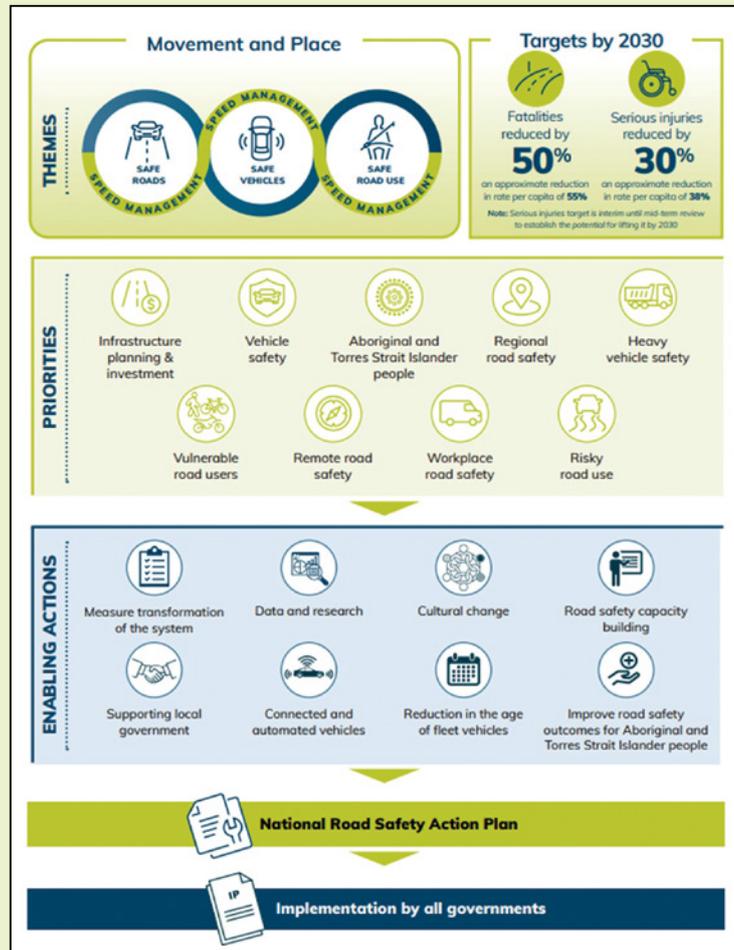
此外，會議亦呼籲加強跨領域交流合作，審查資料治理框架以確保隱私保護、克服資料差異等挑戰。整體而言，英國正逐步建構涵蓋安全速度、安全道路使用、安全車輛、安全道路設施及事故應變面向的績效指標體系，作為評估改善措施成效、主動偵測問題並引導政策調整的工具，以持續提升道路交通安全水準。

## 五、澳洲

澳洲政府高度重視道路交通安全議題，在2021年發布「國家道路安全策略2021-30」，明確訂下2050年實現「零死亡願景」的遠景目標。雖然在這段十年之間，每年死亡人數已減少22.5%，但仍未達2011年訂定的30%減量目標，顯示亟需加大力度 (ITM, 2021；吳昆峯等人，2018)。

該策略提出三大主題領域（請見圖2）：道路安全、安全車輛及安全道路使用。2030年具體目標為將死亡人數至少減少50%、嚴重傷害人數至少減少30%。九大優先工作領域包括基礎設施規劃改善、車輛安全、維護原住民等弱勢族群權益、弱勢用路人、區域道路安全、遠端地區道路安全、工作場所道路安全、重型車輛、危險道路使用等。

為落實執行，澳洲政府與各州/領地政府共同制定「2023-25年國家道路安全行動計畫」(ITM, 2023)。計畫內容涵蓋：1.一樣設定九個優先領域(如前述一致)，這些領域被認為能最有效降低道路傷亡；2.各級政府應採取之具體行動措施，如改善車輛安全法規、基礎設施、保護弱勢用路人等；3.政府應改善資料蒐集與研究，建構國家道安資料中心、研究架構等，作為制定政策及評估績效之基礎；4.建立跨政府治理機制，如成立指導委員會強化協調監督、每年提交報告給部長等；5.設定關鍵安全績效指標，作為計畫成效評量依據，如降低死傷人數、降低酒駕等；6.目標是在2050年前實現「零死亡」的願景，在澳洲的道路上完全杜絕死亡事故的發生。



資料來源：ITM (2021)

圖2 澳洲國家道路安全策略2021-30之策略一覽

在績效指標方面，澳洲分別設有「落後指標」與「領先指標」。落後指標如人均道路交通事故死亡/重傷人數和比率，係評估計畫執行成效之主要量化數據；領先指標則包括道路、車輛及用路人層面多項指標，用以呈現施行措施的優先順序成和重點，以及需要克服的安全落差。

綜合而言，澳洲政府積極推動國家層級的道路安全策略與行動計畫，設定具體目標及指標體系，並由中央與地方層級通力合作。除了持續改善道路、車輛及管理用路人行為，還重視原住民等弱勢群體、資料蒐集與研究、制度面的跨部會協調與問責機制等，期能全面提升執行成效，逐步邁向零死亡的最終願景。

### 參、我國道路交通安全觀測指標

交通部自民國71年起，會同行政院新聞局(相關單位現併入行政院發言人辦公室)、教育部、內政部等中央督導權責單位，陸續推動行政院頒布的「道路交通秩序與交通安全改進方案」(以下簡稱『院頒方案』)。每期院頒方案均致力於研擬『實施策略』與『行動方案』，供地方政府執行改善計畫時參考，期望全面提升國內道路交通安全與秩序，確保民眾生命財產權益。目前已執行至第14期(民國112年至115年)，第14期院頒方案為「以零死亡為願景，朝逐年下降趨勢努力，每年至少降低5%為目標」(吳宗修等人，2016；交通部，2023)。

為落實執行行政院頒布的「道路交通秩序與交通安全改進方案」，交通部自民國105年起連續委託執行「道路交通安全觀測指標」研究計畫，旨在建立完整的觀測指標體系，透過多元資料調查及分析，了解我國交通事故樣態及民眾行為觀念，作為政府推動改善道路安全政

策的重要參考依據。

105年度計畫透過文獻回顧與內政部警政署100至104年事故資料分析，提出核心指標、行動指標及行為指標等三大觀測指標類別。其中核心指標包含當事人年齡層、道路使用者類型及路口/路段碰撞型態；行為指標則有未戴安全帽違規率、路口超速比例、未禮讓行人…等多項用路人違規之行為項目；行動指標則涵蓋工程、教育宣導、執法等三大層面。該期研究經過試辦作業驗證其成效以便修正，為道路交通安全觀測指標奠定基礎(吳宗修等人，2016)。

106年度計畫在確立各項指標計算方式後，利用公路監理、汽機車定檢資料估算各縣市的曝光量，分析核心指標與行為指標間的關聯性。部分指標結果亦納入交通部年度道安成果考評制度，期能引導地方重視道安改善工作(吳宗修等人，2017)。107年度持續執行各項調查與分析，並透過兩年期調查數據進行指標間關聯分析，提供需加強注意風險的縣市區域。另外，計畫執行單位與區域運輸研究中心合作輔導縣市，辦理研習工作坊，使縣市相關單位人員了解道安指標，並分享應用觀測指標改善經驗，進而擴大計畫成效(吳昆峰等人，2018)。

108年度計畫新增道安資訊平台與公路監理系統數據檢核，整併跨部會、跨局處資料源，開始建構觀測指標系統。另從問卷調查了解民眾的危險行為頻率、偏差風險感受及政策認知等，並透過縣市巡迴輔導座談，分享分析成果與各地改善需求(吳昆峰等人，2019)。110年度計畫的目的在於使各地方政府逐步瞭解各類型事故生成機制，建立一套觀測指標系統，並搭配他們的執法政策，讓執行有所依據和方向明確。為使各地方政府能集中資料改善，該計畫運用5年事故資料，篩選出目標事故型態，提供各縣市掌握需重點改善的指標項目，並進行高風險路廊診斷(吳昆峰等人，2021)。

111至112年度計畫除延續既有調查分析外，新增主題式事故深入探討，例如每季事故樣態、自撞自摔事故及大專院校學生事故等，並透過每季面訪調查了解民眾對道安改善的感受程度，以精進相關政策(吳昆峰等人，2023)。112至113年度配合第14期院頒方案，重視跨部會之橫向溝通整合，並以「以人為本」的交通意識和轉型減少車輛碰撞為核心主題，探討事故影響因素並提出相對應的改善措施，為未來的交通安全改善方案提供建議。

綜合該系列計畫成果，有研究指出，中央與地方政府在進行道路交通安全改善時，可根據觀測指標分析結果，優先針對目標事故型態相關的高風險違規行為施加改善對策，例如為減少路口側撞事故，可優先從違規轉彎或迴轉、未依規定讓車、超速行駛等違規項目著手改善(柳晴，2021)。

該系列研究計畫歷經九年持續執行與精進，已建立起完整的觀測指標體系，將核心指標、事故違規率、實地行為調查、安全文化調查等多元資訊予以整合，有助於政府檢視並診斷事故問題根源，針對高風險違規行為、肇事型態及路段予以優先改善，並透過民意調查掌握政策執行成效，不斷滾動修正調整策略方針，期許能有效提升我國整體道路交通安全水準。

行政院為重視行人交通安全，於2023年陸續核定「行人交通安全政策綱領(2023-2027)」與「行人優先交通安全行動綱領」，宣示2030年將行人死亡人數下降30%的願景。主要有3大精進作為：推動《道路交通安全法基本法》、建置完整公共運輸系統、落實行人交通安全改善。此外，並擬定中長期執行項目，短期(半年內)的項目分別有：完成《道路交通安全法基本法》

立法<sup>3</sup>、完成400億「永續提升人行安全計畫」(113-116)審議<sup>4</sup>、成立院級「中央道路交通安全會報」、盤點行人交通安全設施優先改善項目；中期(一年內)的項目有規劃制定《行人交通安全設施條例》、分層訂定計畫、強化人車監理管理機制、擴大公路公共運輸補助；長期(4年內)的項目則有：落實道路交通安全檢核機制、精進汽機車駕駛考驗制度及駕訓班評鑑制度、提升公共運輸普及率(行政院，2023)。透過短中長期的多元作為，加上中央與地方政府的通力合作，期能有效保障行人安全，實現零死亡願景。

## 結語

各國政府近年來積極發展道路交通安全指標體系，有助持續評估現況、掌握問題癥結並檢視政策成效，是國家推動相關工作不可或缺的重要工具。國際上大致包括道路使用者行為、車輛狀況、基礎設施條件及事故應變處理等多元面向，俾能全面診斷、系統性改善。

歐盟於2001年率先建立安全績效指標架構，近年並根據執行成果不斷精進，例如新增速度合規、防護裝備使用及車輛評鑑等8項關鍵指標。美國亦訂有14項包含死傷人數及高風險行為等核心結果指標。其他如英國、韓國及澳洲等國家皆已發展出具體的指標體系。顯見建構完整、客觀的指標監測機制，已為國際趨勢與共識。相對於我國，推動道安觀測指標歷經多年，已建立核心指標、事故違規率及實地行為調查等面向。

相較這些國家的安全績效指標，我國道安觀測指標在指標範疇及層面上仍有以下幾點予以參考與精進：

一、國際指標普遍涵蓋道路使用者行為、車輛

<sup>3</sup> 此法已於2023年12月15日公告，並於2024年1月1日施行。

<sup>4</sup> 此計畫已於2023年12月29日核定。

條件、道路設施品質及事故緊急應變處理等多元層面，我國目前較缺乏對車輛條件及事故緊急應變評估指標，未來可考量增列相關項目。

二、 歐盟國家、英國已將道路基礎設施品質或道路安全等級納入指標評估，發展量化道路設施相關指標、評定道路安全等級。我國若能參採，定期進行資料蒐集並建立道路設施品質資料庫，這些資料除了可監測道路環境狀況，亦可作為改善道路設施與安全之依據。

三、 歐盟等已發展高品質的車輛安全評鑑制度如Euro NCAP，並據此設置車輛符合最高等級比例為重要指標。我國也正積極推動「臺灣新車安全評等計畫(Taiwan New Car Assessment Program, TNCAP)」，提供民眾完整的車輛安全資訊(財團法人車輛安全審驗中心，2024)<sup>5</sup>，引導購買安全性較高之車輛，進一步降低道路意外事故。然而，目前尚未將此制度納入指標體系，未來應可參考此一作法，增進安全觀測指標之多元性。

四、 道路交通安全涉及層面廣泛，部分國家如歐盟國家、美國或英國等，均已開始強化資料蒐集與運用。建議政府部門之間及跟產學研單位間加強合作，優化蒐集不同領域的數據，以更完整呈現道路使用及交通事故狀況。同時，在兼顧數據流通活用與資料隱私保護下，跨部會的數據整合與應用亦是必要的，才能更全面掌握安全問題並制定數據為證之對策。

總體而言，我國政府將在2030年前將道路交通事故死亡人數減少30%列為重要目標，並

規劃短、中、長期執行計畫，逐步邁向「零死亡願景」。然而，實現此目標需建立多元化的指標體系，深入追蹤改善成效。同時，應強化跨部會資源整合，並與地方政府及產學研單位緊密合作，有效評估地方交通安全問題及支援因應對策。透過這些努力，逐步提升全國交通安全表現，最終為民眾創造更友善且安全的出行環境。

## 參考文獻

1. 交通部(2023)，第14期院頒「道路交通秩序與交通安全改進方案」核定本。<https://168.motc.gov.tw/Download/m4pw2Iz0K3EsJdmD2E5kQQ>
2. 行政院(2023)，行人交通安全政策綱領。<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/e85f9aba-1e7f-48df-9643-d972bc819ee6>
3. 吳宗修、吳昆峯、張新立、邱裕鈞(2017)，106年道路交通安全觀測指標，交通部委託研究。
4. 吳宗修、張新立、邱裕鈞、吳昆峯(2016)，道路交通安全觀測指標研究，交通部委託研究。
5. 吳昆峯、吳宗修、邱裕鈞、張新立、李明聰、朱純孝、吳舜丞(2018)，107年道路交通安全觀測指標，交通部委託研究。
6. 吳昆峯、吳宗修、邱裕鈞、張新立、陳菀蕙(2021)，110年道路交通安全觀測指標，交通部委託研究。
7. 吳昆峯、吳宗修、邱裕鈞、張新立、陳菀蕙、李明聰、陳珍珍、朱純孝、吳舜丞(2019)，108年道路交通安全觀測指標，交通部委託研究。
8. 吳昆峯、吳宗修、邱裕鈞、張新立、陳菀蕙、

<sup>5</sup> 截止2024年7月16日，TNCAP已發佈11款車型評等結果。

- 林陳佑(2023)，111-112年道路交通安全觀測指標，交通部委託研究。
- 
9. 柳晴(2021)，我國道路交通安全觀測指標關聯模型，國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
- 
10. 財團法人車輛安全審驗中心(2024)，臺灣新車安全評等制度。https://www.tncap.org.tw/
- 
11. Etika, A. (2018). Developing safe system road safety indicators for the UK. https://www.pacts.org.uk/wp-content/uploads/PactsReport\_-\_Developing-Safe-System-Road-Safety-Indicators-for-the-UK\_Oct18-FINAL.pdf
- 
12. European Transport Safety Council, ETSC (2001). Transport Safety Performance Indicators. Brussels. https://etsc.eu/wp-content/uploads/Transport-safety-performance-indicators.pdf
- 
13. European Transport Safety Council, ETSC. (2019a). 13th Annual Road Safety Performance Index (PIN) Report. https://etsc.eu/13th-annual-road-safety-performance-index-pin-report/
- 
14. European Transport Safety Council, ETSC. (2019b). Ranking EU Progress on Road Safety.13th Annual Road Safety Performance Index (PIN) Report. https://etsc.eu/wp-content/uploads/AR\_2019-Final.pdf
- 
15. European Transport Safety Council, ETSC. (2023). Ranking EU Progress on Road Safety.17th Annual Road Safety Performance Index (PIN) Report. https://etsc.eu/wp-content/uploads/ETSC-17th-PIN-Annual-Report-DIGITAL-1.pdf
- 
16. Infrastructure and Transport Ministers, ITM (2021). National Road Safety Strategy 2021-30. https://www.roadsafety.gov.au/sites/default/files/documents/National-Road-Safety-Strategy-2021-30.pdf
- 
17. Infrastructure and Transport Ministers, ITM (2023). National Road Safety Action Plan 2023-25. https://www.roadsafety.gov.au/sites/default/files/documents/National%20Road%20Safety%20Action%20Plan%202023-25\_0.pdf
- 
18. National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA (2008). Traffic Safety Performance Measures for States and Federal Agencies. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/811025.pdf
- 
19. National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA (2015). State Traffic Safety Performance Measure : Report to Congress (2014-2015 Update). https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2023-05/State-Traffic-Safety-Performance-Measure-tag.pdf
- 
20. OECD (2024). Road accidents (indicator). doi: 10.1787/2fe1b899-en (Accessed on 21 February 2024)
- 
21. Owen, R., Fosdick, T., Scott, S., & Staton, M. (2022). Developing and Measuring Safety Performance Indicators at Sub-National Level. https://www.roadsafetyknowledgecentre.org.uk/wp-content/uploads/2022/05/Developing-and-Measuring-Safety-Performance-Indicators-at-Sub-National-Level-Roundtables-Summary-Report-Final.pdf
- 
22. Sohu, V., & Zhang, X. (2023). Using Safety Performance Indicators to Improve Road Safety: The Case of Korea. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safety-performance-indicators-road-safety-korea\_0.pdf

# 稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目/作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1, 2, 3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977)。

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973)。

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).



# 編後語

145期中華技術以「AI驅動 工程蛻變」為主題，由台灣世曦工程顧問股份有限公司機械部主編，共收錄10篇專題報導與2篇工程論著，並且專訪交通部交通科技及資訊司黃新薰司長，以及桃園國際機場公司范孝倫總經理，謹此特別感謝二位長官百忙中撥冗接受專訪，以及諸位作者的貢獻和辛勤付出，敬表 謝忱。

本期內容聚焦AI技術在工程領域的廣泛影響與巨大潛力，然而AI浪潮仍未停歇，且有一波未平一波又起之勢，特別是當AI (Artificial Intelligence, 人工智慧) 對上AI (Actual Intelligence, 人類智慧)，兩者更深層次結合與協作後，以人類智慧引導AI的發展方向，提升AI效能；再以AI輔助人類智慧，增強人類決策與提升工作效率，將可創造更強大、更可靠、更符合人類需求的AI系統。可以預見，在人類智慧與人工智慧的雙重加持下，工程領域的蛻變將超乎想像。讓我們做好準備，共同迎接充滿無限可能的未來！

值此中華技術刊物籌備之際，欣逢中華智慧運輸協會攜手交通部、臺北市政府，以及國內ITS產官學研各界，以“Harmonizing an AITS World”為主題，成功爭取2029年智慧運輸世界大會(ITS World Congress)主辦權。相信2029年世界大會將是我國展現AI+ITS成果的重要舞台，並以此為契機，促進國內相關工程領域、智慧城市建設與ICT產業發展，而推動產業升級同時，也在科技驅動下創造更安全、便捷、舒適且永續的生活環境。

## 附記：

本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式乙份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 **財團中華顧問工程司**  
法人 **CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.**

台北市10637辛亥路二段185號28樓  
28F., No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN  
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>



# 夢想和幸福

## 零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，  
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，  
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，  
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號  
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568  
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw