

# 土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

February  
2022



ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 49, No. 1

社團法人  
中國土木水利工程學會 發行  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

潛盾隧道混凝土環片  
道路及橋梁景觀設計

工程技術及發展

學會資訊看板

110年會務報告

人工智慧於土木水利  
的未來應用

專 輯





# 福清營造 全域獨到

台北花博夢想館

福清總部大樓

興建大臺南會展中心



## 福清營造

SINCE 1975

📍 台北市內湖區行善路48巷15號7樓

☎ 02-2796 3949

🌐 [www.for-tune.com.tw](http://www.for-tune.com.tw)



勞動部職業安全衛生署

OCCUPATIONAL SAFETY and HEALTH ADMINISTRATION, MINISTRY of LABOR

第14屆公共工程金安獎

第21屆 公共工程

# 金質獎

2021 建築類 佳作

臺北市政府  
公共工程卓越獎

經典百工 卓越傳世

109年度公共工程卓越獎





中正橋改建工程完成願景圖

# 土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



## 土木水利半月集

### 先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

### 永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

### 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

### 教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

### 學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

### 出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

### 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非（國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯）

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元（航郵另計）

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十五屆理監事（依姓氏筆劃排序）

理事長：宋裕祺

常務理事：伍勝園 高宗正 楊偉甫 廖學瑞

理事：王宇睿 余信遠 李政安 林子剛 林聰利 胡宣德 高銘堂

張大鵬 張荻薇 莊均緯 許泰文 陳仲賢 曾榮川 黃慧仁

壽克堅 歐善惠 賴建信 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：王藝峰 李建中 沈景鵬 林其璋 邱琳濱 劉國慶

## 中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

## 中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

## 「人工智慧於土木水利的未來應用」專輯 (客座主編：陳柏華教授)

- 📖 專輯序言：人工智慧於土木水利的未來應用 陳柏華 3
- 📖 屋頂型太陽能板之監測與數據呈現：使用 Arduino 與建築資訊模型  
張智雄／吳佰餘／王如觀／莊皓翔／梁凱倫／王蘇杰／蘇于翔／周建成 4
- 📖 結合空間推論與天候資料佈設坡地崩塌預警系統感測器（邊坡種子）之初探  
許瑋庭／郭佩茶／陳佑／張大緯／李威勳 10
- 📖 GNSS-R 遙測技術的工程應用 賴郡暉／林遠見 21
- 📖 應用影像語意分割技術於鋼筋間距查驗 紀乃文／莊仕杰／陳翊翔／陳鵬元／陳俊杉 27
- 📖 應用 UAV 影像於交通車流資料蒐集之研究 黃家耀／莊宜芳／林佳欣／廖晉毅／李祐德／鄭人瑋 32
- 📖 人工智慧於交通安全應用 謝宗穎／何語萱／鄭又嘉／張仲宇／許聿廷／陳柏華 40
- 📖 人工智慧於交通運輸潛在應用之回顧 張仲宇／鄭又嘉／何語萱／謝宗穎／朱致遠／陳柏華 49

## 工程技術及發展

- 📖 臺北捷運潛盾隧道混凝土環片生產精進與數位創新 陳俊宏／呂文儒／蘇瑞麟／李建德／陳子涵 58
- 📖 臺北市道路及橋梁景觀設計—以中正橋改建工程為例 蔡欣仰／張英發／詹名成／劉家銘 64

## 學會資訊看板

- 📖 110 年會務報告 73
- 📖 會員資料更新表 封底

## 廣告特搜

- 福清營造股份有限公司 — 福清營造 全域獨到 封面裡
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心 做好每一件事情 封底裡
- 中華民國土木技師公會全國聯合會 — 土木技師 國之棟樑 48





# 人工智慧於土木水利

## 的未來應用 專輯序言

專輯客座主編 陳柏華／國立臺灣大學土木工程研究所交通工程組 教授

近年來資訊科技及人工智慧之演進，造就了許多突破過去挑戰之契機。土木水利乃民生相關之工程，直接影響著國家社會與人民之福祉。在土木水利相關重要之議題中，若能藉由人工智慧之引入而提高關鍵設施規劃、建造、營運及維護之全生命週期效率，則有機會提高本國國民之生活水準。

本特刊中包含之議題相當廣泛，如設施建造階段之查檢、維護階段之監測、營運階段之資料採集等，利用不同硬體設備配為人工智慧模式，為相關議題作前瞻之應用。其中，中央大學周建成教授「屋頂型太陽能板之監測與數據呈現：使用 Arduino 與建築資訊模型」，成功大學張大緯教授、李威勳副教授、及郭佩棻助理教授「結合空間推論與天候資料佈設坡地崩塌

預警系統感測器（邊坡種子）之初探」，中央大學林遠見助理教授使用「GNSS-R 遙測技術的工程應用」，臺大陳俊杉特聘教授及臺科大紀乃文助理教授「應用影像語意分割技術於鋼筋間距查驗」，交大黃家耀副教授「應用 UAV 影像於交通車流資料蒐集之研究」，臺大許聿廷副教授及陳柏華教授探討「人工智慧於交通安全應用」及朱致遠教授與陳柏華教授探索「人工智慧於交通運輸潛在應用之回顧」。

非常感謝專輯中所有作者的貢獻，希望專輯中之文章能夠提供土木水利領域中之產官學先進們一些刺激思考的機會，期望人工智慧相關技術在土木水利工程領域有更多實際應用之機會，對於國內人民之福祉有所貢獻。🇩🇪



# 屋頂型太陽能板之監測與數據呈現： 使用 Arduino 與建築資訊模型

張智雄、吳佰餘、王如觀、莊皓翔／國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 研究生  
梁凱倫、王蘇杰、蘇于翔／國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 研究生  
周建成／國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 教授

我國政府於 2016 年提出發展低碳、潔淨的能源轉型路線。台灣位處亞熱帶，具豐富太陽能資源。政府規劃 2025 年將完成累積 20GW 太陽能發電裝置，其中 14GW 為地面型、6GW 為屋頂型。因大多數太陽能發電場使用集中式或串列式逆變器，現行監測系統僅可顯示整場運作情形，無個別監督、更無法因地制宜判斷異常與進行分析。本研究對象為屋頂型太陽能發電裝置，搭載 Arduino 單晶片並發展資料收集與傳送模組，整合建築物屋頂之建築資訊模型，期望電場維護管理人員可因此進行即時個別診斷，提高整場發電效益。

## 研究背景

隨著全球暖化、國際間永續發展趨勢，我國政府於 2016 年提出能源轉型政策，提出發展低碳、潔淨能源的轉型路線。台灣再生能源主要來自太陽與風力，因具備豐富太陽能資源，故現行太陽能發電裝置容量占全部再生能源比例為 57.8%，可用於減緩夏季尖峰負載、改善空氣品質，並具降低碳排等效益<sup>[1,2]</sup>。

當今我國太陽能發電場大致分為地面型與屋頂型兩場域，地面型太陽能發電場裝置容量大且技術成熟，預計 2025 年累積 14GW 裝置容量<sup>[1,2]</sup>。然因台灣地狹人稠，現行易於佈署地面型太陽能發電場的地方逐漸減少，因此，政府積極推動屋頂型太陽能裝置的佈署，截至 2020 年 9 月底，此部分累積裝置容量為 3.88GW，離 2025 年原定屋頂型目標 6GW 尚有一段距離<sup>[1,2]</sup>。此外，我國太陽能發電場實際總發電量，在 2020 年僅占全年台電總發電量的 2.5%<sup>[1,2]</sup>。若以鄰近香港為例，2012 年全香港本地發電 139,506TJ，從大陸購置 42,508TJ 電量，學者利用衛星遙測影像等技術，評估所有香港地面型與屋頂型的太陽能發電場域，其屋

頂型全部發電 2.66TWh，地面型為 2.88TWh，各自佔香港本地發電量的 6.9% 與 7.4%（以 1KWh = 3.6MJ 計算）<sup>[3]</sup>。由此可知，台灣太陽能裝置成長空間大，特別是屋頂型，值得深入研究。

除了天氣等自然環境因素，事實上太陽能發電效率也受裝置本身影響。由於太陽能發電裝置輸出為直流電，若欲與市電的主電網（Electrical Grid）或智慧電網（Smart Grid）併網，必須透過逆變器將直流電轉成交流電。現今大部分太陽能發電場使用集中式或串列式逆變器（Central Inverter / String Inverter），前者將整場太陽能板線路集中一處逆變後，統一併入電網；後者則將數組太陽能板串聯至電壓約 200V ~ 800V（視逆變器規格，例如 3 串 8 並），再轉換成交流電<sup>[1]</sup>。無論使用何種逆變器，在一串列太陽能板中只要有一塊異常，如落葉、遮蔭、鳥屎（bird droppings）等，整體發電量瞬間將下降甚多，是故，地面型太陽能發電場因週遭環境單純，較適合使用集中式逆變器；中小地面型或屋頂型太陽能發電場域，較常使用串列式逆變器，以期該系統並聯之其他未受影響太陽能板可



正常供電。即便如此，若太陽能發電場有數組串列式逆變器，可能有高諧波 (Harmonic) 較難抑制等問題 (因理想交流電源應為純正弦波形)；現今另一趨勢為使用微逆變器 (Micro Inverter)，亦即太陽能板 / 模組與逆變器為一對一關係，但因成本顯著差異 (集中式逆變器每瓦僅 0.13 美元，而微逆變器每瓦 0.34 美元以上)，實務上鮮少見此配置 [1,2]。最後，太陽能板因陰影遮擋與品管等因素，實際上每塊板發電量不一致，逆變器必須動態調整 (學理上稱作 Maximum Power Point Tracking, MPPT)，方能持續獲得最大功率，如圖 1 所示在不同太陽能照射度 (Irradiance) 下，某塊太陽能面板的電流電壓曲線 (IV Curve) [4]，有學者據此實驗，統計出相同場域下，整場使用集中式逆變器，相較於每塊太陽能板均配置逆變器 (可動態調整) 並加總發電量，後者發電量比前者多 20%；若有陰影，則後者比前者多發電 27% [5,6]。

綜合上述與相關文獻，近年許多研究將太陽能板監測與逆變器分開處理，換言之，太陽能板與所處自然環境變化可謂太陽能發電裝置之資訊上游，此輸入類資訊必須即時且完整地收集；在資訊下游端如逆變器、儲電設備等，應依此動態調整組態，最後供給主電網或自用，以期發揮最大功效。又因 Arduino 等開放式物聯網平台具價格低廉，易於改造特殊用途，本研究將以屋頂型太陽能板為研究主軸，建築屋頂不一定為平面，且可能有屋突、鄰棟遮擋等現象，如圖 2 所示為台北市某屋頂不同座向區域以 Revit 模擬出的太陽能照射量 (Insolation)，差異頗大。本研究雖不涉及逆變器，但希望開發一成本低廉監測設備，可大量佈設於屋頂型太陽能發電場，蒐集各板發電相關資訊，以利後續逆變器調整組態，並能讓維護管理人員即時診斷，例如尋找異常太陽能板位置，提升整場發電效益。

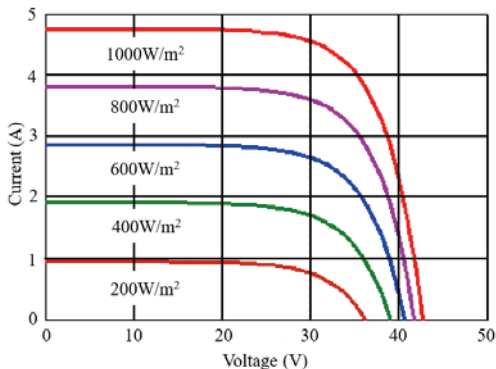


圖 1 不同太陽能照射度下之太陽能板 IV 曲線示意圖 [4]

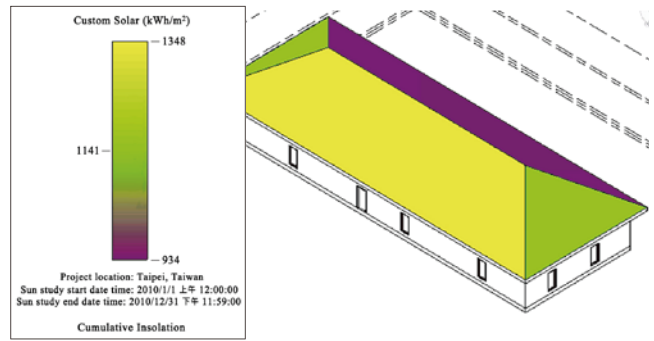


圖 2 台北某處建築屋頂區域之太陽能照射量分佈

## 太陽能發電裝置之相關文獻

簡言之，太陽能發電裝置包含太陽能板、支架、逆變器，與相關配線。其原理為將太陽光能轉成直流電，視太陽能板規格，依當時環境參數 (如溫度)、太陽能照射量等，產生對應直流電壓與電流，以串聯及並聯方式匯整數塊太陽能板，再交由逆變器轉成交流電供後續使用。市面上太陽能發電裝置，感測器常裝設於逆變器中，可量得彙整各板後的電壓、電流等資訊，供管理人員監控。

先前文獻探討感測器直接裝設在每塊太陽能板，以有線 [7] 或無線 [8] 方式將資料收集後回傳，但此類作法不一定適用實際場域 [9]，例如，若在每塊太陽能板附近，佈署感測器所需外部電源，將造成接線過多、維護不易。此外，在建築屋頂場域，可能有屋突、機房，鄰棟建築可能在特定時間造成陰影遮擋等，上述需求需要妥善規劃，方能建構良好的太陽能板監測，提供準確資訊讓後續逆變器可轉換出最多交流電能。

先前學者分別在 2014 年 [10] 和 2017 年 [11] 文章中提到，太陽能發電裝置之監測參數應符合英國國際電工委員會 (International Electrotechnical Commission, IEC) 標準，其定義如表 1 所示。

若單純監測太陽能板，由表 1 可知應量測 Meteorology 類型與 Photovoltaic array 類型之參數，共計有：總照射度、環境溫度、輸出電壓、電流、功率、板模組溫度。至於太陽能板的方位角與傾斜角，在成本考量下若不使用追日系統，一般均採固定值 (不需監測)。方位角如公式 (1)，傾斜角如公式 (2) 所示：

$$\text{方位角} = (\text{一天中照射度峰值時刻 (24 小時制)} - 12) \times 15 + (\text{經度} - 116) \quad (1)$$

傾斜角 = 緯度為 0° ~ 25°時，傾斜角等於緯度  
 緯度為 26° ~ 40°時，傾斜角等於  
 緯度加上 5° ~ 10°  
 緯度為 41° ~ 55°時，傾斜角等於  
 緯度加上 10° ~ 15°  
 緯度為 55°以上時，傾斜角等於  
 緯度加上 15° ~ 20°

(2)

表 1 太陽能發電裝置應監控的即時參數<sup>[10]</sup>

General parameter	Specific parameter	Symbol
Meteorology	<ul style="list-style-type: none"> <li>Total irradiance, in the plane of the array (Direct + Diffused)</li> <li>Ambient temperature in a radiation shield</li> <li>Air speed and direction (optional)</li> </ul>	$G_T$ (DHI DNI)
		$T_{am}$
		$S_W$
Photovoltaic array	<ul style="list-style-type: none"> <li>Output voltage</li> <li>Output current</li> <li>Output power</li> <li>Module temperature</li> <li>Tracker tilt angle (optional)</li> <li>Tracker azimuth angle (optional)</li> </ul>	$V_A$
		$I_A$
		$P_A$
		$T_m$
		$\Phi_T$
		$\Phi_A$
Energy storage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operating voltage</li> <li>Current to storage*</li> <li>Current from storage*</li> <li>Power to storage*</li> <li>Power from storage*</li> </ul>	$V_S$
		$I_{TS}$
		$I_{FS}$
		$P_{TS}$
		$P_{FS}$
Load	<ul style="list-style-type: none"> <li>Load voltage</li> <li>Load current</li> <li>Load power</li> </ul>	$V_L$
		$I_L$
		$P_L$
Utility grid	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utility voltage</li> <li>Current to utility grid*</li> <li>Current from utility grid*</li> <li>Power to utility grid*</li> <li>Power from utility grid*</li> </ul>	$V_u$
		$I_{TU}$
		$I_{FU}$
		$P_{TU}$
		$P_{FU}$
Back-up sources	<ul style="list-style-type: none"> <li>Output voltage</li> <li>Output current</li> <li>Output power</li> </ul>	$V_{BU}$
		$I_{BU}$
		$P_{BU}$

\* A single current or power sensor can be used for the measurement of current or power for directions of both input and output.



圖 3 本研究設計之監測盒（為拍照置於板上方，實際黏著板下方）

存取點 (Wireless Access Point, WAP)，並於監測盒內設 Web Server 可供客戶端下載監測數據，在整場控制中心的電腦掃描指定無線網路服務設定識別碼 (Service Set Identifier, SSID)，用以擷取監測資料。

如此設計，在感測器供電部分，撰寫程式讓監測盒於太陽照射度較差時（如清晨或黃昏），主動替鋰電池充電，既較不影響整體發電量，也減少電池到感測器的供電線路長度。在監測數據傳輸部分，考量現場太陽能板眾多，若每個監測盒扮演客戶端，主動上傳給控制中心電腦，則勢必面臨同時間上傳資料、網路頻寬有限，伺服器端電腦能力可能不足等現象。本研究採取讓監測盒扮演服務端，由控制中心電腦逐一唱名，透過 SSID 連結，要求各監測盒回傳資料，即便有傳輸問題，監測盒內可安裝便宜 SD 卡儲存暫時資料，等待網路通暢再行傳輸。目前單一監測盒（含各感測器）成本可控制在 2,000 元台幣以下，已連續監測數月之久，具一定可靠性。

監測參數部分，大氣相關資訊可在控制中心電腦，由爬蟲程式從交通部中央氣象局網站得知。在太陽照射度部分為因應模組普遍性及成本，改以一般光照度感測器取代並記錄參數值。

## Arduino 式的監測作法

### 監測盒設計

當今太陽能發電場域較無廣泛使用個別板之監測，緣由其一為各個感測器均需供電，雖然感測器耗電量不大，但太陽能發電實際場域配線已眾多，由外部電源拉線替各板感測器供電非明智之舉。第二，各板監測數據，若透過實體網路線回傳整場控制中心電腦，非可行解，原因亦為實際場域配線眾多。若監測數據以無線網路傳輸，則必須指定究竟各板應主動傳送數據，或應被動等待控制中心要求傳回。本研究提出一搭載 Arduino 單晶片之監測盒，如圖 3 所示，為顧及安裝及維護的方便性及監測設備的擴展性，提出透過鋰電池儲存感測器所需電能，利用 Wi-Fi 模組建立無線

### Arduino 與感測器硬體規劃

本研究以 Arduino 系統架構為基礎，搭配市售及客製化感測器，以提高收集資料的品質，在資料傳輸與備份方面分別以 Wi-Fi 模組及 Micro SD 卡達成，其規格及設計考量，如下：

#### 硬體規格

硬體規格如表 2 所示，其中在電壓感測模組部份透過客製化方式，將原先模組量測上限 25 伏特之表面貼焊零件 (Surface Mount Device, SMD) 電阻，改以分壓比例 16 倍，雖電壓解析度因此從 0.0024 伏特變大為 0.0078 伏特，但此解析度變化對監測電壓範圍過小，可謂無影響。



表 2 硬體規格表

裝置	詳細資料
電子防水盒	所有裝置會用電子防水盒裝，電線至盒內的鑽孔處以使用迫緊接頭方式，達到裝置防水
Arduino 開發板	Arduino MEGA 2560
Wi-Fi 模組	ESP-07S 晶片，此模組可利用 IPX 轉 SMA 方式外接天線，以達到更好的傳輸距離（考量實際場域無線傳輸量大，必須將天線外接延長）
Micro SD 卡模組	74ABT125PW 晶片，此模組可支援 Micro SD 及 Micro SDHC，最大容量分別為 2GB 及 32GB，建議用市面上購置最便宜卡即可，因暫存 Log 僅文數字、通常不大
時鐘模組	DS3231 晶片，此模組可提供即時時鐘產生秒、分、時、星期、日期、月和年計時，並提供有效期至 2100 年的閏年補償
照度感測模組	BH1750FVI 晶片，此模組經改寫，其感測範圍為 1~121556 勒克斯 (Lux)
溫度感測模組	DS18B20 晶片，感測範圍為 -55~125°C，可防水
電流感測模組	ACS712 晶片，此模組檢測範圍寬 DC $\pm 0 \sim 20A$ 、檢測解析度為 100 mV/A
電壓感測模組	此模組利用串聯分壓後，利用 Arduino MEGA 2560 的 10 bits 類比數位轉換器 (Analog-to-Digital Converter, ADC) 解析，此模組檢測範圍 DC 0~80V
鋰電池	採用 2 顆 21700 鋰電池以串聯方式相接，每顆電池容量為 4,000 mAh
降壓模組	XL7015 晶片，此模組支援 DC 20~80V 電壓降壓
電池過充 / 過放模組	HY2120-CB 晶片，此模組支援兩串聯電池過充、過放及短路機制

## 硬體設計

因應鋰電池供電與充電功能，分別以三部份說明：

(1) 監測模組：此部分主要控制各感測器與電池充 / 放電時機，監測模組包含表 2 中的電壓、電流、Micro SD 卡、時鐘、照度與溫度，而充 / 放電時機為繼電器模組所控制；(2) 電池充 / 放電模組：此部分主要控制太陽能

板至鋰電池，及 Arduino 開發板之降壓及充 / 放電，其中電池充 / 放電部分需經過充 / 放電板控制，以此延長鋰電池壽命；(3) 輸入 / 出控制模組：此部分主要控制太陽能板板端輸入至電池、電壓感測模組、電流感測模組與輸出。

## 軟體設計

本研究需要撰寫軟體部分，分別位於 Arduino 內、Wi-Fi 模組內，及控制中心的電腦內，說明如下：

### Arduino 程式

Arduino 程式主要為控制時鐘模組、日照感測模組、溫度感測模組、電流感測模組、電壓感測模組及 Micro SD 卡模組，包含資料讀寫，並控制繼電器，其程式流程圖如圖 4 所示。

其中繼電器主要控制電路中電池充 / 放電時機，監測盒以電流大小為基準，當電流小於 2 安培為充電（此參數可調整），相反則為放電狀態。此設計為因應台灣夏季尖峰產電時段，鋰電池在不充電情況下最少工作時長應為 6 小時。此外，因市售集中型或串列型逆變器工作電流大多為 4 安培，而市售太陽能板大多至少兩並聯後，再連接於逆變器，因此本研究假設 2 安培以下，所發的電完全供應鋰電池充電，應不致於損失電場利益。

此外，監測盒所使用照度感測模組，其原始預設最大值為 65535 勒克斯，而在台灣中午時刻，光照度最大值可能約 12 萬勒克斯。經參考 BH1750FVI 感測器規格表<sup>[12,13]</sup>，利用積體匯流排電路 (Inter-Integrated Circuit, I2C) 設定其測量精度 (Measurement accuracy) 為 1.2、測量時間暫存器 (Measurement time register, Mtime) 為 31，及測量模式為單次高精度測量，其解算公式如公式

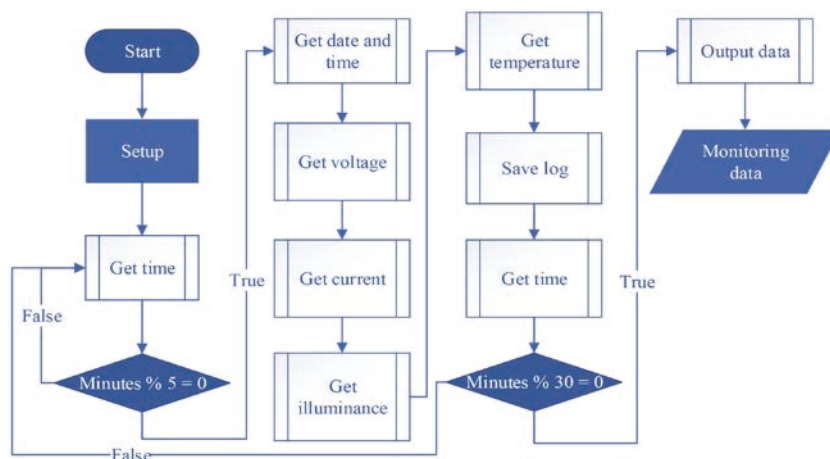


圖 4 Arduino 程式流程圖

(3) 所示，經調整後，測量最大值約為 121,556 勒克斯，達到本研究日常照度合理範圍。

$$\begin{aligned} \text{Illuminance per 1 count (勒克斯 / 次數)} \\ = 1 / 1.2 \times (69 / \text{Mtreg}) \end{aligned} \quad (3)$$

### Wi-Fi 模組程式

資料傳輸方面採用 Wi-Fi 傳輸，利用 Wi-Fi 模組建立無線存取點，內建網頁伺服器，供外界擷取資料，其程式流程圖如圖 5 所示。

### 監測資料蒐集程式

本程式以 Python 撰寫，利用 pywifi 程式庫控制 IPC Wi-Fi 連線，並擷取該 Wi-Fi 網域中的指定網站資料，以達到資料收集功能，其程式流程圖如圖 6 所示。

## 測試與量測資料分析

### 受測環境

本研究所用之太陽能板為聯合再生能源所生產之 D7M320H7A，是 310 W ~ 335 W 的單晶太陽能模組，尺寸為 1.67 m × 0.99 m，開路電壓 40.20V、短路電流

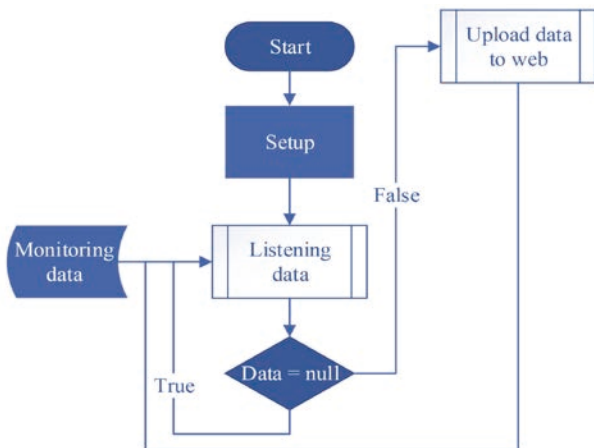


圖 5 Wi-Fi 模組程式流程圖

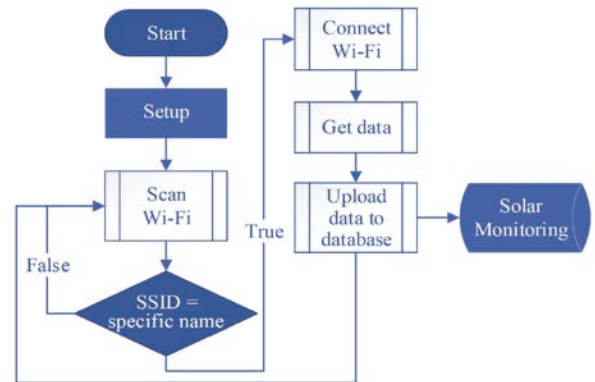


圖 6 監測資料蒐集程式流程圖

10.14A，此兩參數分別形成 IV 曲線的 x 及 y 截距。此模組最大輸出功率 (Pmax) 為 320 W，具 19.3% 的模組效率。

將多組太陽能板置於桃園區某大樓屋頂，以傾角朝向南方並且傾斜 10° 擺放，因該區域之太陽照射位置停留在南方時間較長，且太陽能板以傾角擺放可吸收更長時間之太陽能。

### 結果分析

本研究設計之監測盒可從個別太陽能板蒐集數據，在 2020 年 12 月 1 日至 12 月 7 日之電壓電流如圖 7 所示。此段時間最大發電量在上午 10 點到下午 2 點之間，若以此時段計算，單一板平均 4 小時產生 1 度電，且夏季時段應更優。

從圖 7 之 2020 年 12 月 6 日的電壓電流圖得知，電壓在早上 7 點至下午 5 點達到工作電壓，期間電流有劇烈變化，因電流會隨太陽照射度影響，如雲層厚度、空氣品質等環境因素，如圖 8 所示，太陽能板工作電壓相對穩定，因此其發電功率隨電流變化，如圖 9 所示。

本研究另以 BIM 將屋頂 3D 模型，搭配太陽能板幾何與擺放位置座標，於 Unity 遊戲引擎呈現，如圖 10 所

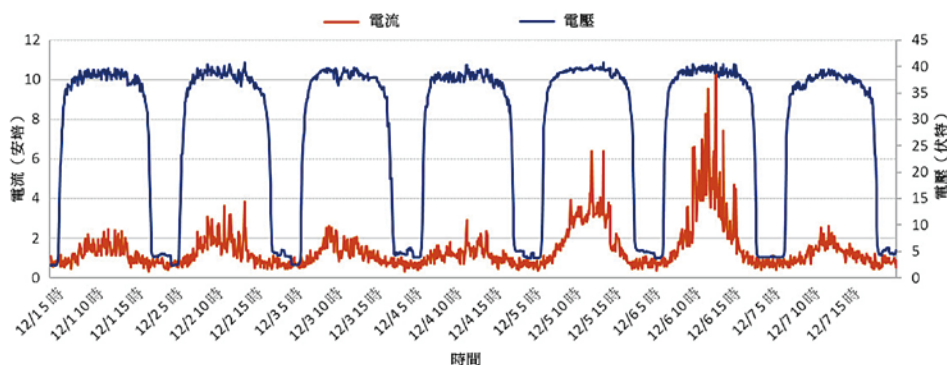


圖 7 單一太陽能板電壓、電流圖



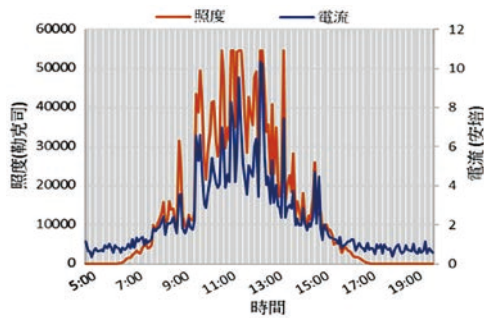


圖 8 12月6日照強度與電流關係圖

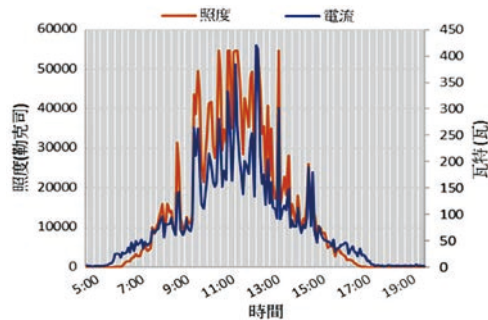


圖 9 12月6日照強度與功率關係圖

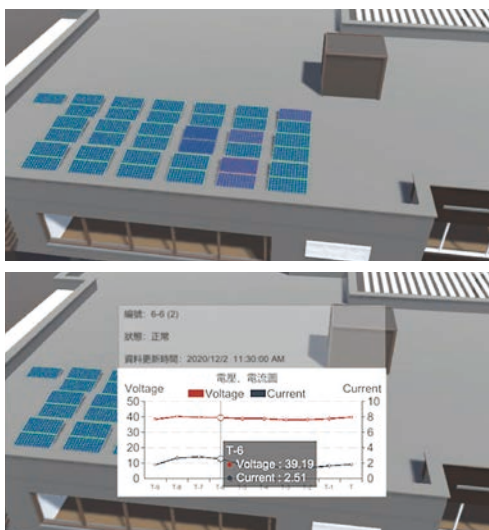


圖 10 以 BIM 呈現屋頂與太陽能板運作

示。因監測盒將源源不絕產生發電數據，除了儲存到資料庫供後續分析，本研究另以 Unity 動態呈現各板發電概況，讓維運人員更加便利，第一時間瞭解各板發電參數。

## 結論與建議

本研究所提出之監測盒與作法可克服當今太陽能發電裝置之監測難處，且價格低廉，提出下列三點建議：

1. 透過更快速尋找與調整到 MPPT 點，以期提升發電量：因各板當下狀況不盡相同，若各板各自有監測盒，透過文獻上許多 MPPT 追蹤演算法<sup>[14]</sup>，應能更快速調整電壓與電流，達到最大發電量。

2. 以 Jetson Nano 取代控制中心的電腦：若以 Jetson Nano 此低廉之人工智慧電腦，取代一般電腦來匯整與分析監測資訊，應能利用深度學習法，即時預測太陽能板未來狀況，及早因應。
3. 電壓及電流感測模組可以利用運算放大器 (Operational Amplifier, OPA) 及分流電阻 (Shunt resistor) 取代，以此增加檢測範圍及精度。

## 誌謝

感謝財團法人資訊工業策進會合作研究計畫：(109) 資轉約字第 0591 號、科技部計畫 MOST108-2221-E-008-009-MY3，與教育部計畫 PEE1090723 的經費支持。另感謝桃園市政府消防局在研究測試部分協助。

## 參考文獻

1. 經濟部能源局 (2020)。能源統計月報與手冊。https://is.gd/yqX2Nt and https://is.gd/qfifisM (2021/1/1)
2. 經濟部 (2020)。能源轉型白皮書。https://is.gd/fu07gV (2021/1/1)
3. Sing, WM., Nichol, JE., Liu, ZZ., and Lu, L. (2015). *A remote sensing study of solar energy supply in cloud-prone areas of Hong Kong*. Project No. 2013.A6.024.13A, Department of Land Surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China.
4. Target Solar (2020). *High efficiency solar panels*. https://www.target-solar.com/zh-tw/productDetails.asp?mid=127 (2021/1/1)
5. IEA (2020). *Solar PV power generation in the sustainable development scenario*. https://reurl.cc/lD3mzE (2021/1/1)
6. Taipower (2020). *Overview of the development of renewable energy*. https://www.taipower.com.tw/en/page.aspx?mid=4495 (2021/1/1)
7. Krishna, M.S.R., Dinesh, K., and Shanbog, N.S. (2019). Low cost remote monitoring of solar plant through RS485 communication. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(9), pp. 3034-3037.
8. Parikh, A., Pathan, F., Rathod, B., and Shah, S. (2015). Solar panel condition monitoring system based on wireless sensor network. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 4(12), pp. 4320-4324.
9. Papageorgas, P., Piromalis, D., Antonakoglou, K., Vokas, G., Tseles, D., and Arvanitis, K.G. (2013). Smart solar panels: In-situ monitoring of photovoltaic panels based on wired and wireless sensor networks. *Energy Procedia*, 36, pp. 535-545.
10. Fuentes, M., Vivar, M., Burgos, J.M., Aguilera, J., and Vacas, J.A. (2014). Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for PV system monitoring using Arduino that complies with IEC standards. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 130, pp. 529-543.
11. Madeti, S.R. and Singh, S.N. (2017). Monitoring system for photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp. 1180-1207.
12. ROHM Semiconductor (2011). *Digital 16bit serial output type ambient light sensor IC*. https://reurl.cc/GrM8Yv (2021/1/1)
13. Amajama, J. (2016). Effect of solar illuminance (or intensity) on solar (photovoltaic) cell's output and the use of converging lenses and X or Gamma rays to enhance output performance. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(4), pp. 284-289.
14. Elgendy, M.A., Zahawi, B., and Atkinson, D.J. (2011). Assessment of perturb and observe MPPT algorithm implementation techniques for PV pumping applications. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 3(1), pp. 21-33.



# 結合空間推論與天候資料佈設 坡地崩塌 預警系統感測器 （邊坡種子）之初探

許瑋庭／國立成功大學測量與空間資訊學系 研究助理

郭佩棻／國立成功大學測量與空間資訊學系 助理教授

陳 佑／國立成功大學交通管理科學系 研究助理

張大緯／國立成功大學資訊工程系 教授

李威勳／國立成功大學交通管理科學系 教授

降雨型邊坡崩塌為全球主要災害之一。極端氣候、頻繁天災與人為不當開發，如賀伯颱風及 921 大地震，導致邊坡災害頻傳，而設置相關預警系統逐漸受到各界重視。目前預警系統多以大範圍地質概況、短時間強降雨及長時間累積雨量建立門檻值。然而，超過 60% 的邊坡災害在低於降雨門檻值下發生，難以達到有效預警功能。本研究先使用空間推論技術及鄰近雨量觀測站資料，推估研究區內雨量大小。再以 GIS 系統將降雨高風險區，結合敏感地質與邊坡災害清單，決定實驗區域。最後以場址特性與邊坡位移預測值，將感測器及通訊結點分群後最佳配置以預測風險。後續可透過邊坡種子蒐集實際邊坡崩塌位移量，並套疊交通路網與社經資料（如人口與老年比）評估影響範圍與族群，提供地方政府疏散資訊。

關鍵詞：邊坡種子、空間推論、克利金法、邊坡崩塌

## 前言

在世界各國中，與颱風、豪雨及洪水相關災害（如降雨型邊坡崩塌），佔全部災害類型之 74% [1]。其中，全球因自然災害死亡人數中，有 17% 因邊坡崩落造成。從 1993 年到 2002 年，邊坡崩塌災害每年導致約 940 人死亡 [2]。另外，超過一半崩塌事件發生在極端降雨地區 [3]；也因極端降雨頻度增加，導致邊坡崩塌次數與規模也隨之增加 [4]，亞洲尤為好發地區。因此，世界各國對於此災害的預警及應變措施之研究實有其必要性及迫切性。目前研究主題包含：對崩塌災害事件的定義、崩塌災害的相關因子、災害風險與即時預警系統及其相關規範等。

國際間，對於大型災害的定義依據國際緊急災害資料庫（Emergency Events Database, EM-DAT）定為：

(1) 超過 10 人死亡，(2) 超過 100 人受影響，(3) 政府發布緊急狀態，(4) 政府呼籲國際援助，滿足上述任一點，即屬重大災害事件。如 2011 年 1 月 11 日及 12 日在巴西里約熱內盧，因鋒面過境造成當地 24 小時累積雨量高達 260 毫米，崩塌造成大量土石掩埋居民、房屋與道路，共 884 人死亡。世界各國對於崩塌災害風險則依其當地之氣候條件、地理位置與地質結構，有各自之規則和衡量標準。如香港、英國以及澳大利亞對於已開發地區之可容忍坡地災害風險為：個人年死亡機率为  $10^{-4}$ ，未開發地區則為  $10^{-5}$  [5]。而各級政府針對高、中、低風險之崩塌影響範圍，決定其相應之建築或土地利用的限制條件，形成風險分級制度以管理坡地開發。

在國內部分，因台灣位於環太平洋地震帶，受季



風亞洲氣候影響，複雜多變的地形、東北和西南的迎風面及多雨環境都是造成邊坡位移的自然誘因。而人為因素，如森林濫墾濫伐、山坡地不當開發與山區道路開闢等皆形成大量鬆散土石，為引發崩塌災害發生的前置因子（predisposing factor）。

綜上所述，崩塌災害的發生在台灣是主要的天然災害；崩塌經常突然爆發、歷時短且來勢兇猛、流動速度快、泥砂濃度高、衝擊力大，不僅對環境產生破壞，也嚴重危害人類生命財產之安全。在崩塌造成的災害中，公路橋樑常因遭到崩塌災害的影響，使路面坍塌、地基掏空，運輸系統及往來通行的人車遭受損失及威脅。以新中橫公路為例<sup>[6]</sup>，該公路為政府十二項重大建設之一。此公路於開挖期間與後續颱風侵襲下，公路沿線多處邊坡坍塌、路面裂隙、路基流失。若能設置邊坡監測系統，在最少成本下取得最大即時資訊量，對於此類自然災害，可發展即時的應對措施。

然而，目前多數邊坡預警系統的門檻值建立多是基於大範圍區域的地質概況、短時間的降雨強度（3 小時）以及長時間的累積雨量（24 小時）。然而，有超過 60% 的邊坡災害發生在低於雨量預警標準時；只使用雨量監測作為邊坡災害預測的單一影響因子仍不夠完善<sup>[6]</sup>。因此，本研究配合業務單位初步規劃選地，將以中寮隧道為實驗區域，設置邊坡形變感測器，後續可結合雨量及感應器位移監測資料，更準確預測邊坡崩塌風險。

本研究流程有三：(1) 整合鄰近中央氣象局觀測站之降雨資料，以空間推論方法，如反距離權重法（Inverse Distance Weighting, IDW）、平滑曲面法（Spline）或克利金法（Kriging）等，預測研究區域內降雨風險區域。(2) 再以地理資訊系統（Geographic Information System, GIS），匯入遙測影像或數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）資料，評估區內地質、微觀地形，輔以崩塌災害歷史紀錄，建立敏感性崩塌目錄。(3) 依實驗區域特性（如面積、植被與形狀等），於通訊範圍內佈設規劃邊坡種子與節點。

本研究成果可依此崩塌目錄設置邊坡種子與崩塌災害預測系統，並套疊路網圖層、結合交通系統之輔助，使此預警、救災系統更加全面及完善，如圖 1 所示。災難發生前，利用即時監控高敏感性崩塌回傳的資料，結合其他相關資料，如即時降雨量或未來預估雨量等，做邊坡崩塌風險的分析。視覺化的災害風險分析使得高風險崩塌好發地區更容易辨識，政府單位



圖 1 崩塌預警與救災管理需求

或救援機構等可依事先預測災害將發生時所影響的範圍，擬定疏散策略。當災害發生後則可以救災管理系統，派遣與並引導救災車輛及相關機具，以最佳路徑規劃優先通行以加速救災過程，掌握救災狀態以控制災情。GIS 系統除可視覺展示該邊坡災害影響範圍，亦可將邊坡清單與道路層級、交通號誌、居住人口等資訊疊圖分析，對受影響的災區道路進行暫時性的封閉或管制、評估優先救援或疏散區域，並協助規劃替代道路或防、救災路線。可協助預警模型將災前與災後所需資訊有效整合，提供大眾及政府單位一個即時、視覺化的引導介面。

## 崩塌災害相關因子，預警系統及感測器佈設應用

土石流與邊坡崩塌的預警系統和防災技術發展備受重視。許多學者研發以精確儀器，如遙感探測、空載光達或航空攝影測量，或以 GIS 軟體、結合數學或物理模型協助，建立更精確之邊坡風險模型。實務單位亦將蒐集資訊視覺化後增加其易讀性，使得災前預警疏散以及災後迅速救災的目的能夠更加有效的被執行。

早期的崩塌災害預警系統可以溯及 1977 年香港土力工程處針對 1972 年至 1976 間多人死亡之崩塌災難事件建立之系統<sup>[6]</sup>。該系統將人口數、人口密度、氣候環境、降雨量與地質特徵等因素納入建置考量。其他國家如美國、加拿大、巴西、哥倫比亞、印尼、孟加拉、台灣與義大利等，亦設有崩塌預警系統。各國採用的考量指標不一，細節及數值詳<sup>[6]</sup>。目前台灣之崩塌預警相關研究，多使用降雨量門檻值作為建立預測崩塌災害發生的風險指標，在豪雨及颱風期間為相關單位進行疏散的參考基準<sup>[6]</sup>。以下為崩塌風險模型、相關因子及感測器配置相關文獻。

## 崩塌風險與預警模型

崩塌風險地圖可分為定性法（qualitative approach）

以及定量法 (quantitative approach) 兩種<sup>[7]</sup>。定性法常以專家意見作為區內地質及地貌的判斷依據，適用於小範圍研究。另可結合崩塌影響因子排序或權重分析，作為半定量方法。至於定量法，則可以分為：確定性定量方法和統計方法。前者需以區內詳細崩塌相關數據，如地質材料係數或安全係數等，決定邊坡穩定性。後者結合崩塌環境因素與崩塌歷史紀錄，以雙變量或多元統計方法建立模型。近來亦有其他學者使用機器學習方法，輸入大量崩塌樣本進行多次訓練<sup>[8]</sup>。

除上述數值資料外，亦可利用衛星影像、航照、LIDAR 或現地調查，分析土地利用或自然條件對邊坡災害的影響。如 [9] 使用 ETM+、Aster 及 SPOT 衛星影像，結合 ISO data 非監督式分類以及三時期航照對宜蘭縣大同鄉邊坡進行土地利用類型分類與變遷分析。或以 worldview-2 以及林務局彩色航照，判釋台 9 線 104.75 k 至 130.50 k 處之崩塌敏感性類型<sup>[10]</sup>。其判斷標準主要依據影像特徵表現，如：有明顯反曲點、滑坡體、河道方向突然變化、向前侵蝕、人為開挖。崩塌組成區可分為低、中、高危險的敏感性滑坡。

此外，有不少研究分析影響崩塌發生的因子，如 Yang 等人<sup>[11]</sup> 以降雨、土壤濕度和孔隙壓力（土壤吸

力）等因素，建立一多參數門檻值模型，以預測因降雨誘發的邊坡活動。其他類似研究則將相關因子區分為：內在潛因及外在誘因。潛因為邊坡本身的條件，例如地質、地形、環境等要素；誘因則為誘發邊坡破壞的外在因素，包含降雨、地震、人為擾動等。文獻中影響因子最多可達 64 種，如坡度、岩性、高程、植被密度、平均濕度、斷層距離、河道距離等<sup>[7,9,10]</sup>。然而，許多因子難以取得、量化不易，或因因子間具有高相關性，因此影響因子數量並非越多越好。李承玫<sup>[9]</sup> 以容忍值 (tolerance, TOL) 大於 0.4，與變異膨脹係數 (variance inflation factor, VIF) 小於 2 作為崩塌影響因子共線性分析的參考標準。換言之，變數選擇原則以可被解釋比例 (TOL) 越大，共線性越低 (VIF) 尤佳。另外，T-test 或 ROC 曲線也可作為共線性的篩選方式<sup>[9]</sup>。

Lee 等人<sup>[10]</sup> 提出以 3 小時平均降雨強度 ( $I_3$ ) 與 24 小時累積雨量 ( $R_{24}$ ) 降雨指標以建立崩塌敏感度模型，作為淺層崩塌的早期預警機制 (圖 2)<sup>[10]</sup>。其中， $I_3 - R_{24}$  降雨指標代表降雨情形，如降雨強度、持續時間和累積雨量，並蒐集過去的崩塌案例相互比較，作為該研究區域之閾值。Lee 也發現：在台灣，3 小時平均降雨強度 ( $I_3$ ) 以及 24 小時累積雨量 ( $R_{24}$ ) 為引起

		降雨門檻值 (T)							
		T <sub>90%</sub>		T <sub>60%</sub>		T <sub>30%</sub>		T <sub>15%</sub>	
		$I_3$	$R_{24}$	$I_3$	$R_{24}$	$I_3$	$R_{24}$	$I_3$	$R_{24}$
崩塌 敏感性	高敏感性	70 (68)	750 (745)	55 (56)	600 (610)	40 (40)	450 (438)	30 (27)	300 (291)
	中敏感性	60 (61)	650 (657)	45 (46)	500 (498)	35 (34)	350 (368)	20 (22)	250 (236)
	低敏感性	50 (50)	550 (539)	40 (40)	450 (430)	30 (29)	300 (316)	15 (15)	200 (167)

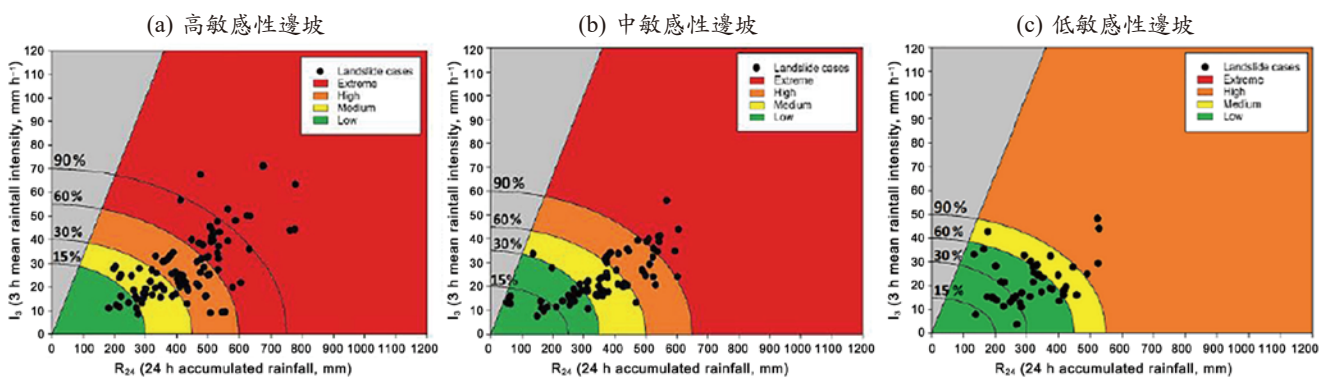


圖 2 崩塌清單依其敏感性 (高、中、低)、降雨強度 ( $I_3$ ) 及累積雨量 ( $R_{24}$ ) 設有不同閾值，使不同敏感性的崩塌有其各自對應的預警發布標準<sup>[10]</sup>。



崩塌最重要因子。以坡度單位，將崩塌區分為高、中、低敏感性三個等級。透過降雨指標以及崩塌敏感性的門檻值確定，即形成一個危險係數的矩陣，用以協助崩塌預警模型之建立，不同敏感性的崩塌設有不同的門檻值，可減少災害預警上高估或低估的情況產生。在崩塌預警模型的驗證上，多半以建立權矩陣計算得分的方式，分別計算研究成果之命中率（POD）、錯誤率（POFD）以及錯誤偵測率（POFA）進行驗證<sup>[12]</sup>。

此外，Chung 與 Fabbri<sup>[13]</sup> 提出速率曲線（SRC）和預測速率曲線（PRC），並利用曲線下方的面積（AUC）作為描述模型的預測能力，較高的 AUC 值表示較好的崩塌預測模型。AUC 值介於 0 至 1 之間。若 AUC 值為 0.5，表示該模型預測崩塌的發生的能力沒有比隨機方法更佳。該研究成果中，訓練和驗證的 AUC 數值分別為 0.745 和 0.691，表示成果皆可接受。該研究使用 2016 年的 3 次災難性淺層崩塌和 2 次歷史颱風的崩塌進行驗證。以歷史資料檢驗後，該模型有約九成的命中率，且有偵錯的能力，表示該預警模型可有效地用於崩塌預警<sup>[12]</sup>。

Wei 等人<sup>[8]</sup> 使用多層級評估方式，納入環境地質圖、岩體評估系統、遙測技術以及空載光達等，建立崩塌風險清單。這些技術可協助判釋地貌變化。該研究針對台九線之自然坡以及人造斜坡為主要監測項目。Wei 等以遙測技術大範圍地掃描以判釋過去、現在等不同時期影像，以定義懸崖、陡峭山坡之崩塌位置；而空載光達可產製出高解析度的數值高程模型（DEM）或數值地表模型（Digital Surface Model, DSM），並以 GIS 軟體建立坡度、坡向、等高線、輪廓、山頂陰影圖等微觀地貌<sup>[8]</sup>。該研究將不同規模的災害記錄、遙測影像地形判釋以及地貌特徵有效的整合，辨識出該條公路上的危險路段，並分析高解析度地 DTM 產生之微觀地形，協助評估崩塌類型和規模，經由長期驗證，該模型預測高度崩塌敏感之準確性高達 91%。

## 感測器與邊坡監測系統

崩塌風險模型與警告系統的準確性有賴於研究區內即時資訊量測、取得與更新，使邊坡狀態能及時回傳。台灣邊坡防治工程常用傾斜管、水位觀測井、傾度盤等監測系統，以掌握崩塌潛勢區的位移深度、速率、規模、地下水變化、結構物變化及路基下陷資料，做為安全與否、檢驗邊坡治理成效及進行水土保持工法的判斷依據<sup>[14]</sup>。

影響崩塌發生的因子眾多，然而監測系統基本應有檢測崩塌環境突然變化的能力，包含溫度、水流量或運動速度等。傳統常以傾斜計、水位計等量測儀器，進行地表位移測量的監測方式，安裝在地勢陡峭的位置，缺點為人力難以進入安裝及大範圍維護。另外，崩塌災害發生及破壞範圍較大，使用傳統方式或有線網路設備監測成本較高，且有線網路設備可能受自然現象破壞斷線<sup>[15]</sup>。另外，遙感探測方法，如衛星影像或光達之高解析度影像，可用於監測崩塌變遷、評估觸發災害原因與恢復過程，然而高設備成本、安裝需求精度高及校正費時亦造成應用上的限制<sup>[16]</sup>。

無線感測器網絡（wireless sensor network, WSN）監測方式成本低，適用於大面積、惡劣環境的研究區，惟需要注意功率消耗、長期監控能源損耗成本稍高之缺點。單一感測器節點對資料處理以及儲存能力的有限，多使用數據壓縮、低耗能架構、取樣頻率調整等為解決方案。WSN 常以多個感測器節點、一個或多個基站及一組終端伺服器組成，並根據特定拓撲類型運作（圖 3）。Giorgetti 等<sup>[16]</sup> 及 Thuy 等<sup>[17]</sup> 以 WSN 建立邊坡監測預警系統（monitoring and early warning system, MEWS）<sup>[15,18]</sup>。感測器可為加速度計、GPS 設備、土壤濕度計、地震檢波器、張力計、傾斜計、雨量計等<sup>[15,18]</sup>。感測器節點將收集監測數據，使用多次跳頻傳輸技術（multihopping transmission），擴展網絡範圍；再將傳送數據至其他節點，最終到達基站。基站將蒐集並處理由感測器節點傳輸而來的數據，將處理後數據結合無線通訊模組（long-term evolution, LTE）傳送至終端伺服器。但 WSN 在資料傳輸距離有一定的限制，需將感測器分群。黃俊維等人<sup>[19]</sup> 將比較使用 K-means 及基因演算法分群並比較何者為準確性較佳，結果基因演算法限制每個分群感測器數量相同，讓接收器的分配較平均；K-means 雖分群不均使接收器耗電量較多；但結果尚可接受。另外，感測器放置位置若位於位移最大處，可達預測準確性最高。

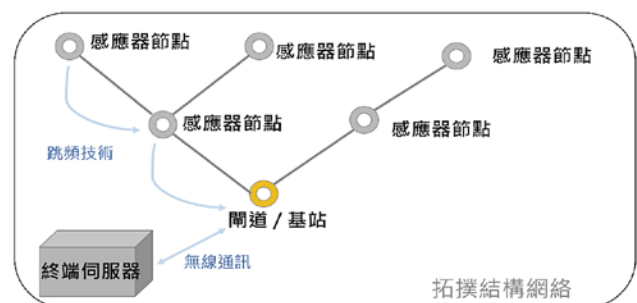


圖 3 無線感測器網絡系統

感測器網絡拓撲型態多樣，相關研究多依照佈設範圍、邊坡特性、氣候水文、感測器性能、監測資料需求等採用其合適的拓撲構型。Jeong 等人<sup>[15]</sup> 在於韓國首爾市的崩塌監測系統中，以崩塌敏感性、樹木密度及地表視域綜合分析，產生最佳網絡構型。Thuy 等人<sup>[17]</sup> 結合星型與樹型幾何拓撲應用於降雨型邊坡崩塌監測。該研究將星形幾何結構用於基站周邊的感測器，其餘感測器則採樹形拓撲，依邊坡情況不同改變其運作模式。當邊坡穩定、天氣良好時，使用樹形拓撲；邊坡安全係數（FOS）小於 1，則運行星形拓撲，以提高採樣率及傳輸速率。另外，感測器節點僅在有限的時間內處於活動狀態，一旦邊坡安全係數再度穩定，即進入空閒模式以節省能量、延長網絡壽命。該研究結果顯示，樹形結合星形拓撲的性能優於僅使用二者其中之一，其配置方式具靈活性，可節省能源消耗。

綜上，雨量和崩塌敏感性為崩塌災害預測模型常用因子。崩塌風險可由歷史災害紀錄、航拍影像與地質資料等建立。其中，降雨強度及降雨時間更是崩塌災害的主要關鍵。因此，本研究將使用 3 小時（高降雨強度）及 24 小時（長降雨時間）之雨量資料，配合地質地貌資料與社會經濟資料庫建立崩塌預警模型。並以 GIS 技術規畫設置邊坡形變感測器。後續可有效蒐集地表形變數據及即時雨量觀測數據，為崩塌模型門檻值提供預警依據。

## 研究資料與方法

本研究方法概分為三：(1) 利用鄰近雨量觀測站協助取得長期監控雨量資料，針對累積雨量及短時間強降雨設立不同的邊坡風險門檻值，建立邊坡風險危險圖。(2) 以遙測影像或 GIS 資料，評估研究區域內之地質狀態、微觀地形，輔以崩塌災害歷史紀錄，建立邊坡風險清單。(3) 依研究面積與前述資料於通訊程度良好的位置埋設邊坡形變感測器，以利後續長期監測中寮隧道之邊坡位移情形。這些不同的門檻值和警報級別可以為地方政府提供決定是否疏散居民的關鍵信息，以達到災前預警之目的。

本研究之流程規劃與所需資料概述如下（圖 4）。

### 內插法判斷形變及雨量資料

本研究之崩塌預警系統主要由雨量以及形變量作為門檻值之設定依據。雨量資料來源主要來自中寮隧

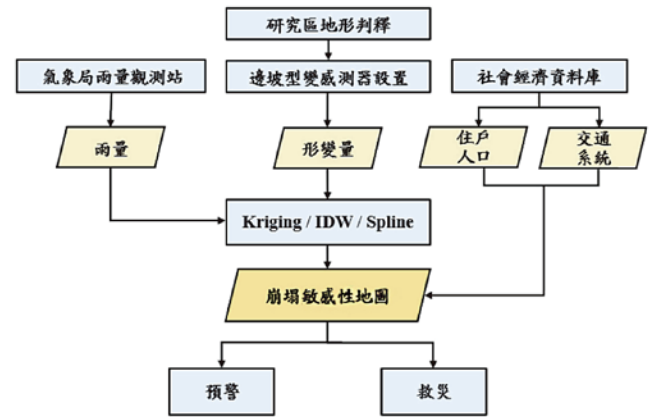


圖 4 研究流程圖

道鄰近之氣象局雨量觀測站，3 小時的強降雨以及 24 小時累積雨量台灣為引起崩塌的重要因子<sup>[10]</sup>。本研究將蒐集鄰近雨量觀測站之雨量資料，以空間統計的方式，將所得數據內插為一連續面之雨量分布情形。

### 航遙測技術判釋地貌

航、遙測技術廣泛用於大範圍的地貌判釋，藉由高空大範圍的取像，可快速獲得人們無法涉足之處的資訊。比較不同時期的影像，可概略了解研究區域內的地貌變遷情形，以供過去、現在、未來進行相互對照。另外，崩塌、落石等災害好發於特定區域，亦即歷史事件發生處仍有高機率再度發生相同災害<sup>[10]</sup>。航遙測影像的蒐集可以協助判釋明顯為敏感性崩塌之位置及分布，協助建立初步的崩塌目錄，並且依照多種不同影像來源，如不同解析度或不同衛星（SPOT-5 或 Landsat）的影像等，對研究區進行檢視，評估不同崩塌之敏感性程度。

### 產生 DEM 並設置邊坡感測器

前項航遙測技術除了可取的大範圍影像協助研究區域判釋外，在此階段則會使用高解析度的無人載具取得研究區內影像，並利用 GIS 軟體協助建立數值高程模型（DEM），在建立 DEM 的過程中會產生如等高線、坡度、坡向、陰影圖等微觀地貌，同時也可將地表逕流等潛在因子一併納入考量分析。另外，邊坡感測器的設置位置及數量由上述所蒐集之航遙測影像進一步分析，考量邊坡感測器能夠發送訊號的能力及其穩定性，地表土壤型態、林蔭遮蔽、透空及通視程度皆為感測器之位置設置要點。

崩塌監測主要目的為保護居民、重要結構物以及交通建設。儘管監測系統可以覆蓋大範圍發生崩塌的區



域，但部分崩塌區域人跡罕至、地勢危險，系統安裝與維護困難。因此，崩塌監測應以邊坡災害會影響到人類生命財產安全為主，無需在所有高風險崩塌區域佈設監測系統。未來本研究在規劃感測系統佈設時，將套疊社會經濟資料，配合現地調查、居民訪談成果，決定涵蓋範圍，使崩塌監測系統發揮其最大效用。

未來當邊坡種子安裝正式啟用後，形變量數據可由邊坡感測系統回傳，感測器所在經緯度、時間及位移情形。透過回傳的位移資訊中可分析  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三個方向的形變分量數據，將所得地表形變資料內插成一連續面。此長期形變監測成果可進行中寮隧道之崩塌敏感性評估，並分析崩塌位移情形是否隨時間增加而使地貌結構更加鬆散。

而在雨量空間推估部分，本研究使用 ArcGIS 軟體中的反距離權重法 (IDW)、平滑曲面法 (Spline) 以及克利金法 (Kriging)。這些不同的內插方式各有其適用之情形，可協助建立研究區內雨量與形變的分布，預測出未設有邊坡感測器位置的形變量或降雨量。以下為三種內插方式。

### 反距離權重法 (IDW)

反距離權重法將針對鄰近已知點 (雨量觀測站或邊坡感測器) 的觀測數據，對研究區域內的未知數值進行估計。而該未知數值受鄰近已知點數值之影響程度與距離成反比，即未知點與已知點的距離越遠，受影響程度越小。其公式如 (1) 所示：

$$z(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N w(d_i) z_i}{\sum_{i=1}^N w(d_i)} \quad (1)$$

其中， $z(x, y)$  為未知點數值；

$w(d_i)$  為權重矩陣，權重由  $d_i$  之反比決定；

$z_i$  為第  $i$  個已知點之數值；

$d_i$  為  $i$  點到未知點之間的距離。

### 平滑曲面法 (Spline)

平滑曲面法之特色為先選擇樣本點，利用多項式進行內插，以產生平滑曲面。相較一般多使用單一多項式進行內插，此法使用多個多項式進行擬和，較不受到低次多項式的限制影響，同時，因內插估計產生的誤差也減小。其公式如 (2) 所示：

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (2)$$

其中， $S(x, y)$  為未知點數值；

$N$  為點數；

$\lambda_j$  為方程式解之係數；

$r_j$  為  $(x, y)$  到點第  $j$  點之距離。

$T(x, y)$  與  $R(r_j)$  為曲面函數。

### 克利金法 (Kriging)

克利金法以空間統計為基礎之推估方式，其推估式為最佳線性不偏估計量 (best linear unbiased estimates)。此推估值與真值同，且具最小推估變異數。在一般統計模型中，樣本數據是隨機過程；而克利金法在產出模型的過程中納入不確定性，例如水資源、礦產的數值非由隨機過程導致。因此，此法可以未知點的相對位置估計其不確定性，常用於自然現象模型或數值高程模型等。其公式如 (3)：

$$r(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^N (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (3)$$

其中， $r(h)$  為未知點數值；

$h$  為樣本點之間的距離；

$z$  為屬性值；

$x_i$  為第  $i$  個預測位置；

$n$  為被  $h$  分出的成對樣本數。

若樣本點間存在空相依性，則  $r(h)$  隨  $h$  增加而增加。

## 研究成果

### 研究區域

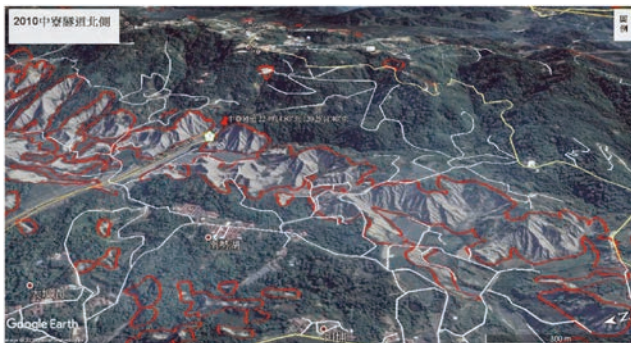
中寮隧道位處高雄市燕巢區國道三號田寮收費站及燕巢系統交流道之間，以貫穿中寮山而得名，為南台灣高速公路最長的隧道。該地為由泥岩組成的惡地地形，植被難以附著生長。受到龍船斷層及旗山斷層活動影響，地質環境惡劣。其中，旗山斷層每年相對抬升 8 公分，龍船斷層每年相對水平擠壓達 6 公分，地表變位明顯<sup>[19]</sup>。

本研究以中寮隧道周邊為主，範圍由單幅 1/5000 航照圖幅組成，面積共約 7.3 平方公里。海拔標高約 69.78 至 379.81 公尺，屬於丘陵地形。坡度介於  $0^\circ$  至  $55^\circ$  之間，地勢起伏變化極大。

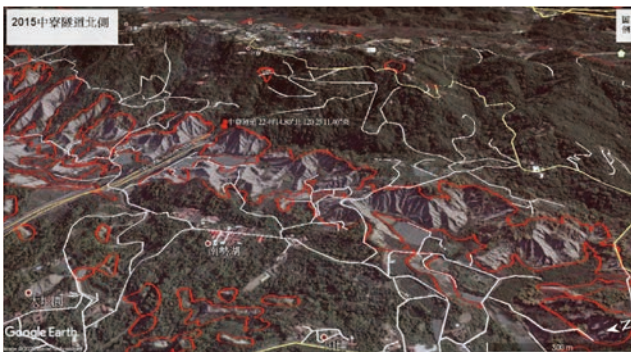
### 遙測影像判釋

本研究以 Google earth 影像對中寮隧道周邊進行初步判釋。研究區範圍內有許多大面積裸露地，其中以中寮隧道口兩側最為密集。因泥岩鬆散的地質型態，使植

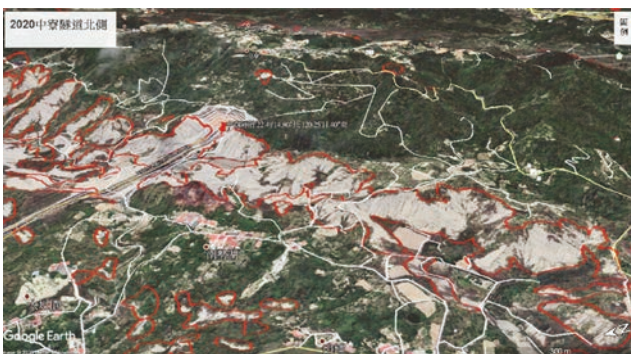
被難以附著生長，無植生覆蓋加劇地表侵蝕。圖 5 中的變遷影像，從 2010 年到 2020 年約 10 年間許多地表大面積裸露的區域正在不斷擴大。植生分布範圍逐漸向上退縮，甚至原本植被覆蓋的地方，也出現裸露情形。無植被覆蓋的地表，地質材料附著能力差，容易受到降雨或地震等誘發因素，產生地表侵蝕等災害。



(a) 2010 年



(b) 2015 年



(c) 2020 年

圖 5 中寮隧道北側地表變遷

## 崩塌影響因子分析

影響崩塌發生的災害影響因子主要可以潛因及誘因區分<sup>[9]</sup>。其中，潛因可包含地質、地形、環境等本身條件，誘因則為降雨、地震或人為擾動等。本研究將依此探討影響崩塌發生的影響因子，並監測可能誘發邊坡災害的相關數據，建立崩塌災害清單以及崩塌監測系統。

本研究使用政府資料開放平台所提供之 20 公尺網格數值地形模型資料，產製微觀地形特徵，進行初步地表判釋。

## 坡度

坡度是許多崩塌預警系統會考量的首要影響因子<sup>[7,8]</sup>。多數邊坡災害發生集中在坡度 30° 到 50° 之間，坡度更是誘發淺層崩塌的主要因素之一<sup>[9]</sup>。Wei 等人在建立台灣南部崩塌預警模型的研究中，將坡度因子，分高、中、低三個崩塌感性等級<sup>[8]</sup>。考量行政院農委會台灣山坡地土地可利用分類之分級查定基準規定，是將坡度分為 3° 以下、4° ~ 9°、10° ~ 16°、17° ~ 22°、23° ~ 29° 以及 30° 以上共 6 類。因此，本研究單獨切出坡度 30° 以上的區域，作為發展崩塌災害清單。

## 坡向

坡向為山坡下降的方向。坡向將山坡地分為迎風面及背風面。台灣為處季風亞洲，盛行風造成的降雨型態依不同坡向有所區別，同時也影響土壤濕度及植被分布。中寮山大致成東北西南走向，與台灣季風盛行風向一致，為海拔不足 500 公尺的低海拔丘陵地形。推估盛行風對該地坡向無顯著影響。本研究將坡向分為 0° ~ 45°、45° ~ 90°、90° ~ 135°、135° ~ 180°、180° ~ 225°、225° ~ 270°、270° ~ 315° 以及 315° ~ 360°，共 8 類。

## 等高線

本研究將等高線每 10 公尺分為一個等級，可用來判斷研究區範圍內的特徵線，包含山谷、蝕溝等低地以及山稜線、山脊線等。其中，山谷與蝕溝常為水、土、砂材料移動的通道，收集山坡兩側不穩定的地質材料，侵蝕並搬運至下游形成災害。等高線亦可協助判斷集水區等土砂蒐集的範圍，作為規劃佈設邊坡形變感測器網絡架構之參考。

## 不規則三角網 (TIN)

不規則三角網以三角形為基本組成單位，將鄰近地形點連接。三角網格的大小表示地形破碎程度，單一三角形網格面積越小、分布越密集，表示該處地形複雜、地勢起伏劇烈；反之則地形平坦。本研究區以中寮山為主，地勢低窪處常呈完整連續面，地表型態簡單；山丘主體及坡腳部分則由細小不規則三角形組成繁複地貌。



### 暈渲圖

山體受重力作用造成之地表塊體滑落，地表可能產生多重山稜線、圓滑形裂隙或蝕溝等特徵。這些可能造成邊坡災害的移動塊體，常因地表植被或構造物覆蓋而難以直接判釋。因此，以 DEM 建立暈渲圖結合多方位光源，崩塌滑動體產生之裂隙或山稜線在暈渲圖上會出現深色帶狀陰影，可協助判斷滑動塊體之確切位置及範圍。

除上述使用 20 公尺 DEM 之地形圖外，本研究亦參考經濟部中央地質調查所提供的山崩地滑敏感區圖層。該圖層以航照、衛星影像 (SPOT 及福衛二號影像) 以及光達判釋土石崩塌歷史事件的空間位置。將曾發生土石崩塌的「近期山崩與地滑區」與有山崩或地滑發生的「順向坡」之兩類資料聯集並外擴 5 公尺產生環域範圍，作為本研究「山崩與地滑地質敏感區」圖層的組成。主要考量原因是，曾發生崩塌災害處可能再度發生類似崩塌災害 [7,8]。因此，本研究結合地質、邊坡災害歷史事件以及坡度，套疊高雄山崩地滑敏感區圖層以及坡度 30° 以上圖層，作為初級崩塌清單。

### 實驗區場址

套疊坡度、地質、重要道路，並配合微觀地貌分析，本研究擬定中寮隧道北隧道口西側為前導實驗區 (圖 6)。坡度 30° 以上且同時為地質敏感區的範圍，災害發生時抵抗能力較差，當降雨強度或累積降雨等誘因達到門檻值，發生崩塌災害機會也大幅提升。在降低傷亡損失的大前提下，評估災害影響範圍為首要目標，人車往來頻繁、據交通地位的避難救災交通要道都在選定實驗區的考量範圍。其他重要結構物單以遙測影像難以判釋，可配合現地調查方式考量保全對象，如可能受到波及的周遭住戶、對外聯絡道路或橋梁等。實驗區面積為 498,602 m<sup>2</sup>，鄰近國道三號，坡度 30° 以上地面積總和占台灣山坡地土地利用 6 項分級中最高 (表 1)，同時也涵蓋大範圍的地質災害敏感區，地勢起伏大且具表塊體滑落痕跡 (圖 7)。不穩定地地表型態也造成了破碎的地貌，土砂材料的位移，加劇中寮山的侵蝕。

### 崩塌監測系統

降雨門檻值為目前多數崩塌預警系統採用的預警機制，其運作成效有賴於監測數據的取得。本研究以降雨量及地表位移量為主要監測數據，長期監測邊坡位移情形，並以 3 小時強降雨、24 小時累積降雨兩

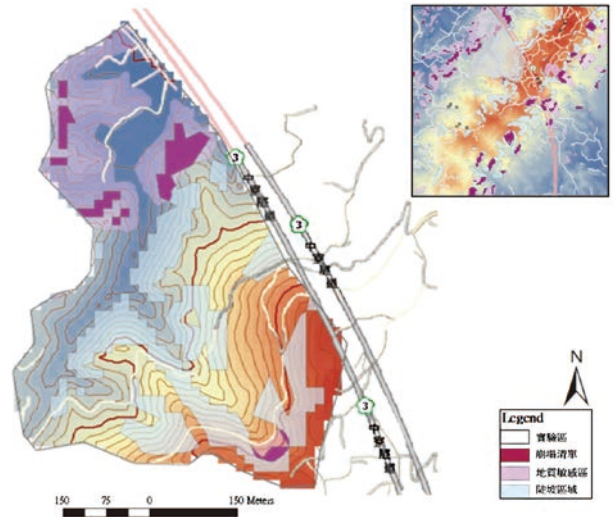


圖 6 實驗區：套疊地質敏感區與 30° 以上陡坡區域，作為崩塌災害清單。

表 1 實驗區坡度面積分布

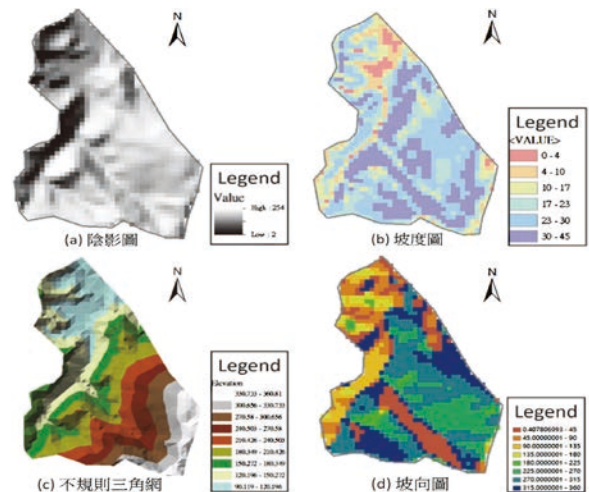
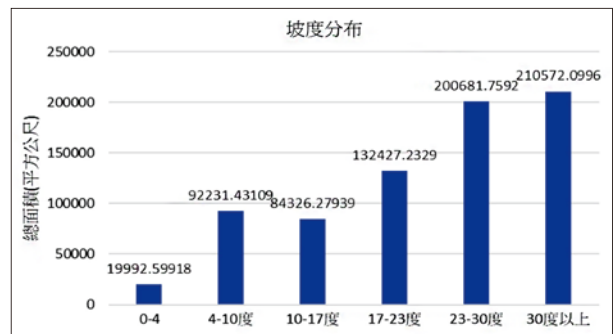


圖 7 微觀地形特徵

種降雨指標作為啟動預警地降雨門檻值。以氣象局雨量觀測站提供之各測站觀測資料及行政院環保署環境資源資料庫之測站觀測位置，包含高雄市內尖山、阿公店、溪埔、楠梓、大社、阿蓮、古亭坑、旗山、美濃，以及屏東縣內吉東、里港、九如，共 12 個測站資料，作為本研究雨量資料來源以及空間推估之依據。

地表位移將使用邊坡形變感測器進行長期滑坡監測。該感測器主要由九軸加速度計構成，與基站及終端伺服器組成無線感測器網絡系統。邊坡形變感測器雛形如圖 8 所示。感測器接收位移產生的加速度數值，積分後可得到地表位移速度以及位移分量。加速度計三軸經校正對齊局部水平座標框架 (E, N, U)，可取得東西向、南北向以及重力三個方向的位移分量。以實驗區內微觀地貌提供邊坡形變感測器的佈設規劃進行感測器埋設，包含埋設位址、網絡構型及傳輸方式等，接收回傳形變量數據，作為監測邊坡變化、即時預測以及校正預警模型之依據。

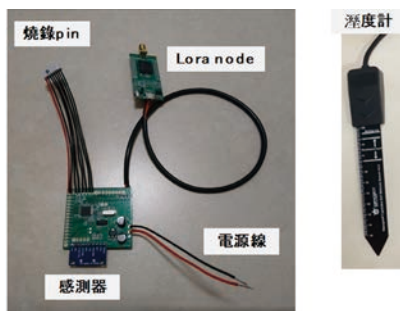


圖 8 邊坡形變感測器雛形

### 邊坡形變感測器佈點規劃

綜合實驗區之場址特性，中寮隧道周邊敏感性邊坡分布密集，且周遭地表型態不穩定。因此，本研究規劃佈設感測器時主要將採用拓撲型態為網形，具有感測器間距短、基站耗能低、監測範圍大等優點。網形拓撲通常僅需佈設單一基站，以多次跳頻技術確保通訊範圍，減少感測器與基站直接傳輸的數量及次數，使基站能量損耗降低。相較之下，星形拓撲需多設基站，感測器與基站的直接傳輸數量多，有較大能源需求。此類型拓撲適合敏感性邊坡範圍集中，電力來源及電量穩定，安全係數低且有即刻危險的邊坡。因此，網形拓撲將為本研究感測器系統的主要設計架構。

邊坡形變感測器的理想傳輸距離為 1 公里，感測器佈點將依此距離限制條件進行規畫。此外，為確保感測器間資料傳輸無虞，降低自然災害或其他意外使形變數據傳輸中斷，基站無法將監測數據回傳，網形拓撲設計將盡可能串聯鄰近感測器，減少通訊中斷之可能性。因此本研究使用 K-mean 分群方式並以各群中心作為節點位置。最後，考量地形條件，以集水區為感測器設置單元較以山丘為設置單元更能降低地形對監測系統造成的限制。首先，谷地為收集兩側山坡崩落地質材料的通道，同時監測兩側坡壁更能準確評估災害對下游造成的

影響。另外，若監測系統跨越山陵線兩側，地形曲折也會使感測器間的通訊限制增加。

圖 9 為實驗區邊坡形變感測器佈點規畫。崩塌災害敏感區為感測器節點的主要佈設區域，以取得地表變位之最大資訊量；另外，本研究也計算邊坡感測器之幾何中心佈設基站，基站耗能較大，需要穩定電源供應，因此在最低成本及耗能前提下取得最多有效資訊為邊坡形變感測器佈點的主要重點，以架設穩定、長期的邊坡監測系統，未來可依現地實際供電來源，調整基站佈設。儘管平地實驗數據顯示：相鄰感測器距離 1 公里內皆可傳輸數據，但現地仍可能因植被密度、微觀地形、其他訊號對感測器傳輸產生干涉、繞射、訊號衰減等干擾。因此，感測器間的環域須相互重疊外，感測器的佈設也需與周遭感測器通訊，確保數據能順利傳輸至基站，降低因自然現象破壞或單一感測器故障而使數據傳輸中斷之可能性。

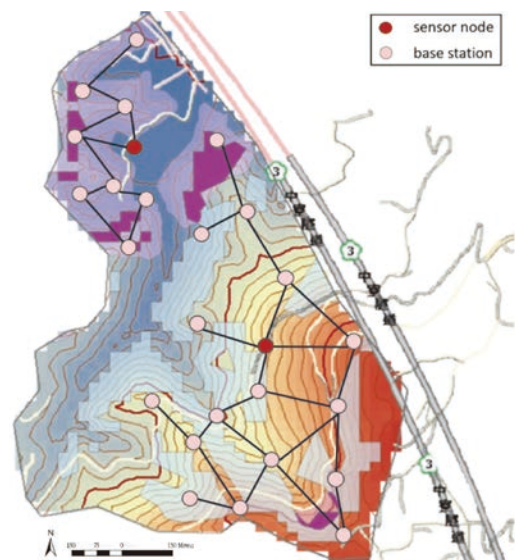


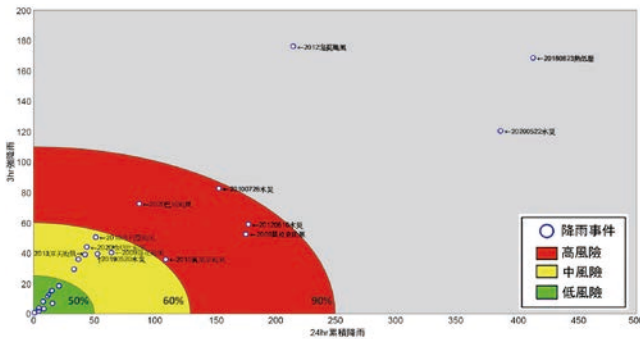
圖 9 邊坡形變感測器佈點規畫

### 空間推估方法應用於降雨量估計

因缺乏邊坡崩塌歷史紀錄，故本研究使用自 2009 年以來，共 30 個降雨事件進行統計型崩塌預警模型建立，其中包含 2009 年莫拉克風災、2018 年 0823 熱低壓以及 2020 年 0522 梅雨等，並依據降雨事件涵蓋的比例設定預警門檻值（圖 10）。根據門檻值設定，給予各降雨事件風險評估，區分高、中、低三種降雨事件風險。並分別以冷暖色調表示降雨量的多寡。降雨量較多的地方以紅色表示，藍色部分則表示在該次降雨事件中的降雨量較少。

空間推估方法有克利金法、平滑曲面法與反距離權重法等多種內插方式，依研究區域降雨特性的不同，使





(a) 崩塌預警模型

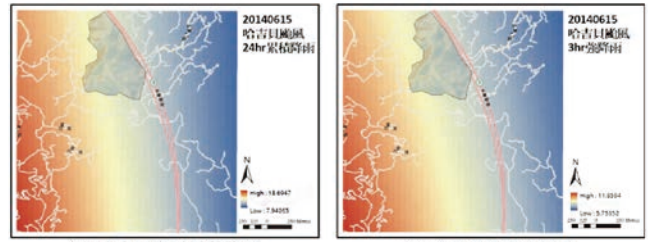
	降雨閾值							
	門檻值90%		門檻值60%		門檻值50%		門檻值50%↓	
	R24	I3	R24	I3	R24	I3	R24	I3
高滑坡敏感性區域	高危險	高危險	中危險	低危險	低危險	低危險	低危險	低危險
中滑坡敏感性區域	高危險	中危險	低危險	低危險	低危險	低危險	低危險	低危險
低滑坡敏感性區域	中危險	低危險	低危險	低危險	低危險	低危險	低危險	低危險

(b) 危險矩陣

圖 10 崩塌災害預警模型

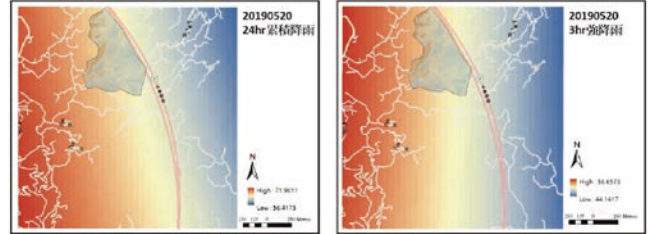
用合適的空間推估方式(圖 11 至圖 13)。考量本實驗區內無中央氣象局之雨量觀測站分布,且最近的雨量觀測站(尖山測站)距離實驗區有數十公里遠,雨量觀測站數量少,以平滑曲面法推估降雨量會使雨量估計誤差增大,內插效果不佳。從圖 12 中也可以看出當降雨量較低時,研究區內的降雨估計出現負值,與實際情況不符,表示此法在雨量推估上有較大誤差,不適用於本研究。

反距離權重法(圖 13)適合具有大量已知數據,且已知點包含極端值的情況。然而,本雨量觀測站數量有限,無大量降雨數據,加上實驗區內無雨量觀測站分布,恐無降雨事件極端值,造成區內雨量推估上的限制。另外,在計算過程中也因降雨數據在研究區內分布不均,出現牛眼(bull eyes)的現象,即已知點周圍形成同心圓狀的輪廓,造成內插結果與實際不符(圖 14)。由於雨量觀測站數量有限、無法均勻分布於實驗區內,且不一定包含降雨量極值,造成平滑曲面法與反距離權重法不適用。因此,本研究主要使用克利金法進行降雨量的推估,以改善已知資訊量不足與分布不均造成的估計誤差(圖 11)。此方法常用於台灣的降雨量估計,可消除空間自相關,提供降雨量的最佳無偏估計[20-22]。綜合敏感性地質、陡坡等微觀地形以及推估歷史降雨事件之成果,中寮隧道北側地質脆弱,降雨熱區多集中於國道三號西側,本實驗區位於交通樞紐,有長期監測邊坡變位之需求。當強度降雨或累積降雨達到特定門檻值,以克利金法評估未知區域的雨量資訊,並依據危險矩陣提供疏散參考標準。另外,推估降雨量除了可以用來提供



(a) 哈吉貝颱風累積降雨

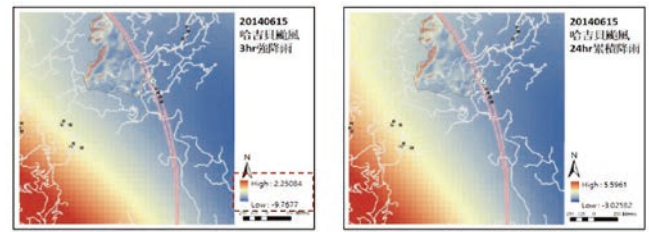
(b) 哈吉貝颱風強降雨



(c) 2019年0520豪雨累積降雨

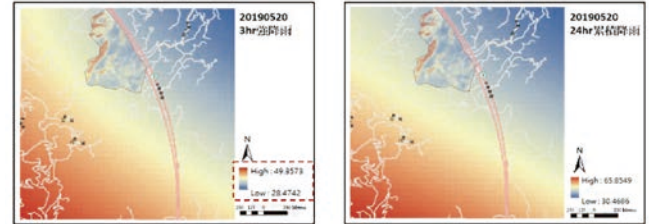
(d) 2019年0520豪雨強降雨

圖 11 以克利金法推估歷史降雨事件



(a) 哈吉貝颱風強降雨

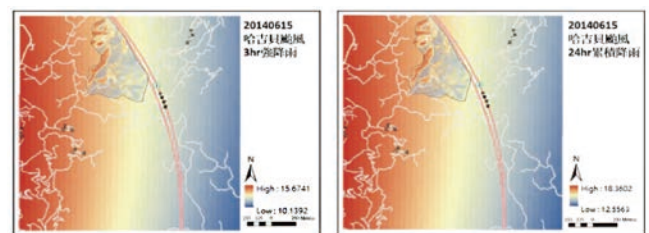
(b) 哈吉貝颱風累積降雨



(c) 2019年0520豪雨強降雨

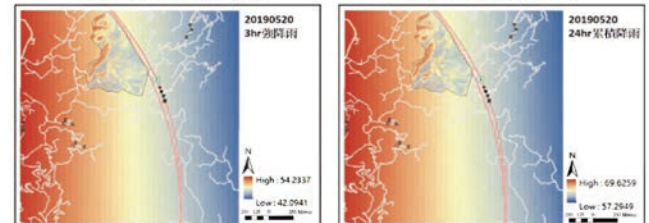
(d) 2019年0520豪雨累積降雨

圖 12 以樣條函數法推估歷史降雨事件



(a) 哈吉貝颱風強降雨

(b) 哈吉貝颱風累積降雨



(c) 2019年0520豪雨強降雨

(d) 2019年0520豪雨累積降雨

圖 13 以反距離權重法推估歷史降雨事件

預警模型的警戒門檻值外,也能統計歷史事件的降雨熱區,並套疊邊坡敏感地圖作為密集佈設邊坡感測器的重點區域。

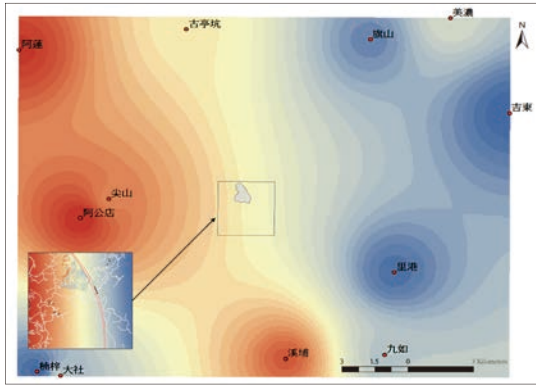


圖 14 反距離權重法推估降雨，因已知點數量不足及分布不均造成的牛眼現象，以 2019 年 0520 豪雨 24 小時累積降雨為例。


## 結論與建議

邊坡災害是台灣地區常見之嚴重天災之一。然而現有預警系統多以大範圍地質概況、短時間強降雨及長時間累積雨量建立門檻值。考量超過 60% 的邊坡災害在低於降雨門檻值下發生，單就現有系統難以達到有效預警功能<sup>[6]</sup>。另外，邊坡崩塌相關研究雖多，但僅少數研究針對感測器（邊坡種子）安裝位置與配置進行探討，故本研究先使用空間推論技術及鄰近雨量觀測站資料，推估研究區內雨量大小。再以 GIS 系統將降雨高風險區，結合敏感地質與邊坡災害清單，評估邊坡種子布設規劃。最後以場址特性與邊坡位移預測值，將感測器及通訊結點分群後最佳配置以預測風險。後續可透過邊坡種子蒐集實際邊坡滑落位移量，同時納入交通路網與民生資料庫等資訊，為邊坡災害的發生提供防災及救災的參考。

在研究限制部分，本研究參考統計型預警模型，以歷史降雨事件作為建立模型的基礎。崩塌模型預警的準確性有賴於降雨事件的蒐集，近年來大型風災事件極少，降雨事件樣本的取得受到限制，故本研究僅供學術參考。預警模型或實際感測器布設規劃應持續蒐集並統計更多降雨事件，甚至是災害歷史事件，以提高模型的預測能力，並使用其他邊坡災害事件進行驗證，以提升邊坡災害預警的準確性。

另外，崩塌敏感性評估以及感測器布點規劃可納入現地調查方式，用於評估研究區內保全對象、植被密度、地形因素對感測器訊號傳輸造成之影響。同時以無人機或空載光達取得高解析度即時影像及 DSM、DEM，比較現地與遙測影像之多時期變遷差異，對感測器佈點位置進行調整，配合不同演算法使感測器的佈設在位置、數量以及耗能上最佳化。未來即時降雨資訊及感測器監測資料回傳，不僅能長期監測敏感性邊坡，也能為邊坡災害的防、救災規劃提供更詳細的資訊。

## 參考文獻

- 傅鏗璇、施虹如、張志新 (2019)。2018 年全球重大天然災害回顧。國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 165 期。
- Lacasse, S., Nadim, F., and Kalsnes, B. (2005). Living with landslide risk. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 41(4). ISSN 0046-5828.
- Ubydul, H., Paula, F., Graziella, D., Jürgen, P., Bingxin, Z., Asmaa, K., Wahyu, W., Peter, A., Ping, L., Juneseok, L., Taro, Y., David, K., Jian, H.W., and Gregory E.G., The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995-2014). *Science of the Total Environment*, 682(10), 673-684.
- Leaning, J. and Guha-Sapir, D. (2013). Natural disasters, armed conflict, and public health. *New England Journal of Medicine*, 369(19), 1836-1842.
- 陳明賢、羅文俊、陳振宇 (2008)。土石流風險管理機制相關國外研究探討 Recent Development and Research of Debris Flow Risk Management。物業管理暨防災期刊 *Journal of Property Management and Disaster Prevention*，1，頁 37-54。
- Jeong, S., Ko, J., and Kim, J. (2019). The effectiveness of a wireless sensor network system for landslide monitoring. *IEEE Access*, 8, 8073-8086.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
- Wei, L.W., Huang, C.M., Chen, H., Lee, C.T., Chi, C.C., and Chiu, C.L. (2018). Adopting the I3-R24 rainfall index and landslide susceptibility for the establishment of an early warning model for rainfall-induced shallow landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 1717-1733.
- 李承玖 (2014)。宜蘭縣大同鄉土地利用與邊坡崩塌之災害潛勢分析。
- Lee, C.F., Huang, W.K., Chang, Y.L., Chi, S.Y., and Liao, W.C. (2018). Regional landslide susceptibility assessment using multi-stage remote sensing data along the coastal range highway in northeastern Taiwan. *Geomorphology*, 300, 113-127.
- Zongji, Y., Wei, S., Jianping, Q., Dong, H., Hongling, T., Xiaoqin, L., and Taro, U. (2017). A multi-source early warning system of MEMS based wireless monitoring for rainfall-induced landslides. *Applied Sciences*, 7(12), 1234.
- Segoni, S., Picciullo, L., and Gariano, S.L. (2018). A review of the recent literature on rainfall thresholds for landslide occurrence. *Landslides*, 15(8), 1483-1501.
- Chung, C.J.F. and Fabbri, A.G. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.
- 林中村、張寬勇、鄭光炎、林秀勇、陳昶華、吳重君 (2011)。邊坡監測設施介紹與應用—以藤枝林道地滑整治規劃為例。台灣林業，一〇〇年六月號，三十七卷，第三期。
- Jeong, S., Ko, J., and Kim, J. (2019). The effectiveness of a wireless sensor network system for landslide monitoring. *IEEE Access*, 8, 8073-8086.
- Giorgetti, A., Lucchi, M., Tavelli, E., Barla, M., Gigli, G., Casagli, N., and Dardari, D. (2016). A robust wireless sensor network for landslide risk analysis: System design, deployment, and field testing. *IEEE Sensors Journal*, 16(16), 6374-6386.
- Thuy, C.G. (2018). Flexible configuration of wireless sensor network for monitoring of rainfall-induced landslide. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 12(3), 1030-1036.
- Van Khoa, V. and Takayama, S. (2018). Wireless sensor network in landslide monitoring system with remote data management. *Measurement*, 118, 214-229.
- 黃俊維、洪士林 (2016)。使用 K-means 分群以及基因演算法建置最佳化無線感測網路系統。交通大學土木工程學系。
- 陳國隆、王吉杉、楊智堯、吳文隆、蕭秋安 (2018)。月世界地區隧道遭遇斷層之變位監測案例探討。中華技術季刊，106，No.119。
- Salciarini, D., Fanelli, G., and Tamagnini, C. (2017). A probabilistic model for rainfall-induced shallow landslide prediction at the regional scale. *Landslides*, 14(5), 1731-1746.
- Zúvala, R., Fišerová, E., and Marek, L. (2016). Mathematical aspects of the kriging applied on landslide in Halenkovice (Czech Republic). *Open Geosciences*, 8(1), 275-288. 





# GNSS-R 遙測技術的工程應用

賴郡擘／國立中央大學土木工程學系 專任助理

林遠見／國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 副教授

由於環境監測技術的進步，透過地球觀測衛星遙測的方式，以進行大範圍分析或探勘地表環境資源已是重要的趨勢。其中，全球衛星導航系統（GNSS）所發射的 L 波段訊號，除了用於定位、導航和計時外，藉由分析其直射與反射訊號的變化，同樣可作為觀測地球環境的工具，這種技術即稱為 GNSS-R。GNSS-R 技術因全球衛星導航系統覆蓋範圍廣、近即時的特性，不管是在海洋、陸地或是冰川，對於全球環境監測都是一個良好的方式。本文透過文獻探討的方式，介紹了 GNSS-R 技術的原理、方法以及近年來相關的嶄新應用層面，例如海平面高度觀測、海水表面風場推算、地表土壤含水量或冰川冰層厚度等等。

關鍵詞：GNSS-R、環境遙測、土壤含水量

## 前言

全球衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）是一種利用衛星訊號提供地理空間定位的系統，而目前具有全球覆蓋範圍的衛星導航系統包含美國的 GPS、俄羅斯的格洛納斯系統（GLONASS）、中國的北斗衛星系統（BDS）和歐盟的伽利略衛星系統（Galileo）等。這些衛星的訊號傳輸時，同時允許電子接收器以高精度計算當前本地時間，更可用於時間同步，因此，全球衛星導航系統廣泛應用於定位、導航和計時。另一方面，為了滿足環境品質要求，環境監測的技術日益發展，以地球觀測衛星的遙測方式，對地球資源與環境探勘與研究是重要的趨勢。Martin 最早在 1993 年即提出以 GPS 直射訊號與地表反射訊號之間的延遲可用於量測<sup>[1]</sup>；衛星向地表發射的無線電訊號，而地表反射訊號的波形、振幅、頻率或相位產生改變，利用延遲量測和分析反射訊號的變化便可以得知地表的粗糙度和特性，這種透過 GNSS 延遲訊號分析直射和反射訊號路徑的技術稱為 Global Navigation Satellite System-Reflectometry（GNSS-R）。GNSS-R 的量測多數是將接收儀架設於地面、無人機和飛機等不同平台測試，研究接收訊號和驗證理論<sup>[2-4]</sup>，最早將 GNSS-R 設備裝設在衛星上的是英國的 UK-DMC 衛

星，並順利取得了海面粗糙度等地球表面物理係數<sup>[5]</sup>。TechDemoSat 1（TDS 1）在 2014 年作為 GNSS-R 衛星發射成功<sup>[6]</sup>，使得 GNSS-R 技術運用在星載（satellite-borne）遙測的研究又更進一步。

GNSS-R 技術對於地球觀測提供許多優勢，包括測量頻率、覆蓋範圍廣、全天候測量和近即時的觀測數據等等。目前 GNSS-R 技術在許多領域皆有不少成果；在海洋方面，可以進行海洋測高、海水表面風場推算、估計海水鹽度以及海洋油污外洩等；在陸地方面，可以估計土壤含水量和植物生長量等；在冰川方面，可以測量冰層厚度、積雪特性等。本文將介紹 GNSS-R 技術的原理和方法，以及相關技術的應用與發展。

## 衛星遙測介紹

環境監測的種類繁多，其目的在於滿足環境品質要求，並提供具體可靠的管理決策依據。隨著科技進步，運用衛星優勢進行環境監測的方法越來越成熟，許多國家發射了不同衛星執行不同的地球觀測計畫，我國國家太空中心亦執行了一系列的太空觀測任務，例如福爾摩沙衛星一號至三號、福爾摩沙衛星五號、福爾摩沙衛星七號，以及預計要發射的獵風者衛星與福爾摩沙衛星八號等，皆能帶來重要的科學成果。而衛星遙測根據接收

的訊號來源不同，可以分成被動式遙測和主動式遙測。

## 我國觀測衛星

福爾摩沙衛星一號至三號分別為三個任務已結束的太空計畫，福爾摩沙衛星一號（福衛一號；FORMOSAT-1）的任務期間為1999年1月至2004年6月，是由我國製造的一顆低軌道科學實驗衛星，主要任務為三項科學實驗：電離層特性研究、海洋水色研究和Ka頻段通訊實驗。福爾摩沙衛星二號（福衛二號；FORMOSAT-2）任務期間為2004年5月至2017年8月，其任務為對全球陸地及海域進行近即時之遙測作業，搭載遙測照相儀（Remote Sensing Instrument, RSI）和高空大氣閃電影像儀（Imager of Sprites and Upper Atmospheric Lightning, ISUAL），在白晝地區拍攝影像資料，在黑夜地區對高層大氣向上閃電之觀測，其每日即時取像之特性，可成為各救災單位於重大災害發生時的重要參考。福爾摩沙衛星三號（福衛三號；FORMOSAT-3/COSMIC）於2006年4月發射成功，2020年5月退役，是由六顆微衛星組成涵蓋全球的低軌道微衛星星系，來接收美國24顆全球定位衛星（GPS）所發出的訊號，利用掩星技術（GNSS Radio Occultation, GNSS-RO）觀測全球大氣層與電離層，屬於氣象衛星<sup>[7-9]</sup>。

福爾摩沙衛星五號（福衛五號；FORMOSAT-5）於2017年8月順利發射進入軌道至今，是臺灣的太陽同步軌道衛星，也是第一個由我國完全自主研发的光學遙測衛星。福爾摩沙衛星五號接續福衛二號的任務，主要的光學遙測酬載可提供2公尺解析度的全色（Panchromatic）和4公尺解析度的多波譜（Multi-spectral）彩色影像，同時酬載先進電離層探測儀，可實地量測電離層的電漿成份與密度、運動速度、溫度等物理量，觀測資料除了監測全球電離層的季節變化，亦可應用於太空天氣和地震前兆異常等相關研究<sup>[10-12]</sup>。

福爾摩沙衛星七號（福衛七號；FORMOSAT-7/COSMIC-2），延續了福衛三號計畫執行掩星氣象觀測任務，可接收美國的GPS及俄國的GLONASS訊號，同樣利用掩星技術（GNSS-RO）進行全球氣象預報、氣象變遷研究、及電離層動態監測，為6顆任務衛星及1顆自主衛星組成一個衛星群，於2019年6月發射升空。福衛七號的觀測資料解析度高、不易受低海拔的雲層遮蔽及水氣影響，可研究全球大氣邊界層結構變化，而電離層掩星觀測每日可穩定輸出超過4000筆資料，大幅增加低

緯度地區氣象資料，提升國內氣象預報準確度及劇烈天氣（颱風路徑及降雨）預測準確度<sup>[13,14]</sup>。

獵風者衛星（TRITON）計畫預計2022年6月發射，搭載了全球導航衛星系統反射訊號接收儀（GNSS-R），將利用GNSS-R技術在低地球軌道上蒐集由地表反射訊號，進行地表特性相關的研究，如浪高反演、海面風速、海氣交互作用、颱風強度預測、土壤特性等，期望能助於劇烈天氣的預報、降低災害預警之不確定性等研究領域的提升。

## 被動式遙測與主動式遙測

衛星遙測的分類根據接收到的電磁波資訊的來源，可以分為被動遙測（Passive Remote Sensing）和主動式遙測（Active Remote Sensing），一般遙測儀器如果是接收和測量由地球表面及其大氣成分所產生的自然輻射，如福衛二號與五號的衛星光學影像，稱為被動式遙測。被動式遙測量測地球表面成分、物理溫度、表面粗糙度和其他物理特徵，測量的頻段由被測物質的固定物理性質（分子共振）決定，這些頻率不會改變或在其他頻帶中重複。而若遙測儀器能發射電磁波，並接收這些被地球表面或其大氣層反射、折射或散射的訊號，則稱為主動式遙測，例如，降雨雷達測量降雨產生的雷達回波，以確定地球表面的降雨率；雲剖面雷達測量從雲層返回的雷達回波，從而提供地球表面雲反射率的三維剖面等（圖1）。

## GNSS-RO/R 原理

一般衛星使用的電磁波為微波波段（頻率：1~40 GHz），頻率低到高分別命名為L、S、C、X、Ku、K和Ka波段（圖2），以X、C、L波段最為常見。

而針對不同頻率可測量不同的目標物，頻率越小（波長越長）穿透地物就越深，如L或P波段穿透

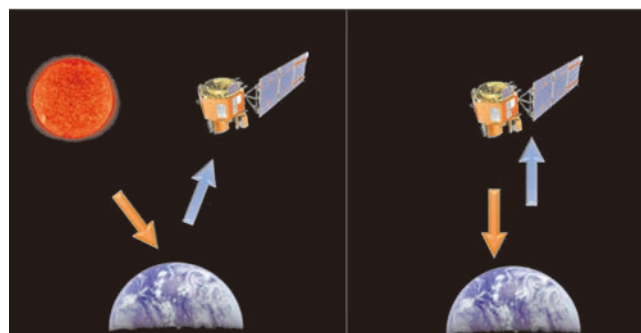


圖1 被動遙測（左）和主動式遙測（右）示意圖  
（圖片來源：NASA）



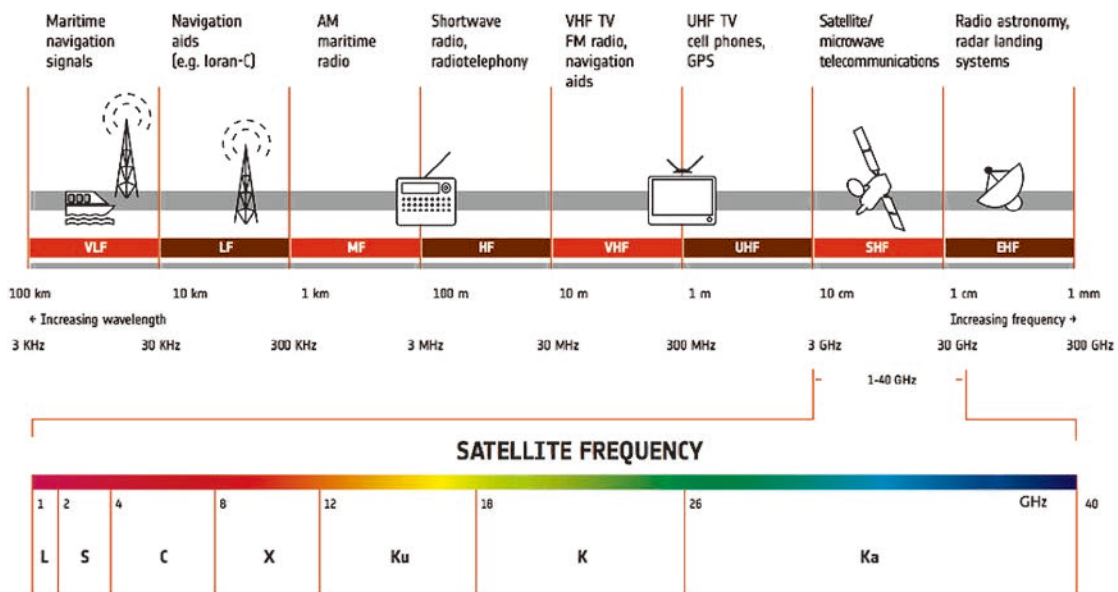


圖 2 電磁波分類及代號 (圖片來源: European Space Agency)

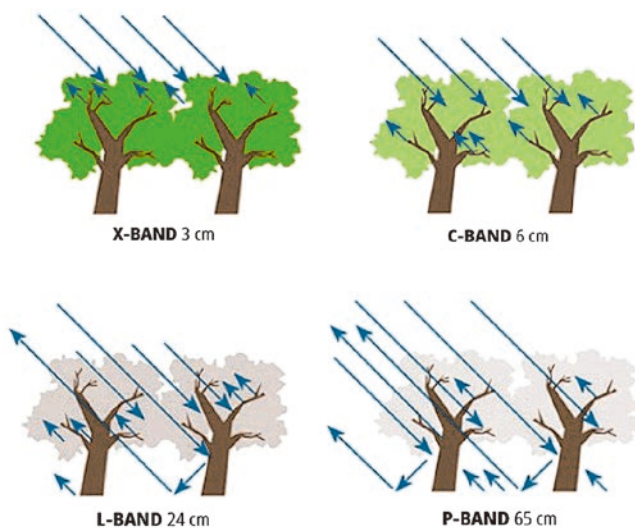


圖 3 電磁波不同波段穿透力示意圖

力較強，可穿透樹林與樹葉而探測到地面，頻率越大（波長越短）則相反，如 X 較短波長之雷達波穿透力較弱，在植物頂層就會被反射回去，較適合用來量測較小的物體，空間解析度較高，介於中間的 C 波段則可提供目標物表面或目標物以下的資訊（圖 3）。全球衛星導航系統（GNSS）使用的波段為 L 波段，1993 年 Martin 即提出可利用現有的訊號源（GPS），其直射訊號與地表反射訊號之間的延遲來量測海面高度<sup>[1]</sup>。目前有關於 GNSS 訊號分析主要可分為掩星技術（Global Navigation Satellite System-Reflectometry - Radio Occultation, GNSS-RO）與接受反射訊號（Global Navigation Satellite System-Reflectometry, GNSS-R）。



圖 4 掩星技術示意圖 (圖片來源: 國家太空中心)

### 全球衛星導航系統掩星技術 (GNSS-RO)

掩星技術（Radio Occultation）是指於當電磁波訊號通過行星大氣層時的變化檢測。當電磁波穿過大氣層時，電磁波會因折射而路徑彎曲。折射的幅度取決於該路徑上的折射率，折射率則與大氣層的密度梯度有關，當電磁波穿過大氣層的路徑較長時，折射效果最明顯（圖 4）。在 GPS 頻率（L 波段）的彎曲量無法直接測量，可以使用都卜勒效應計算和彎曲度計量，分析發射器和接收器的幾何關係。在中性大氣中（電離層以下），可以得出有關大氣溫度、壓力和水蒸氣含量的資訊，因此可將掩星技術應用於氣象學中。

而全球衛星導航系統掩星技術（Global Navigation Satellite System-Reflectometry - Radio Occultation, GNSS-RO），歷史上也稱為 GPS 掩星技術（GPS-RO 或

GPSRO)，電磁波訊號依賴於 GPS（全球定位系統）或其他全球衛星導航系統。GNSS-RO 是一種用於大氣測量相對較新的技術，於 1995 年首次應用<sup>[15,16]</sup>；用作天氣預報工具，也可以用於監測氣候變化。作為氣象學的應用，掩星技術透過接收 GPS 訊號的低地球軌道衛星來回傳數據（如福衛三號與福衛七號），GPS 訊號必須穿過大氣並產生折射，折射的大小取決於溫度和大氣中的水蒸氣濃度。全球衛星導航系統掩星技術幾乎是對大氣狀態瞬時觀測，GPS 衛星和低地球軌道衛星之間的相對位置隨時間變化，從而可以垂直觀測連續的大氣層狀態。

### 全球衛星導航系統反射接收儀（GNSS-R）

全球衛星導航系統反射接收儀（Global Navigation Satellite System-Reflectometry, GNSS-R）是測量 GNSS 直射訊號與地表反射訊號之間的延遲（時間延遲或相位延遲），再根據 GNSS 衛星、接收儀和地表反射點之間的幾何位置關係推算地表特性（圖 5），可獲得地表粗糙度和其他地球物理參數。

處理訊號的方式，一種 GNSS-R 量測是利用左、右旋極化天線並記錄直射訊號與反射訊號的載波相位資料，透過接收儀計算訊號間鐘差等方式，分析傳播路徑的延遲，並得知天線至地球表面的幾何關係（高度）。這種方式常用於岸基測波，將儀器架設於河邊或岸邊，可計算水位或潮位落差，代替傳統的驗潮測量模式。也可將 GNSS-R 接收儀裝設在飛機或氣球上，則觀測的水面面積較大，甚至是裝設於低軌道衛星（如獵風者衛星），來進行海面高度測量，與傳統衛星主動式遙測測高相比不需要發射器，或利用多個低軌道衛星組來提升量測範圍的時空間解析度。

另一種處理訊號的方式是運用訊號的干涉現象，計算干涉現象波形的變化，進一步得知地表物理參數。干涉現象是由於 GPS（GNSS）訊號的多路徑效應，與反射點的介電質參數有關，雖然是高精度定位的主要誤

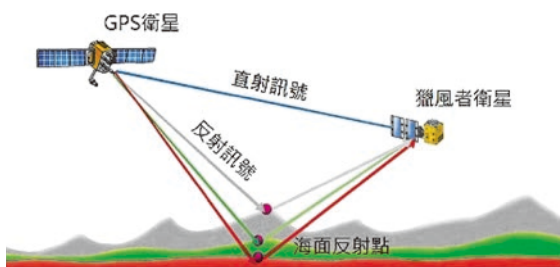


圖 5 GNSS-R 技術示意圖（圖片來源：國家太空中心）

差原因，但可利用其變化量進行環境參數推估。訊噪比（SNR）是比較訊號強度與背景雜訊強度，可用於衡量 GPS 接收儀接收到的訊號強度，反應發射功率、天線增益、路徑距離及多路徑效應等因素的影響，因此可以藉由 SNR 分析來進行地表物理參數的量測。

## GNSS-R 應用

### 海面風場和粗糙度

GPS 反射訊號的路線比直射訊號長，固會產生時間延遲，又加上反射點粗糙度與反射訊號散射的影響，GNSS-R 接收儀接收到的反射訊號強度會減弱，結構也與直射訊號不同。海面在風的作用下引起波浪造成海面粗糙度的變化，風速越大海面粗糙程度越大，影響的反射訊號變化程度也越大；NASA 透過實驗發現，反射訊號的功率峰值隨著風速的增大而減小，波形也越平滑<sup>[2]</sup>，如圖 6 所示。

Zavorotny, Voronovich, and Sensing<sup>[17]</sup> 建立了一個理論模型，該模型描述了全球定位系統（GPS）訊號的功率與海面風場的關係，之後 Elfouhaily, Thompson, Linstrom, and Sensing<sup>[18]</sup> 將模型進一步改進。Clarizia, Ruf, Jales, Gommenginger, and sensing<sup>[19]</sup> 則提出了 Minimum Variance (MV) wind speed estimator，利用 5 個不同觀測點建立 GNSS-R Delay-Doppler Maps (DDMs)，進一步推估海面風場。Foti *et al.*<sup>[20]</sup> 利用 TechDemoSat-1 (TDS-1) 資料推估了海洋風速，該研究結果為 GNSS-R 技術的首次星載遙測展示，與實測資料有良好的一致性（圖 7）。

### 土壤含水量

土壤含水量（Surface Soil Moisture Content, SMC）是地表的一個重要參數，它會影響地球在大多數的水循環、能量平衡和碳循環等環境過程。土壤含水量影響地表溫度、降水和蒸散量，對河流徑流（降雨－徑流模擬）、植被／作物健康和灌溉管理有很大影響，並且是水管理的關鍵變量。由於測量困難以及使用傳統方法監

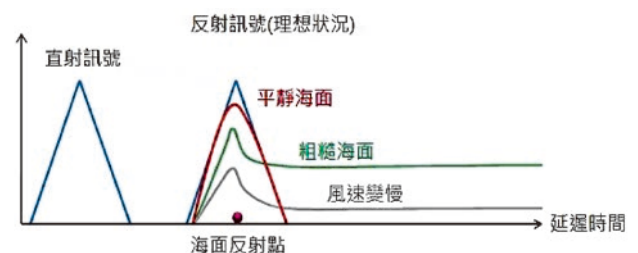
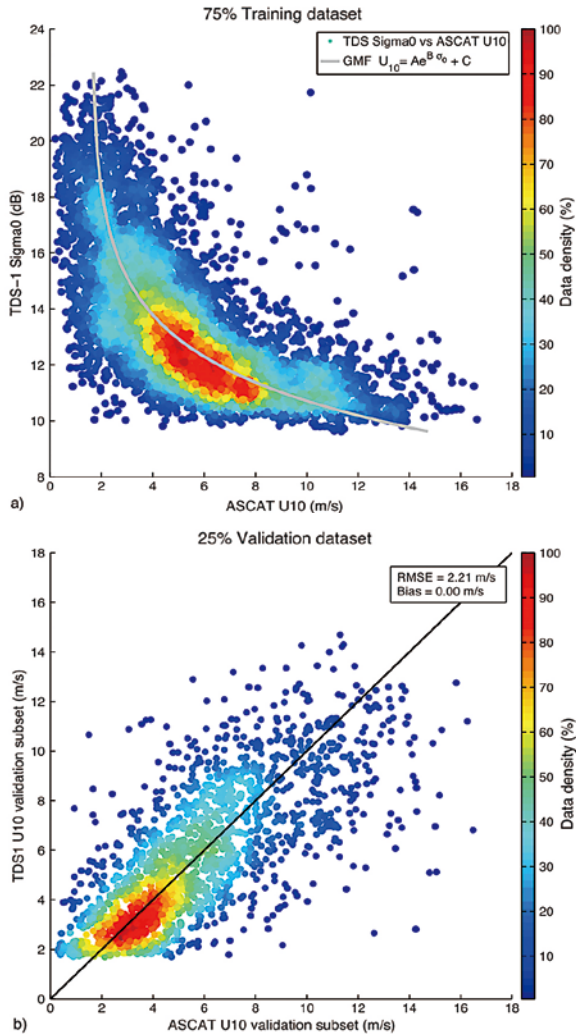
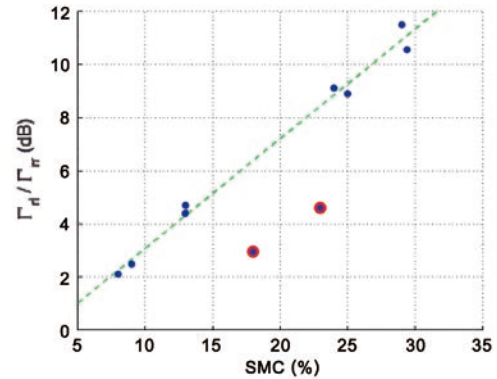


圖 6 GNSS-R 觀測海面風場示意圖（圖片來源：國家太空中心）



圖 7 TDS-1 推算海面風速成果<sup>[20]</sup>

視較大區域的高昂成本，土壤含水量很少包含在地球環境過程的建模中。由於 GNSS-R 技術的發展，GNSS 反射訊號包含有土壤含水量、介電常數、地表粗糙度等的資訊，使得越來越多研究使用 GNSS-R 技術來推估土壤含水量。Zavorotny and Voronovich<sup>[21]</sup> 提出了利用 GPS 反射訊號推估土壤含水量的可能性，說明了此方法是最便於土壤含水量量測的方式。西班牙 Starlab 研究所設計了 SMIGOL 探測裝置 (soil moisture interference-pattern GNSS observations at L-band reflectometer)，用於探測直射訊號和干涉後的反射訊號，分析干涉訊號波形特徵，並推估與土壤含水量的關係及其他地表參數，即 Interference Pattern Technique (IPT)。Rodriguez-Alvarez *et al.*<sup>[22]</sup> 使用 IPT 技術建立演算法，從簡單的土壤模型到有植被的複雜模型，證實土壤含水量與干涉訊號的振幅有關。Egido *et al.*<sup>[23]</sup> 利用機載平台獲取的 GNSS 反射訊號，分析土壤含水量和地上生物量 (AGB) 上的植被

圖 8 土壤含水量 (SMC) 與反射訊號 (SNR) 關係圖<sup>[23]</sup>

對反射訊號的影響，其結果亦支持了 GNSS-R 作為土壤含水量遙測工具的功能 (圖 8)。

### 植被監測

植物覆蓋在土壤上，其含水量會影響土壤含水量的監測，因此估計植物含水量可以提高土壤含水量的推估準確度。另一方面，植被的監測除了環境保護的用途，也可運用在確保農作物生長，隨著 GNSS 系統的發展，GNSS 接收儀遍佈各地，從地面測站至星載遙測，皆有助於植物監測網的建立。GNSS 訊號為 L 波段，其反射訊號能反應地表粗糙度、含水量等物理參數。Small, Larson, and Braun<sup>[24]</sup> 指出訊噪比 (SNR) 會隨著植被的生長而減小，因此利用 GPS 的雜訊統計量定性並估計了植物生長量。Wan, Larson, Small, Chew, and Braun<sup>[25]</sup> 同樣利用 GPS 的訊噪比 (SNR) 來觀測植物含水量，其研究顯示 GPS 數據對沙漠類型植物或農作物有較好的結果，高水分植物則誤差較大 (圖 9)。

### 結論

GNSS 衛星的 L 波段訊號，作為長期免費且穩定的訊號源，可充分發揮衛星遙測的優勢；全天候、大範圍、近即時和高時空解析度等特性，是用來監測地表不管是海洋、陸地或冰川的好方法。除了本文提到的海面風場，對於海洋監測還可推估海水面高度和海洋鹽度等物理參數；陸地監測方面除了作為新興的土壤含水量監測方式，亦可用來推估其他地表特性如積雪量、密度或生物量等。隨著 GNSS-R 技術的發展，越來越多的衛星任務將要進行 (福衛七號和獵風者等)，可使我們獲得更多、更高解析度的地表特性，期望未來能增進自然環境如海嘯、颶風、颱風、火山或地震等災害的監測。

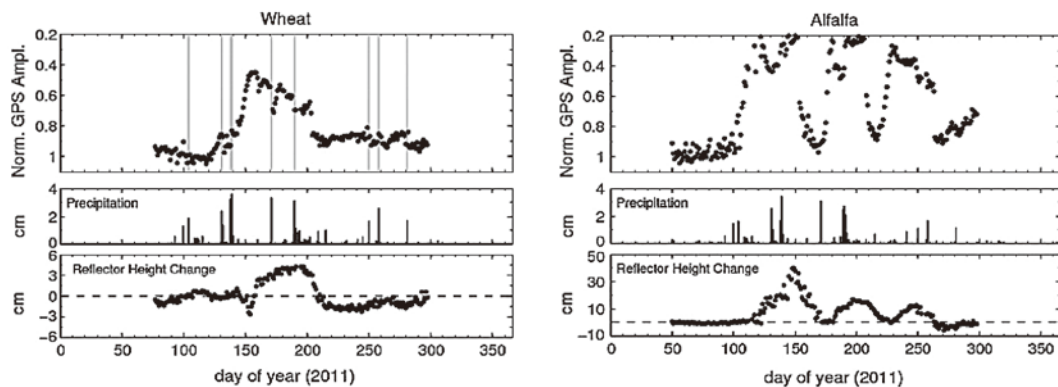


圖 9 GPS 反射訊號與農作物含水量 (左)、高水分植物含水量 (右) 的關係圖<sup>[25]</sup>

## 參考文獻

- Martin-Neira, M.J.E.J. (1993). A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA Journal*, 17(4), 331-355.
- Katzberg, S.J. and Garrison Jr, J.L. (1996). *Utilizing GPS to determine ionospheric delay over the ocean*.
- Komjathy, A., Maslanik, J., Zavorotny, V.U., Axelrad, P., and Katzberg, S.J. (2000). *Sea ice remote sensing using surface reflected GPS signals*. Paper presented at the IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120).
- Martin-Neira, M., Caparrini, M., Font-Rossello, J., Lanelongue, S., Vallmitjana, C., and Sensing, R. (2001). The PARIS concept: An experimental demonstration of sea surface altimetry using GPS reflected signals. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1), 142-150.
- Gleason, S., Hodgart, S., Sun, Y., Gommenginger, C., Mackin, S., Adjr, M., and Sensing, R. (2005). Detection and processing of bistatically reflected GPS signals from low earth orbit for the purpose of ocean remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(6), 1229-1241.
- Unwin, M., Duncan, S., Jales, P., Blunt, P., and Tye, J. (2014). *Implementing GNSS-reflectometry in space on the TechDemoSat-1 mission*. Paper presented at the Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014).
- Anthes, R.A., Bernhardt, P.A., Chen, Y., Cucurull, L., Dymond, K.F., Ector, Healy, S.B., Ho, S.-P., Hunt, D.C., Kuo, Y.-H., Liu, H., Manning, K., McCormick, C., Meehan, T.K., Randel, W.J., Rocken, C., Schreiner, W.S., Sokolovskiy, S.V., Syndergaard, S., Thompson, D.C., Trenberth, K.E., Wee, T.-K., Yen, N.L., and Zeng, Z. (2008). The COSMIC/FORMOSAT-3 mission: Early results. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(3), 313-334.
- Liou, Y.-A., Pavelyev, A.G., Liu, S.-F., Pavelyev, A.A., Yen, N., Huang, C.-Y., and Sensing, R. (2007). FORMOSAT-3/COSMIC GPS radio occultation mission: Preliminary results. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(11), 3813-3826.
- Schreiner, W., Rocken, C., Sokolovskiy, S., Syndergaard, S., and Hunt, D. (2007). Estimates of the precision of GPS radio occultations from the COSMIC/FORMOSAT-3 mission. *Geophysical Research Letters*, 34(4).
- Chen, C.-H., Lin, C.C., Liu, J.-Y., Matsuo, T., Wei-Han, C., Atmospheric, and Sciences, O. (2017). The impact of FORMOSAT-5/AIP observations on the ionospheric space weather. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 28(2), 1.
- Chou, M.-Y., Shen, M.-H., Lin, C.C., Yue, J., Chen, C.-H., Liu, J.-Y., and Lin, J.-T. (2018). Gigantic circular shock acoustic waves in the ionosphere triggered by the launch of FORMOSAT-5 satellite. *Space Weather*, 16(2), 172-184.
- Lin, Z.-W., Chao, C.-K., Liu, J.-Y., Huang, C.-M., Chu, Y.-H., Su, C.-L., and Sciences, O. (2017). Advanced ionospheric probe scientific mission onboard FORMOSAT-5 satellite. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(2).
- Cook, K., Fong, C.-J., Wenkel, M. J., Wilczynski, P., Yen, N., and Chang, G. (2013). *FORMOSAT-7/COSMIC-2 GNSS radio occultation constellation mission for global weather monitoring*. Paper presented at the 2013 IEEE Aerospace Conference.
- Yue, X., Schreiner, W.S., Pedatella, N., Anthes, R.A., Mannucci, A.J., Straus, P.R., and Liu, J.Y. (2014). Space weather observations by GNSS radio occultation: From FORMOSAT-3/COSMIC to FORMOSAT-7/COSMIC-2. *Space Weather*, 12(11), 616-621.
- Kursinski, E., Hajj, G., Schofield, J., Linfield, R., and Hardy, K.R. (1997). Observing earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System. *Astrophysics Data System*, 102(D19), 23429-23465.
- Melbourne, W., Davis, E., Duncan, C., Hajj, G., Hardy, K., Kursinski, E., and Yunck, T. (1994). *The application of spaceborne GPS to atmospheric limb sounding and global change monitoring*. JPL Publication, 94-18.
- Zavorotny, V.U., Voronovich, A.G., and Sensing, R. (2000). Scattering of GPS signals from the ocean with wind remote sensing application. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(2), 951-964.
- Elfouhaily, T., Thompson, D.R., Linstrom, L., and Sensing, R. (2002). Delay-Doppler analysis of bistatically reflected signals from the ocean surface: theory and application. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(3), 560-573.
- Clarizia, M.P., Ruf, C.S., Jales, P., Gommenginger, C., and Sensing, R. (2014). Spaceborne GNSS-R minimum variance wind speed estimator. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(11), 6829-6843.
- Foti, G., Gommenginger, C., Jales, P., Unwin, M., Shaw, A., Robertson, C., and Rosello, J. (2015). Spaceborne GNSS reflectometry for ocean winds: First results from the UK TechDemoSat-1 mission. *Geophysical Research Letters*, 42(13), 5435-5441.
- Zavorotny, V.U. and Voronovich, A.G. (2000). *Bistatic GPS signal reflections at various polarizations from rough land surface with moisture content*. Paper presented at the IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120).
- Rodriguez-Alvarez, N., Camps, A., Vall-Llossera, M., Bosch-Lluis, X., Monerris, A., Ramos-Perez, I., and Sensing, R. (2011). Land geophysical parameters retrieval using the interference pattern GNSS-R technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(1), 71-84.
- Egido, A., Paloscia, S., Motte, E., Guerriero, L., Pierdicca, N., Caparrini, M., and Sensing, R. (2014). Airborne GNSS-R polarimetric measurements for soil moisture and above-ground biomass estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(5), 1522-1532.
- Small, E.E., Larson, K.M., and Braun, J. (2010). Sensing vegetation growth with reflected GPS signals. *Geophysical Research Letters*, 37(12).
- Wan, W., Larson, K.M., Small, E.E., Chew, C.C., and Braun, J.J. (2015). Using geodetic GPS receivers to measure vegetation water content. *GPS Solutions*, 19(2), 237-248.





# 應用 影像語意分割 技術 於 鋼筋間距查驗

紀乃文／國立臺灣科技大學營建工程系 專案助理教授  
莊仕杰／國立臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程組 碩士  
陳翊翔／國震中心與台大土木合設AI中心 研究助理  
陳鵬元／原國震中心與台大土木合設AI中心 研究助理  
陳俊杉／國立臺灣大學土木工程系 教授

鋼筋檢驗在鋼筋混凝土構造物的施工過程當中是一個重要的環節，其檢查要項包含鋼筋之號數、間距、形式（含彎鉤與搭接）等等。傳統鋼筋檢驗仰賴人力完成，並且以局部抽驗的方式為主。但許多鋼筋籠必須在施工現場組立，使得查驗人員無法避免在危險的工作場域對鋼筋進行查驗。在人工智慧蓬勃發展的當下，本研究提出一種基於影像語意分割的技術，配合景深攝影機所取得的 RGB-D 深度影像，能夠以鋼筋籠上縱橫交錯的結點為辨識目標，並因此計算出結點與結點之間的距離來代表鋼筋間距。結果顯示其誤差可達工地現場實用之等級，並提供鋼筋檢驗自動化的可行參考方向及示範。

## 背景

在台灣的建築物與大型構造物（如橋樑、隧道、水壩等等）當中，鋼筋混凝土構造物（以下簡稱為 RC 構造物）佔了相當大的比例。而在 RC 構造物的施工過程當中，鋼筋組立的品質影響結構安全甚鉅。鋼筋組立的成果在混凝土澆置之後便無法再加以檢視及修正，因此鋼筋查驗（Rebar inspection）便成了 RC 構造物施工過程當中重要的檢查程序。鋼筋組立必須依循著施工圖當中所標註的各項參數來加以完成，包含鋼筋號數、形狀（如彎鉤或搭接）、尺寸、間距等重要資訊。而鋼筋的組立為了配合結構安全之需求，又或預留機電管線之空間，對應著不同的功能需求，會衍生出不同的複雜形式。而在實務上，鋼筋查驗的程序多半是透過查驗人員對鋼筋籠進行「局部抽測」，並且輔以拍照記錄，將抽測結果之時間、地點、抽測位置、

檢查人員及參數（如前述之間距、形狀、尺寸等等）之測量值，如圖 1 所示。

即便基於抽測的方式已經降低了鋼筋查驗的困難度與繁雜性，然而在實務的操作上，參與鋼筋籠組立及檢驗的工作人員並無法完全避免危險的工作場所。以深基礎的開挖、高架橋墩柱或高層建築為例，檢查人員與施工人員在作業期間皆會面臨相同的墜落風險。而國內外的職災統計數據一致都顯示，在營建產業當中，佔據比例最高的重大傷亡事件都是「墜落與滾落」<sup>[1,2]</sup>，防範工安意外的重要方法除了減少不安全的操作行為以外，也需要避免不安全的工作場域，這也是營建自動化的重要目標之一。因此，開發自動化的鋼筋查驗方法，不但能夠降低查驗人員在危險環境作業的頻率，也有機會對鋼筋籠進行更完整及全面的檢視，因為目前鋼筋查驗使用局部抽測乃是一種權宜

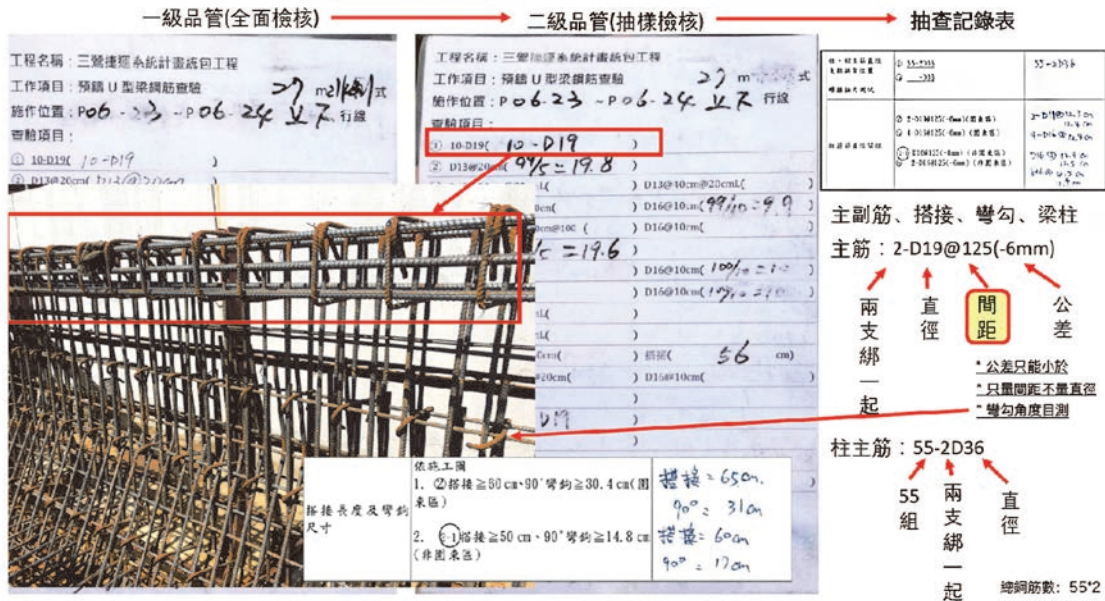


圖 1 鋼筋查驗項目及查驗表單

的作法，因為要對為數可觀且密集的鋼筋進行逐根查驗是難以透過有限人力來達成的。但自動化的檢測方式在成熟之後卻有機會克服這個問題。

隨著電腦視覺 (Computer Vision) 及人工智慧 (Artificial Intelligence) 應用的成熟與發達，鋼筋查驗有機會往自動化的方向進化。鋼筋查驗有許多不同的面相，包括間距、型式、號數等等，本研究以鋼筋的間距為例，展示一種基於深度學習與影像語意分割 (Image Semantic Segmentation) 的鋼筋間距辨識方法。從深度影像的蒐集與人工標記、機器學習的歷程，最後展現出可以符合實務標準的誤差範圍。其成果雖然只展現了鋼筋檢驗的其中一個環節 (即間距)，卻提供了其他的查驗項目一個可行的參考方向。

### 鋼筋查驗技術發展現況

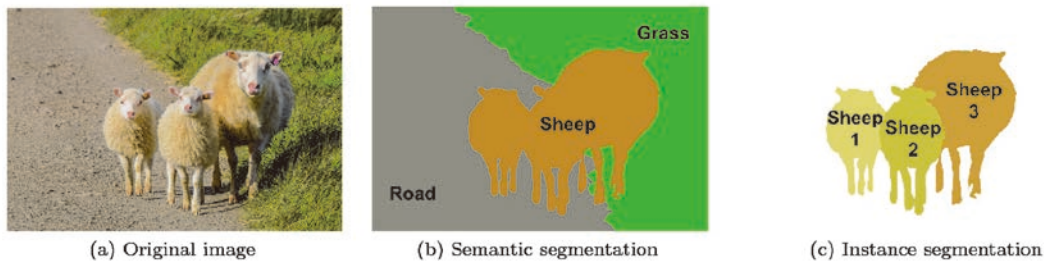
以智慧科技輔助鋼筋查驗並不是一個全新的議題，但是既有研究的適用情境與需求與本研究略有不同。過往的許多科技輔助鋼筋查驗應用方法反而是作為非破壞性檢測來使用，亦即在混凝土已澆置完成的狀態下探測 RC 構造物當中的鋼筋的健康狀態，如鋼筋之直徑或是銹蝕情形。其多半需要透地雷達 (Ground Penetrating Radar, GPR) [3-5] 或是電感式接近感測器 (Inductive sensor) [6] 等硬體設備的輔助。雖然其應用情境與本研究提及的「鋼筋籠綁紮階段的鋼筋查驗」有所區別，但其中某些基於影像處理的技巧亦值得本研

究借鏡與參考。此外亦有相關的鋼筋查驗技術應用在混凝土澆置之前，例如利用光達 (Lidar) 建立鋼筋籠的點雲資料 [7]，再據以計算鋼筋之間距。比起影像處理，利用點雲資料的最大優勢在於較易於判定鋼筋的深度，因為鋼筋的組立是立體的，並且往往有分層的配置。若要利用自動化的方式來判讀鋼筋間的間距，其中一大障礙便在於容易將不同層次的鋼筋誤判為同一層次。然而，光達建立的點雲資料雖然能夠有效克服此障礙，在實用性上卻也有著設備昂貴不易普及，或是掃描需要較長時間的問題。本研究同樣取得了影像的深度資訊，卻是使用較新穎並且較普及的景深攝影機來取代光達。

### 影像語意分割

影像語意分割 (Image Semantic Segmentation) 與影像實體分割 (Image Instance Segmentation) 是近年深度學習領域的熱門議題，影像語意分割乃是企圖在圖像當中辨識出特定類型的物件，並且進一步界定物件邊界的技術 (以圖 2 為例 [8]，比方說在一張風景圖像當中區別哪些區塊屬於路面、哪些區塊屬於草地)。而影像實體分割則是更進一步地區別同一個類別當中的不同實體 (以圖 2 為例 [8]，影像語意分割僅能確定影像中哪些部份是「羊」，卻無法將羊的區塊進一步區隔為不同隻羊，而影像實體分割即是能夠將不同隻羊視為不同物件而界定邊界的方法)。本研究由於辨識



圖 2 影像語意分割及影像實體分割示意圖<sup>[8]</sup>

目標為彼此區隔而互不重疊的鋼筋結點，使用影像語意分割已能滿足需求。而相較於一般比較為人所熟知的影像分類「將整張圖片對應到預先定義好的類別」，影像語意分割則是「將圖片中的每一個像素預測為預先定義好的類別」<sup>[9]</sup>，換言之它實現的是像素等級的預測。在深度學習蔚為風潮之後，基於深度學習的影像語意分割方法也大放異彩，其中最為人所熟知的有 FCN (Fully Convolutional Networks)<sup>[10]</sup>，SegNet<sup>[11]</sup>，Dilated Convolutions<sup>[12]</sup>及 DeepLab<sup>[13-15]</sup>等等。要進行影像語意分割的監督式機器學習，使用者需要先製造數量足夠並且帶有遮罩的訓練樣本，亦即透過人工標記的方式在影像上精確以色塊標記物件的範圍，如圖 2 所示<sup>[8]</sup>。

## 研究方法

本研究為了將深度學習方法套用在鋼筋查驗的自動化之上，需要自資料的蒐集開始，逐步建立監督式學習所需要的訓練樣本，其操作流程圖如圖 3 所示。

為了克服鋼筋影像當中不同層次的鋼筋可能造成互相干擾並且影響間距計算的問題，本研究除了取得鋼筋籠原始的 RGB 影像以外，還利用基於 Intel

RealSense 技術的 D415 及 D435 景深攝影機同時取得鋼筋籠的深度影像及點雲資料，如圖 4 所示。深度影像當中的每個像素顏色記錄著該像素的深度，以紅黃藍綠的順序代表深度的距離大小。景深攝影機本身並能配合開發套件輸出點雲檔案。

而本研究自正在施工階段的捷運車站及預鑄場拍攝約 37,000 張（共計 1,040 GB）的原始 RGB 影像，每張影像皆有對應之深度影像及點雲資料，其資料集之概況如表 1 所示。

在完成了初步的影像資料蒐集之後，下一個步驟便是據以製作訓練樣本，亦即為影像加上人工的標記。針對要計算鋼筋間距用的訓練樣本，本研究將其鋼筋縱橫交錯的結點以 Labelme 軟體標註於 RGB 影像之上，如圖 5 左半部所示。由於訓練資料的標註需要大量的人力投入，本研究僅選取 169 張鋼筋影像加以標記，其中 149 張作為訓練資料，10 張作為驗證資料，10 張作為測試資料。而圖 5 右半部則展示了作為測試資料的圖像，右上半為經過標記的結點位置，右下半為語意分割模型預測出來的結點位置。

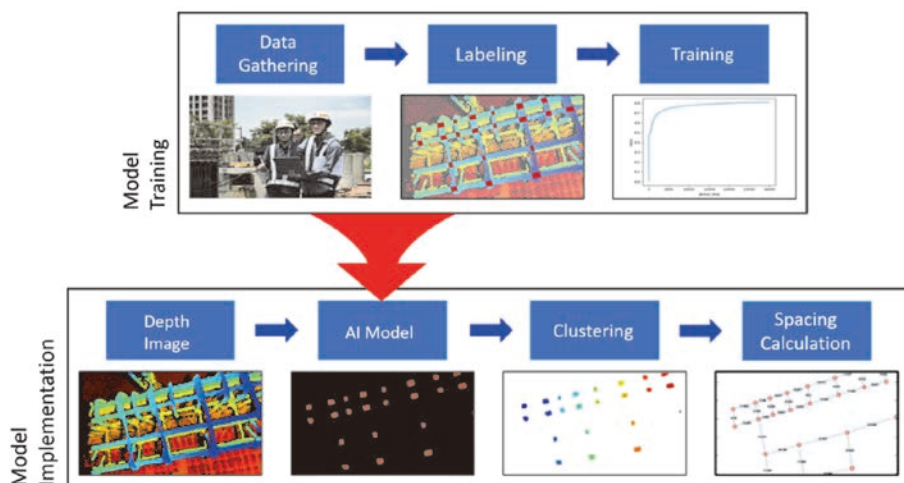


圖 3 人工智慧輔助鋼筋查驗流程圖

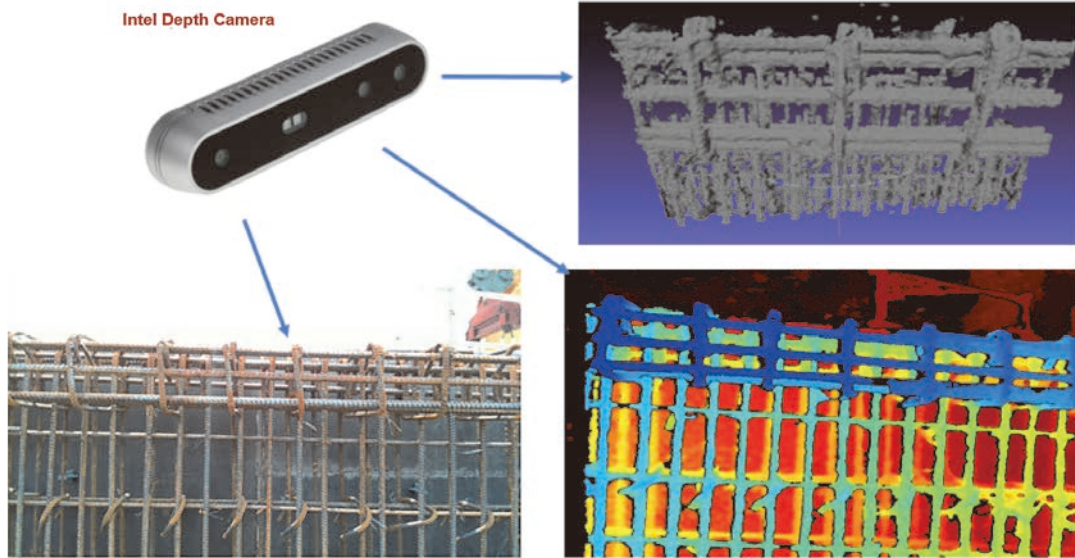


圖 4 景深攝影機運作示意圖

表 1 鋼筋影像訓練資料集概況

時間與地點	相機型號	蒐集影像總數量		
		RGB	深度影像	點雲
20190531 預鑄場 A	D415	13,528	13,580	13,580
20190710 預鑄場 A	D415	5,682	5,593	5,593
	D435	9,202	9,233	9,233
20191024 預鑄場 A	D415	3,579	3,593	3,593
20191220 捷運車站 B	D415	5,445	5,478	5,478
合計		37,436	37,477	37,477
共計 1,040 GB				

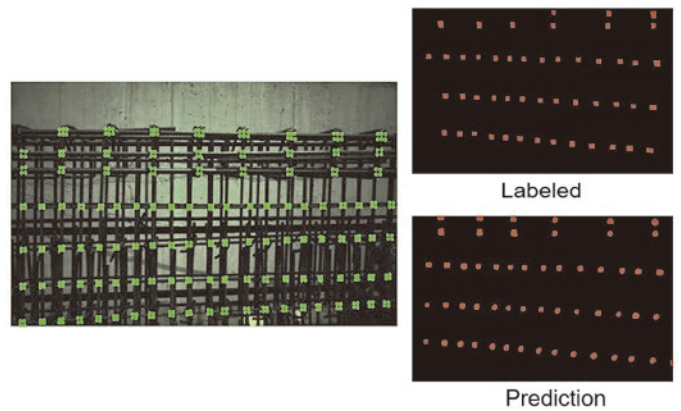


圖 5 標記鋼筋縱橫交錯之結點

本研究採用 DeepLab V3+ [15] 作為影像語意分割工具，並且以鋼筋縱橫交錯的節點為辨識目標。採用深度影像的一大優勢在於：在沒有考慮深度的情形下，不同層次的鋼筋的結點仍然都會被辨識出來，但是當不同層次的鋼筋結點都被投射在同一個影像平面上的時候，就無法保證「相鄰的兩個結點之間的距離」能夠代表鋼筋的間距，因為這兩個相鄰節點實際上可能屬於不同層次的鋼筋。然而，在深度影像有同時被導入的前提下，每個像素的深度資訊也被記錄在其中，而同時會被視為機器學習當中的特徵，因此當辨識的目標是「表層的鋼筋節點」的時候，屬於其他層次的結點不會造成干擾，而會被區隔開來。

### 結果與討論

透過 DeepLab V3+ 預測出結點的位置之後，下一個步驟是根據這些節點計算出鋼筋的間距。在大部份的場合，主筋與箍筋是整齊且互相垂直地交錯排列，因此本研究基於鋼筋整齊排列的假設，認定「在水平 / 垂直方向上相鄰的節點之間的距離可以代表間距」，繼而將間距計算出來並標記於圖上，如圖 6 所示。

本研究使用了 10 張鋼筋影像作為測試資料，每張影像如圖 6 所示，各自含有數十個水平間距及數十個垂直間距，每個實際的水平或垂直間距都已經經過測量，再進一步和「自預測結點所計算出來的間距」（亦即標記在圖 6 上頭的間距）相比較，繼而求算誤差，最後水平向與垂直向的平均誤差如表 2 所示。



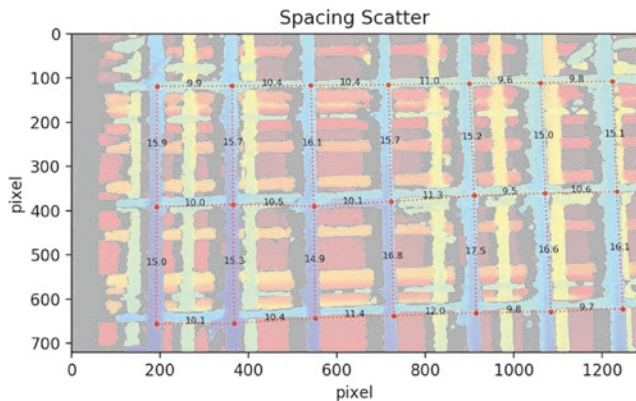


圖 6 將鋼筋籠結點連接取得鋼筋間距

表 2 水平及垂直向鋼筋間距之平均誤差

	平均計算間距 (cm)	平均實際間距 (cm)	平均誤差 (cm)	平均誤差 (%)
水平向	10.36	10.06	0.31	3.40%
垂直向	15.78	15.21	0.56	4.06%

## 結論

本研究提出基於深度學習與影像語意分割的方式，以發展自動化的鋼筋查驗方法。就預測結果而言，鋼筋間距的平均誤差值可以被鋼筋查驗的標準所接受，因此已具有投入實際場域應用的潛力。未來可能將其作為無人機上搭載的裝置，則可以減少檢驗人員接觸危險工作場域的機會，並有可能擴大鋼筋局部抽測的範圍，以達到更可靠的鋼筋查驗水準。

而本研究以鋼筋的間距為例，來展示影像語意分割的訓練方法，鋼筋查驗還有許多其他的查驗項目，諸如彎鉤、搭接、鋼筋號數（直徑）等等，在此應用框架之下，使用者僅需改變訓練樣本的標記方式，以及將來辨識目標的測量方式，便可將同樣的基礎應用到不同的鋼筋查驗項目之上。

## 誌謝

本研究感謝科技部與中興工程顧問股份有限公司在「以人工智慧輔助工地鋼筋查驗」產學合作研究案（MOST 109-2622-E-002-016-CC2）當中熱情贊助研究經費及慷慨提供實驗場域，並感謝國立臺灣大學土木工程系的韓仁毓教授、張書瑋副教授、張家銘副教授、陳柏華副教授對本研究的技術指導，與原國震中心與台大土木合設 AI 中心研究助理李啓民、國立台灣

大學土木工程學系電腦輔助工程組碩士生黃政維、國立台灣大學土木工程學系電腦輔助工程組暑期實習生邱仕鴻、黃湘娟、吳翊賢、李怡中對本研究案的協助。

## 參考文獻

1. 行政院勞動部職業安全衛生署 (2020)。108 年勞動檢查年報。  
<https://www.osha.gov.tw/1106/1164/1165/1168/29804/> (last access: 2021/01/25)
2. OSHA (Occupational Safety and Health Administration) (2021). *Construction focus four training*. [https://www.osha.gov/dte/outreach/construction/focus\\_four/index.html](https://www.osha.gov/dte/outreach/construction/focus_four/index.html) (last access: 2021/01/25)
3. Hugenschmidt, J. and Mastrangelo, R. (2007). *The inspection of large retaining walls using GPR*. 4th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, pp. 267-271.
4. Gehrig, M., Morris, D., and Bryant J. (2004). *Ground penetrating radar for concrete evaluation studies*. Technical Presentation Paper for Performance Foundation Association.
5. Zhan, R. and Xie, H. (2009). GPR measurement of the diameter of steel bars in concrete specimens based on the stationary wavelet transform. *Insight*, 51, pp. 151-155.
6. Zaid, M., Gaydecki, P., Quek, S., Miller, G., and Fernandes, B. (2004). Extracting dimensional information from steel reinforcing bars in concrete using neural networks trained on data from an inductive sensor. *NDT & E International*, 37, pp. 551-558.
7. Han, K., Gwak, J., Golparvar-Fard, M., Saidi, K., Cheok, G., Franaszek, M., and Lipman, R. (2013). *Vision-based field inspection of concrete reinforcing bars*. 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, London, UK.
8. Crous, M. (2018). *Combining weakly and strongly supervised segmentation methods for wind turbine damage annotation*. Bachelor Thesis, University of Amsterdam.
9. Chen, L. C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., and Adam, H. (2018). *Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation* [paper presentation]. ECCV (7).
10. Long, J., Shelhamer, E. and Darrell, T. (2015). *Fully convolutional networks for semantic segmentation*. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 3431-3440.
11. Badrinarayanan, V., Kendall, A., and Cipolla, R. (2017). SegNet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39, pp. 2481-2495.
12. Yu, F. and Koltun, V. (2015). *Multi-scale context aggregation by dilated convolutions*. Computing Research Repository (CoRR) in arXiv, 11/23.
13. L. C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. Yuille (2014). *Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected CRFs*. Computing Research Repository (CoRR) in arXiv, 12/22.
14. L. C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. Yuille (2016). *DeepLab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
15. L. C. Chen, G. Papandreou, F. Schroff, and H. Adam (2017). *Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation*. Computing Research Repository (CoRR) in arXiv, 06/17.



# 應用 UAV 影像於 交通車流 資料蒐集之研究

黃家耀／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 副教授  
莊宜芳／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生  
林佳欣／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生  
廖晉毅／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 助理研究員  
李祐德／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生  
鄭人瑋／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生

傳統的現場交通調查方式，大多使用調查人員於現場進行觀察記錄，或採路側攝影再於室內進行資料登錄作業，容易有攝影機架設限制、人力疲勞、資料登錄錯誤等問題。隨著科技的進步，無人機（UAV）遙測技術漸趨成熟，透過空中拍攝方式存取影像，其具有調查機動性高、拍攝範圍廣等特性，加上近年人工智慧、電腦視覺的演算法的發展，可以由空拍影像中自動化的萃取出車流的移動軌跡。車流軌跡具有高保真度之特性，除了能進行車流特性資料蒐集外，更適用於很多現場人工調查無法達成之交通分析及應用。本文將介紹無人機空拍技術於交通資料蒐集之作業方式，以及電腦視覺與車流資料萃取的方法，並探討高速公路及市區道路之應用案例，期望能激發出更多創新應用上的可能性。

關鍵詞：交通調查、無人機（UAV）、電腦視覺、高速公路、市區道路、車流軌跡

## 背景說明

交通分析必須依賴有效的交通特性資料，在分析地點沒有偵測器或偵測器的資料不符分析需求時，可採用現場調查進行資料蒐集。傳統的現場交通調查方式，如使用人工計數、浮動車法、在已知路段長度上計量行車時間（碼錶法）、應用都卜勒反射原理（雷達測速器、超音波測速儀）、以及使用距離與時間並記（攝影法）等<sup>[1]</sup>，都需要調查人員於現場進行觀察記錄。以上方式容易有設備架設的限制、人力疲勞、資料登錄錯誤等問題，如資料整理後發現有不合理或不一致，亦難以追蹤調查當下的實際情況，無法確定資料的準確程度。以攝影法為例，在路側安裝的攝影機

理論上能保留調查現場的原貌，但調查需要採用多台攝影機，每台攝影機之設置地點及高度限制了拍攝的範圍和角度、設置環境也會影響拍攝出來的影像資料品質（障礙物遮擋、陰影等）；佈設多台攝影機在資料整理、問題追查上的人力成本也隨之增加。此外，蒐集的車流特性資料主要為車流量、速率、延滯、旅行時間等項目，這些巨觀的資料也無法應用於較為微觀的行為分析。

隨著科技的進步，無人機（UAV）遙測技術漸趨成熟，透過空中拍攝方式存取影像，其具有調查機動性高、拍攝範圍廣等特性，克服了上述傳統現場調查設備佈設之限制。無人機之拍攝角度可完全垂直俯視



地面，比傳統拍攝影像的幾何失真程度小，同時也避免了車輛遮蔽的問題（如圖 1 所示）。空中拍攝所取得之影像，能觀察較大範圍，且空拍影片的重現性極高，分析人員能更容易的追查當下的交通情況。依目前技術，無人機進行交通調查的最大限制是續航力有限，如需連續較長時間的交通資料蒐集，可採兩台無人機以無縫接力之方式互補。

由於近年人工智慧、電腦視覺的演算法的發展，可以由空拍影像中進行物件進行偵測、追蹤與分類，自動化的萃取出車流的移動軌跡。車流軌跡記錄了影片中每一輛車在每一時間點下的所在位置，因此具有高保真度之特性，研究人員可在利用程式的撰寫得出

需要的巨觀或微觀車流特性資料，可用於探討巨觀（如容量、系統績效）及微觀（如車流行為模式）的交通問題分析。過去有採用人工方式進行車輛軌跡收集之研究<sup>[2]</sup>，而近年已能用影像辨識進行市區汽機車混合車流的軌跡收集，用於進行交通安全及效率等的應用分析<sup>[3,4]</sup>。

綜合以上討論，傳統及無人機方式進行現場交通調查各有優缺點，整理於表 1 所示。本文將介紹無人機空拍技術於交通資料蒐集之作業方式，以及電腦視覺與車流資料萃取的方法，並探討高速公路及市區道路之應用案例，期望能激發出更多創新應用上的可能性。



圖 1 無人機蒐集之影像（中和交流道）

資料來源：黃家耀等人<sup>[5]</sup>

表 1 現場交通影像蒐集方式比較

影像蒐集方式	路側錄影調查方式	無人機空中拍攝方式
拍攝範圍	窄、需多台攝影機	廣、一鏡到底
最大拍攝時間長度	10 小時以上	4 小時以內
執行調查彈性	須提前發文申請、工程車協助交維、提前現場施工	調查日之天氣要適合飛行任務
調查地點的選擇限制	路側有可用設施桿，掛載攝影機	限禁航區、相關法規
資料整理項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>流量、速率</li> <li>車道變換（採樣）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流量、速率、密度</li> <li>車道變換</li> </ul>
資料品質及登錄方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>內側車道車輛易受遮蔽，流量及車道變換資料誤差較大</li> <li>透過追車記錄速率，耗費人力、容易出錯</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工登錄可有效登錄流率、密度、車道變換，但無法紀錄速率</li> <li>影像辨識技術可紀錄流量、速率、密度、車道變換</li> </ul>
優點	技術相對成熟，可委託交通調查公司進行	發展 AI 影像辨識的可能性
缺點	多部影片，後續難以追蹤	無人機續航力不足，需要兩台或以上接力拍攝

資料來源：黃家耀等人<sup>[6]</sup>、本研究整理

### 無人機機型比較

隨著無人機的技术發展及需求之提升，目前市面上有眾多機型可供選擇，在適合進行交通影片拍攝的用途上，較普遍之機型大致可分為三類：小型無人機、中型無人機、大型無人機，使用者可按拍攝的條件及需求而選擇合適之拍攝方案。在交通車流的資料蒐集及分析應用上，主要的考量是無人機的續航力、影片的穩定度、以及影像的解析度。因此，選擇無人機機型時，主要考量無人機飛行器的重量、負載能力、雲台、及攝影機之規格。負載能力會影響能攜帶的電池量，但重量較輕會相對較靈活及穩定，小型或中型無人機機身輕巧，具備快速起降特性，較適用於市區的交通拍攝，惟飛行時間較短，拍攝時間約 15 ~ 20 分鐘；大型無人機展開後體積較大，雖可折疊收納，然攜帶仍稍微不便，但飛行時間較長可達 35 ~ 45 分鐘，有利於較長時間之影片蒐集。另外，無人機的抗風能力及雲台設計會影響影片的穩定性，機身的震

動有可能會導致影片發生晃動或果凍效應，無論採用電腦或人工的方式進行影片分析，後續的分析困難度都會大幅增加。最後，目前市面上的攝影機規格大多具備 4K@30fps 以上，已可滿足一般的需求。

另一方式是依無人機的可調整性作分類，可分為市售的消費型無人機及客製化（國產）無人機，消費型無人機因取得容易且相對便宜，加上一體成形，使用者較不需要有機械的專業知識就可運用，但其電池一般屬於特殊規格，無法通用於其他機型。目前市售的小型及中型無人機，拍攝效果已相當不錯，為大部分交通調查專案所採用。相對而言，客製化無人機單價較高但可按需求而進行調整，能選擇合適之電池量及攝影機等，其鋰電池可通用，也可使用功能更強大的飛控軟體，完成複雜度或重覆性較高的飛行計劃。

表 2 整理了市售小型無人機、市售中型無人機、客製國產無人機的規格及其優缺點，三款無人機在拍攝實測的比較結果可參考<sup>[10]</sup>。

表 2 交通調查適用之無人機機型比較

機型	市售小型無人機	市售中型無人機	客製國產無人機
外觀			
續航力	約 20 ~ 30 分鐘	約 20 ~ 30 分鐘	約 40 ~ 60 分鐘
軸距	約 24 公分	約 35 公分	約 70 公分
重量	約 0.3 公斤	約 1.4 公斤	約 5.0 公斤
最大風速	8 m/s	10 m/s	8 m/s
單價	約 3 萬元	約 5 萬元	15 萬元起
畫面解析度	4K 30fps	4K 30fps	2.7K 線性 30fps， 搭載小型運動攝影機，如 GoPro HERO
市售型號 / 開發廠商	DJI Mavic 系列、Parrot Anafi 系列	DJI Phantom 系列	經緯航太、卓思智能、工研院等
優點	機身輕巧、具備快速起降之特性； 可遠端啟動錄影功能	機身輕巧、具備快速起降之特性； 可遠端啟動錄影功能；穩定度高	飛行時間較長
缺點	飛行時間較短	飛行時間較短	成本高、體積大、攜帶較不便；影像較 易晃動且解析度較低。

資料來源：溫基信等人<sup>[10]</sup>、本研究整理



## 交通調查流程

運用無人機進行交通調查，可將工作流程大致分為 5 個階段：(1) 交通調查可行性評估、(2) 調查前確認拍攝參數、(3) 無人機空拍作業、(4) 影片檢查及資料、(5) 影像判讀及分析（如圖 2 所示）。首先，先依分析需求選擇符合條件之調查地點及時間，評估無人機調查的可行性，例如拍攝地點的幾何型態及車流行為、尖峰壅塞的發生時間、需連續觀察的時間長度等，如能選擇調查地點，應盡量避免在無人機的限禁航區內，但原則上仍可向民航局及相關單位提出限禁航區內的拍攝申請。

拍攝地點及需求確定後，現場調查前應先實地場勘，尋找適合之無人機起飛點並進行試拍，測試合適的參數，如無人機的懸停點、飛行高度、機型、拍攝

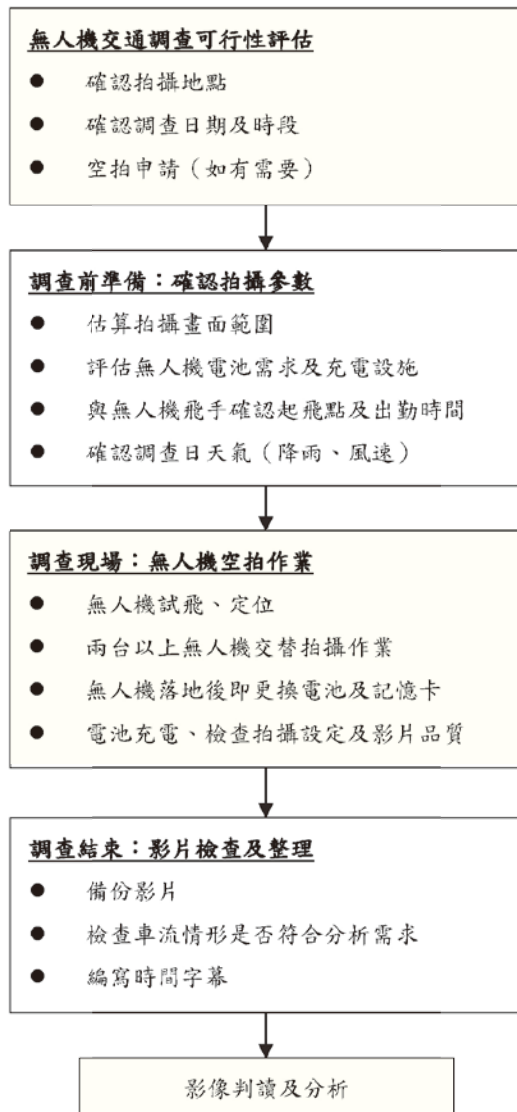


圖 2 無人機空拍調查作業流程

範圍及時間等，並與空拍飛手溝通確認拍攝的方式，減少正式調查時的不確定性。正式調查時，則依據場勘試調查時之參數進行，如調查時段需要不間斷的觀察車流演變，空拍調查任務可採兩台無人機輪流拍攝，第一台無人機升空拍攝，在監控電力即將耗盡前，令第二台無人機升空並就定位後，才讓第一台無人機返回，並馬上進行電池及記憶卡更換。調查結束後，應馬上檢查影片是否符合需求，並檢討作業流程是否有可改進之處。最後將影片進行判讀及分析。

## 交通應用情境設定

不同的交通調查場域會有不同的無人機的拍攝參數，高速公路及市區道路的拍攝考量會截然不同。無人機的空拍技術在交通應用上，主要受限於拍攝範圍及續航力。在拍攝範圍方面，飛行高度越高，可觀察範圍越廣，但地面上之人車物件在畫面中的像素也隨之下降，影像分析可能無足夠的特徵來辨認移動物及其分類，因此尚需考量影像辨識模式之技術及所需的最少有效像素。就市區道路而言，在飛行高度 75 公尺的可視範圍約為 105 公尺（橫向），已可清楚辨認聯結車、貨車、客運、小型車、機車及行人，但電動自行車及輕型機車因外觀及車速相近可能較難分辨，容易有車種誤判的情況，另外，路面標線之複雜程度也會增加辨認的困難度<sup>[9,10]</sup>。而高速公路之路面標線單純且完整，最小分析單位為小型車，因此可以進行較大範圍的拍攝，依目前經驗最大拍攝範圍可達 700 公尺仍可清楚辨識車輛<sup>[5,6]</sup>。

續航力方面，市區道路號誌化路口屬於阻斷性車流，因此可依完整號誌週期為最小資料收集單位，週期與週期之間較沒有連貫性，兩架次之無人機拍攝可有時間差。但高速公路屬於非阻斷性車流，需要分析的現象（如車流崩潰）可能瞬間發生，為能觀察到現象出現前之車流情況，因此需要連續拍攝，可採兩台無人機接力拍攝，或採用客製化長效性無人機減少交替的次數。無人機於市區道路與高速公路之比較如表 3 所示。

## 影像辨識與車流軌跡萃取

無人機蒐集的影片會有晃動及偏移，在進行影像辨識前，需將影片進行穩定化。而如車流分析只需要

表 3 市區及高速公路之交通拍攝設定

調查場域	市區路口	高速公路
評估空拍地點	確認距離鐵路、高架橋、交流道等設施， 達 300 公尺以上	應遠離高速公路、建築物及障礙物 30 公尺以上。
拍攝範圍	105 ~ 155 公尺	500 ~ 700 公尺
飛行高度	75 ~ 110 公尺	350 ~ 500 公尺依拍攝範圍調整
風速	9 m/s 以下	
風向	儘量和鐵路、機場禁限航區等危險區域相反	
錄影解析度	1080p/2.7K/4K 30fps	4K 30fps
畫面設定	主要道路橫向置中、次要道路縱向置中	畫面涵蓋高速公路分析範圍，但無人機應避免 停留於高速公路正上方 30 公尺範圍內

資料來源：黃家耀等人 [6]、溫基信等人 [10]、本研究整理

萃取部分畫面的車流資訊，則可先裁切需要的畫面範圍，以降低模式分析時所需的電腦資源。

影像分析的流程大致上可分為物件偵測、分類及追蹤，卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 是目前運用在影像辨識的問題上最常用的深度學習架構，近年來不斷有基於卷積神經網路的優良架構被提出，現今已成為物體偵測技術之骨幹。物件偵測模式較常用的有 Yolo (You Only Look Once) 系列模式及 R-CNN 模式等，可有效偵測出車輛在畫面中的位置及車種，這些方法的輸出為包裹車輛輪廓之最小正矩形，其中心點可代表車輛之中心位置，但對於非平行於畫面之車輛則無法判斷真實大小及車頭方向。另一方式是採用採用 Mask-RCNN 架構，可進行物件分割的特性，偵測出有方向性、貼合車輛輪廓之邊框 (Oriented Bounding Box)，轉向中的車輛其邊框大小都會相同，並提供車輛的車頭方向資訊，可用於計算微觀的車流特性資訊 (如兩車之間的距離)。偵測及分類完成後，每張影格 (frame) 偵測到的結果再進行車輛追蹤，可採用 Deep SORT (Deep Simple Online and Realtime Tracking)，利用深度學習方式辨識車輛外觀特徵，將不同影格 (frame) 偵測到的物件位置串聯成車

流軌跡。有興趣的讀者可參考 [4,6]。

車流軌跡資料庫紀錄每一台車輛的編號與車輛於當前車身矩形框四點的  $x$  坐標與  $y$  坐標，這些坐標屬於畫面中的坐標，需要轉換為真實坐標系統以取得車輛之尺寸、車間距離、車速等資訊。可採用地面採樣距離 (GSD, Ground sample distance)，意即畫面中一像素代表的公尺數 (pixel per meter)，進行簡單轉換。或可採用較為複雜的方式，運用攝影測量技術中的投影變換方法 (Projective transformation between planes)，先找出空拍畫面中的影像坐標與真實坐標系統之間的轉換矩陣，再將軌跡資料庫進行坐標系統的轉換 [7]，轉換矩陣的計算方式如下：

$$X = \frac{e_1 x + f_1 y + g_1}{e_0 x + f_0 y + 1} \tag{1}$$

$$Y = \frac{e_2 x + f_2 y + g_2}{e_0 x + f_0 y + 1} \tag{2}$$

其中， $(x, y)$  為影像座標， $(X, Y)$  為真實座標； $e_0$ 、 $e_1$ 、 $e_2$ 、 $f_0$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $g_1$ 、 $g_2$  為轉換參數，該些轉換參數可由校估而得，可透過軌跡影片底圖中選取五個以上的興趣點 (Point of interest, POI)，再利用興趣點的

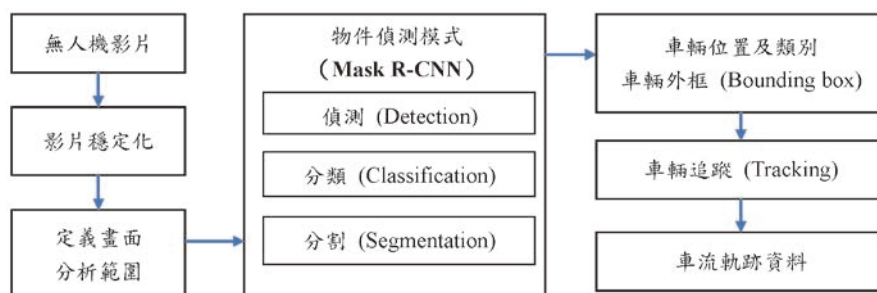


圖 3 車流影像辨識步驟



影像座標及其對應對真實座標資料進行上述模式的校估。坐標系統轉換方法有利於將多部空拍影片轉為共同的坐標基礎，資料庫中的路側設施、車道線等位置會完全相同，可用於多個資料庫的統合分析<sup>[8]</sup>。

## 高速公路之車流軌跡

車流軌跡資料具高保真性，完整紀錄車輛在道路上的移動軌跡，在資料精確度足夠高的前提下，可由軌跡資料中計算使用者任意設定的各種巨觀及微觀車流特性資料，巨觀車流特性包括任意位置及時間點之車流率、速率、密度，微觀車流特性包括車輛之車速及加減速分佈、兩車之車間距離及相對車速、以及車道變換等資訊。美國 FHWA 發布之 NGSIM<sup>[11]</sup> 是文獻中最常被採用之車流軌跡資料庫，已被大量引用於高速公路的車流分析<sup>[12]</sup>。本節將介紹高速公路的車流軌跡結果及處理方式<sup>[6]</sup>。

圖 4 顯示三鶯交流道之拍攝影像畫面以及車輛偵測結果的截圖，該地點的拍攝範圍約 450 公尺，涵蓋四車道之高速公路主線及進口匝道，畫面中可清楚顯示能偵測匝道車流由加速車道併入主線，與主線車流產生互動的情況。可繪製車流軌跡時空圖 ( $X-T$  圖) 將資料視覺化，圖 5(a) 顯示主線某一車道上的車流軌

跡，橫軸為調查實際時間，縱軸為空間每公尺，每一條線代表一台車從進入空拍畫面到離開的軌跡，其斜率即代表該車輛於某一時空位置之車速。時空圖能完整呈現調查範圍內之車流演變 (traffic evolution)，如圖中可看到拍攝範圍末端 ( $Y = 450 \text{ m}$ ) 約於 16:55:00 發生車流震盪，速率瞬間由 60 km/hr 下降至 30 km/hr，衝擊波傳遞至上游整個路段，下游車輛之車速通過震盪後恢復約 60 km/hr；而 16:57:00 衝擊波傳遞至上游 ( $Y = 0 \text{ m}$ )，但車輛之車速並無通過震盪後恢復之情況，致使主線路段上游進入壅塞狀態。另外，可再透過撰寫程式而取得所需之車流特性資料，參考<sup>[13]</sup> 提供由車流軌跡計算流率、速率、密度的方式，製作對應之速率時空圖如圖 5(b)。

## 市區路口之車流軌跡

市區道路車流的分析重點是汽機車混合車流之間的互動，小汽車一般行駛於車道線中間，而機車則有可能有車道中與其他車輛並排或兩車道之間鑽車之行為，加上車輛於路口會進行轉向，車輛的行駛路徑並非一直線，因此無法採用軌跡時空圖 ( $X-T$  圖) 來呈現；反之，可運用車流動線圖 ( $X-Y$  圖) 視覺化顯示車輛通過路口時所使用的路徑。

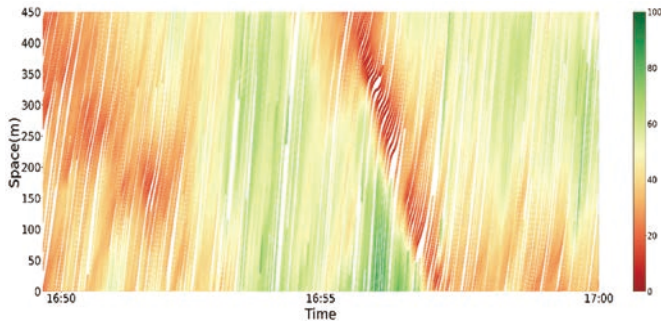


(a) 無人機拍攝之影像畫面

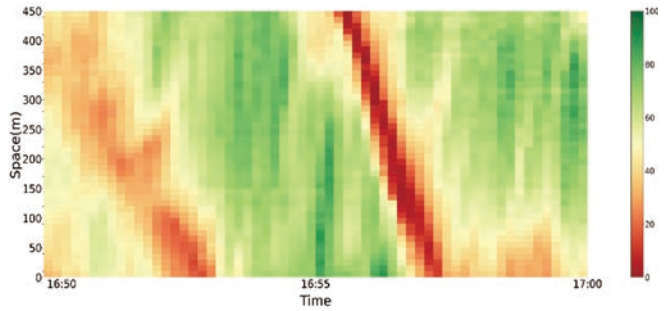


(b) 車輛偵測

圖 4 高速公路之影像分析 (三鶯交流道)



(a) 車流軌跡圖



(b) 速率時空圖

圖 5 高速公路車流軌跡視覺化結果(單一車道)

圖 6 顯示無人機拍攝路口之畫面及車輛偵測結果之截圖，該地點的拍攝範圍約 110 公尺，涵蓋一個五岔路口之各進口方向車流，畫面中可清楚辨識汽機車的車流，以及機車停車區、待轉區、行穿線等標線。圖 7 顯示不同方向的車流動線軌跡，以及汽車直接左轉及機車兩段式左轉的移動軌跡，可以快速的視覺化評估標線劃設的合理性，以及判斷車輛是否有依循規定之方式行駛。如圖 7(a) 顯示有部分車輛經由直進車道進行左轉。又以圖 7(f) 為例，可看出兩段式左轉之待轉區劃設過於靠近行穿線，以至於機車必須行駛於行穿線上，可能對行人的安全產生影響；而圖 7(e) 則無此問題。

## 結論及未來展望

本文介紹了無人機空拍技術結合人工智慧影像辨識進行交通車流資料蒐集之方法，而高速公路及市區道路之分析需求並不相同，因此拍攝設定、作業方式、分析方法也有所差異。相較於傳統的現場調查，無人機的視野範圍廣，所萃取之車流軌跡能呈現完整的車流演化過程，便於車流特性資料之產生。然而，無人機不應用作取代傳統的調查作業模式，傳統調查作業時間動輒 2 至 4 小時以上，而無人機無法長時間



(a) 無人機拍攝之影像畫面



(b) 影像分析之車輛偵測

圖 6 市區路口之無人機影像分析

連續作業，調查及影像分析的成本尚高。因此，無人機調查應作為蒐集更精細的車流資料作進階的交通應用，探討傳統調查無法達成的課題。

無人機在智慧運輸的創新應用上，除了可進行車流特性資料蒐集<sup>[5,6]</sup>、交通衝突熱點分析<sup>[9,10]</sup>、交通事故現場繪製等，未來更有機會結合 5G 通訊及高速影像傳輸，發展交通監控與管理、交通號誌即時控制、緊急交通事件管理等即時性的交通管理應用，可預期無人機將會是智慧運輸中十分重要的一環。交通部正積極探討無人機在交通運輸領域應用，以制定相關的政策及推動方式，促進相關產業的發展<sup>[14]</sup>。目前國內無人機的產業以農業、巡檢、測量等實務應用為主，期望未來國內可依交通運輸的需求研發機型，在無人機的續航力、影像的穩定性、影像資料的即時處理能力方面進行改良，在智慧運輸的創新應用上創造更多的可能性。

## 參考文獻

1. 陳惠國、邱裕鈞、朱致遠 (2017)。交通工程 (2 版)。五南出版社。
2. Lee, T.C., Polak, J.W., and Bell, M.G. (2008). *Trajectory Extractor User Manual Version 1.0*. Centre for Transport Studies, Imperial



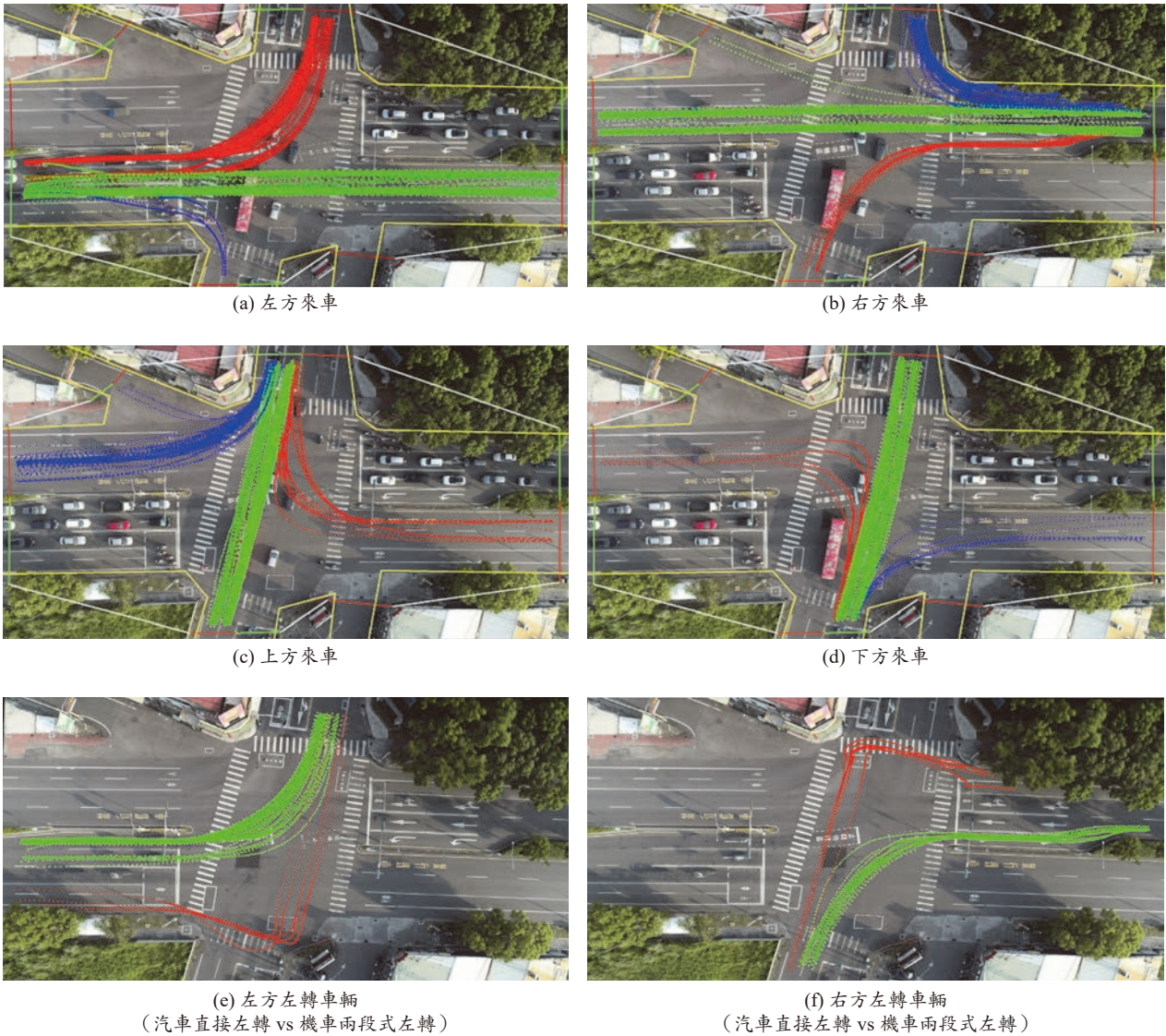


圖 7 市區路口之車流動線軌跡

- College London, United Kingdom.
- Chen, A.Y., Chiu, Y.-L., Hsieh, M.-H., Lin, P.-W., and Angah, O. (2020). Conflict analytics through the vehicle safety space in mixed traffic flows using UAV image sequences. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 119, 102744.
  - 蘇志文、黃家耀、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正、溫基信 (2020)。基於空拍影像之人車軌跡抽取技術。運輸計劃季刊，第 49 卷，第三期，235-258 頁。
  - 黃家耀、林貴璽、廖晉毅、溫雲晨、陳威瑜 (2019)。高速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究 (1/3) - 獨立進出口分匯流區。交通部運輸研究所委託研究計畫期末報告書。
  - 黃家耀、林貴璽、廖晉毅、溫雲晨、陳威瑜、林宜理、李祐德、莊宜芳、林佳欣 (2020)。高速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究 (2/3) - 非獨立進出口分匯流區。交通部運輸研究所委託研究計畫期末報告書。
  - Mikhail, E.M., Bethel, J.S., and McGlone, J.C. (2001). *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons.
  - 黃家耀、林貴璽、溫雲晨、廖晉毅、張舜淵、歐陽恬恬 (2020)。無人機交通調查系統及其交通調查方法。中華民國專利 (提出申請中)。
  - 溫基信、王宏生、黃家耀、蘇志文、周業凱、楊植竣、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正 (2019)。路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發。交通部運輸研究所委託研究計畫。
  - 溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、周業凱、彭千純、張開國、葉祖宏、賴靜慧、孔垂昌 (2020)。路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較。交通部運輸研究所委託研究計畫。
  - NGSIM (2006). *The next generation simulation program*. U.S. Federal Highway Administration. <http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisstools/ngsim.htm>
  - Li, L., Jiang, R., He, Z, Chen, X., and Zhou, X. (2020). Trajectory data-based traffic flow studies: A revisit, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 225-240.
  - Edie, L.C. (1963). *Discussion of Traffic Stream Measurements and Definitions*. Proceedings of the 2nd International Symposium on the Theory of Traffic Flow, pp.139-154.
  - 邵珮琪、林清一、吳東凌 (2020)。無人機於交通運輸領域應用與政策推動之探討。運輸計劃季刊，第 49 卷，第三期，201-234 頁。



# 人工智慧於交通安全應用

謝宗穎、何語萱、鄭又嘉、張仲宇／國立臺灣大學土木工程研究所交通工程組 碩士生

許聿廷／國立臺灣大學土木工程研究所交通工程組 副教授

陳柏華／國立臺灣大學土木工程研究所交通工程組 教授

台灣的混合車流環境衍伸出不少問題，混亂的交通不僅造成運輸效率下降，更使台灣的交通事故死亡率相較於其他已開發國家高出不少。隨著人工智慧的快速發展，影像及聲音偵測技術的用途越來越廣，其中自駕車與交通安全的應用不在少數。如何運用人工智慧技術來改善台灣的交通問題成為政府的一大課題。本研究回顧國內外文獻，首先以行人安全為主題，介紹了處理行人意圖判斷、行人軌跡預測等問題的新方法，並說明車輛可以結合的應用。接著以車輛行為分析為主題，依據車輛異常偵測、路旁車輛狀態分析、車輛違規與車禍偵測等面向描述近年來的研究方法，顯示影像與聲音技術可以協助車輛本身及政府單位對交通安全事件作出即時反應。最後，從巨觀角度，描述社交距離與道路關係、巨觀車流分析中的新技術可以幫助我們得到更全面的分析。期望本研究能激起更多人工智慧結合交通安全的應用，讓台灣的交通更為安全。

關鍵詞：行人安全、車輛行為、道路分析、影像偵測、聲音偵測

Taiwan's mixed traffic environment has caused many problems. The chaotic traffic not only causes a decline in transportation efficiency, but also make Taiwan's traffic fatality rates much higher than that of other developed countries. With the rapid development of artificial intelligence, the use of video and sound detection technology is becoming more and more extensive, and there are many applications for self-driving vehicles and traffic safety. Using artificial intelligence technology to improve Taiwan's transportation problems has become a major issue for the government.

This research reviews domestic and foreign literature, firstly, with pedestrian safety as the theme, introduces new methods to deal with problems such as pedestrian intention identification and pedestrian trajectory prediction, and explains the related applications that can be used in vehicles. Next, with the theme of vehicle behavior analysis, based on recent research methods such as vehicle anomaly detection, roadside vehicle status analysis, vehicle violations and car accident detection, etc., the display image and sound technology can assist the vehicle itself and government agencies to respond traffic safety events in real time. Finally, from the macro perspective, describing the relationship between social distance and roads, and the new technology in macro traffic flow analysis can help us get a more comprehensive traffic analysis. It is hoped that this research will stimulate more applications of artificial intelligence combined with traffic safety to make Taiwan's traffic safer.

Key Words: Pedestrian safety, Vehicle safety, Road Analysis, Image detection, Audio detection.

## 前言

目前工程領域，影像處理及人工智慧技術已非同小可，許多研究結合攝影機、雷達、光達等感測裝置達到物件辨識、物件追蹤、行為判斷等技術。然而台灣現行交通安全研究方法，大多透過肇事資料結合現場調查，了解事前事後肇事與交通特性之變化，接著檢討各路口的衝突成因並研擬改善策略。此外，有些

研究透過實驗分析如張旗晏等人<sup>[1]</sup>於實驗室中架設模擬環境測試不同年齡受測者之道路穿越決策及行為以探討行人穿越的安全性。吳熙仁等人<sup>[2]</sup>於駕駛模擬器進行實驗，探討特殊環境（如濃霧）與路況（如前車緊急煞車）下，對前車相對速度感知及反應時間不確定性之權衡關聯性。也有使用案例分析及問券方式如吳繼虹等人<sup>[3]</sup>透過人為失誤因子分析方法觀察機車事



故影像案例，同時利用問卷調查方式分析事故失誤因子，藉此掌握事故關鍵時間點發生的狀況與失誤原因。

上述這些交通安全研究方法卻大都仰賴人工判斷及分析，並較難取得即時和大量的數據，也有可能因實驗方式而導致與實際情況不符。為了突破傳統方法的限制，如能有效使用影像處理及聲音辨識等技術，相信能為交通工程研究迎向全新的面貌。因此本研究回顧結合電腦技術的自動化分析方法，若未來將其有效應用在交通工程上，將協助我們提出更適當的交通安全策略。

本研究主要針對國外 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, Transportation Research Part C, Accident Analysis & Prevention 等研討會與交通有關之最新研究及國內交通安全研究，回顧近期資訊領域及交通領域於交通安全議題上的創新應用。隨著電腦視覺及深度學習領域的高速發展，交通工程亦須重視這些技術。傳統交通安全改善上常會碰到資料缺乏或是車流模擬不正確的困境，若能掌握這些創新可靠的技術，相信不但可以協助解決這些難題，還能開發出創新的分析模式。本研究將依序分為第二章—行人安全、第三章—車輛行為分析及第四章—道路設計分析三個主題討論，探討與其相關的行人追蹤、車輛行為偵測、車流安全分析、聲音辨識等技術，並提出與交通安全相關應用的建議，作為未來台灣交通安全研究的參考依據。

## 行人安全

在交通安全領域中，行人安全常被視為首要考慮的問題。尤其在交叉路口，較年長的行人常無法在時間內穿越馬路或即時應對危險駕駛事件。隨著傳統機器學習方法及深度學習技術發展趨於成熟，物件偵測及物件追蹤開始被廣泛應用於各工程領域中。尤其近期自駕車發展迅速，行人的偵測及追蹤在行駛路徑選擇上扮演著重要的角色。智慧型車輛可以透過安裝相機、雷達及光達了解周遭的環境，消除盲點並閃避行人或是障礙物。因此許多研究提出結合人工智慧及電腦視覺的演算法，協助智慧型車輛內攝影機偵測人車並做出安全的駕駛行為。

本章節將行人安全分兩部分討論：行人意圖判斷及行人軌跡預測。

## 行人意圖判斷

自駕車在將來的某一天將普及，但目前仍有不少問題需要克服。其中如何透過影像了解行人的意圖便是近年許多研究的重點之一。物件偵測及追蹤的技術越趨成熟，我們可以輕鬆地使用各式各樣的深度學習模型找到影像中行人的位置及過去軌跡。然而車輛在行駛經過路口時，除了追蹤行人之外，更需要學習的是判斷行人的意圖。例如，當車輛在經過路口時，若能即時判斷馬路旁的行人是否會衝出馬路，車輛可以及時煞車避免嚴重的事故發生。另外，行人在移動過程的動作預測模型，比如判斷路上行人要打開前車門或是打開後車廂，也能為自駕車提供更詳細的資訊。

Bingbin Liu 等人<sup>[4]</sup>先辨識出場境中的行人與物件，再透過圖形卷積網路 (Graph Convolutional Networks, GCN) 掌握上述兩者的關聯性，最後再使用門控循環單元 (Gated Recurrent Unit, GRU) 模型預測行人通過馬路的意圖。Amir Rasouli 等人<sup>[5]</sup>製作了預測行人意圖的數據集，結合同人意圖估計及車輛速度預測，透過 LSTM 模型做出行人未來軌跡的預測。有研究透過駕駛員前方視角的路況做出觀察到的人車未來幾個時間點出現位置的多重假設，並可以對突然出現的人車做出反應<sup>[6]</sup>。

## 行人軌跡預測

行人軌跡也是近年研究的方向。許多研究藉由分析過去的軌跡，以機率形式預測行人未來的軌跡分佈。有了準確的軌跡，自駕車即可規劃出不與他人衝突的路徑。此外觀察俯視角度的影片，有了大量的行人軌跡預測資料或許能幫助我們做出更精準的軌跡預測，抑或是找出道路上令行人危險的成因。

Junwei Liang 等人<sup>[7]</sup>從俯視角度的影片，結合環境的圖像分割，根據行人行為模組及行人互動模組，預測行人未來軌跡及判斷其最後的目標動作。Huynh Manh 等人<sup>[8]</sup>將影像分成網格後，做行人移動及場景的 LSTM 模型，發現網格內場景資訊可以對行人軌跡預測有幫助。Abduallah Mohamed 等人<sup>[9]</sup>提出了 Social Spatio-Temporal Graph Convolutional Neural Network (Social-STGCNN)，以時空圖表現行人過去的軌跡，並考慮到行人關係的互動行為如平行走動及衝突迴避等，最後做出未來的軌跡分佈預測。另外，此模型將行人的互動行為為整合於圖形模型，讓它可以得到更準確且效率高的結果。

## 小結

為了確保行人安全，不論是自駕車領域還是交通工程領域都積極發展人工智慧技術。其中，行人偵測與追蹤發展已經越來越成熟，密集場景的偵測與追蹤也逐漸發展。以行人偵測與追蹤的技術的基礎，衍伸出了行人意圖判斷及行人軌跡的預測等研究。當車輛能正確判斷行人意圖，車輛和駕駛能即時接受到突發狀況的資訊，並即時做出適當的反應。若加上行人軌跡的精確預測，車輛不僅能看到狀況，還能決定出安全的行駛路線。目前國外研究已經可以透過場景物件資訊來加強行人意圖及軌跡預測的準確性。另外，當結合分析人與人、人與車、人與場景的互動模式，電腦可以對人類的移動行為有更深入的了解。然而台灣複雜的混合車流交通環境，可能會讓以國外交通環境所做出的模型失準，因此未來我們須加以調整，希冀未來此應用可以透過車載軟體、道旁設施或手機等媒介即時警示，行人安全將有所提升。

## 車輛行為分析

此節將介紹交通安全於車輛行為的最新方法。與前述的行人追蹤模式類似，自駕車未來可以透過影像、光達或聲音偵測其他車輛的行駛狀態，也可以判斷路旁停止車輛的狀態，甚至能偵測出危險車輛。

過去交通安全於車輛行為的分析常局限於事後的肇事數據分析，或是透過實驗及問卷進行危險感知測試。然而，自駕車需要的是即時有效的偵測分析才能做出相對應的反應。例如，自駕車能將過去影像輸入深度模型，判斷出未來前方的車輛衝突事件，最後該車可以在碰撞前煞車或找到閃避的路線。其他例子像是，車載攝影機可以透過偵測路旁車輛的異常狀態（車門開啟、後車廂開啟等），讓車輛提前注意到危險以做出即時反應。甚至是路旁攝影機也可以透過此技術發現緊急狀況並即時通報給有關單位。最後，人工智慧技術還能進行違規及車禍的偵測，例如，我們可以使用模型迅速地偵測出沒有戴安全帽的機車騎士以增加執法的效率；或是透過手機收音偵測周遭環境是否危險，甚至是作為車禍判斷依據。

本章節將車輛行為分析分三部分討論：車輛異常偵測、路旁車輛狀態分析及車輛違規與車禍偵測。

## 車輛異常偵測

在電腦視覺領域中將異常事件偵測視為一種挑戰。一輛車平穩的開在街上被認為是正常的行為，如果這輛車突然闖進行人步行區，那將會被認為是異常（Ionescu 等人<sup>[10]</sup>）。如果公園裡的悠閒散步的人群突然開始奔跑，那一定是有什麼異常事件發生；沒有紅綠燈的高速公路上突然有車停了下來，可想而知是因為故障或車禍。一物體從原本平時的狀態突然改變，就會被認為是異常。如何讓電腦應用人工智慧去判斷這些異常是研究人員的一大課題。

Mehran 等人<sup>[11]</sup> 計算影像幀與幀間社會力（social force）與光流（optical flow）來萃取特徵，結合詞袋模型（bag of words）偵測異常事件的發生，能夠找出行人影片中異常的片段與異常發生位置。Raghavendra 等人<sup>[12]</sup> 利用粒子平流（particle advection）方法結合社會力模型，將離群值視為異常區域，藉此偵測影片中的異常。以上述行人異常為發展基礎，近年出現不少偵測車輛異常的研究。其中，Ravanbakhsh 等人<sup>[13]</sup> 用生成對抗網路（generative adversarial network, GAN）訓練只能產生正常交通事件的網路，當網路生成的影像與實際影像差異太大時，就認定此時發生異常事件。另外，近年來 CVPR 研討會中的 AI City Challenge 其中也有一挑戰為交通異常偵測（traffic anomaly detection）。主辦方提供美國愛荷華州高速公路的監視影像，競賽目標是找出所有異常片段與開始、結束時間。此競賽的異常事件定義為錯誤的轉彎、錯誤行駛方向、車禍或停止車輛等，而正常交通阻塞則不算在內。

除了上述以俯視角度來判斷交通異常事件的研究，從車內視角來判斷車輛異常的研究也不在少數。如 Yu Ya 等人先製作了 AnAn Accident Detection (A3D)<sup>[14]</sup> 和 Detection of Traffic Anomaly (DoTA)<sup>[15]</sup> 資料集，兩者皆為包含時間、空間標註之異常事件（衝突）的行程紀錄影像，其中 DoTA 更將異常事件分成 9 個類別。之後，Yu Ya 等人<sup>[14]</sup> 以正常事件影像訓練模型，先用過去前方的影像預測前方車輛未來幾秒的位置（透過邊界框來呈現），若前方車輛的實際位置與預測位置有相對大的誤差或相對不準確的預測路徑發生，就會偵測出行駛異常或是發生衝突的車輛。另外，若預測的數個邊界框出現過大偏差時，也將被判為行駛異常，此方法可以去除錯誤的車輛偵測與追蹤引發的誤判。



## 路旁車輛狀態分析

在過去大部分的研究中，都是使用邊界框（Bounding box）來偵測車輛的位置。不過一些車輛動態的細節，以邊界框標示有其限制，如引擎蓋開啟、車門開啟等。為了能讓自駕車更徹底地了解周圍路況以應付緊急狀況，Liu 等人<sup>[16]</sup>提出了辨識車輛狀態的模型，使用 3D 車輛模型結合實際車輛影像自動生成特殊狀態的訓練資料，以 Mask R-CNN<sup>[17]</sup> 辨識車輛動態部分，產出遮罩（mask）標示，使自駕車可以透過此模型了解周圍車輛的狀態，甚至從其狀態判斷該車輛上駕駛員的意圖。

圖 1 為本研究測試之辨識成果，其中模型判別之常態車輛以綠色遮罩標示，非常態車輛以橘色遮罩標示，車輛動態部分以藍色遮罩標示。(a) 至 (d) 分別為車門開啟狀態、車門關閉狀態、後車箱開啟狀態、後車箱關閉狀態。

此模型除了應用於自駕車判別周圍車輛狀態，也可用於高速公路即時影像監視器，偵測行駛中車輛車門或後車廂開啟，自動通報異常車輛。

## 車輛違規與車禍偵測

台灣車輛違規的情況層出不窮，尤其並排停車和違規轉彎等事件易造成交通事故發生。若能透過智慧



圖 1 車輛狀態辨識成果

系統即時發現違規狀況，並通知警察到現場取締，我們可以避免不少因車輛違規造成的交通混亂。另外，也可以將偵測到的違規案例進行分析檢討，而可以掌握易發生違規的熱點區域及其原因，日前在桃園部分車站外，建置了公車及計程車停等區的「違停偵測系統」，違規停車的事件因此大量減少。高雄市交通局在交叉口設置人工智慧攝影機，即時偵測違規左轉的車輛並即時作出警示。Siebert 等人<sup>[18]</sup>則使用深度模型，偵測影像中的機車騎士與每位乘客分別是否戴上安全帽，若用於機車使用率高的國家，可望協助警察執法，並減少因僥倖心態而不戴安全帽的人的行車危險。

在夜晚或是天氣不佳的情況下，我們無法完全依靠影像辨識協助。聲音有利於捕捉車輛行駛細節，例如：輪胎打滑聲、車輪與路面摩擦聲、車輛撞擊聲以及煞車聲等。Mnasri 等人<sup>[19]</sup>、Rovetta 等人<sup>[20]</sup>和 Foggia 等人<sup>[21]</sup>皆在路側架設麥克風收集上述之聲音特徵，並利用人工智慧模型，偵測該車流環境是否發生危險事故。Sammarco 和 Detyniecki<sup>[22]</sup>則利用架設於車內之手機內建麥克風收集車內與車流環境的聲音，偵測車禍事故的發生，以提醒駕駛者注意路況；此外，該研究透過雙耳訊號間時間差（Interaural Time Difference, ITD）和聲音到達時間差（Time-Difference-of-arrival, TDOA），還原車禍現場之細節，並推估車輛撞擊角度、位置與力度，給予當事者更多了解真相的機會。另外，同樣使用手機內建麥克風收集音訊特徵之 Li 等人<sup>[23]</sup>，以手機震動或警示聲提醒行人注意偵測到之周遭來車，並且能同時分析該車的車種與行徑方向。

### 小結

台灣不僅私人運具使用比例相當高，混合車流的環境也造成交通相對複雜，當出現些許的車輛異常，就會對周遭的交通產生不小的衝擊。隨著物件偵測與追蹤的技術高度發展，目前已經開發出從路旁攝影機或車內攝影機的影像訓練正常車輛行為的模型，來偵測車輛異常行為的技術。未來若將此技術改良並運用在車輛上，顯示異常風險於擋風玻璃或全罩式安全帽上，汽機車駕駛或許能有更多反應時間面對危機狀況。此外，目前也發展出從不同視角判斷路旁車輛狀態的技術。從上方的視角看，當發現車輛狀態造成自

己或其他用路人危險時，警政單位可以透過此技術取締違規並到現場處理；當發現車輛狀態異常停止（車禍、火燒車等）時，可以即時通報警消單位到現場救援。而從車前方視角看，煞車燈亮起、車門開啟或後車廂開啟等狀態可以協助車輛提前作出反應，減少這些行為所造成的事故。

而夜晚或是天氣不佳的情況下，上述影像辨識方法可能失效，需透過聲音分析車輛狀態。目前已經可以透過聲音掌握車輛行駛細節、車輛四周交通狀況、還原車禍撞擊真相及提醒行人周遭來車。雖然影像及聲音技術要應用在真實交通情況上可能還需做不少調整，但若能好好整合改善影像及聲音技術，未來能推動台灣交通安全的發展，並為交通安全研究帶來嶄新面貌。

## 道路設計分析

有別於前兩章節的觀點，此節將探討近年來人工智慧方法如何以巨觀的面向使用在道路設計與交通安全分析上。

無人機近年來在全球快速發展，已逐漸商用化，由於其高機動性及拍攝能力，已被廣泛應用於能源、農業、工程領域中。世界各國都積極發展無人機應用，並建立場域提供其測試，而台灣的無人機相關法規也在今年頒布，可預期無人機在台灣能為各領域提供更多的協助。2018 年台中世界花卉博覽會，警政署與工研院合作的「空中警車」無人機，於高空掌握即時人流車流情況，協助警察控管現場狀況。台南市於今年建置了首座無人機模擬訓練中心，包含了救災中心及訓練中心，希望能提升救災效能。在交通領域中，國內外越來越多研究使用無人機錄製交叉路口車流，並建立軟體透過偵測及追蹤人車，以分析交通衝突熱區與道路設計的關聯性。

本章節將道路設計分析分兩部分討論：社交距離與道路關係及巨觀車流分析。

### 社交距離與道路關係

2020 年全球面臨新冠肺炎（COVID-19）的疫情危機，除了人人配戴口罩以外，保持社交距離也是其中有效的方法。Landing AI 公司在今年 4 月開發了一項能偵測人與人社交距離的工具，先透過偵測人的位置再將影



像投影成俯瞰視角來判斷人與人的間距。Marco Cristani 等人<sup>[24]</sup>更透過 OpenPose 辨識人體姿態，提出藉由人體姿勢或許可以更細微的判斷人與人的關係及事件。比如一群人長時間聚集在一起或許可以被判斷為有較親密的關係的一群人；或是當偵測到有人跌倒在路上，並有其他人過來攙扶，系統或許可以協助通報傷亡事件。若再同時利用 CNN, FCN, RNN, R-CNN 等深度模型作圖像分割技術 (image segmentation)<sup>[25]</sup>，能分析行人在不同環境 (馬路、人行道、自行車道) 上的行為。綜合以上，我們或許可以判斷出易造成人流過度擁塞之不良設計的人行道，而人車混亂的道路設計可能可以發現到較多的行人異常行動。最終，這類方法將相較於人眼判斷更有效率地發現不安全的交通設計。

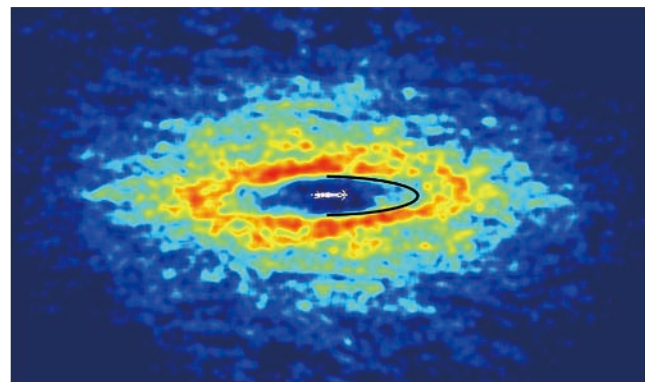
從人與人社交距離技術的延伸，我們思考到若將其概念運用於車與車之間的距離互動，或許我們可以透過此技術更精確地掌握車間的物理行為及互動關係。因此我們可以不用再完全依據實驗模擬或理論推導，而可以直接從影像以巨觀的角度檢視車輛行為與互動。此外，有了這個概念，未來也許能在台灣混合車流的交通環境下，找到比傳統交通安全指標如碰撞時間 (TTC, Time to collision)、後侵占時間 (PET, Post encroachment time) 等更合適的衝突分析指標。

## 巨觀車流分析

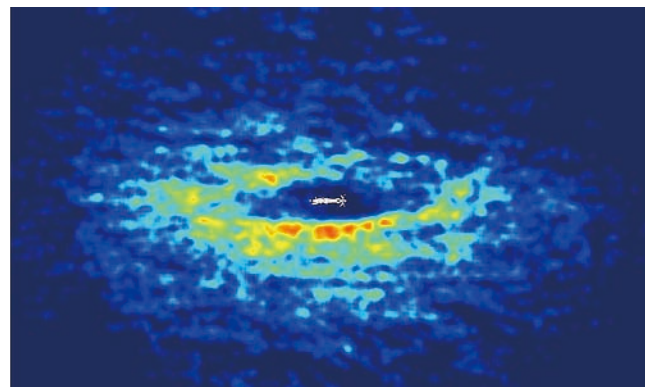
透過影像分析車流是最合適不過的，從過去只能由個人架設攝影機錄影，後來開始使用路口監視攝影機拍攝，到近期越來越多人利用無人機的高空拍攝獲取更有利路口分析的角度。根據 108 年度運研所公布的「混合車流路口道路與交通工程設計範例 (2/4)」<sup>[26]</sup>，在 106 年度統計數據中，有接近 60% 的肇事事件發生於交叉口及交叉口附近，其中又以市區道路 (混合車流情況) 出現最高的死傷人數，因此如何設計出一個能讓汽機車之間減少衝突的道路環境是研究人員的大目標。

Nicolas Saunier 和 Tarek Sayed<sup>[27,28]</sup>自 2006 年以來發展出許多研究透過影像來追蹤車輛的技術並用以分析交通安全課題。Nicolas Saunier 還開發出開源軟體「Traffic Intelligence」，可以從影像資料擷取車輛軌跡，並做出交通安全的分析。Guo 等人<sup>[29]</sup>根據前述研究使用的方法，在錄製的影像中使用 Kanade-Lucas-

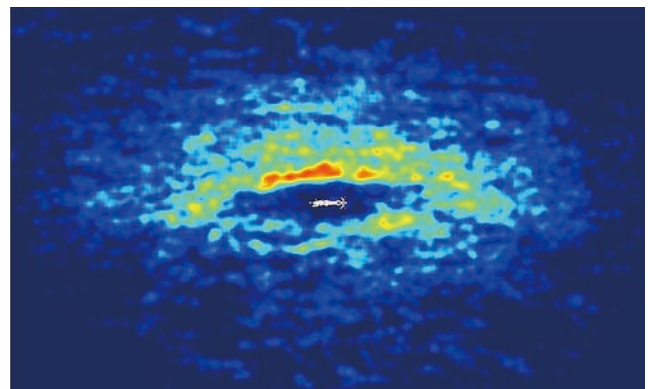
Tomasi (KLT) Feature Tracker 演算法追蹤車輛的特徵點，接著進行影像的校正，再使用 3-D 邊界框偵測車輛並擷取其行駛路徑。最後再使用 Full Bayesian binary logit model (貝氏二元羅吉特模型) 找出二輪車與其他車種間可接受的臨界水平距離，並繪製其距離分佈圖。謝孟修<sup>[30]</sup>透過電腦視覺技術觀察機車駕駛行為，取得了機車巨觀資料，觀察出機車與周圍機車間的空間位置關係，並結合了機車安全空間的概念。圖 2 為該研究機車相對位置關係圖之成果，顏色越紅代表機車越頻繁出現，(a) 至 (c) 依序為以任一機車為中心的相



(a) 任一機車為中心的相對位置圖與安全空間



(b) 速度較快之機車為中心的相對位置圖



(c) 速度較慢之機車為中心的相對位置圖

圖 2 機車相對位置關係圖



對位置圖、以速度較快之機車為中心的相對位置圖、以速度較慢之機車為中心的相對位置圖。

Data From Sky 公司自 2013 年開發線上車流分析平台，可以將自行錄製的影片上傳到該平台，根據使用者需求取得車速、流向統計、軌跡圖、交通安全分析等應用，圖 3 為將羅斯福路三段影像運用 Data From Sky 的軟體跑出的交通流軌跡圖結果。溫基信等人<sup>[31]</sup>根據台灣的交通環境開發專案形式的路口交通衝突分析軟體，先使用 YOLOv3<sup>[32]</sup>偵測行人、機車、自行車等小型物件；Mask R-CNN 偵測四輪車輛。再透過 SORT<sup>[33]</sup>演算法追蹤行人與車輛。有了這些資料後，就能取得車流統計並繪製出基於 TTC 及 PET 指標的衝突熱點區域。與過往研究相比，此軟體更可以設定號誌及時相，並將不同型態的衝突分群。

由於空拍影片目前仍會面臨續航力或是法規上的問題，我們有時只能取得路旁影像，此時分析方法就需要調整。而 Ammar Abbas 等人<sup>[34]</sup>使用 CNN 模型估計影像的消失點及水平線，再將他們推導出投影變換矩陣，有了變換矩陣後即可得到俯視的影像。未來我們或許可以透過類似的方式應用於道路監視錄影機，以獲取更多路口的交通俯視影片，交通安全分析也會比過去更全面。

### 小結

相對於資訊領域的人多在乎如何設計一個更完善的模型讓車輛偵測、預測的準確率提升，以運用於自駕車上；交通領域的人更在乎將搜集來的巨觀車流資料進行統計分析，發現交通安全設計的問題後，做出適當的路網改善。

目前應用空拍機拍攝的影像，已有不錯的方法依靠偵測追蹤車輛以獲取各路口車流速度、流量、密度等資訊，並能透過交通安全指標分析衝突熱點區域。但因空拍機拍攝仍有高度、續航限制，我們需適時使用路旁攝影機的影像。由於在不同的交通環境，路旁影像可能因物件重疊、過複雜的混合車流導致偵測錯誤，因此當在做此應用時，我們會需要將模型做出適當調整。目前也有不少技術能透過相機參數、消失點（線）自動化校正影像，若能結合此技術與車流的應用，未來我們或能自動化分析路旁攝影機影像，因而獲得範圍更廣、時間更長的車流數據。

今年蔚為流行的辨識社交距離技術，也可以將它延伸於行人姿態、車輛互動分析上。在交通安全應用上，從微觀的角度，當系統發現危險時，能即時提出警示及救援；從巨觀的角度，我們可以從新的空間面向找出易發生交通衝突的區域、道路設計的缺失等資訊。

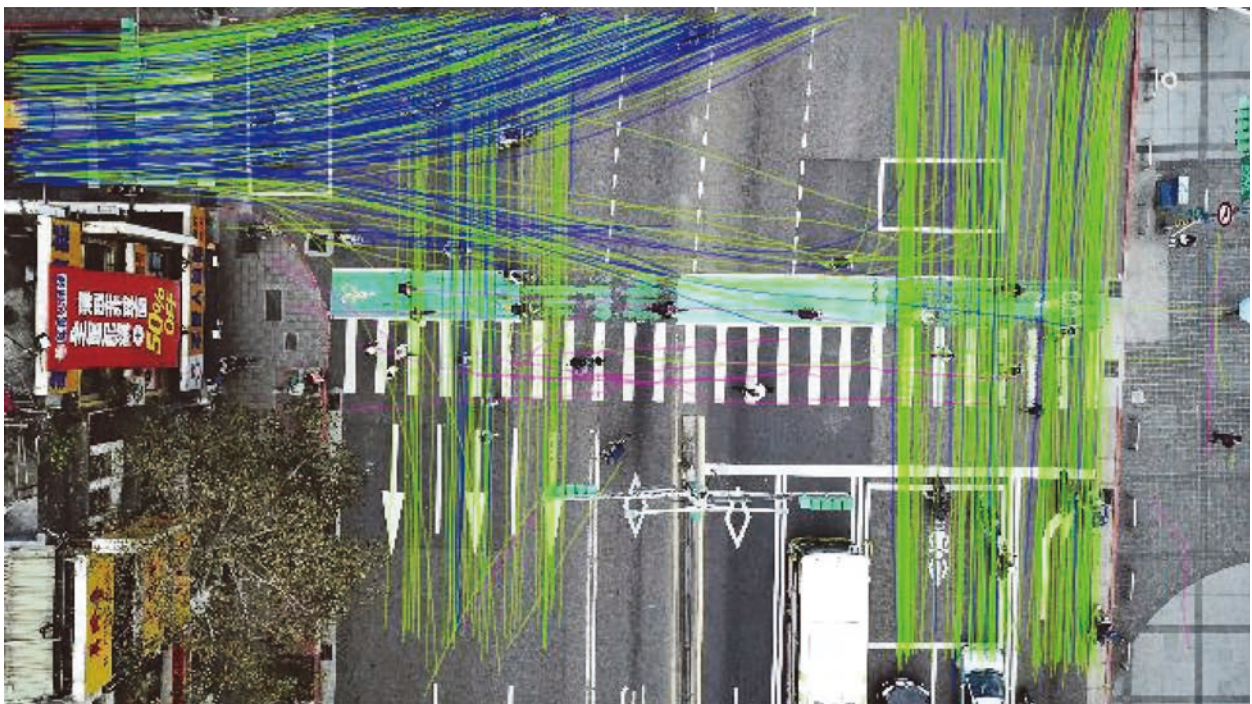


圖 3 羅斯福路三段軌跡圖



上述這些發展中的人工智慧技術，若將其調整並強化後應用於交通安全上，相信未來將能完全取代繁複的人工辨識，並能為車流提供更有效率的巨觀分析工具，我們將能重新檢視各道路的設計是否符合預期。

## 結論

隨著機器學習、深度學習的技術快速發展，人工智慧的應用遍佈於各領域，一台電腦就可以幫助我們完成過去無法做到的分析方法。不管是國外還是國內，各界無不竭盡全力的推動人工智慧的應用，大家相信這些關鍵技術，能整合都市系統、促進國家發展，進而改善人民的生活品質。而當交通領域掌握了這些新方法，即時監控與調度、車流大數據分析、路口交通安全評估等課題將能整合於一系統中。


本文提到的研究技術聚焦於交通安全上，並分為三大主題討論。以行人安全為主題，結合場景資訊與物件偵測與追蹤可以判斷行人意圖，並做出準確的軌跡預測。以車輛行為分析為主題，除了能用正常行駛行為訓練出來的模型判斷車輛在移動過程中是否異常或違規，3D 車輛模型則能用來判斷車輛的即時狀態。而聲音偵測能彌補影像在逆光、夜晚或是天氣不佳表現較差的情況，捕捉車輛行駛細節及偵測車禍事故發生。以道路設計分析為主題，影像可以提升擷取巨觀人流及車流特性的效率，並協助分析交通衝突熱點的空間分佈。從微觀到巨觀的角度，即時與事後的分析，儘管各方法的面向不盡相同，但都有機會幫助交通安全的發展，值得各界學習並延伸應用。

本文回顧的研究的技術還未必完全成熟，相信依據台灣的交通環境進行修正及改善，這些方法有機會打破台灣受混合車流環境束縛所造成的交通安全困境。期望本文的介紹能激盪出更多的創新構想及應用，不僅可以帶動台灣自駕車核心演算法的發展，還能讓我們完整剖析人車移動的特性，更能有效地重新檢視道路的安全設計與分析。希望人工智慧與交通安全的應用，能讓台灣朝著「零死亡願景」邁進。

## 參考文獻

1. 張旗晏、鍾易詩、馮正民 (2017)。動作想像能力與客觀時間提示對道路穿越行為之影響分析：以臺灣年長行人為實證對象。運輸學刊，Vol. 29, No. 2, pp. 211-232, Jun. 2017。doi: 10.6383/

- JCIT. 201706\_29(2).0004
2. 吳熙仁、陳穆臻 (2017)。濃霧中前車緊急煞車時道路駕駛人對前車相對速度感知與反應時間不確性之關聯 — 以海森堡不確定性原理觀點。運輸計畫季刊，Vol. 46, No. 2, pp. 117-140。http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=10177159-201706-201708290013-201708290013-117-140
3. 吳繼虹、鍾易詩、陳苑蕙、張勝雄、周文靜 (2016)。號誌化四岔路口闖紅燈機車事故之人為失誤因子分析。運輸學刊，Vol. 28, No. 4, pp. 397-427. doi: 10.6383/JCIT.201612\_28(4).0001
4. Liu, B., et al. (2020). Spatiotemporal relationship reasoning for pedestrian intent prediction, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, 5(2), pp. 3485-3492. http://arxiv.org/abs/2002.08945
5. Rasouli, A., Kotseruba, I., Kunic, T., and Tsotsos, J. (2019). *PIE: A large-scale dataset and models for pedestrian intention estimation and trajectory prediction*. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Vol. 2019-October, pp. 6261-6270. doi: 10.1109/ICCV.2019.00636
6. Makansi, O., Cicek, Ö., Buchicchio, K., and Brox, T. (2020). *Multimodal future localization and emergence prediction for objects in egocentric view with a reachability prior*. pp. 4353-4362. http://arxiv.org/abs/2006.04700
7. Liang, J., Jiang, L., Niebles, J.C., Hauptmann, A., and Fei-Fei, L. (2019). *Peeking into the future: Predicting future person activities and locations in videos*. Computer Vision and Pattern Recognition, https://next.cs.cmu.edu
8. Manh, H. and Alaghband, G. (2020). *Scene-LSTM: A model for human trajectory prediction*. http://arxiv.org/abs/1808.04018
9. Mohamed, A., Qian, K., Elhoseiny, M., and Claudel, C. (2020). *Social-STGCNN: A social spatio-temporal graph convolutional neural network for human trajectory prediction*. pp. 14412-14420, http://arxiv.org/abs/2002.11927
10. Ionescu, R.T., Smeureanu, S., Alexe, B., and Popescu, M. (2017). *Unmasking the abnormal events in video*. Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis., Vol. 2017-October, pp. 2914-2922. http://arxiv.org/abs/1705.08182
11. Mehran, R., Oyama, A., and Shah, M. (2010). *Abnormal crowd behavior detection using social force model*. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 935-942, doi: 10.1109/cvpr.2009.5206641
12. Raghavendra, R., Del Bue, A., Cristani, M., and Murino, V. (2011). *Abnormal crowd behavior detection by social force optimization*. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Vol. 7065 LNCS, pp. 134-145. doi: 10.1007/978-3-642-25446-8\_15
13. Ravanbakhsh, M., Nabi, M., Sangineto, E., Marcenaro, L., Regazzoni, C., and Sebe, N. (2018). *Abnormal event detection in videos using generative adversarial nets*. Proceedings of the International Conference on Image Processing, ICIP, Feb. 2018, vol. 2017-September, pp. 1577-1581, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296547
14. Yao, Y., Xu, M., Wang, Y., Crandall, D.J., and Atkins, E.M. (2019). *Unsupervised Traffic Accident Detection in First-Person Videos*.

- IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp. 273-280. <http://arxiv.org/abs/1903.00618>
15. Yao, Y., Wang, X., Xu, M., Pu, Z., Atkins, E., and Crandall, D. (2020). *When, where, and what? A new dataset for anomaly detection in driving wideos*. <http://arxiv.org/abs/2004.03044>.
  16. Liu, Z., et al. (2020), *3D part guided image editing for fine-grained object understanding*. CVPR 2020 paper, Computer Vision Foundation.
  17. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., and Girshick, R. (2020). Mask R-CNN. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 42(2), pp. 386-397. doi: 10.1109/TPAMI.2018.2844175
  18. Siebert, F.W. and Lin, H. (2020). Detecting motorcycle helmet use with deep learning. *Accid. Anal. Prev.*, 134, p. 105319. doi: 10.1016/j.aap.2019.105319
  19. Mnasri, Z., Rovetta, S. and Masulli, F. (2020). *Audio surveillance of roads using deep learning and autoencoder-based sample weight initialization*. Proceedings of the 20th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, MELECON 2020, pp. 99–103, doi: 10.1109/MELECON48756.2020.9140594
  20. Rovetta, S., Mnasri, Z., and Masulli, F. (2020). *Detection of hazardous road events from audio streams: An ensemble outlier detection approach*. IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems, Vol. 2020-May, doi: 10.1109/EAIS48028.2020.9122704
  21. Foggia, P., Petkov, N., Saggese, A., Strisciuglio, N., and Vento, M. (2016). Audio surveillance of roads: A system for detecting anomalous sounds. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 17(1), pp. 279-288. doi: 10.1109/TITS.2015.2470216
  22. Sammarco, M. and Detyniecki, M. (2019). Car accident detection and reconstruction through sound analysis with crashzam. *Communications in Computer and Information Science*, 992, pp. 159-180, doi: 10.1007/978-3-030-26633-2\_8
  23. Li, S., Fan, X., Zhang, Y., Trappe, W., Lindqvist, J., and Howard, R.E. (2017). *Auto++: Detecting cars using embedded microphones in real-time*. Proceedings of the ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol, Vol. 1, No. 70. doi: 10.1145/3130938
  24. Cristani, M., Del Bue, A., Murino, V., Setti, F., and Vinciarelli, A. (2020). The visual social distancing problem. *IEEE Access*, 8, pp. 126876-126886. <http://arxiv.org/abs/2005.04813>
  25. Minaee, S., Boykov, Y., Porikli, F., Plaza, A., Kehtarnavaz, N., and Terzopoulos, D. (2020). *Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey*. <http://arxiv.org/abs/2001.05566>
  26. 許添本、溫谷琳、張哲寧、陳俊嘉、林瑩潔、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正 (2019)。混合車流路口道路與交通工程設計範例 (2/4)，交通部運輸研究所。
  27. Saunier, N. and Sayed, T. (2006). *A feature-based tracking algorithm for vehicles in intersections*. Third Canadian Conference on Computer and Robot Vision, CRV 2006, p. 59, doi: 10.1109/CRV.2006.3
  28. Saunier, N. and Sayed, T. (2007). Automated analysis of road safety with video data. *Transp. Res. Rec.*, No. 2019, pp. 57-64. doi: 10.3141/2019-08
  29. Guo, Y., Sayed, T., and Zaki, M.H. (2020). Examining two-wheelers' overtaking behavior and lateral distance choices at a shared roadway facility. *J. Transp. Saf. Secur.*, 12(8), pp. 1046-1066. doi: 10.1080/19439962.2019.1571549
  30. Hsieh, M.-H. (2015). *The spatial representation of the computer vision based motorcycle relative distance*. 國立臺灣大學土木工程學研究所。
  31. 溫基信、王宏生、黃家耀、蘇志文、周業凱、楊植竣、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正 (2020)。路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發，交通部運輸研究所。
  32. Redmon, J. and Farhadi, A. (2018). *YOLOv3: An Incremental Improvement*. <http://arxiv.org/abs/1804.02767>
  33. Bewley, A., Ge, Z., Ott, L., Ramos, F., and Upcroft, B. (2016). *Simple online and realtime tracking*. Proceedings of the Int. Conf. Image Process. ICIP, Vol. 2016-August, pp. 3464-3468, Feb. 2016, doi: 10.1109/ICIP.2016.7533003
  34. Abbas, S.A. and Zisserman, A. (2019). *A geometric approach to obtain a bird's eye view from an image*. Proceedings of the 2019 International Conference on Computer Vision Workshop, ICCVW 2019, pp. 4095-4104, doi: 10.1109/ICCVW.2019.00504 

# 土木技師 國之棟樑

逢山開路，遇水架橋  
高樓擎天，資源再造

 中華民國土木技師公會全國聯合會  
CHINESE UNION OF PROFESSIONAL CIVIL ENGINEERS ASSOCIATIONS

理事長 洪啓德

地址：(105)台灣台北市東興路26號9樓  
Address: 9th Fl., 26, Tung-hsing Rd., Taipei, Taiwan 105, Republic of China  
電話：02-2748-1699  
傳真：02-2748-1038  
網址：<http://www.cupcea.org.tw>  
E-mail: [cupcea@tpce.org.tw](mailto:cupcea@tpce.org.tw)





# 人工智慧於交通運輸潛在應用之回顧

張仲宇、鄭又嘉、何語萱、謝宗穎／國立臺灣大學土木工程研究所交通工程組 碩士生  
朱致遠、陳柏華／國立臺灣大學土木工程研究所交通工程組 教授

人工智慧的再次興起與科技進步帶動了智慧運輸的發展。產官學界無不努力合作推升國內交通智慧化之程度，國外也不斷產出更精準之模型。如何結合國內外技術應用在國內交通環境是一個重要之在地化課題。本文回顧國內外文獻，首先介紹現有之影像辨識、重疊物件偵測、重識別以及聲音辨識等模式，並提出於交通領域可能之應用參考，其中包含跨攝影機追蹤、高密度車流環境偵測、低能見度環境下之偵測與高噪音機動車輛偵測。提出技術同時也思考應用於國內混合車流環境之可行性。期望透過本文激盪出更多智慧運輸之應用。

關鍵詞：物件偵測、影像偵測、聲音偵測、智慧運輸

The recurring rise of artificial intelligence and its progress drive the development of advanced transportation systems. Both the academia and the industry devoted themselves for smarter transportation in Taiwan. Models advancing the frontier of artificial intelligence has been proposed every year. How to adapt these approaches in Taiwan is a critical challenge. This article reviews recent papers where we first introduce existing image recognition, overlapping object detection, re-identification, and audio recognition models. Then, potential applications are proposed, including cross-camera tracking, high-density traffic tracking, low visibility detection, and noisy vehicle detection. We also consider the feasibility of mixed traffic flows in Taiwan. We hope that this article sparks more ideas on applications of intelligent transportation.

Key Words: Object detection, Image detection, Audio detection, Intelligent transportation.

## 前言

近年來隨著機器學習 (machine learning) 及人工智慧 (artificial intelligence, AI) 的再次興起，自動化及智慧化等課題成為許多領域發展的焦點。隨著國內外學界及產業界越來越多人才及時間的投入，機器學習及人工智慧技術在近年來突飛猛進。我國政府也投入相當的預算期望提升台灣智慧運輸的發展。交通部自 106 年起推動第一期「智慧運輸系統發展設計畫 (106-109) 年」<sup>[1]</sup>，刺激國內相關智慧交通產業之蓬勃發展，109 年更接續提出「智慧運輸系統發展設計畫 (110-113) 年」<sup>[2]</sup>，除延續第一期的成果外，更結合 5G、交通安全及人本交通等概念期望將台灣智慧交通發展成垂直產業生態鏈，邁向國際市場。交通部運輸研究所之「交通事件資訊整合服務與精進計畫 (1/2)」<sup>[3]</sup> 詳述

了交通資訊平台的開發過程與應用，並提出改善方向。

傳統機器學習與現今人工智慧技術皆以數學模型為基礎，搭配其他學科如統計及機率來解決問題。近年資通訊科技的發展使得資料處理、傳輸與儲存能力大幅提升，偵測硬體設備的提升使得資料品質提升以及來源更加多元，運算設備的處理效能亦不可同日而語，這些發展都一再將人工智慧之能力推升至另一顛峰。為了達成更豐富之應用，其中所使用的理論與模型也越趨成熟。除傳統數值資料外，結合影像、聲音以及光達 (LiDAR) 所收集的點雲 (point cloud) 等資料作運算也成未來發展之趨勢。

傳統交通領域多使用數值資料，如：速度、流量與密度等，以建立模型進行分析。有些研究透過模擬軟體進行策略擬定之評估；卓訓榮等人<sup>[4]</sup> 收集國道五

號車流資訊來擬定匝道控制策略，並利用微觀車流模擬軟體來評估與調整策略。亦有研究收集歷史資料，並利用數學模型進行分析，試圖找出顯著因子；鍾易詩等人<sup>[5]</sup>收集國道交通事故資料，發現逆高斯脆弱對數羅吉斯特之加速失效模式能最有效捕捉事故特性，並分析變數與事故之關聯；黃柏宗<sup>[6]</sup>利用支持向量機（Support Vector Machine, SVM）與隨機森林（Random Forest）分析交通事故資料，並進行碰撞機率之估計。相對於數值資料，影像與音訊能夠捕捉其他的特徵（feature），如：空間分佈資訊、移動軌跡、現場聲音與外觀等；資料的收集比起固定偵測線圈也更有彈性，設備既可裝設在燈桿也可採用移動式部署方式收集，如能與現有資料結合，能提供智慧運輸領域更豐富且完整之資料來源。吳沛儒等人<sup>[7]</sup>以電腦視覺之AI相關技術自動辨識道路監視器影像中之車輛，獲取車流參數，也進一步以邏輯判斷偵測出交通事件。

開發出一高精確或高效率之模型一直是國內外資訊工程領域研究競逐的目標，每年國際研討會皆產出眾多新技術，而先進（state-of-the-art）模式皆以該領域的最高準確度為目標，參與舉辦之競賽（challenge）或使用標準化之比較基準（benchmark），將模型推向更高之精準度。然而，將這些模型應用在實際問題時可能需要一定之客製化，例如，將這些論文應用在交通領域，因模型本身不是專為交通應用設計，必定要對原始程式或輸入資料進行調整。牽涉到不同領域都有其核心知識（know-how），應用之前需將模型重新訓練（training）、進行實驗步驟或演算法的調整等，所以最新之技術通常不會馬上被應用到交通領域。而同為運輸領域之研究，也會因為交通環境不同，而需要調整模式。歐美等國家因機車較為少見，其所開發之模型也較少考慮到汽機車混合車流的情形<sup>[8]</sup>。魏健宏等人<sup>[9]</sup>對類神經網路應用於國內交通運輸作了系統分類整理，也提出可能之發展方向。

本文回顧國內外文獻，範圍包含交通領域期刊之現有應用以及資訊工程相關研討會以及國內期刊。祈能藉由其他領域技術的介紹並結合國內現況與資料激盪出適合的應用方向。以下將分不同主題提出幾個應用方向。第二章首先介紹物件偵測的現有技術，包括影像偵測、重疊物件、重識別與聲音偵測。在第三章提出基於第二章所提之技術於交通之應用。最後在第四章總結本文所提之可能方向。

## 物件偵測技術

目前物件偵測所使用的資料來源主要為影像、聲音和點雲。影像的來源主要是道路監視器所拍攝的影片、路側燈桿架設之攝影機、空拍機、行車紀錄器以及公開的資料集（dataset）；聲音主要由手機內建麥克風、路側或是燈桿架設之錄音設備偵測；點雲需要使用光達機收集。有了資料後方可訓練模型來學習特徵，進而讓模型從輸入之資料擷取關鍵特徵，進而自動偵測物件。

## 現有影像偵測技術

交通部運輸研究所之「應用人工智慧（AI）影像辨識技術進行交通數據蒐集與分析之研究<sup>[10]</sup>」對於AI影像偵測技術應用在交通管理的現況作了回顧，也詳細描述了將偵測技術應用在國內場景的測試結果及其使用設備。

目前使用影像的物件偵測主要分為兩階段（two-stage）和單階段（one-stage）之模式。兩階段模式以R-CNN（region-based convolutional neural network）一系列為代表，其始祖R-CNN由Girshick等人<sup>[11]</sup>於2014年CVPR（IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition）研討會提出，主要由三個部分組成，第一部分在一張圖片裡使用selective search方法產生多個類別獨立區域候選（category-independent region proposals），之後將這些邊界框（bounding box）交由第二部分的卷積神經網路（convolutional neural network, CNN）萃取特徵，再被輸入第三部分的線性支持向量機做分類，同時透過迴歸方法調整邊界框位置，最終找出圖片中特定位置的物體與其類別。其後也發展出一系列改進的方法，如Fast R-CNN<sup>[12]</sup>將R-CNN每個候選框都必須輸入CNN的方式，改進為整張圖片輸入CNN再讓候選框各自取出特徵，也使用CNN內的softmax取代SVM作分類。Faster R-CNN<sup>[13]</sup>透過Region Proposal Networks（RPN）取代selective search找出候選框，提升了搜尋候選框的速度，使得整體運算效率加快。其後也發展出Mask R-CNN<sup>[14]</sup>可對圖像進行內容意義之分割（semantic segmentation）和實體分割（instance segmentation），對於物體的分割更加精準，可精細到像素級別。

單階段演算法則是以YOLO（you only look once）

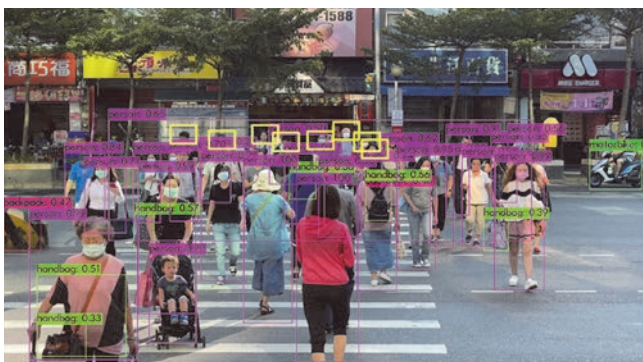




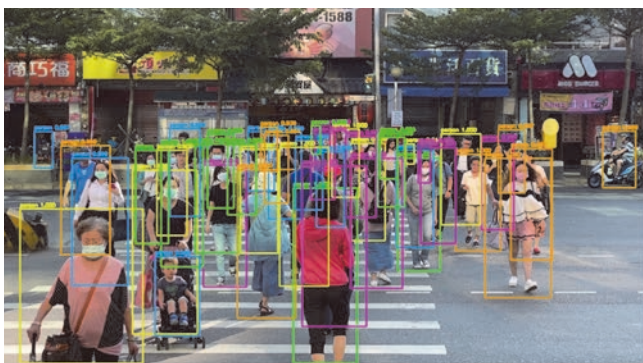




圖 2 左上角為原始圖片；右上為使用 Mask R-CNN 偵測結果；左下為 YOLOv3 偵測結果；右下為 YOLOv4 偵測結果。拍攝於臺南奇美博物館



(a) 使用 YOLOv3 偵測



(b) 使用重疊物件偵測模型

圖 3 YOLOv3 與重疊物件偵測模型於行人偵測之結果比較，上圖黃色方框為 YOLOv3 無法成功偵測行人頭部，為手動標示

### 重識別

以行人為例，重識別 (re-identification, Re-ID) 為不同攝影機捕捉 (capture) 之影像而建立關聯，可用來判斷不同攝影機捕捉到的是否為同一人並給予編號<sup>[19]</sup>。同一攝影機拍攝到的同一人可能只有一個角度，如果結

合不同角度的攝影機，將可取得同一人不同角度的影像與特徵，模型經過這些影像做訓練後，便可學習到不同角度特徵之關聯性，從許多未分類影像找出同一人不同角度的一系列影像。重識別的挑戰之處在於實際場景中由不同攝影機拍攝到同一人影像外觀會有差異，造成不同之處有光線、解析度、阻擋物、角度與動作等，一般會假設同一人的衣著會是相同的，如果遇到跨日或衣著改變則又是另一挑戰。

Zhong 等人<sup>[20]</sup>在行人重識別模型中加入三種底層的不變性 (underlying invariance)，讓模型學習到相同行人之間、不同相機間的更多特徵，使得模型的準確度顯著提升。重識別之應用不侷限於行人。傳統重識別提供一段影片作為目標 (query) 以用來從圖片集 (gallery) 中找出相同目標，此設定稱為「影像對影像」(video-to-video, V2V) 但實務上監視影像往往只有一張確定的圖片可當作追蹤目標。Porrello 等人<sup>[21]</sup>使用以「圖片對影像」(image-to-video, I2V) 作為訓練目標的模型，結合兩層的「老師-學生架構」(teacher-student framework) 進行強化訓練，使得學生部分有效提升精準度。此模型也使用行人、車輛以及動物的資料及來進行測試。

由 NVIDIA 公司主辦之 AI City Challenge<sup>[22]</sup> 其中挑戰之一便是車輛的重識別，該挑戰所提供之資料集包含了真實車輛由不同攝影機不同角度拍攝照片與電腦合成的影像。合成影像為解決資料數量不足的法之一，透過軟體建立車輛模型，再隨機將車輛模型以不同角度與不同背景圖片進行合成，透過此方法有效增加資料數量。此挑戰的評分方式為對每個目標只考慮前一百



個辨識結果的平均精準度取平均 (mean of the average precision, mAP)；如果排序後前一百個結果裡有越多正確圖片在前就表示此目標辨識精準度越高，最後再取所有目標辨識精準度的平均。

## 聲音偵測

聲音主要由三大要素構成：音色、音調、響度，在解析音訊時，由於聲音在短時間內相對穩定，通常會將原始的信號資料分割成較小的音框 (frame)，依據不同目的，提取合適的特徵，分析音框中音波之波形、頻率和振幅，例如：梅爾倒譜係數 (Mel-scale Frequency Cepstral Coefficients, MFCC) 主要應用於聲音識別領域。此外，感應器偵測到之音訊到達時間差 (Time-Difference-of-arrival, TDOA) 與都卜勒效應 (doppler effect)，皆可獲取聲源的位置與速度資訊。

關鍵的音訊特徵可以提升模型分類的準確度，Wiczorkowska 等人 [23] 使用路旁車輛的行駛聲，以及實驗室車輛測試的錄音為資料，篩選出適合車種分類的重要特徵，提高車種分類的準確率。除此之外，聲音的特徵也可以獲取基本車流資訊，如：Uchino 等人 [24] 於雙向四車道且車流量大的道路環境，架設二個麥克風，記錄行經車輛的聲音時間與強度，用以處理車輛連續與同時經過偵測點之準確率下降問題；Kubera 等人 [25] 在不同氣候條件下，使用立體聲麥克風偵測單一車輛行駛之速度變化，透過分析聲譜圖的特徵，分類目標車輛為加速、減速或固定速度行駛，其模型準確率高達 90%；Gatto 和 Forster [26] 在觀測道路上方架設偵測器，透過機器學習模型分類整體車流環境聲音的特徵，以預測道路為壅塞或是自由車流狀態。

然而，聲音和影像時常成對出現，現實生活中，透過視覺與聽覺的結合，我們能更準確地辨認與定位物體，對於人工智慧之模型訓練上，亦是如此。以往在人工智慧相關應用的資料收集時，多著重影像處理，較少研究將聲音的資訊納入考量。因此，若能善加運用影像與聲音的特徵，便能更完整地提供所需資訊。Zhao 等人 [27] 建立一整合影像分析、聲音分析與聲音合成之模型，使用樂器演奏影片作為訓練資料，可為聲音做定位，找出影片中每個像素 (pixel) 發出的聲音，結果顯示可定位不同樂器合奏在影像中的發聲位置。Qian 等人 [28] 提出融合影像和音訊的二階段的模型，分析多物件多聲源的影片，包含結合影像與聲音的特徵，分類影片中的物件，以及配對各物件並定位音源，最後以音源熱

力圖之視覺化方式呈現。此外，Tian 等人 [29] 對同一資料集進行物件分類，該研究分別使用僅有影像、聲音，以及影像與聲音特徵皆有的模型進行訓練，其結果顯示影像與聲音特徵的結合能提升分類的準確率，並且聲音的特徵還能夠輔助定位影像中的物件。

吳沛儒等人 [7] 在其運用影像辨識車流的研究中提到，造成模型誤判的原因有機車體積較小較難偵測、角度造成遮擋、水中倒影、白天及雨天準確率較低與特種車輛準確度差。前四項皆是因為影像的限制所造成，因為攝影機的角度會出現死角與遮擋，環境光線與道路擁擠程度會使模型判斷失準；最後一項為訓練資料所導致，給予模型的訓練資料本身特種車輛佔比低，造成模型對於這些車輛得辨識能力較差。跟國外所開發模型相比，國內因機車占比高的混合車流特性也會是關鍵之分析因素之一。如果加上聲音作為偵測時的判斷來源之一，可在一定程度上提升精準度，使模型更加可靠。

聲音的偵測較不易受環境限制，且設備成本與分析時所需資源相對較低，但容易受到噪音干擾；因此，在交通領域上，聲音可以應用於難以設置攝影機之道路環境，如：山區、崖邊道路等；抑或是用來輔助原有的影像分析，像是協助能見度低的環境偵測車輛、還原肇事現場等，運用聲音的特徵獲取車流相關資訊，並在危險交通環境中給予示警，有機會提升用路安全。

## 小結

基於影像的偵測，如：一階段和兩階段方法，可以幫助我們從現有設備獲取的影片中偵測物體，也已經可以達到即時運算偵測。有了影像偵測技術作為基礎，進而延伸出其他方法來幫助我們解決問題。重疊物件偵測技術用來解決非極大值抑制的錯誤抑制問題，使得改善高密度偵測場景的準確度。重識別技術結合影像辨識與特徵萃取，可從大量未分類圖片中找出屬於同一物體之影像。聲音偵測技術的發展既可作為影像辨識的輔助，提升準確度，也透過其獨特的特徵發展出一套不同於影像的辨識領域。以上技術可針對不同交通應用做結合，相輔相成，使智慧運輸更加可靠、應用層面更廣。

## 物件偵測於交通之應用

本章節延續前面所介紹之物件偵測技術，結合目前國內現有技術與應用，提出未來在國內智慧運輸之可能應用方向提供參考。首先介紹跨攝影機的物件追蹤，第二小節為高密度車流環境下之偵測，接著介紹

在夜晚或能見度低的環境下之物件偵測，第四節介紹高噪音機動車輛偵測，最後做本章小結。

### 跨攝影機追蹤

重識別技術特別適合應用在跨攝影機的追蹤與辨認。只要目標物離開單一攝影機，外觀就會因角度以及光線等產生改變，可透過重識別技術中的特徵擷取方法以及訓練來辨認不同角度的模型特色，用以協助達成跨攝影機追蹤。如果攝影機能夠同時收集聲音，將能利用聲音作輔助，進而提升辨識及追蹤之精確度。本小節以交通執法以及交通流量收集為例，提出跨攝影機追蹤的可能應用。

### 交通執法

目前國內交通科技執法的主要應用有：利用影像辨識對於車輛違停進行偵測，只要車輛出現在預先設置的範圍裡，便依照預先邏輯進行警告或辨識車牌自動告發；又或是利用攝影機偵測車牌作為區間測速、闖紅燈之舉發依據，缺點是攝影機角度必須能夠清楚擷取車牌或是設置專用的攝影機。警政署目前使用的 M-Police<sup>[30]</sup> 系統可對民眾進行臉部辨識，在進行臨檢或盤查時可快速比對民眾身份，也可即時辨識出通緝犯。當目的為追蹤逃逸嫌犯時，因為攝影機解析度不足與角度問題便無法利用遠距離的監視器影像來辨識臉部，也因為跨監視器問題必須人工調閱監視器進行路線追蹤。此時重識別技術與聲音辨識便可利用少數曾出現的影像來自動搜索其他監視器影像，自動列出一系列影像，重現逃逸路線與目的地，將能大幅增加員警的搜索效率。

### 交通流量收集

現行高速公路透過無線射頻技術（radio frequency identification, RFID）感應車上的 eTag 作為收費憑藉，將感應門架設置在交流道附近以取得進出高速公路的路徑，同時收集車輛旅次資料。相對於高速公路的封閉性，一般道路之路口數量極多，若要將 eTag 偵測器或傳統車輛偵測器普及於所有路口、路段將面對較高之成本。目前作法主要都將 eTag 偵測器設置在市區內高架道路、橋樑等出入口，作為收集旅次時間及速度之用。如能利用現有道路監視器之影像資料，結合重識別技術，將可大大增加偵測範圍，且道路監視影像不限於路口，可獲得更精細資料。

國外大部分訓練影像、聲音都僅有行人或是小客車，建議可使用較貼近國內環境的訓練資料，如：混合了大小車、機車與機車騎士的影像、聲音資料，來提昇

模型的可靠度和精準度。但過度使用科技也可能引發民眾對於資訊安全、隱私權以及可靠度的疑慮，如何在智慧化與民眾權益之間取得平衡為需要優先考慮的問題。

### 高密度車流環境偵測

一般非擁擠情況的場景對於前章所提之影像偵測技術大部分皆可勝任，然而擁擠的場景使得物件重疊而降低準確度。使用較低攝影機角度之圖片進行汽機車偵測時容易因重疊而出現偏誤。

Wong<sup>[31]</sup> 等人在都市幹道混合交通流的交通特徵研究中提到台灣人均機車持有率居世界之冠；而由於機車體積較小，靈活性高，機車駕駛人通常具有行車紀律（Lane Discipline）較弱的傾向。由於台灣機車數量眾多，且機車駕駛人多習慣穿梭於汽車間，在車流密度較高的環境下，若使用影像作為車輛偵測資料來源，機車受到遮擋的情形較嚴重，容易導致機車遺漏偵測，因此重疊物件偵測技術的改進有助於提升都市道路機車偵測的品質。

圖 4 為本研究將「重疊物件偵測」介紹之重疊物件偵測模型用於機車偵測的成果，(a)、(b) 分別為高密度機車場景與低密度機車場景。此測試成果與行人偵測成果同樣使用 CrowdHuman 資料集作為訓練資料，因此實際為檢測機車駕駛人。由於高密度機車流在許多國家並不常見，建議使用國內的高密度機車影像作為訓練資料，以提升模型在國內交通環境的適用性。



(a) 高密度機車場景



(b) 低密度機車場景

圖 4 重疊物件偵測模型於機車偵測之測試成果



## 低能見度環境下之偵測

現今人工智慧於影像辨識發展成熟，國內對於影像解析交通環境的投入越來越多，目前普遍仰賴空拍機以及攝影機進行資料蒐集，並在能見度高的環境中，擁有良好的績效。然而，相較於影像辨識與其他偵測設備，聲音辨析擁有設備成本與運算資源較低的優勢，並且聲音對於外在環境極敏感，可偵測周遭細微的變化，同時也能收集大範圍的音訊，用以分析巨觀環境；除此之外，聲音可以根據不同的問題，萃取相對應的特徵，再與影像同步，且不易受能見度影響<sup>[32]</sup>。Gan 等人<sup>[33]</sup>使用影像偵測影片中車輛位置結合聲音進行訓練，可利用音訊檔和為標記影片作為模型輸入，輸出利用聲音定位圈選出車輛位置

的影像。文中提到使用聲音作為定位可解決影像光線不足場景的限制，但仍有可辨識車輛數較少的技術限制。Vasudevan 等人<sup>[34]</sup>運用四對立體聲麥克風、廣角攝影機收集全景影像與聲音的特徵，結合影像之深度資訊，以定位與分類影像中的機車、汽車、電車；此外，此模型在雨天、霧天、夜晚的場景，皆有良好的表現。本研究運用 Tian 等人<sup>[29]</sup>影像結合音訊之定位模型，分別套用國內夜晚與雨天情景，偵測機車與汽車，其結果如圖 5 到圖 7。

至今同時運用影像與聲音特徵於交通領域的文獻較少，故本研究認為聲音的偵測可以彌補其他感測器的限制，或是以聲音輔佐影像之分析，皆能為智慧運輸帶來貢獻。



圖 5 低能見度環境之車輛偵測結果 (2020/9/13 午，雨天)



圖 6 低能見度環境之車輛偵測結果 (2020/9/13 晚)





圖 7 低能見度環境之機車偵測結果 (2020/9/16 晚)

### 高噪音機動車輛偵測

前述之影像結合音訊定位模型除了可用於輔助其他類型感測器以提升偵測精度外，也適合與車輛噪音量測技術相結合，以下就噪音量測科技執法與車輛噪音影響因子研究的角度提出可能的應用。

#### 噪音量測科技執法

以往國內機動車輛噪音稽查以路邊攔檢為主，其缺點為耗費人力資源，且存在攔檢噪音非屬車輛實際行進時噪音之爭議<sup>[35]</sup>。目前環保署預告即將實施的機動車輛聲音照相科技執法計畫中，使用陣列式聲音感應器、攝影機、風速計及噪音計組成影像輔助噪音量測的設備，陣列式聲音感應器用於聲源定位，攝影機記錄車輛車牌<sup>[36]</sup>；由於設備昂貴，不易全台普及使用。而影像結合音訊定位模型只需以普通攝影機的單聲道或雙聲道影片作為輸入資料，若能將之應用於高噪音車輛偵測，則可使用攝影機記錄的資料同時達成聲源定位及車牌辨識，降低設備成本，有助於將噪音量測科技執法擴大執行。

#### 道路設計與車輛噪音關係探討

城市道路設計對於交通噪音的嚴重程度有所影響，Lu<sup>[37]</sup>等人探討了道路特徵對交通噪音的影響，如車道數、路段長度以及路口是否有交通號誌等，在路段中段設置噪音測量點，以路段為單位研究道路與車輛噪音的關係。過往研究多集中於路網設計的層面，若可運用影像結合音訊定位，或有助於探討道路線型設計對車輛噪音大小的影響，偵測路段中可能造成較大噪音的位置。

### 小結

智慧運輸之應用，會遭遇資料收集、模型轉移適配以及結果與理想差距等問題。運用交通領域之核心知識將問題分別拆解後，較可能提供交通領域之獨特應用；從個別問題找尋最適模型出發，可能依照不同模式之組合與融合而找出新的應用模式與方向，惟須考慮應用之實際性及在地化考量，如國外開發之模型較少考慮混合車流問題，故須經過一番調整方能移植與應用。透過加值方法來提升準確度與可靠度為一重要議題。第二章所提之模型也不僅限於本章所提及之應用，期望本章能啟發更多可能的智慧化交通應用。

### 結論

隨著科技不斷進步，更精準及可靠的模型紛紛被提出，從模型的出現到被轉化為實際應用之間需要不小的努力。政府、產業界與學術界的合作以及適合之技術引進與開發，讓用路人的每個旅次環境更安全更有效率。本文對國外近年發表之尖端技術進行介紹，並提出應用方向作為未來可能的參考。

本文所提及影像辨識一階段與兩階段模式僅分別以 R-CNN 系列與 YOLO 系列模型做代表，但實際技術種類繁多，並不僅限於此。聲音辨識技術的出現大大改變了「眼見為憑」的傳統影像資料來源，以聲音作為物體定位，也能辨識出車流的速度與擁擠程度，聲音與影像的互相配合之下，大大提升了人工智慧模型應用在交通的可能性，也一定程度降低了偵測器的架設成本與設置困難問題。重疊物件偵測為解決了傳統偵測方法的難題，可能解決國內高密度車流因重疊而無



法準確辨識的挑戰。重識別技術則為之後跨攝影機追蹤應用立下基石，讓科技執法與流量收集等應用更上一層樓。雨天、夜晚及濃霧等低能見度場景的辨識可經由聲音與影像的相互配合來逐漸克服。結合聲音與影像的偵測技術也有助於偵測高噪音車輛。

建議在引進新技術時需考慮原始模型訓練所使用之資料及其原始應用場景。考量國內特殊混合車流之特性，必要時進行調整與自行客製化及開發，使成果更能貼近本國需求。期望透過本文介紹能激發更多可能之智慧運輸應用。

## 參考文獻

- 交通部 (2016)。智慧運輸系統發展建設計畫 (106-109) 年。
- 交通部 (2020)。智慧運輸系統發展建設計畫 (110-113) 年。
- 交通部運輸研究所 (2019)。交通事件資訊整合服務與精進計畫 (1/2)。
- 卓訓榮、黃銘崇、李怡穎 (2016)。高速公路整合控制之啟動時機研究。運輸學刊，第 28 卷，第 2 期，頁 149-186。
- 鍾易詩、邱裕鈞、謝志偉、張開國、葉祖宏、田養民、陳凱斌 (2014)。國道高速公路交通事故持續時間分析與推估：脆弱性存活模型之應用。運輸學刊，第 26 卷，第 4 期，頁 555-578。
- 黃柏宗 (2019)。道路交通之事故辨識與碰撞機率估計：SVM 與 Random Forests 之應用。成功大學交通管理科學研究所碩士論文。
- 吳沛儒、陳其華、蘇昭銘、吳東凌、黃啟倡、鍾俊魁、何毓芬 (2019)。人工智慧之交通事件影像偵測模式與實域驗證。運輸計劃季刊，第 48 卷，第 3 期，頁 159-178。
- 邱裕鈞、謝志偉 (2012)。混合車流格位傳遞模式之建立與驗證。運輸學刊，第 24 卷，第 2 期，頁 245-276。
- 魏健宏、陳奕志 (2001)。類神經網路模式在國內交通運輸研究之成果評析。運輸計劃季刊，第 30 卷，第 2 期，頁 323-347。
- 交通部運輸研究所 (2020)。應用人工智慧 (AI) 影像辨識技術進行交通數據蒐集與分析之研究。
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., and Malik, J. (2014). *Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- Girshick, R. (2015). *Fast R-CNN*. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 1440-1448.
- Ren, S., He, K., Girshick, R. and Sun, J. (2015). *Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks*. Advances in Neural Information Processing Systems 28 (NIPS 2015).
- He, K., Gkioxari, G., Dollar, P., and Girshick, R. (2017). *Mask R-CNN*. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2961-2969.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., and Farhadi A. (2016). *You only look once: Unified, real-time object detection*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., and Liao, H.-Y. M. (2020). *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. arXiv:2004.10934.
- Chu, X., Zheng, A., Zhang, X., and Sun, J. (2020). *Detection in crowded scenes: One proposal, multiple predictions*. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 12214-12223.
- Shao, S., Zhao, Z., Li, B., Xiao, T., Yu, G., Zhang, X., and Sun, J. (2018). *CrowdHuman: A Benchmark for Detecting Human in a Crowd*. arXiv:1805.00123.
- Bedagkar-Gala, A. and K.Shah, S.K. (2014). A survey of approaches and trends in person re-identification. *Image and Vision Computing*, 32(4), pp. 270-286.
- Zhong, Z., Zheng, L., Luo, Z., Li, S., and Yang, Y. (2019). *Invariance matters: Exemplar memory for domain adaptive person re-identification*. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 598-607.
- Porrello, A., Bergamini, L., and Calderara, S. (2020). *Robust re-identification by multiple views knowledge distillation*. The European Conference on Computer Vision (ECCV).
- Naphade, M., Wang, S., Anastasiu, D.C., Tang, Z., Chang, M., Yang, X., Zheng, L., Sharma, A., Chellappa, R., and Chakraborty, P. (2020). *The 4th AI city challenge*. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops, pp. 2665-2674.
- Wieczorkowska, A., Kubera, E., Słowik, T., and Skrzypiec, K. (2018). Spectral features for audio based vehicle and engine classification. *Journal of Intelligent Information Systems*, 50(2), pp. 265-290.
- Uchino, M., Dawton, B., Hori, Y., Ishida, S., Tagashira, S., Arakawa, Y., and Fukuda, A. (2020). *Initial design of two-stage acoustic vehicle detection system for high traffic roads*. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), pp. 1-6.
- Kubera, E., Wiecekowska, A., Kuranc, A., and Słowik, T. (2019). Discovering speed changes of vehicles from audio data. *Sensors*, 19(14).
- Gatto, R.C. and Forster, C.H.Q. (2020). Audio-based machine learning model for traffic congestion detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(11), pp. 7200-7207
- Zhao, H., Gan, C., Rouditchenko, A., Vondrick, C., McDermott, J., and Torralba, A. (2018). *The sound of pixels*. The European Conference on Computer Vision (ECCV).
- Qian, R., Hu, D., Dinkel, H., Wu, M., Xu, N., and Lin, W. (2020). *Multiple sound sources localization from coarse to fine*. Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV).
- Tian, Y., Shi, J., Li, B., Duan, Z., and Xu, C. (2018). *Audio-visual event localization in unconstrained videos*. Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 247-263.
- 內政部警政署 (2020)。內政部警政署全球資訊網。https://www.npa.gov.tw/NPAGip/wSite/
- Wong, K.I., Lee, T.-C., and Chen, Y.-Y. (2016). Traffic characteristics of mixed traffic flows in urban arterials. *Asian Transport Studies*, 4(2), pp. 379-391.
- Bai, Y., Lu, L., Cheng, J., Liu, J., Chen, Y., and Yu, J. (2020). Acoustic-based sensing and applications: A survey. *Computer Networks*, 181.
- Gan, C., Zhao, H., Chen, P., Cox, D., and Torralba, A. (2018). *Self-supervised moving vehicle tracking with stereo sound*. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV).
- Vasudevan, A. B., Dai, D. and Van Gool, L. (2020). *Semantic object prediction and spatial sound super-resolution with binaural sounds*. arXiv: 2003.04210.
- 行政院環境保護署空保處 (2018)。107 年度「偵測照相系統應用於使中機動車輛噪音管制評估之研究」專案研究計畫。
- 行政院環境保護署 (2020)。機動車輛噪音量測方法—以影像輔助方式草案。
- Lu, X., Kang, J., Zhu, P., Cai, J., Guo, F., and Zhang, Y. (2019). Influence of urban road characteristics on traffic noise. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 75, pp. 136-155. 



# 臺北捷運 潛盾隧道 混凝土環片 生產精進與數位創新

陳俊宏／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 處長  
呂文儒／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 副總工程司  
蘇瑞麟／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 主任  
李建德／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 主任  
陳子涵／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 助理規劃師

因應節能減碳的環保趨勢及結合日益進步的數位科技應用，105年起臺北捷運萬大－中和－樹林線全面動工，施工初期由業主召集設計顧問、主廠商、製造廠商蒐集過去捷運工程環片生產資料，共同詳加研究探討與分析，藉由專業經驗與大數據分析，將原來每天生產2循環（10小時脫模）調整以每天生產1循環（22小時脫模）方式生產，增加鋼模套數產能不變，從而降低混凝土配比單位水泥用量及蒸氣養護最高溫度，節能減碳且可降低生產成本，並訂定「混凝土配比最佳水泥用量」、「鋼筋籠裁切加工標準化」、「混凝土澆置振動最佳化時間」及「蒸氣養護最佳溫度歷程曲線」，以「標準化」、「自動化」、「系統化」的精進改良生產。另外，結合數位科技應用，運用電子化設備輔助，遠距監造即時管控，並首創環片生產品質履歷系統建置管理模式，將環片生產之鑄造、養護、塗裝、儲放與出貨管理以及品管檢驗資料藉由履歷系統管理，減輕人力負荷，品質公開、透明更有保障。

## 前言

臺北捷運系統工程大部分都是沿著都會區大馬路上興建，地下路段多半是採用潛盾隧道工法施工，利用潛盾機鑽掘前進並於後方逐環組立預鑄混凝土環片襯砌，形成堅強而穩固的隧道結構主體。預鑄混凝土環片乃鋼筋混凝土製品，在預鑄工廠以鋼模鑄造且在良好的品質管控下能生產出高品質、高精度之產品。初期路網為能加速生產，多使用較高混凝土水泥用量及較高蒸氣養護溫度以提高混凝土初期強度而提早脫模再重複使用鋼模繼續生產，每天可生產2個循環以達生產產量目標。然而使用較高的水泥用量及蒸氣養護溫度不僅增加成本，未能節能減碳，而且環片表面也因水化熱較高較容易產生微細裂紋，而蒸氣養護溫度高，也影響混凝土28天強度的表現，直接影響整體

隧道結構品質及長期耐久性。另外環片生產工廠遠在苗栗及高雄，業主無法隨時監督其生產管控情形，也間接影響環片生產品質的穩定性。

有鑑於此，臺北捷運萬大線－中和－樹林線工程施工初期結合業主、細設顧問、主廠商、製造廠商蒐集過去捷運板南線、環狀線、松山線及信義線…等工程環片生產資料，共同詳加研究、探討與分析，依人力、材料、機具與生產效能等方面研議，藉由以往專業經驗與大數據分析，從材料配比、生產製程及生產管理方面精進與改善，以標準化、規格化、系統化方式生產高品質、高效能產品。運用電子化設備輔助，遠距視訊即時監控，並首創環片生產品質履歷資料系統管理，工程完工後履歷資料移交捷運公司，將工程生命週期成功延續到維護管理階段。



## 降低混凝土配比水泥用量，節能減碳

混凝土環片 28 天設計強度契約規定為 450 kgf/cm<sup>2</sup>，脫模強度為 28 天設計強度的 60% 為 270 kgf/cm<sup>2</sup>。施工團隊蒐集了過去捷運板南線、環狀線、松山線及信義線... 等工程施工時環片的生產資料發現以往為了滿足 12 小時內完成一個循環生產時脫模強度的要求，混凝土的配比每 M<sup>3</sup> 水泥用量高達 450 kg ~ 516 kg，28 天強度約在 636 kgf/cm<sup>2</sup> ~ 734 kgf/cm<sup>2</sup> 之間，既不環保又浪費成本。本案經施工團隊分析檢討、重新計算配比資料並實際進行測試，以每天生產 1 循環的方式生產，延長脫模時間（22 小時），每 M<sup>3</sup> 水泥用量降為 420 kg 即可達脫模強度之要求，28 天強度亦可達 703 kgf/cm<sup>2</sup>（詳如表 1）。不僅節省成本，也可有效達環保節能減碳的目的。

## 製程精進改良

每天以 1 循環方式生產，增加鋼模套數，產能不變，並採取各項精進措施：

## 鋼筋籠製作規格化

鋼筋籠的製作採規格化生產，每一種尺寸形式的主筋及箍筋裁切加工時每製作 200 支需以 ± 0.5 mm 的檢驗樣規檢驗，鋼筋籠加工製造時放置於加工床安裝焊接，每片鋼筋籠主筋、箍筋位置均精準定位，焊接電流嚴格控制在 200 安培以下，避免焊蝕現象，鋼筋籠生產規格化。每片鋼筋籠生產完成經嚴格檢查合格後以掛牌標示，嚴格管制鋼筋籠生產品質（詳如圖 1 至圖 3）。



圖 1 各式箍筋檢驗樣板

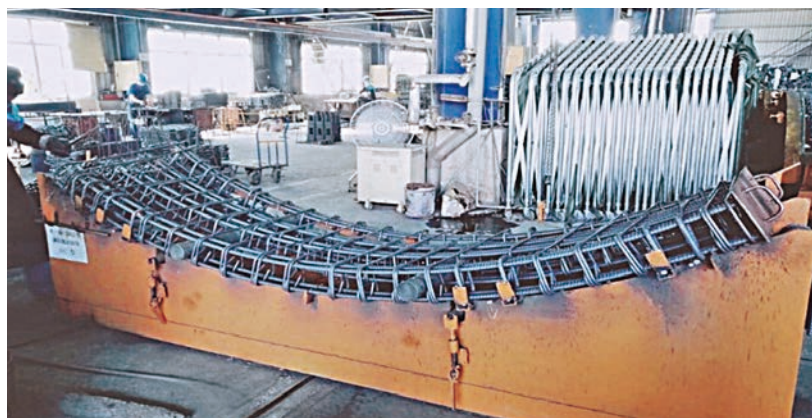


圖 2 鋼筋籠加工床鋼筋定位標準化生產

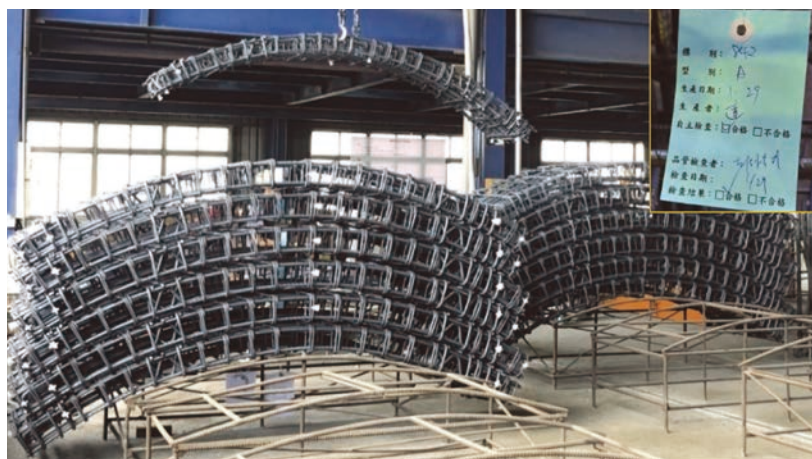


圖 3 鋼筋籠堆置及檢查合格掛牌標示

表 1 臺北捷運各線環片生產水泥用量與強度比較表

標別	生產時間	環片數量 (公尺)	II 型水泥量 (kg/M <sup>3</sup> )	水灰比 (W/C)	脫模 強度	強度：kg/cm <sup>2</sup>	
						7 天 強度	28 天 強度
CD552 標 (板南線)	99/9-101/8	3054	450	0.354	399	582	720
CF640 標 (環狀線)	102/7-103/4	1061	450	0.351	402	624	734
CR580B 標 (信義線)	97/11-99/2	3782	516	0.340	404	564	663
CG590C 標 (松山線)	98/6-100/8	4744	465	0.368	399	564	636
CQ842/840/850A 標 (萬大線)	107/12-110/05	3824	420	0.355	359	581	703

### 環片混凝土澆置振動最佳化

環片生產採用的混凝土坍度為 2.5 ~ 5 公分之間，振動搗實對於混凝土品質至為重要，振動不足混凝土內部孔隙多強度不足，振動過度易產生表層浮漿，容易造成表層龜裂，影響品質。施工團隊實際於生產工廠分別測試於混凝土投料完再振動 2 ~ 6 分鐘的不同振動時間，並比較只用外模振動跟內、外模振動併用兩種不同振動模式，再直接於環片中間及兩側部位鑽心取樣觀察混凝土內部搗實情形與表層浮漿狀況（詳如表 2 及圖 4），發現以內、外模振動併用於混凝土投料完再振動 4 分鐘後混凝土為最佳的澆置振動效果，混凝土內部已達充分搗實且表層沒有浮漿現象。

### 蒸氣養護溫度及歷程最佳化

環片生產在混凝土澆置完成後為了要提高早期強度以達脫模條件，所以通常會在靜置 4 ~ 6 小時候開始蒸氣養護，利用高溫的蒸氣來加速水泥的水化反應

以提高強度進而達到提早脫模的目的。施工團隊實際於生產工廠測試，以前述每 M3 水泥用量 420 kg 的混凝土配比生產多組環片，分別以靜置 6 小時、升溫 2 小時、恆溫溫度為 45°C（3 小時）、50°C（3 小時）、55°C（3 小時）、60°C（2 小時）及降溫 2 小時的不同溫度歷程曲線模式進行蒸氣養護，再壓驗其 22 小時（脫模之用）、7 天與 28 天強度（詳如表 3、表 4 及圖 5）。發現蒸氣養護溫度越高雖然早期強度提高，但 28

表 2 環片澆置振動時間與鑽心觀察比較表

環片編號	第一階段	第二階段	鑽心結果
1	3 分鐘	2 分鐘	孔隙較多、表層無浮漿
2	3 分鐘	3 分鐘	輕微孔隙、表層無浮漿
3	3 分鐘	4 分鐘	無孔隙、表層無浮漿
4	3 分鐘	5 分鐘	無孔隙、表層輕微浮漿
5	3 分鐘	6 分鐘	無孔隙、表層較多浮漿

說明：第一階段為中間及兩側均勻投料約 2/3 之振動時間  
第二階段為蓋上蓋板後繼續投料 1/3 至完成之振動時間



圖 4 環片中間及兩端鑽心觀察混凝土內部振動搗實情形



表 3 臺北捷運工程各線環片生產蒸氣養護溫度歷程與強度對照表

強度：kgf/cm<sup>2</sup>

標別	蒸氣養護		II 型水泥量 (kg/m <sup>3</sup> )	水灰比 (W/C)	脫模 強度	7 天 強度	28 天 強度
	前置期	最高溫度					
CD552 標	4 小時	65°C (2 小時)	450	0.354	399	582	720
CF640 標	4 小時	60°C (2 小時)	450	0.351	402	624	734
CR580B 標	4 小時	65°C (2 小時)	516	0.340	404	564	663
CG590C 標	4 小時	65°C (2 小時)	465	0.368	399	564	636

表 4 臺北捷運工程萬大線實際測試蒸氣養護與強度對照表

強度：kgf/cm<sup>2</sup>

標別	蒸氣養護		II 型水泥量 (kg/m <sup>3</sup> )	水灰比 (W/C)	脫模 強度	7 天 強度	28 天 強度
	前置期	最高溫度					
萬大線	6 小時	60°C (2 小時)	420	0.355	420	529	662
萬大線	6 小時	55°C (3 小時)	420	0.355	384	574	692
<b>萬大線</b>	<b>6 小時</b>	<b>50°C (3 小時)</b>	<b>420</b>	<b>0.355</b>	<b>372</b>	<b>604</b>	<b>729</b>
萬大線	6 小時	45°C (3 小時)	420	0.355	330	654	785

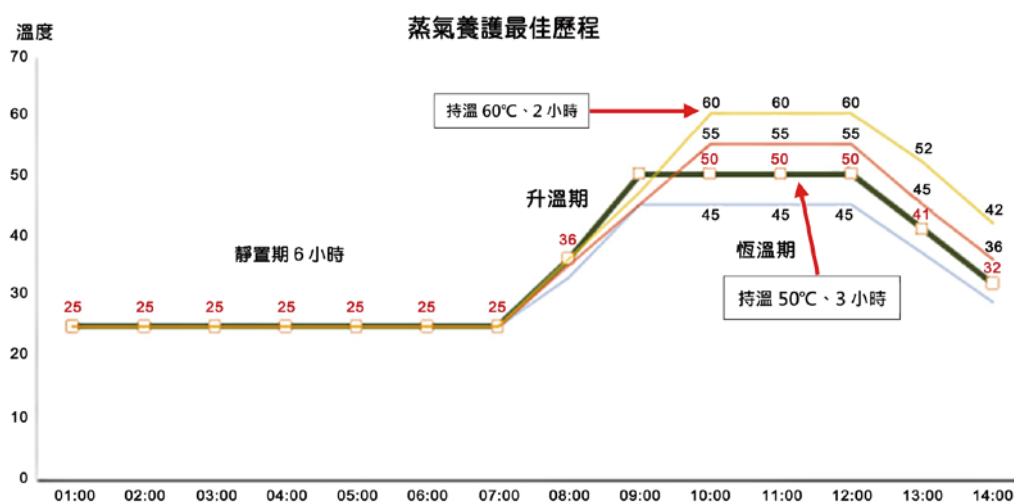


圖 5 臺北捷運萬大線環片生產蒸氣養護歷程圖

天的強度反而會降低，蒸氣養護溫度太低又怕無法滿足脫模強度要求。因此綜核評估各項性質與安全係數後採用靜置 6 小時、升溫 2 小時、恆溫 3 小時 50°C、降溫 2 小時為最佳化的蒸氣養護溫度與歷程模式。

## 生產管理作為

### 加強工廠自主品管、提高尺寸精度與品質

環片生產需以鋼模生產以控制產品精度，產品之精度控制在；周向弦長 0 ~ + 2 mm、徑向寬度 ± 2 mm、厚度 0 ~ + 5 mm 以內。製造廠商生產前業主即要求工廠內部建立更完善之自主檢查流程 SOP 與各項檢驗允

收管控標準來嚴格管控品質，相關自主檢查記錄必須詳實記載並即時電子建檔，除供主廠商與業主隨時調閱查證外亦作為建置環片履歷之資料。

### 主廠商派員駐廠檢驗與業主定期派員抽查

除工廠自主品管，主廠商在生產期間全程駐廠檢驗工廠製程之正確性，確保環片生產材料、過程符合規定。業主則定期派員前往抽驗整體品質管理是否符合精進目標之各項要求。

### 遠距視訊，即時監控

環片生產工廠遠在苗栗及高雄等其他縣市，為能

隨時了解環片生產情形，掌握生產進度與品質穩定性，特於工廠廠區及實驗室佈設置多部即時影像攝影系統，透過網站連結及手機 APP 可隨時監看環片生產作業狀況，運用電子化設備遠距視訊即時監造（詳如圖 6），減輕業主監督人力負荷。除此之外去年（110）臺灣疫情 3 級時，交通不便利，遠在臺北的監造工務所同仁可以利用遠距視訊進行品質查驗。事先做好準備遇到突發狀況可以立即派上使用。

### 首創環片生產品質履歷系統

施工團隊仿效現今部分食品所採用之生產履歷系統管理模式，利用 EXCEL 套裝軟體建置資料庫管理系統，運用其中之 VBA 巨集程式簡化操作步驟，落實記錄檔案管理系統化之作業模式建置了全國首創環片生產品質履歷資料系統。將環片產製過程之各項作業資料與檢查紀錄系統化建檔，經由掃描貼在環片上之條碼，環片編碼、生產日期、鋼筋籠製作、混凝土強度，塗裝塗膜厚度及成品檢查 … 等資料一覽無遺，為工廠出貨放行及業主工區進貨檢驗之最佳利器（詳

如圖 7）。除此之外，業主與主廠商對於產品品質及庫存數量等資訊亦能即時完整取得，未來工程完工後更將完整履歷系統資料移交給營運單位作為維護管理之用，將整個工程生命週期延續到維護管理階段。

### 成果與效益

本項環片生產製程精進與數位創新應用，可節省人力約 30%，降低製造成本約 20%。生產線自動化、數位化及履歷系統等優化措施，已跳脫傳統製造業偏重人力生產與管理的迷思，是混凝土製造業劃時代的一大革新，也是一項傳統產業與數位科技完美的結合。本案環片生產精進成果已榮獲臺北市政府 109 年創意提案精進獎季軍。臺北市捷運工程局並發行捷運工程技術叢書第 33 冊「捷運潛盾隧道混凝土環片生產實務」，可供全國其他縣市捷運工程參考採用。臺北市捷運工程局已將本項精進措施納入目前正在發包的萬大線二期及環狀線南、北環段捷運工程設計文件中，效益已擴展到全過公共工程混凝土預鑄環片生產。除此之外，製造廠商也可將製造產品從捷運工程潛盾隧

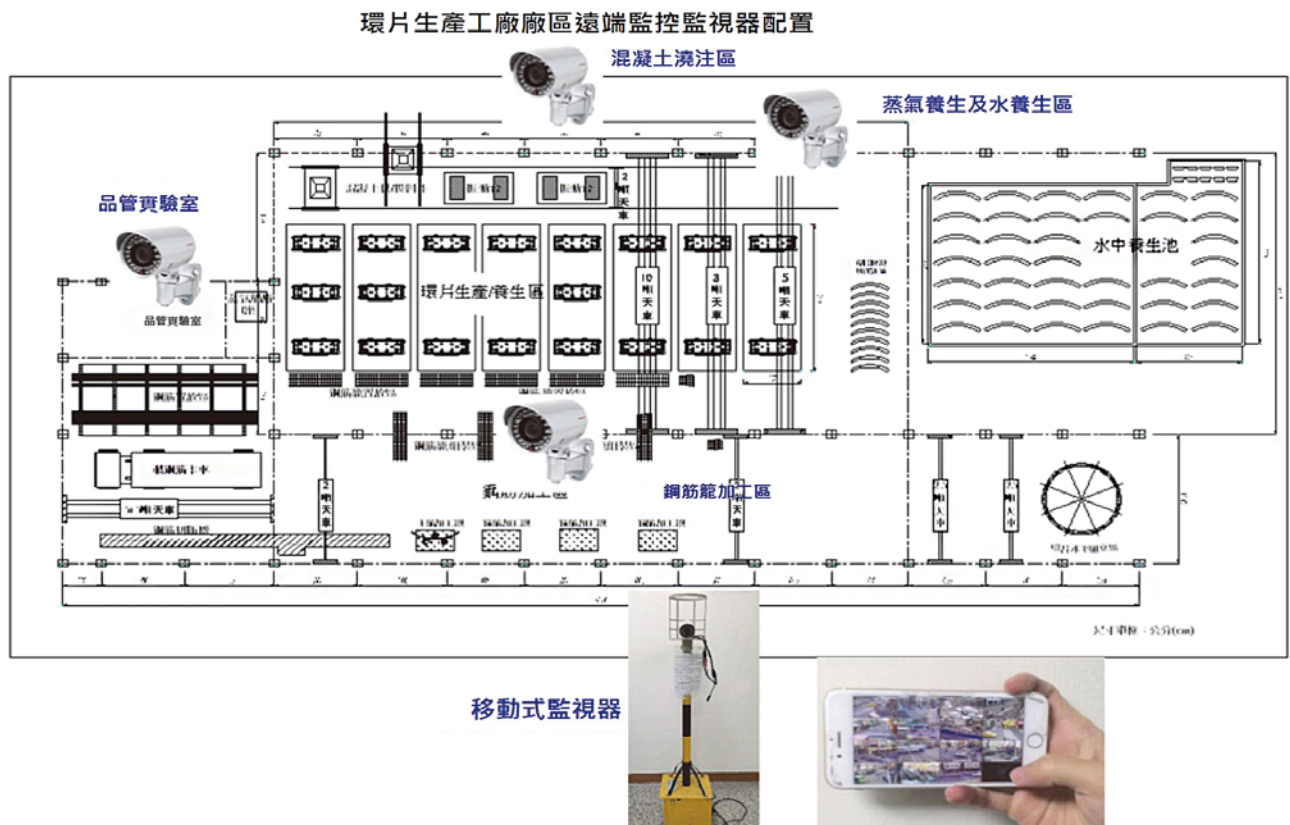


圖 6 環片工廠遠端攝影系統，手機 APP 即時監控管理



道環片的生產擴展到其他公共工程如臺電及衛工單位的小口徑環片或汙水下水道推管等生產，不僅可以提升本身競爭力，整體效益更是延伸到全國公共工程，

提升全國公共工程品質，達到高品質、高效能的新里程碑（詳如圖 8 和圖 9）。



圖 7 環片生產品質履歷系統



圖 8 環片生產全景



圖 9 環片組裝於潛盾隧道中一景



# 臺北市道路及橋梁景觀設計 — 以中正橋改建工程為例

## The Landscape Design of Roads and Bridge in Taipei City - Take Chung Cheng Bridge Reconstruction for Example

蔡欣仰／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部 計畫工程師

張英發／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部 經理

詹名成／臺北市政府工務局新建工程處大運工務所 主任

劉家銘／臺北市政府工務局新建工程處 總工程司

曾惠斌／國立臺灣大學土木工程學系營建工程與管理組 教授

中正橋為銜接臺北市及新北市的重要交通通道，但面臨橋梁老舊、耐震與耐洪能力不足及交通動線不良等問題。此外，其下游側的川端橋，為 1935 年（昭和十年）開始建造的橋梁，具古蹟或歷史建築價值，被提報並登錄為臺北市歷史建物。後經臺北市政府辦理 idea Taipei 創意提案評選會議，評選出可被落實的創意提案為「舊橋恢復成原貌」及「原址旁新建新橋」。

為達成文化資產審議委員會的要求，同時滿足河川防洪及深河槽中不落墩、橋梁耐震及當地交通等多項需求，本橋採大跨度透空拱肋鋼拱橋，同時採用鋼床板系統來降低主梁梁深及重量。主橋拱肋係採用透空型式，雙拱肋間採鋼管相連接構成一桁架系統。此外，臺北市端的匝道採立體化交叉方式，將會大幅改善現有交通。本橋完成改建後，將可重現川端橋的原有風貌並成為新的橋梁地標。

本工程參加內政部營建署與中華民國景觀學會辦理之 2020 第八屆台灣景觀大獎評比，並獲得佳作，顯見本案於道路及橋梁景觀設計上，已獲得評審委員的肯定，將規劃內容整理成文章作為日後規劃設計參考的依據。

關鍵詞：鋼拱橋、透空拱肋、川端橋、歷史建築

### 緣起

中正橋位於臺北市的西南側，跨越新店溪，分別銜接臺北市中正區重慶南路及新北市永和區永和路，橋寬 24.5m，雙向各配置 2 快車道及 1 混合車道。本橋設有匝道銜接臺北市水源快速道路及新北市環河快速道路，為臺北市與新北市間的重要通道，工程位置與現況照片詳如圖 1 及圖 2。

由於本橋汽機車交通流量大，部分橋體建造年代久遠，加上梁底防洪高程不足，同時面臨橋梁老舊、耐震與耐洪能力不足及交通動線不良等問題，有鑑於此，臺北市政府工務局新建工程處乃於民國 100 年辦理「中正橋改善工程可行性評估工作」，並以橋梁全生命週期研擬包括保留原橋結構補強、局部拆除改建或全橋改建等各種方案進行評估，經評估結果以原橋址全橋改建方





圖 1 工程位置圖



圖 2 中正橋現況照片

案最佳，並為各界接受。該改善工程可行性評估工作原已於 102 年結束，並進行本橋改建之後續相關作業。惟於 103 年 9 月 22 日因民眾陳請，由於部分橋體係於日治時期民國 26 年興建完成，具有歷史保存價值，要求中正橋改建必須將舊橋保留。為此，臺北市政府文化局邀集相關單位召開會議及辦理現場會勘，於 104 年 3 月 17 日文化資產審議委員會第 67 次會議，將中正橋登錄為本市歷史建物，並於 104 年 6 月 23 日辦理 idea Taipei 創意提案評選會議，依據可執行性、創意性以及優先性等標準，評選出可被落實的創意提案為「舊橋恢復成原貌」及「原址旁新建新橋」，詳如圖 3 所示<sup>[1]</sup>。

### 計畫背景條件

臺北市中正區位於臺北市西南側，舊地名為古亭庄，起源於移民墾殖於此，設置眾多穀倉「古亭笨」，故以此為名，為臺北市區較早開發的區域。日治時期設置臺北市新榮、千歲、兒玉、佐久間、南門、龍口、馬場、川端、古亭、水道、富田等町，其中鄰近中正橋區域屬於川端町。臺灣光復後於民國 34 年改為臺北市古亭區，民國 89 年配合臺北市行政區重新劃分，與城中



圖 3 臺北市文化局辦理 idea Taipei 創意提案評選會議結果

區合併成中正區，羅斯福路以東併入大安區、中華路以西併入萬華區。

川端町河畔是當時臺北近郊納涼賞月的名勝，料亭（指高級日本料理餐廳）開設在河邊一帶，夏季乘坐遊船消暑，在料亭品嚐香魚料理，是川端町的特色。螢橋位在川端町中，因日治時期此處有一小溪及小木橋，在夏秋之際常有螢火蟲飛舞，景色甚美，而成為親子夜遊好去處而得名。另外，在 1922 年已廢止的台鐵新店線，於此設有螢橋驛（汀洲路與廈門街口），亦是文山煤礦交會點，因此在 40、50 年代初期商店林立、繁華熱鬧，廈門街一帶好比現今東區頂好商圈，且這裡多為高級住宅區，許多政府顯要人物居住於螢橋週邊。

在視覺景觀意涵上，新舊中正橋皆位於整個大臺北盆地的底端，視線除了受水岸二側高樓阻礙外，在大氣環境清澄的狀態下，可以感受到山巒環繞，分類中兼具全景景觀及主題景觀。在視覺景觀特色分析上，本區活動者的遊賞行為，除跨越新店溪的線性行道，另有連續性的塊狀河濱公園，因此場域內視野屬於完全開放的性質，在多方向移動與多角度視線轉換下，隨著視角方向以及視野範圍，可感受到內景觀與外景觀，在可視視域的範圍，亦形成近、中、遠不同的視距。使得本區視覺元素豐富且多樣。疊合清代臺北城地圖後，可理解中正舊橋的佈設與臺北古城方位同是東偏 15 度遙對七星山，如圖 4 所示。

新店溪在中正橋附近呈現彎曲，蜿蜒河道在冲刷與堆積作用下，於新北市隨形成大小不等的連續性高灘







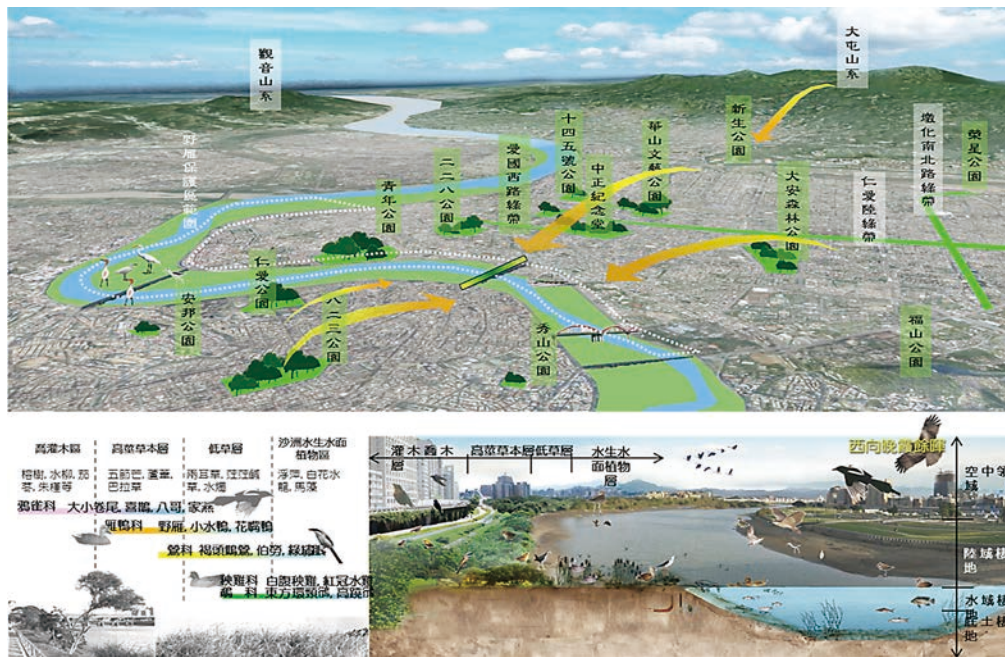


圖 6 中正橋橋址及生態廊道角色關係示意圖

## 規劃設計方案說明

為達成文化資產審議委員會的要求，即日據時代的川端橋必須原址保留，同時在考量中正橋於新北市端之引道及新北環快匝道甫興建完成，避免公帑浪費，本工程橋梁改建範圍至該橋墩處（編號為 P15）。此外，考量施工期間的交通維持需求下，同時滿足河川防洪及深河槽中不落墩需求，依工址環境及匝道交叉條件配置了大跨徑鋼橋，跨越新店溪。

另重慶南路高架橋下空間之使用已漸趨沒落且大

部分已廢棄不用，乃利用中正橋改建契機，一併拆除重慶南路高架橋並回復為平面道路，希望配合中正橋的改建，能夠更新再造與重塑更符合現代人民生活的都市景觀。

依工址特性及施工條件，本工程可分為二大施工路段，分為重慶南路的平面段及河中的高架段。各路段的主要工項包括重慶南路高架拆除及平面道路鋪設（含增設人行與自行車道），高架段的跨新店溪河中橋梁改建及現有中正橋之川端橋保存再利用等三項主要工作，不僅要更新老舊橋梁的結構，更能重塑日治時期的川端橋風華面貌。有關本工程的路段分佈及工項示意圖如圖 7 所示。

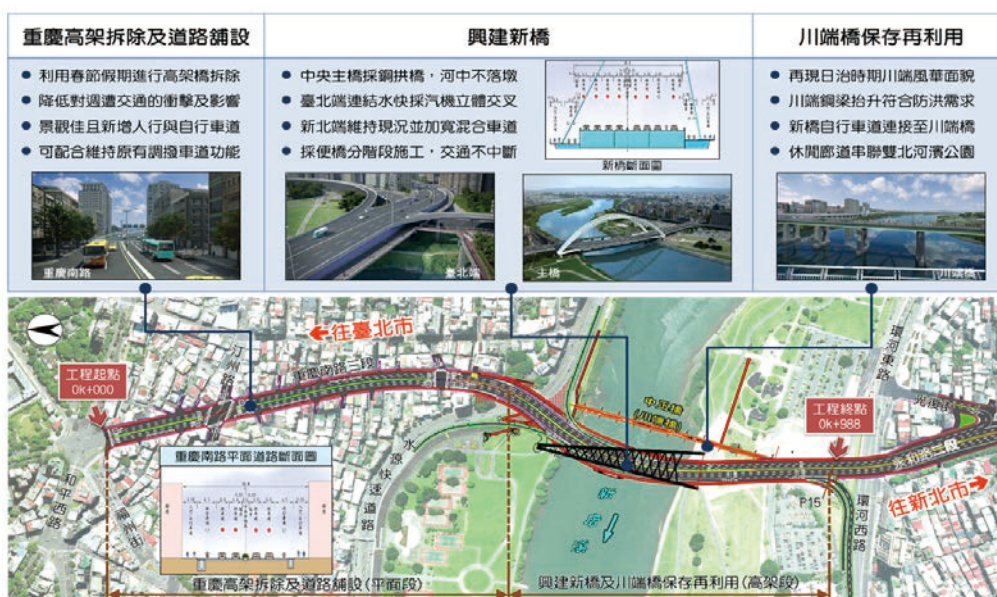


圖 7 中正橋改建工程範圍及工項示意圖



### 重慶南路三段設計構想

為使重慶南路成為未來的景觀大道，舊有的重慶南路高架橋及自強市場須進行拆除作業，其拆除前後之對照相片如圖 8 及圖 9 所示。重慶南路上的高架橋及自強市場拆除後，將留設寬約 3 m 或 3.5 m 使用空間給行人及自行車使用，延續重慶南路的中央綠帶，於中央分隔島設置 1.4 m 寬之綠帶，並將原兩側之公共設施移設於此，人行道於各路口處依規定設置無障礙坡道，打造人本道路。

自行車與行人共用道上的鋪面皆採用透水鋪面，使雨水經鋪面直接滲入路基土壤，增加雨水入滲補注地下水層。考量平整舒適易維管要件，採用透水混凝土為基底及飾材使用透水磚，響應臺北市打造海綿城市的目標。



圖 8 重慶南路高架橋拆除前及拆除後之照片



圖 9 自強市場及重慶南路高架橋拆除前及拆除後之照片

重慶南路高架橋拆除後，將原有被擋住的天際線打開，大幅改善當地的道路景觀。原高架橋空間改為平面道路配置，讓重慶南路 3 段沿續前段車道配置，同時配置人行道及自行車道，有助於人行通行及行車視野，促進區域繁榮、帶動地方商業經濟發展<sup>[2]</sup>。

### 跨河段設計構想

跨河主橋為滿足深河槽中不落墩的河川防洪需求，及達成文化資產審議委員會的川端橋保留要求，同時須維持現有交通動線及原有車道數下，原規劃二跨不對稱斜張橋橋型已不適用於本計畫。在考量橋址環境及橋梁意象下，主梁以曲線線形配置於原橋的下游側，同時橋面寬度配合現有匝道的匯入，全線寬度均為變化值。綜合以上考量，配合深河槽不落墩配置的跨徑配置，跨河主橋採用透空拱肋鋼拱橋。

新橋以「永和八景－網溪泛月」為時空背景，以優雅的弦月形狀做為設計概念，將弦月帶給人的寧靜感來撫平城市的喧囂。同時，為保留原有川端橋，整體景觀以「琴瑟和鳴」作為設計概念主題，透過結合中正橋新橋及川端橋的風華再現、相互呼應，一起彈奏著專屬於雙北城市的生活協奏曲，設計構想如圖 10 所示。

在舊橋意象上，以川端橋風華再現、錦瑟華年為出發，重現川端橋日治時期立面風貌為目標，並在橋面上導入植栽綠美化、歷史解說與休憩活動，建構第一座台灣橋梁古董寶盒意象，拉近市民生活與城市文化資產間的距離。在新橋意象上，以琴舞月光為構想，其造型配合道路線型架構，以畫過天際的柔美弧線拱橋作為此區地景特色，透過自然的涼風吹拂而過鋼索，猶如一條條的琴弦演奏著樂章，重新定義昔日「網溪泛月」的美景。

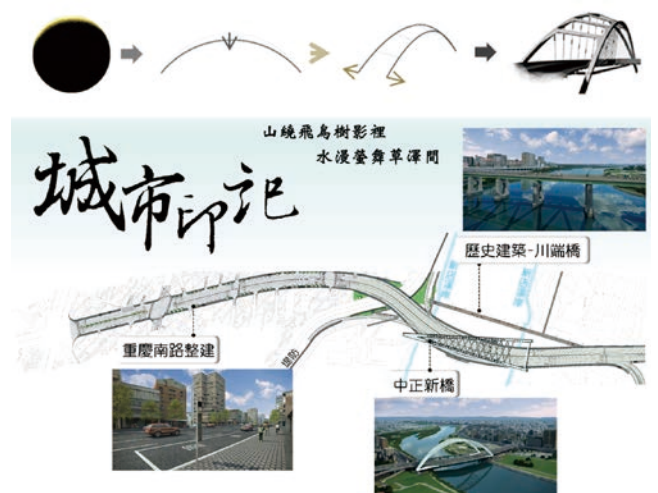


圖 10 中正橋橋型設計構想



### 跨河主橋橋型及配置概要

跨河主橋採透空拱肋大跨徑鋼拱橋，主跨主梁長為 189.5 m，而拱肋端點距離為 215 m，以雙拱合併成單拱方式辦理。主橋拱肋係採用透空型式，同時雙拱肋間係採鋼管相連接，構成一桁架系統。主梁採用多室鋼箱型梁，雙向配設有各三車道快車道及機車道外，亦配設各 3 m 淨寬之人行道及自行車道，橋面寬度為漸變且位於曲線上，寬度由 31 m 變化至 44.5 m。有關橋梁平面、立面配置圖詳見圖 11。

### 觀景休憩平台配置

為方便一般民眾更能貼近及使用本橋梁，設計時於上游側及下游側各設置一個平台，分別是上游側的歷史主題休憩平台及下游側的賞夕陽休憩平台，如圖 12 所示。

其中，上游側平台可近距離欣賞川端橋，故以川端橋歷史為主題，川端橋位置擺放立體銅雕舊橋結構模型，讓使用者更加了解過往歷史。鋪面圖樣參考現況地圖，介紹周邊地理環境。下游側平台可欣賞到夕陽美景與寬廣的河景，此區以雙人座椅為主要設施。

### 色彩計畫

本工程橋址鄰近土地在堤防內為高灘地河濱公園，堤防外不管是臺北市或新北市皆為密集的都市住宅 RC 建築。現有植栽大部份分佈於河濱公園，以榕樹及地毯草為主，新北市端人行道則為紅色高壓混凝土磚。環境色彩主要由新店溪、泥灘地、天空、遠方山巒及建築物組成，色系包括藍色、綠色、棕色、灰色系等。環境色彩組成要素及調和範圍如圖 13 所示。

橋梁選色原則以與環境色彩屬性（色相、明度、彩

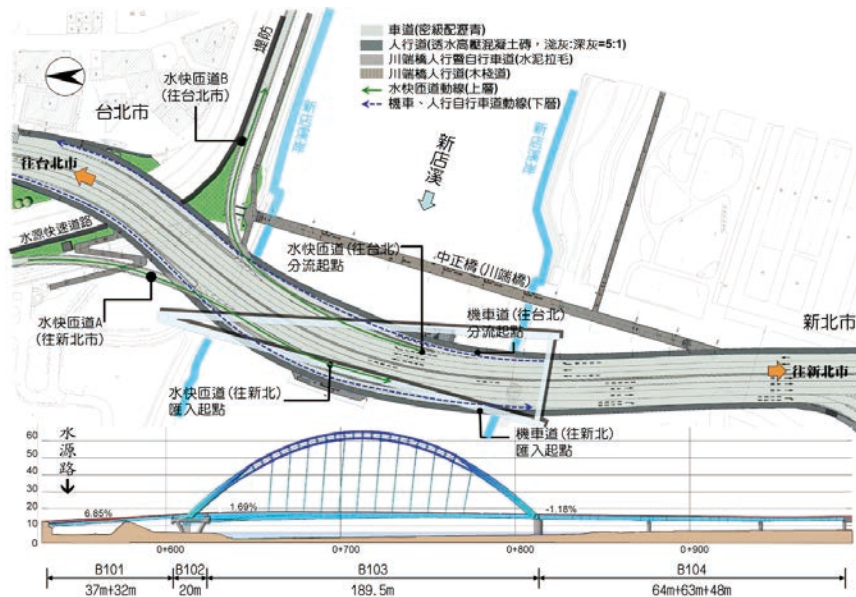


圖 11 中正橋平面、立面配置圖

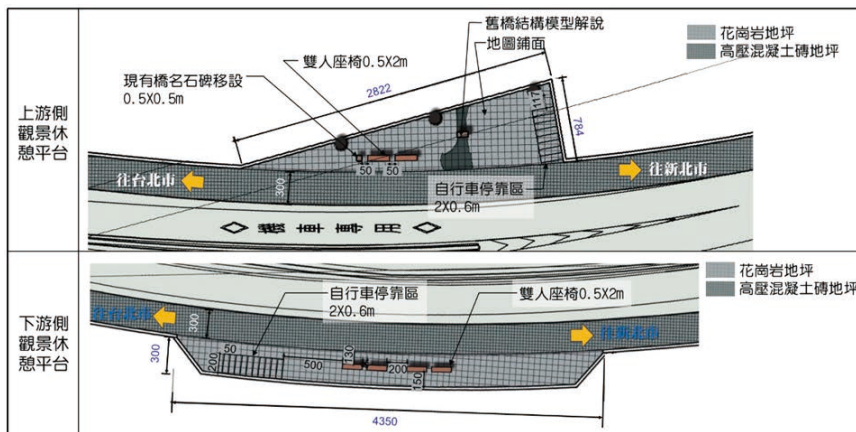


圖 12 觀景休憩平台配置圖



圖 13 環境色彩組成要素及調和範圍示意圖

度) 調和之色彩為主要考量。規劃色系應用於橋體與鋪面色彩, 考量實際使用與環境視覺美學融合、維護管理及夜間照明等因素, 對於橋體色彩可選擇可與所有顏色融合的淡藍色。

### 夜間照明

為呼應「川端錦瑟輕撫追憶華年, 琴豎中正撥弦樂舞月光」, 呈現新橋鋼拱猶如彎月一般, 倒映在新店溪下, 重現過去永和八景之一「網溪泛月」的景象。新舊橋體的交錯, 中正橋(川端橋)與新橋體如提琴的弓與弦合奏出雙北新的樂章。有關中正橋橋體結構照明變化模擬示意圖如圖 14 所示。

### 中正橋(川端橋)活化再利用

本橋於創意提案評選會議中, 建議舊橋恢復成原貌, 於原址旁新建新橋, 104 年 9 月 1 日臺北市文化資產審議委員會公告登錄「中正橋(川端橋)」為臺北市歷史建築, 105 年 3 月 28 日修正保存範圍: 以 1937 年日據時期興建之 P1 至 P13 橋墩及該橋墩上鋼板大梁為保存主體原則, 其保存範圍如圖 15 所示。

活化設計理念採立面仿古設計, 重現舊時優雅風貌。同時於橋面上引進解說設施、休憩設施等, 導入多樣化靜態遊憩活動及加深歷史懷舊體驗。為讓行人有更好的賞景視野, 故中間段鋪設高架木地板(護欄縮減為



圖 14 中正橋橋體結構照明變化模擬示意圖



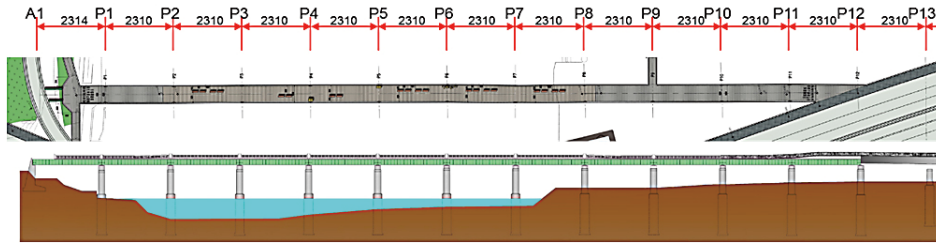


圖 15 中正橋（川端橋）保存範圍

110 cm)，且以迂迴的動線設計，讓中正橋（川端橋）作為以漫步、慢活為主的行人休憩使用。保存再利用構想示意圖如圖 16 所示<sup>[3]</sup>。

### 人行及自行車路網

中正橋的改建，將串連臺北市、新北市與高灘地間的自行車道網絡，如圖 17 所示，不但便捷了通勤族的

日常使用，也為周邊居民假日休閒提供了一處橋梁歷史教育的戶外教室，另外新橋下亦維持原有兒童遊戲區、自行車租車服務處的功能。

### 建設目標效益

由於社會經濟的發展及生活型態的改變，重慶南路高架橋下空間之使用已漸趨沒落，絕大部分已廢棄不

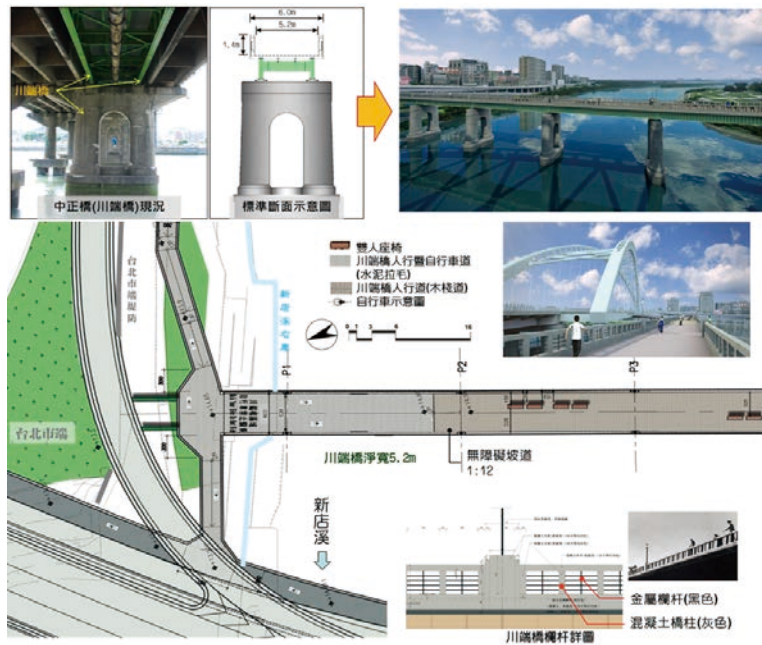


圖 16 中正橋（川端橋）保存再利用構想示意圖

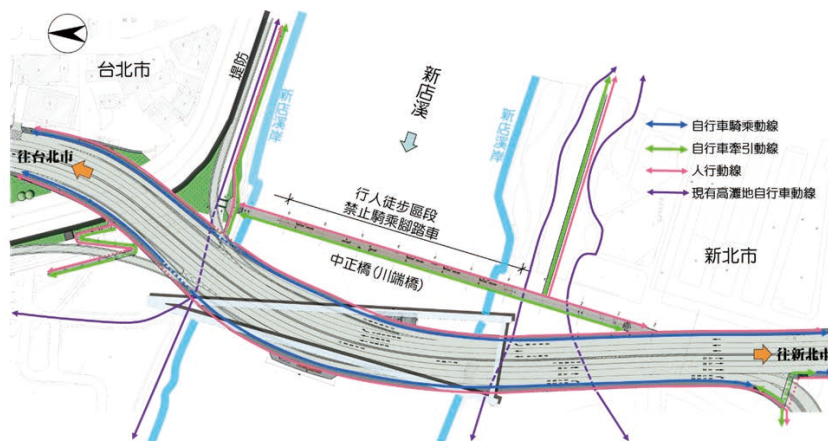


圖 17 中正橋人行及自行車路網示意圖



用，並淪為環境髒亂之場所，對鄰近區域發展之不良影響日益加重。新建工程處利用中正橋改建契機，一併拆除重慶南路高架橋並回復為平面道路，希望配合中正橋的改建，能夠更新再造與重塑更符合現代人民生活的都市景觀。

本工程建設目標效益臚列如下：

- 一、提昇抗洪耐震能力，確保使用安全。
- 二、保留傳統歷史建物，再造都市風華。
- 三、活化地區使用空間，促進區域繁榮。
- 四、創造地方特色地標，提升河岸景觀。



圖 18 中正橋改建工程佳作獎及領獎照片



圖 19 中正橋改建工程完成願景圖

## 結語

為滿足深河槽中不落墩，及符合川端橋的保留要求，本計畫整體景觀係以「琴瑟和鳴」作為設計概念主題，透過結合中正橋新橋及川端橋的風華再現、相互呼應，一起彈奏著專屬於雙北城市的生活協奏曲。因此，本工程採用曲線主梁配置非典型對稱三角拱橋，跨河主橋採用了透空拱肋鋼拱橋，以優雅的弦月形狀做為設計概念，讓弦月帶給人的寧靜感來撫平城市的喧囂。

本工程參與 2020 年第八屆台灣景觀大獎，並獲得佳作獎，由臺北市政府工務局新建工程處－陳炳麟專委代表上台領獎，如圖 18 所示。本橋尚在施工中，預計可於 2023 年開放主橋主線通行，將使新中正橋成為臺北市地標性橋梁之一，橋梁完成願景圖如圖 19 所示。

## 參考文獻

1. 臺北市政府工務局新建工程處。新舊橋梁並存方案規劃報告書。
2. 臺北市政府工務局新建工程處。第八屆台灣景觀大獎參選資料。
3. 臺北市政府工務局新建工程處。川端橋保存再利用。





### 會員 110年12月31日會員數統計

本學會現有178個團體會員，包括產、官、學各界，有效個人會員超過3,000位，均是土木水利領域的專業人士，為台灣最大的專業團體組織。

110年12月31日有效會員數	榮譽會員	17人	統計至 110.12.31 為止
	會士	88人	
	長期會員	2,183人	
	常年會員	804人 (108-110年有續費)	
	初級會員	4人	
	學生會員	31人	
	國際會員	2人	

**有效個人會員 3,129人**  
第24屆 新增個人會員 99人  
(含新增長期 33人)

**有效團體會員 178家**  
第24屆 新增團體會員 53家

### 沿革 中國土木水利工程學會

中國土木水利工程學會合併中國土木與中國水利兩學會，於 1973年在台灣成立，是國內工程學會中的翹楚，提供土木、水利相關工程領域之產、官、學、研、各界重要的交流平台。目前設有 20個服務性質委員會及 16個專業技術委員會。

每年由本學會頒發榮譽獎項、表揚土木水利工程師及優良工程，並舉辦各式競賽，包含工程數位創新應用、工程美化競賽與英語簡報；學生相關競賽有 BIM 建模、工程創意及英語簡報。每年舉辦年會、研討會、講習會、教育訓練、工程觀摩等。此外，本學會長期活絡於國際工程師組織，與國外近10個土木相關團體簽定MOU，代表台灣為亞洲土木工程聯盟 (ACECC) 的五個創始會員國之一，ACECC 成立 23 年來，現有台、美、澳、日、韓及其他亞洲國家共 16 個會員組織。

本學會為推動土木工程技術及提升競爭力不遺餘力。發行技術學刊、土木水利會刊；研訂相關規範、出版規範、專書；推動新觀念、新工法。本學會並積極建立產官學研溝通平台，主動向政府建言，如近年的工程設計費率調整、離岸風電本土化、技師分級制度研擬等。本學會以推動土木水利工程發展為己任，為社會民生善盡專業之責。

### 委員會 20個服務委員會、16個技術委員會

服務性質委員會 20 個

S1 司庫	S2 編輯出版	S3 兩岸交流	S4 學術與教育	S5 法規研究	S6 土木水利學刊
S7 會員	S8 國際關係	S10 評獎	S12 財務	S13 年會籌備	S14 會務發展
S15 會士審查	S16 亞洲土木工程聯盟	S17 南部分會	S18 中部分會	S19 東部分會	S22 土木歷史與文化
S24 青年工程師	E4 學生生活				

技術性質委員會 16 個

T1 水資源工程	T2 混凝土工程	T3 鋼結構工程	T4 大地工程	T5 資訊	T7 海洋工程
T8 環境工程	T9 鋪面工程	T10 天然災害防治	T11 運輸工程	T13 永續發展	T14 軌道及邊旁工程
T15 工程環境與美化	T17 能源	T18 先進技術	T19 非破壞檢測		

備註：\* 混凝土工程委員會於民國 62 年底 中國土木與中國水利 兩學會在台灣合併時延續，定名為「混凝土工程委員會」，負責我國之混凝土技術研討、規範修訂等，迄今已 49 年。

### 第25屆理監事會 中國土木水利工程學會第二十五屆理監事會

110.11.10 完成選舉

理事長：宋裕祺

常務理事：伍勝園、高宗正、楊偉甫、廖學端

理事：王宇睿、余信遠、李政安、林子剛、林聰利、胡宣德、高銘堂、張大鵬、張荻薇、莊均緯、許泰文、陳仲賢、曾榮川、黃慧仁、壽克堅、歐善惠、賴建信、謝啟萬

候補理事：杜微、謝震輝、劉格非、鄭燦鋒、謝尚賢、劉玉雯、林呈

常務監事：呂良正

監事：王藝峰、李建中、沈景鵬、林其璋、邱琳濱、劉國慶

候補監事：謝佳伯、周永暉

任期：110.11.10 - 112.11.9

### 優良出版品 「土木水利」會刊 (雙月刊) (110年出版 六期)

會刊內容電子檔公布於本學會官網

第四十八卷第一期  
「公共工程技術服務費用編列建議」特別報導 A、「智慧科技」專輯

第四十八卷第二期  
「公共工程技術服務費用編列建議」特別報導 B、「人工智慧」專輯

第四十八卷第三期  
「防災產業」專輯、離岸風電國內參與設計陳情書、工程技術發展

### 第25屆理監事會 中國土木水利工程學會第二十五屆理監事會

110.11.10 第二十五屆第一次理監事會中完成選舉後合影

### 優良出版品 「土木水利」會刊 (雙月刊) (110年出版 六期)

會刊內容電子檔公布於本學會官網

第四十八卷第四期  
共同或聯合承攬、「社會、經濟、產業與土木水利工程之連結」專輯

第四十八卷第五期  
第二十五屆理監事當選公告、「測圖及空間資訊於土木水利工程之應用」專輯、工程技術發展

第四十八卷第六期  
110年年會大會及土木水利工程論壇特別報導、「地下水資源」專輯

### 優良出版品

#### 土木水利工程學刊 (110年出版 八期)

第二十二卷第一期  
第二十三卷第二期  
第二十三卷第三期  
第二十三卷第四期  
第二十二卷第九期  
第三十三卷第六期  
第三十三卷第七期  
第三十三卷第八期

「非破壞檢測與維護策略對於災害防治之新擴展」特刊  
「水資源工程」特刊  
「軌道工程」特刊  
「營建管理在土木水利工程應用」特刊  
「土木與營建工程自動化」特刊

110年會務報告 9

### 110年年會

110.11.27  
「110年年會大會及土木水利工程論壇」  
110.11.27 (六) @ 新北市政府4F・5F

大會共出席 385人

大會貴賓合影  
宋理事長開幕致詞

110年會務報告 13

### 優良出版品

#### 出版優質出版品

【2020.5 第一版】  
【2021年4月15日出版】

110年會務報告 10

### 110年年會

110.11.27  
「110年年會大會及土木水利工程論壇」  
110.11.27 (六) @ 新北市政府4F・5F

陳純敬副市長貴賓致詞  
黃傑村院長大會專題演講  
黃院長發表  
「數位科技時代下的人文思維演變」演講  
引人深思

睽違已久 齊聚一堂

110年會務報告 14

### 會務精進

#### 2022全新 會員系統 建置中

感謝北科大研究室同學協助開發程式

會員系統資料維護  
會員系統登入畫面

110年會務報告 11

### 110年年會

110.11.27  
「110年年會大會及土木水利工程論壇」頒獎典禮  
110.11.27 (六) @ 新北市政府4F・5F

工程獎章得獎人：陳吉紀 董事長  
柯武德 會士  
評獎委員會張荻蓓召集人報告評獎經過  
今年大會司儀由男女雙司儀搭檔，是一大新意

110年會務報告 15

### 土木水利年度盛事

#### 110年年會典禮回顧

110年會務報告 12

### 110年年會

110.11.27  
「110年年會大會及土木水利工程論壇」頒獎典禮  
110.11.27 (六) @ 新北市政府4F・5F

各式獎牌琳瑯滿目  
北科大同學彬彬有禮、井然有序

110年會務報告 16



### 110年年會

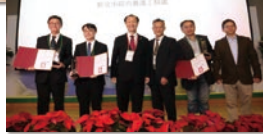
110.11.27  
「110年年會大會及土木水利工程論壇」頒獎典禮  
110.11.27 (六) @ 新北市政府4F、5F



論文獎、獎學金



2021工程美化獎-工程美化與景觀類



2021工程數位創新應用獎

110年會務報告 17

### 春酒餐會

110年春酒：110.2.26 理監事、會員代表大會



各理監事與會員代表一同引吭高歌其樂融融



宋裕祺理事長、呂良正院長、施義芳董事長一同合影留念



現場座無虛席高潮熱烈

110年會務報告 21

### 110年年會

110.11.27  
「110年年會大會及土木水利工程論壇」頒獎典禮  
110.11.27 (六) @ 新北市政府4F、5F



2021工程美化獎-工程生態與環境類



大專學生工程創新獎



大會最後全體起立唱大馬歌，連外場都肅然起敬，是歷年傳統，110年年會大會圓滿成功！

110年會務報告 18

### 工程觀摩

110.3.29 資訊委員會參訪臺北市政府工務局：臺北市共同管道建設與智慧營運現況



李惠裕副處長親自到場介紹

本次共計22人出席參訪



▲本次參訪全體委員會合影留念



◀ 北市府共同管道

110年會務報告 22

## 土木水利學會

### 年度精彩活動回顧

110年會務報告 19

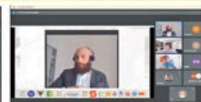
### 研討會

110.8.30-31 2021 電子計算機於土木水利工程應用研討會 (CCACHE)

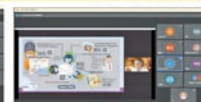
主辦：資訊委員會



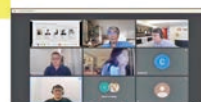
開幕典禮/貴賓致詞 [Opening Ceremony]



專題演講一 [Industrial Keynote Speech] Randy Schwartz, P.E.



專題演講二 [Academic Keynote Speech-I, 中文演講]



技術論壇一 [Forum-I]



專題演講三 [Academic Keynote Speech-II] Prof. Timo Hartmann



技術論壇二 [Forum-II]



參加人數共約 200人



專題演講四 [Academic Keynote Speech-III] Dr. Frédéric Bosché

110年會務報告 23

### 研討會

109.11.5 斜張橋 結構分析、設計、施工與維護技術研討會

109.11.5 (四) @ 集思交通部國際會議中心【5樓集會堂】



全體講師及貴賓合影



報名學員共 267人! 現場座無虛席, 反應熱烈!

110年會務報告 20

### 研討會

110.9.23~24 第十一屆(2021)公共工程非破壞檢測技術研討會暨 2021 台日非破壞檢測研習會

主辦：非破壞檢測技術委員會



參加人數約 240人

2021 台日非破壞檢測研討會-線上會議

110年會務報告 24



**研討會** 2021.10.08 2021防災科技線上研討會  
主辦：天然災害防治委員會

參加人數共約 150人(上下午各場合計)

110年會務報告 25

**講習會** 2021.12.10, 2021.12.17 建築物耐震能力初評與詳評系列講習會  
@北科大 共同科館 B1演講廳

蔡益超 教授 陳啟中 建築師 陳致英 常務理事  
賴明俊 博士 陳冠淳 博士生 柯宜岑 碩士 宋裕祺 理事長

110年會務報告 29

**研討會** 2021.12.08 下水道管線施工、維護及延壽相關工程研討會  
@ 國立臺灣大學 梁國樹國際會議廳

引言人：謝樹龍副處長 演講人：謝益敏副分處長 演講人：胡震中處長 演講人：呂良正院長  
主持人：謝啟瑞教授 主持人：傅曉峰總經理

110年會務報告 26

**講習會** 2021.12.10, 2021.12.17 建築物耐震能力初評與詳評系列講習會  
@北科大 共同科館 B1演講廳

宋裕祺 理事長 陳穎詮 博士生 趙國宏 技師  
兩天講習會 講師輪番上陣 學員收獲滿滿  
邱毅宗 博士 豐光銘 常務監事

110年會務報告 30

**研討會** 2021.12.08 下水道管線施工、維護及延壽相關工程研討會  
@ 國立臺灣大學 梁國樹國際會議廳

本研討會為實體研討會  
上午由台灣三位講者實體演講  
下午由日本三位專家線上演講  
本研討會共出席 106人

貴賓及台日講師線上、實體大合照 台日空中交流座談

110年會務報告 27

**教育訓練** 110.12.28 兩水下水道調查記錄、診斷分析與修復工法教育訓練  
@臺北市政府工務局水利工程處

出席學員 30人

110年會務報告 31

**講習會** 2021.12.10, 2021.12.17 建築物耐震能力初評與詳評系列講習會  
@北科大 共同科館 B1演講廳

參加學員 共計 117人  
宋理事長開場

110年會務報告 28

**培力土木新青年** 110年度舉辦多場「培力土木新青年系列活動」  
(青年工程師委員會)

109年「校園開講」部分活動照片

110年青年工程師委員會將持續辦理校園開講，並擴大規模為「培力土木新青年系列活動」，增添有趣活動類型：首創一日職人活動、工程技術新知、法律與工程倫理演講、口才訓練與面試技巧、領導力、人際關係溝通等互動活動，將與各大專院校相關土木系合作辦理！

110年會務報告 32



**聯合主辦**

109.10.23-第二屆青年工程師聯誼交流

@ 後台Backstage Café



中工會青年工程師委員會主委蔡仁維董事長致詞

第二屆青年工程師聯誼交流活動  
由中工會主辦、本學會及其他學協會合辦，  
現場氣氛年輕、活潑有朝氣。

110年會務報告 33

**聯合主辦**

110.10.15「捷運工程技術優化與知識資產  
創新價值」研討會

與臺北市政府捷運局共同主辦



「捷運工程技術優化與知識資產創新價值」研討會

參加人數共約180人

110年會務報告 37

**聯合主辦**

109.12.16「BIM資訊管理與循環營建之推動實務研討會」

@台大社科院梁國樹國際會議廳



沈景鵬董事長致詞 呂良正院長專題演講 謝彥安主委演講

本學會與社團法人台灣循環經濟學會、財團法人臺灣營建研究院合辦

110年會務報告 34

為台灣工程寫史

台灣公共工程檔案

110年會務報告 38

**聯合主辦**

109.12.22「智慧道路及運輸研討會」

@ 集思交通部國際會議中心



本學會鋪面工程委員會與社團法人中華鋪面工程學會等聯合主辦

110年會務報告 35

台灣公共工程檔案

「台灣公共工程檔案」專案



110年會務報告 39

**聯合主辦**

110.1.14 臺北捷運萬大一期及信義東延段施工經驗暨  
南環段設計理念 成果發表會

@臺北大眾捷運股份有限公司-捷韻國際廳



宋裕祺理事長開幕致辭

臺北捷運萬大一期及信義東延段施工經驗暨南環段設計理念成果發表會，以介紹臺北捷運萬大中和樹林線第一期及信義東延段之工程特色及即將動工之南環段設計理念為主，分享現場施工經驗外亦可與設計理念相對照回饋，以為未來國內捷運工程設計及施工提供參考。

110年會務報告 36

台灣公共工程檔案

「台灣公共工程檔案」專案



110年會務報告 40



**台灣公共工程檔案**

110.10.22 頒發「特別貢獻獎」與台灣公共工程檔案團隊



頒獎日月光集團張處生總裁 (汪慶村博士代領)

宋理事長頒發「特別貢獻獎」予曾元一董事長，以感謝他對台灣公共建設歷史資料存檔的貢獻



頒發獎狀予台灣公共工程檔案歷年工作團隊

110年會務報告 41

**混凝土新規範**

**與業界交流**

109.12.19 「混凝土接構設計規範研討會」(台中場)

@中興大學



現場參與學員 151人，高朋滿座，屬台中舉辦成功熱烈的研討會！

110年會務報告 45

**特別貢獻獎**

110.10.22 頒發「特別貢獻獎」與台灣公共工程檔案團隊



曾董事長致謝詞，並表示將以所存基金設立「特別貢獻獎」表揚工程人員

本案自104年開始策畫至110年，共經歷三位(四任)理事長

110年會務報告 42

**混凝土新規範**

**與業界交流**

「混凝土接構設計規範研討會」(台北舉辦兩場)



[土木401-110] 混凝土工程規範與解說出版前在全省北、中、南舉辦多場說明會，與業界交流及聽取意見後修改內容，目前規範已在營建署最後修訂文字中。

110.1.16 台北一場

110.1.30 台北二場

疫情下現場仍座無虛席，學員反應熱烈，提出相當多建議，並納入規範建議中！

110年會務報告 46

**為國家訂定規範**

**混凝土工程設計規範與解說**

110年會務報告 43

**最新規範出版**

2021.4.15 出版 [土木401-110] 混凝土工程規範與解說

0415最新出版



本版規範係以美國混凝土學會出版之 ACI 318-19 規範為基礎，再參考國內外最新研究成果、內政部建築技術審議委員會審查小組之意見，以及國內工程實務情況編訂而得。本版規範已通過內政部建築技術審議委員會「混凝土結構設計規範」審查小組之審查，即將頒布為國家混凝土結構設計規範。

(全書 592頁, 16K 大小 · 彩色印刷)

相關混凝土施工規範目前由台灣混凝土學會 主要負責撰寫，將與本學會共同出版。混凝土設計教科書及範例解說由本學會 編撰中，預計 111 年 8 月出版。

110年會務報告 47

**混凝土新規範**

109.12.4---混凝土新規範會審查通過

@內政部營建署建築研究所



109.12.4 新混凝土結構設計規範審查通過！全體委員合影留念！

110年會務報告 44

**在國際舞台代表台灣**

**亞洲土木聯盟 (ACECC)**

110年會務報告 48



**國際交流**  
0325-0327 ACECC-40ECM @Taipei, Taiwan



▲ 為因應防疫相關規定，本會議採視訊會議舉行。



▲ 本次參與委員與講者合影留念 ▲ 110年會務報告 49

**向政府建言 1**  
110.1.29 向工程會提交 技術服務費用編列建議書

在歷經十一個月、十五次會議後，本學會與業界共同研議「公共工程技術服務費用編列建議」完整建議報告書，110.1.29 已正式提交工程會。電子版檔案如右。  
<https://ppt.cc/IDHphx>

感謝多家顧問公司共同參與，在報告內共提出技術服務費率相關之七大建議，前兩項建議均已獲工程會同意並即修改相關法令。

報告內容針對設計及監造之技術服務費率，含單價法計算依據、如何預算編列、以及計價方式等，均有詳細說明、分析及建議。尤其是吳澤成主委關心的設計服務費用估算，詳述於報告第六章，共提出36個實際設計案例、35個監造案例，分析比較之。

人月單價的合理計算是本案一大成果。為方便未來工程主辦機關編列預算，我們也提出基本費率-進階法可提供主辦單位編列預算參考，及人月單價法為計價的依據等。

本案的核心目標即是兼顧 政府單位、主辦機構、以及廠商，建議可行的合理費率。

110年會務報告 53

**國際交流**  
CECAR9 即將於 9/21-23, 2022 於印度舉辦



110年會務報告 50

**向政府建言 1**  
110.1.29 向工程會提交 技術服務費用編列建議書

~ 感謝各家公司大力協助及研究團隊之辛勞 ~



土木水利學會：宋裕祺、倪惠妹、蘇進國、陳穎詮、柯宜岑、李家萱、趙國宏、宋冠諭  
中興顧問：余信遠、王建智、蔡文豪、鄭書恒、林芳輝、傅建中、李育霖  
台灣世曦工程顧問股份有限公司：廖學瑞、黃炳勳、邱水碧、吳俊龍  
TAIPEI 國立臺北科技大學：曹為珍、吳慶輝、胡宗平、李正南  
PEOL 台聯工程顧問：黃一鈺  
TEGG 邑昌工程顧問：柯鎮洋  
TYLIN 林同棧工程顧問：王宇書、黃弼彥  
YCEC 亞新工程顧問：段紹緯

110年會務報告 54

**向政府建言**

關心產學環境發展、善盡專業之責

110年會務報告 51

**向政府建言 1**  
110.1.29 向工程會提交 技術服務費用編列建議書

**建議一：**  
刪除「公共工程（不含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限參考表」中之「**上限**」兩個字及契約範本之「**折扣率**」字樣。  
p.s.建議一已獲採納，工程會積極作為：  
工程會於109年6月12日經行政院公報，第026卷第110期，頒布修正「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第二十五條之一、第二十九條草案及總說明。

**建議二：**  
配合性工作應單獨編列工項及依實做數量計價。

**建議二之補充：**  
工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之**工作項目**及其**計價原則**。

110年會務報告 55

**時事座談**  
0407太魯閣號事故討論會議



世曦副安福理向大眾鞠躬



土木全聯會 洪敏德理事長 大地公會 陳江淮理事長  
結構全聯會 張政雄理事長 水保公會 鄧高維理事長  
中興公司 鄭書恒資深 謝佳怡律師  
中興公司 李民政資深 智聲建築師事務所 羅元平執行秘書

110年會務報告 52

**向政府建言 1**  
110.1.29 向工程會提交 技術服務費用編列建議書

**建議三：**  
人月單價之計算採「**實際月薪資** 乘上 加計間接費用之係數 (不小於3.0)」，  
人日單價為**人月單價除以21**，人時單價為**人月單價除以168**。

**建議四：**  
公共工程（技術服務）**現行不合理契約（或錯誤執行）**之說明及建議。

**建議五：**  
採用「**基本費率-進階法**」計算**設計服務費用**。

110年會務報告 56

向政府建言 1

110.1.29 向工程會提交 技術服務費用編列建議書

建議六之一：

監造服務 編列預算方法一 採用「基本費率-進階法」。

建議六之二：

監造服務 編列預算方法二 採用「人月單價法」。

建議六之三：

監造服務費 計價 採用人月單價法，且價金應 分期 以人月單價法計算給付之。

建議七：

技術服務費用應 定期檢討。

110年會務報告 57

向政府建言 2

離岸風電設計本土化 第三次陳情書



110年會務報告 61

向政府建言 1

持續研議：參考日本作法，套用我國實際案例



110.2.8 向吳澤成主委第二次簡報

有鑑於吳主委最關心的設計費率可否用人時估算法計算，經討論後決定引用日本設計等相關業務工作標準費用計算(累積數十年並持續更新公布)，參考日本作法，試套用我國實際案例進行比對，今早剛完成第十八次會議。

日本國土交通省公布  
平成23年版、令和2年修訂

設計業務等標準積算基準書および同  
(設計等相關業務工作標準費用計算)

110年會務報告 58

向政府建言 2

離岸風電設計本土化 第四次陳情書



110年會務報告 62

向政府建言 2

離岸風電工程設計本土化陳情案

針對 5.11 經濟部公布「離岸風電區塊開發選商規劃」草案，其中產業關聯審查中「工程設計」僅列為佔比相當低的加分項目而非必選項目，將無法落實離岸風電工程設計本土化之問題，本學會對經濟部及能源局、工業局提出四次陳情，並歷經多次說明會、協調會等，目前仍在溝通中，說明如後：



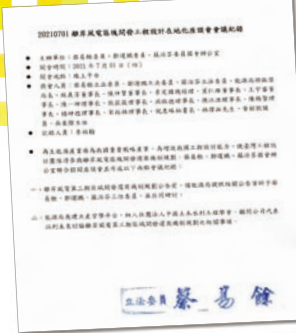
110.8.5 於立法院向能源局簡報國內有關工程設計自動化技術進展

110年會務報告 59

向政府建言 2

離岸風電工程設計本土化陳情案

感謝立法院蔡易餘委員大力積極推動！



110年會務報告 63

向政府建言 2

離岸風電設計本土化 第一、二次陳情書



110年會務報告 60

~ 感謝 ~

因為有您，我們得以茁壯

報告完畢

感謝所有長官指導以及會員們參與

懇請大家持續給予支持與鼓勵

工作不周之處，也請不吝鞭策與指教

讓我們一起為開創土木水利工程的新里程碑而努力！

謝謝大家！

110年會務報告 64







金門大橋工程



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號  
 No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN  
 Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568  
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw

**用心**  
**做好每一件事情**

匠心，才得以淬煉「專業」品質  
 誠心，才足以貫徹「人本」信念  
 悉心，才可以恢宏「關懷」情操  
 台灣世曦永遠以「心」為出發  
 持續履行對土地、對人民不變的承諾  
 一個環境永續的生態樂園  
 一個幸福溫馨的生活家園





# 社團法人中國土木工程學會

## 會員資料更新表

本表將由學會另郵寄給會員，再請回覆。

2022 會員資料庫改版，需確認及補充資訊 (日後聯絡以 **E-mail (1)** 為主、**通訊地址**為輔)

中文姓名		會員證號	
電話(1):	電話(2):	手機:	傳真:
E-mail (1): ※ 請留正確 E-mail, 日後聯絡以 <b>E-mail (1)</b> 為主		E-mail (2):	
<b>通訊地址:</b> ※ 請注意: 會員分區及紙本寄送皆以「通訊地址」為依據 <input type="checkbox"/> 通訊指定用 公司地址: <input type="checkbox"/> 通訊指定用 戶籍地址: <input type="checkbox"/> 通訊指定用 其他: □□□□□    市/縣                    市/區/鄉/鎮 路/街    段    巷    弄    號    樓之			
<b>※ 個人資料保護告知暨同意事項 ※</b> 個人資料保護告知暨同意事項為保護您在社團法人中國土木工程學會(下稱「本學會」)的個人資料。謹此依個人資料保護法(下稱「個資法」)第8條及第9條規定,告知您以下事項:蒐集目的、個人資料類別、利用期間、地區、對象及方式。 為提供您有關本學會各項服務或活動及其最新資訊並有效管理會員資料或進行滿意度及消費統計分析調查(下稱「蒐集目的」),本公司或關係企業將於上開蒐集目的消失前,在臺灣、金門、馬祖地區或完成上開蒐集目的之必要地區內,蒐集、處理、利用或傳輸您填載於會員申請書之個人資料或日後經您同意而提供之其他個人資料。 <b>權利行使事項:</b> 您可透過本學會秘書處行使下列權利,除個資法另有規定外,本學會不會拒絕,亦不收取任何費用費用: 1.查詢或請求閱覽您的個人資料。2.製作給您個人資料複本。3.補充或更正您的個人資料。 4.停止蒐集、處理、利用或國際傳輸您的個人資料。5.刪除您的個人資料。6.您的拒絕接受行銷。 <b>注意事項:</b> 如您不同意提供個人資料或刪除或停止蒐集、處理、利用或國際傳輸您的個人資料,您瞭解本學會可能因此無法進行資格審核及相關處理作業或提供您完善的服務,尚請見諒。			
		<b>請勾選、並請簽名</b> <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 不同意 <b>請簽名:</b>	

回覆請利用 本學會官方 Line ID : <https://line.me/R/ti/p/%40vef0316n> (可用 Line 回覆)

或 電子郵件: [public@ciche.org.tw](mailto:public@ciche.org.tw) 傳真:(02) 2396 4260 電話:(02) 2392 6325 #19



可用 Line 回覆給學會

歡迎會員訂閱 111 年會刊、學刊 (會員優惠價) 請填寫表單回覆, 謝謝

- 訂閱 紙本「土木水利」每年 300 元 (一年四期)    電子版「土木水利」公開於學會官網, 歡迎下載!  
 訂閱「中國土木工程學刊」每年1,600元 (一年八期) (www.ciche.org.tw)

付款方式:

1. 郵政劃撥: 帳號: 儲金存款第 00030678 號帳戶    戶名: 社團法人中國土木工程學會

2. 信用卡授權書:

卡 號: \_\_\_\_\_ 末三碼: \_\_\_\_\_ 有效期限: \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 年

持卡人簽名: \_\_\_\_\_ 付款金額: NTS \_\_\_\_\_

連絡電話: \_\_\_\_\_ 刷卡日期: \_\_\_\_\_

3. 網路付款: <https://cart.cashier.ecpay.com.tw/qp/pKm8>



可網路付款