115-044-5542
MOTC-IOT-114-IFB001

構建 5G 智慧交通數位神經中樞
—全系統整合實作與推廣應用

著者：蘇昭銘、林良泰、洪百賢、
黃啟倡、張益城、何毓芬、
吳姿樺、陳怡君、扈苑庭

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 10 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

題名/著者: 構建 5G 智慧交通數位神經中樞 : 全系統整合實作與推廣應用 / 蘇昭銘, 林良泰, 洪百賢, 黃啟倡, 張益城, 何毓芬, 吳姿樺, 陳怡君, 扈苑庭著

版本: 初版

出版: 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 115.10

識別碼: ISBN 978-986-531-797-3（平裝）| CIP 115015319

主題詞: LCSTT: 交通管理 | LCSTT: 運輸系統

分類號: 557.15

構建 5G 智慧交通數位神經中樞－全系統整合實作與推廣應用

著　　者：蘇昭銘、林良泰、洪百賢、黃啟倡、張益城、何毓芬、吳姿樺、陳怡君、扈苑庭

出版機關：交通部運輸研究所

地　　址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)

電　　話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 115 年 10 月

印 刷 者： 全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 45 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定　　價：320 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組・電話：(02)2349-6789

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

五南文化廣場：403 臺中市西區臺灣大道 2 段 85 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011501364　　ISBN： 978-986-531-797-3（平裝）

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：構建 5G 智慧交通數位神經中樞－全系統整合實作與推廣應用</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-797-3(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011501364</td><td>運輸研究所出版品編號
115-044-5542</td><td>計畫編號
114-IFB001</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：運輸科技及資訊組
主管：張益城
計畫主持人：張益城
研究人員：何毓芬
聯絡電話：(02)2349-6890
傳真號碼：(02)2545-0426</td><td colspan="2">合作研究單位：逢甲大學
計畫主持人：蘇昭銘
研究人員：林良泰、洪百賢、黃啟倡、吳姿樺、陳怡君、扈菀庭
地址：臺中市西屯區文華路 100 號
聯絡電話：(04)24517250#6640</td><td>研究期間
自 114 年 8 月
至 115 年 3 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：智慧交通、數位雙生、5G AIoT、交通預測模式、智慧交通管理</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
本計畫以建構「5G 智慧交通數位神經中樞」為核心，整合多年期開發成果，透過數位雙生（Digital Twin）、5G 通訊、AIoT 與人工智慧技術，以提升交通管理之即時監控、分析預測與決策支援能力。
本年度延續前期研究成果，進一步精進人工智慧公共運輸與交通管理模式庫與知識庫，並完成智慧交通數位神經中樞全系統整合與示範場域實作。系統整合交通資料蒐集、AI 分析預測與視覺化服務，並建置交通速率預測、路口綠燈使用率分析、大型活動交通影響分析、人流熱點推估、接駁車需求預測與停車需求分析等功能模組。透過臺中市水湳地區示範場域驗證系統應用效益，並完成落地應用輔導與成效評估。同時，本計畫研擬智慧交通數位神經中樞之擴散機制與建置指引，以促進相關技術於各縣市交通管理之推廣應用。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>115 年 10 月</td><td>238</td><td>320</td><td>凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: The Construction of a 5G Intelligent Transportation Digital Nerve Center – Full-System Integration, Implementation, and Promotion

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-531-797-3 (pbk.)	1011501364	115-044-5542	114-IFB001

DIVISION: Transportation Technology and Information Division
DIVISION DIRECTOR: Yi-Cheng Chang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yi-Cheng Chang
PROJECT STAFF: Yu-Fen Ho
PHONE:886-2-23496890
FAX:886-2-25450426

PROJECT PERIOD

FROM August 2025
TO March 2026

RESEARCH AGENCY: Feng Chia University
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jau-Ming Su
PROJECT STAFF: Liang-Tay Lin, Pai-Hsien Hung, Chi-Chang Huang, Zih-Hua Wu, Yi-Chun Chen, Wan-Ting Hu
ADDRESS: No. 100, Wenhwa Rd., Seatwen, Taichung, Taiwan 40724, R.O.C.
PHONE: (04)24517250#6640

KEY WORDS: Intelligent Transportation Systems, Digital Twin, 5G AIoT, Traffic Prediction Models, Smart Traffic Management

ABSTRACT:

This project focuses on the development of a 5G Intelligent Transportation Digital Nerve Center by integrating the achievements accumulated from multiple years of research. Through the integration of Digital Twin technology, 5G communications, AIoT infrastructure, and artificial intelligence, the system aims to enhance real-time traffic monitoring, predictive analysis, and decision-support capabilities for transportation management. Building upon the outcomes of previous phases.

This year's work further improves the artificial intelligence–based model and knowledge libraries for public transportation and traffic management, and completes the full-system integration and demonstration implementation of the Intelligent Transportation Digital Nerve Center. The system integrates traffic data collection, AI-based analytical prediction, and visualization services, and develops several functional modules, including traffic speed prediction, intersection green light utilization analysis, large-scale event traffic impact analysis, human mobility hotspot estimation, shuttle demand forecasting, and parking demand analysis. The team conducted a demonstration application in the Shuinan area of Taichung City to validate the system's practical effectiveness, supported by field deployment assistance and performance evaluation. In addition, this project proposes diffusion mechanisms and implementation guidelines for the Intelligent Transportation Digital Nerve Center to help traffic management agencies in different municipalities promote and adopt related technologies. Overall, the project's outcomes significantly enhance the intelligence and real-time decision-making capabilities of traffic management.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
October 2026	238	320

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目錄

目錄 III

圖目錄 VI

表目錄 IX

第一章　計畫背景分析 1

1.1 研究背景與重要性 1
1.2 研究目的 2
1.3 研究內容與工作項目 2
1.4 研究流程 3
1.5 章節說明 5

第二章　文獻回顧 7

2.1 國內智慧交通應用案例 7
2.2 國外智慧交通應用案例 11
2.3 數位雙生在交通之應用 18
2.4 綜合探討 21

第三章　智慧交通數位神經中樞系統歷年計畫建置成果 25

3.1 智慧交通數位神經中樞系統內涵 25
3.2 模式庫知識庫建置成果 28
3.3 推廣與應用成果 39

第四章　模式庫與知識庫之精進優化 47

4.1 交通預測速率模式 47
4.1.1 多年期發展歷程回顧 47
4.1.2 本期精進目標：系統化與落地實作 48
4.1.3 資料源精進說明 49
4.1.4 預測模型的自動化封裝與生命週期管理 51
4.1.5 全自動化即時預測系統之構建 53
4.1.6 API 標準化與數位雙生應用 56
4.2 路口綠燈使用率分析模式 57
4.2.1 系統化與落地實作精進策略 57
4.2.2 本期精進目標：系統化與落地實作 59
4.2.3 影像資料感知與正規化處理 59
4.2.4 以靜態時制計畫為基礎之綠燈使用率推估模式 61
4.2.5 分析模組自動化封裝與管理 62

4.2.6 即時綠燈使用率分析系統之構建 64
4.2.7 API 標準化與數位雙生應用 67
4.3 大型活動交通影響分析模式 69
4.3.1 信令網格人流預估模組 70
4.3.2 路段速率預估模組 82
4.3.3 軌道場站接駁車需求預估模組 99
4.3.4 停車需求預估模組 104
4.4 大型活動交通疏導應變知識庫 108
4.4.1 停車供需分析知識庫 108
4.4.2 交通引導與管制措施知識庫 109
4.4.3 接駁車需求預估知識庫 113
第五章 智慧交通數位神經中樞全系統開發整合與實作 118
5.1 整合實作構想 118
5.2 實作案例及場域說明 121
5.3 實作整合技術與系統架構 123
5.4 實作成果 128
5.5 綜合探討 134
5.5.1 「Towards “usable” digital twins」架構定位 134
5.5.2 本計畫數位雙生系統於「Towards usable DT」架構之定位 137
5.5.3 技術特點與成本分析 141
5.5.4 智慧化大型活動交通管理標準作業指引（SOP） 143
第六章 輔導落地應用及成效評估作業 144
6.1 落地應用方案討論 144
6.2 落地應用案例說明 145
6.2.1 場域特性 145
6.2.2 設備架設與系統架構 146
6.2.3 實證目的 147
6.2.4 成效評估計畫 147
6.3 成效評估 148
6.3.1 成效評估作業實施情形 148
6.3.2 交通流特性變異分析與現況時制課題探討 149
6.3.3 實測數據分析與討論 152
6.4 成效評估檢討 155
6.4.1 成效評估結果 155
6.4.2 推廣潛力與應用探討 156
第七章 模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊撰寫 158

7.1 智慧交通模式庫功能與技術內涵摘要 158
7.2 建置與擴散指引手冊標準化撰寫架構與內容規範 165
第八章　其他計畫成果 177
8.1 各項成果發表推廣活動 177
8.2 計畫成果投稿 183
8.3 計畫相關活動大事記 186
第九章　結論與建議 187
9.1 結論 187
9.2 建議 190
參考文獻 193
附件、期末審查意見處理情形表 201

圖目錄

圖 1.4.1 研究流程 5
圖 2.3.1 數位雙生成熟度分級.....19
圖 4.1.1 GVP 交通速率預測路網範圍（水湳跨年場域周邊） 49
圖 4.1.2 自動化即時預測系統架構 55
圖 4.2.1 綠燈使用率分析系統架構 65
圖 4.3.1 臺中水湳跨年活動地點及其周邊重要道路 69
圖 4.3.2 大型活動交通影響分析模式庫的整體推估流程 70
圖 4.3.3 手機信令網格切分示意圖 72
圖 4.3.4 手機信令資料處理流程圖 72
圖 4.3.5 旅次活動資料建立流程圖 73
圖 4.3.6 2022 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊.....75
圖 4.3.7 2023 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊.....75
圖 4.3.8 2024 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊.....76
圖 4.3.9 旅次活動資料建立流程圖 76
圖 4.3.10 本模組預估流程與驗證方式 77
圖 4.3.11 LSTM 模型所使用之變數.....77
圖 4.3.12 LSTM 模型預測運量與實際觀測運量 78
圖 4.3.13 2024 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次推估流程.....79
圖 4.3.14 2024 年跨年活動期間抵達活動會場周邊的分時旅次分布 79
圖 4.3.15 2024 年跨年活動期間離開活動會場周邊的分時旅次分布 80
圖 4.3.16 2026 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次推估流程.....80
圖 4.3.17 2026 年跨年活動期間抵達與離開活動會場周邊的分時旅次分布 81
圖 4.3.18 公路路網編修流程圖 83
圖 4.3.19 臺中市簡化版公路路網(編修後).....84
圖 4.3.20 2026 年臺中跨年晚會活動交通管制計畫圖 85
圖 4.3.21 交通分區示意圖 86
圖 4.3.22 信令網格人旅次轉換為交通分區車旅次總量之流程 88
圖 4.3.23 由歷年臺灣燈會之運具使用比推估本示範活動各運具使用比 89
圖 4.3.24 跨年活動後仍提供大眾運輸服務之交通分區 90
圖 4.3.25 本計畫推估 2026 年跨年期間抵達和離開會場周邊分時車旅次.....92
圖 4.3.26 半動態指派示意圖 94
圖 4.3.27 半動態指派流程圖 94
圖 4.3.28 本計畫推估 2026 年跨年期間活動會場周邊道路之分時路段速率 97
圖 4.3.29 活動會場與臺中市內軌道場站環域之手機信令網格 99
圖 4.3.30 往返活動會場與軌道場站之接駁車需求推估流程圖 100
圖 4.3.31 自主要軌道場站出發且使用大眾運輸前往會場分時人旅次(2026 年跨年期

間)....101
圖 4.3.32 自活動會場離開並使用大眾運輸抵達主要軌道場站分時人旅次(2026 年跨年)....102
圖 4.3.33 2026 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊....103
圖 4.3.34 2026 年跨年期間攔截圈範圍與攔截圈重要路口之點位....105
圖 4.3.35 跨年活動期間的分時停車需求總量之預估流程....106
圖 4.3.36 活動期間分時停車需求之推估結果....107
圖 4.4.1 停車供需分析知識庫介面....108
圖 4.4.2 規劃原則指引詳細說明....109
圖 4.4.3 交通引導與管制措施知識庫介面....110
圖 4.4.4 警示路段大型路口判斷條件建議....110
圖 4.4.5 交通管制與導引規劃相關建議與範例....111
圖 4.4.6 交通疏導人員配置位置相關建議....112
圖 5.3.1 本計畫數位雙生系統架構圖....127
圖 5.4.1 交通速率預測服務功能情境示意圖....128
圖 5.4.2 路口綠燈使用率分析功能服務情境示意圖....129
圖 5.4.3 人流熱點預估服務功能情境示意圖....130
圖 5.4.4 接駁車需求預估服務功能情境示意圖....131
圖 5.4.5 停車需求預估服務功能情境示意圖....132
圖 5.4.6 停車供需分析服務功能情境示意圖....133
圖 5.4.7 交通引導與管制規劃輔助功能示意圖....133
圖 5.5.1 NAG ET AL.（2025）「TOWARDS “USABLE” DIGITAL TWINS」概念圖....134
圖 6.1.1 會議舉辦花絮....144
圖 6.1.2 會議說明主題....145
圖 6.2.1 號誌控制器更換後現況....146
圖 6.2.2 現場 AI 攝影機拍攝畫面....147
圖 6.3.1 現況時制計畫....148
圖 6.3.2 福順路往西方向交通量....150
圖 6.3.3 福順路往東方向交通量....150
圖 6.3.4 福康路往南方向交通量....151
圖 6.3.5 福康路往北方向交通量....151
圖 6.3.6 本模式於週六因應流量變化之時制轉換說明圖....153
圖 6.3.7 本模式於週日因應流量變化之時制轉換說明圖....154
圖 6.3.8 本模式於週一因應流量變化之時制轉換說明圖....154
圖 6.3.9 本模式於週二因應流量變化之時制轉換說明圖....154
圖 8.1.1 計畫相關成果海報....183
圖 8.2.1 「結合 C-V2X 與中心端邏輯之緊急車輛「發車端」優先號誌控制實作與驗證-以臺中市水湳地區為例」投稿證明....184

圖 8.2.2 「DEVELOPING A RESOURCE-ORIENTED SIGNAL DECISION SUPPORT PLATFORM BASED ON GREEN LIGHT UTILIZATION RATE FROM ALGORITHM MODELS TO VISUALIZATION APPLICATIONS」投稿證明 184
圖 8.2.3 「INTEGRATION AND APPLICATION OF A DIGITAL TWIN FOR TRAFFIC MANAGEMENT OF LARGE-SCALE EVENTS」投稿證明 185
圖 8.2.4 「AI-BASED ESTIMATION OF NEW YEAR'S EVE HUMAN MOBILITY AND TRAFFIC FLOW」投稿證明 185

表目錄

表 2.4-1 各國智慧交通應用案例彙整 21
表 2.4-2 各國智慧交通應用面向矩陣 23
表 4.3-1 臺中市手機信令資料欄位說明 74
表 4.3-2 公路路網屬性說明表 84
表 4.3-3 交通分區列表 86
表 4.3-4 交通分區起迄表 91
表 4.3-5 交通分區區心與道路節點對照起迄表 91
表 4.3-6 路徑庫資訊之說明表 93
表 4.3-7 自主要軌道場站出發且使用大眾運輸前往會場分時人旅次(2026 年跨年期間) 101
表 4.3-8 自活動會場離開並使用大眾運輸抵達主要軌道場站分時人旅次(2026 年跨年) 102
表 4.3-9 攔截圈各來向分時停車需求推估結果 107
表 5.2-1 場域規格與特性綜整表 122
表 5.3-1 前端視覺化技術綜整表 123
表 5.3-2 後端資料處理技術綜整表 124
表 5.3-3 時序資料管理技術綜整表 124
表 5.3-4 五大模組說明 126
表 5.5-1 「TOWARDS “USABLE” DIGITAL TWINS」三維評估邏輯 135
表 5.5-2 DT 類型判定要點 136
表 5.5-3 傳統 DT 成熟度階梯 137
表 5.5-4 本計畫數位雙生功能模組之 DT 成熟度與時空尺度定位 140
表 5.5-5 本計畫於「成熟度—空間—時間」三軸之整體落點 141
表 5.5-6 本計畫系統成本概略彙整表 142
表 6.3-1 路口現況服務水準 149
表 7.1-1 緊急車輛優先通行號誌控制系統硬體資源需求 159
表 7.1-2 大型活動交通影響分析模式四大核心模組功能表 160
表 7.1-3 主動式 AI 號誌系統分析決策與執行邏輯 161
表 7.1-4 交通速率預測系統核心模組運作流程 162
表 7.1-5 路口綠燈使用率分析系統核心處理模組設計 163
表 7.1-6 交通數位雙生系統核心功能層級與組件 165
表 8.3-1 計畫執行活動大事記 186

第一章 計畫背景分析

本章依序分別說明本計畫之背景脈絡、推動重要性與具體目標，並系統性整理計畫內容架構與工作項目，作為後續各章內容說明之基礎。首先就全球智慧交通發展趨勢及我國推動 5G 結合新興科技應用背景進行說明，釐清計畫之核心推動目的以作為後續研究設計與執行方向之依據。其次說明本計畫具體研究內容與工作項目，清楚界定各項工作之執行重點與範疇，俾利後續各階段工作環環相扣、系統整合，確保成果具備實用性與推廣價值。最後，透過研究流程之統整說明，呈現本計畫整體推動邏輯與階段性成果驗證機制，強化計畫整體執行之結構性與完整性。

1.1 研究背景與重要性

隨著全球數位科技快速發展，第五代行動通訊技術（5G）以其超大頻寬、高可靠低延遲與大規模連結等特性，已成為驅動大數據、人工智慧（AI）、物聯網（IoT）等創新應用的核心基礎，並推動智慧交通、智慧城市等高附加價值服務的實現。為掌握 5G 應用所帶來的技術躍升與產業契機，行政院於 108 年核定「臺灣 5G 行動計畫」，後續更提出「5G 行動寬頻應用加速方案」，積極布局 5G 垂直應用與智慧生活發展，智慧交通即為重要推動領域之一。交通管理為都市發展與公共安全的重要基礎，如何透過科技賦能，提升交通運作效率與安全性，已成為各國城市治理之重點。本所依據行政院核定之「推動 5G 提升智慧交通服務效能與安全計畫」，自 110 年至 113 年持續推動相關研究與場域驗證，聚焦於智慧交通數位神經中樞系統建構、數位雙生技術導入、AI 決策模式庫與知識庫開發、交通控制通訊協定優化等工作，逐步奠定智慧交通發展基礎。

前多年期計畫已完成多項具體成果，包含智慧交通數位神經中樞雛型系統、交通壅塞預測模式庫、公共運輸管理知識庫、緊急救援車輛智慧號誌優先控制系統及都市交通控制通訊協定 3.5 版草案等，並於臺中市水湳經貿園區、淡海新市鎮等地辦理示範驗證，展現智慧交通系統整合與實務應用成效。本計畫延續前多年期成果，結合 5G、AIoT、數位雙生等新興科技，持續優化模式庫與知識庫，強化系統整合應用，並透過實作場域驗證與落地輔導，深化系統實用性與可擴散性，對於我國智慧交通發展、交通管理效能提升與城市治理數位轉型，均具關鍵推動意義。

1.2 研究目的

本計畫承續 110 年至 113 年完成之相關研究規劃與階段性推動執行成果，於 114 年持續關注國內外數位雙生與 5G+AIoT 技術應用案例的蒐集與分析，以瞭解交通安全與效率領域的最新發展，並參考國內外案例以及前期計畫實作驗證結果，進行人工智慧公共運輸和交通管理決策模式庫與知識庫的優化；此外，本計畫亦持續針對智慧交通數位神經中樞系統進行全系統開發整合(包含數位雙生模型)，提供一個全面的交通管理解決方案，以應對現代城市交通管理的多元需求。透過示範城市的實際落地應用並整合進行系統的成效評估，以確認其在實際運作中的效能和可靠性。最後，本計畫將研擬智慧交通數位神經中樞應用服務的擴散機制，探討如何將這些先進技術和系統推廣至其他縣市，進而為整個國家的交通安全與效率帶來持續的進步。

1.3 研究內容與工作項目

本計畫係配合行政院「推動 5G 提升智慧交通服務效能與安全計畫」後續推動工作，延續 110 年至 113 年已完成之相關研究規劃與實作成果，結合數位雙生（Digital Twin）、5G、AIoT 等新興技術，持續深化智慧交通數位神經中樞系統整合建置與場域應用驗證，並針對人工智慧公共運輸與交通管理相關模式庫與知識庫進行優化，研擬具體推廣應用機制，以強化我國智慧交通整體發展效能。計畫期程約為 7 個月，具體研究內容與工作項目說明如下：

一、持續針對國內外數位雙生(Digital Twin)、5G+AIoT 等相關創新技術應用於智慧交通服務案例之蒐集與探討

蒐集國內外數位雙生(Digital Twin)、5G+AIoT 等相關創新技術於交通壅塞(含事件管理)/公共運輸/交通安全與效率/交通控制等智慧交通管理應用案例，綜整各項案例之優劣勢並提出可借鏡參考之處。

二、精進優化人工智慧公共運輸/交通管理相關決策模式庫與知識庫

依據 112-113 年之實作驗證結果所提精進或優化建議，據以改良或擴充相關模式庫與知識庫，並完成驗證實作，使其更符合都市交通管理需求。

三、智慧交通數位神經中樞全系統開發整合與實作

匯集 111-113 年所完成之各項模式庫與知識庫，於實作場域完成全系統開發整合(包括數位雙生模型)與實作，並以案例情境方式完成智慧交通數位神經中樞系統運作

模式，作為後續推廣至其他縣市之參考。

四、智慧交通數位神經中樞系統執行成效評估作業

(一) 探討與研提落地應用之具體作法：依據 111-113 年針對示範城市建置之成果，探討與研提實際整合至示範城市交通管理單位既有交管系統和運作機制之具體作法，並與示範城市主管單位辦理 1 場座談研討會，取得共識據以執行後續實際輔導落地應用作業。

(二) 實際輔導完成落地應用及成效評估作業：輔導示範城市之交通管理單位完成落地應用作業(含既有交管系統整合)，並完成至少兩個月之成效評估。

五、研擬智慧交通數位神經中樞各項應用服務推廣機制

依據 111-113 年所開發之模式庫與知識庫，探討未來擴散至其他縣市之作業機制，如各縣市在擴散應用過程中所需之軟硬體資源及系統準備作業，並研擬相關之權利與義務，提出一服務推廣作業指引以作為本計畫擬訂後續推廣計畫之參考。

(一) 擴散機制研擬：研擬縣市在開發或應用模式庫/知識庫過程中所需的軟硬體資源，必要之系統準備工作等，以確保模式庫/知識庫能夠有效擴散和應用。

(二) 權利義務分析：為支持智慧交通數位神經中樞的應用服務擴散，應定義縣市在開發或使用模式庫/知識庫過程中的權利與義務框架，以確保擴散機制的有效性、合法性與可持續性。

(三) 依據上述機制研擬與權利義務分析結果，擬訂服務推廣作業指引(內容至少應包括本所與應用服務單位之權利義務分工，以及應用服務單位所需具備相關設備與人力資源環境等)。

1.4 研究流程

本計畫依據前期成果與示範城市需求，規劃如下完整研究流程，透過重點功能整合、案例驗證及分階段推廣，確保模式庫、知識庫及整體系統具備實務價值與可擴散性。具體流程如圖 1.4.1 所示，並說明如下：

一、國內外智慧交通創新應用案例蒐集與探討

蒐集數位雙生（Digital Twin）、5G+AIoT 等智慧交通創新技術於國內外應用案例，聚焦交通壅塞、公共運輸、交通安全與效率、交通控制等管理面向，綜整各案例之優劣勢，作為本計畫系統開發與推廣機制設計之參考。

二、人工智慧交通管理模式庫與知識庫優化

依據前期計畫實作驗證成果，針對部分具代表性或實務需求明確之模式庫進行功能優化與擴充，強化其應用彈性與整合能力，為後續系統整合與指引手冊編製奠定基礎。

三、智慧交通數位神經中樞全系統開發整合與實作

針對部分具代表性或實務需求明確之模式庫與知識庫，以臺中市水湳跨年活動為案例，於周邊場域構建數位雙生模型，並驗證包含車流監控、人流分析、預測功能、智慧告警等重點應用。

四、建置擴散指引手冊

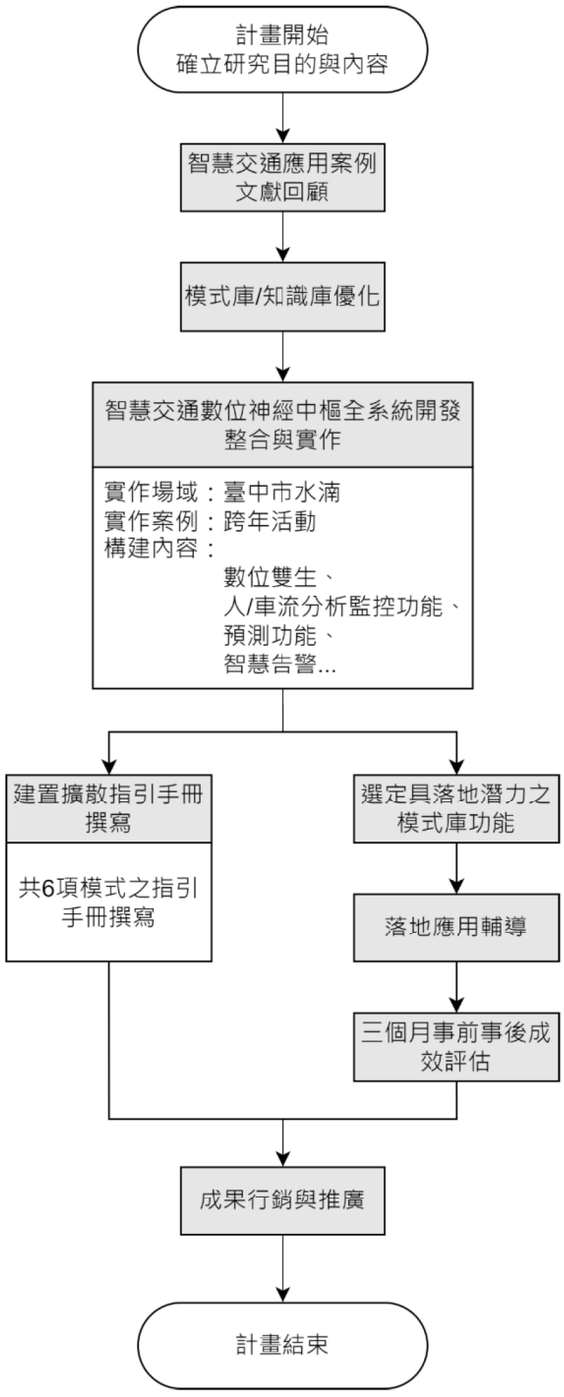
依據數位雙生模型整合與場域應用經驗，編製智慧交通數位神經中樞整合建置指引，並同步針對前期計畫中具代表性之模式庫，分別彙整技術說明、建置需求、應用方式及權利義務，完整形成後續各縣市擴散應用之參考依據。

五、示範城市落地應用輔導與成效評估

選定具落地潛力之模式庫功能，針對示範城市交通管理單位輔導其落地應用，並實施事前事後共三個月成效評估，檢視功能對實務管理之效益。

六、成果行銷與推廣

彙整整合經驗、場域驗證成果及擴散機制，辦理相關成果展示與交流活動，促進各縣市參採應用。



資料來源：本計畫繪製

圖 1.4.1 研究流程

1.5 章節說明

為能清楚掌握計畫之研究架構、執行內容與成果呈現邏輯，茲就本報告各章節之內容安排與重點說明如下：

一、第一章「計畫背景分析」，說明本計畫之推動背景、政策脈絡與研究重要性，並界定研究目的、研究內容與工作項目，同時彙整整體研究流程，作為全報告之基礎說明與架構引導。

二、第二章「國內外智慧交通創新應用案例蒐集與分析」，聚焦於數位雙生、5G 與 AIoT 等新興技術於智慧交通領域之應用發展，彙整國內外相關案例，分析其技術特性、應用成效與推動經驗，作為本計畫後續系統設計與推廣機制研擬之參考基礎。

三、第三章「人工智慧公共運輸與交通管理模式庫及知識庫精進作業」，說明本計畫針對既有模式庫與知識庫之優化方向與技術調整內容，包含模型架構、分析流程與應用情境之說明，並說明其如何回應實務交通管理需求。

四、第四章「智慧交通數位神經中樞系統架構與全系統整合設計」，說明本計畫所建構之智慧交通數位神經中樞整體架構，包含資料蒐集、通訊傳輸、分析推論、控制回饋與數位雙生平台之整合設計，呈現系統各模組間之關聯與運作邏輯。

五、第五章「數位雙生模型建置與應用實作」，說明數位雙生技術於示範場域之建置方式與應用成果，包含人流、車流、預測分析與視覺化呈現等功能，並說明其於大型活動與交通管理情境下之實務應用方式。

六、第六章「示範場域落地應用與系統整合實作」，說明智慧交通數位神經中樞系統實際導入示範城市之過程，包含與既有交通管理系統之介接方式、操作流程與管理機制整合情形。

七、第七章「執行成效評估與分析」，針對系統落地應用後之運作情形進行成效評估，透過事前事後比較與相關指標分析，檢視本計畫所建置系統與應用模式對交通管理效能之實際影響。

八、第八章「應用服務擴散機制與推廣作業說明」，說明本計畫針對智慧交通數位神經中樞及相關應用服務所研擬之擴散推動機制，包含所需資源條件、系統準備作業、權利義務架構與服務推廣指引，作為後續跨縣市推廣之參考依據。

九、第九章「結論與建議」，綜整本計畫之整體執行成果與驗證經驗，歸納主要研究結論，並提出後續推動與精進方向之建議，作為未來智慧交通相關政策與計畫延續推動之參考。

第二章 文獻回顧

隨著全球各城市日益重視智慧城市或數位治理的推動，各交通管理單位積極導入人工智慧(AI)、大數據分析、物聯網(IoT)與車聯網(V2X)等技術，以強化各項交通治理議題之管理效率與即時應變能力。本章透過國內外應用案例與學術研究的持續性探討，以作為本計畫執行之參考。本章將先依序針對國內及國外智慧交通應用案例進行回顧探討，再就近年來討論度極高的數位雙生(Digital Twin)技術進行探討，最後進行綜合探討。

2.1 國內智慧交通應用案例

一、智慧運輸應用與整合平台發展

(一) 蘇花路廊智慧交通驗證計畫 — 國產 5GxAI 生態網整合創新交控實例

該計畫之實作場域涵蓋蘇花路廊，並整合既有北上截流策略，於蘇花公路崇德管制站、崇德國小、太魯閣大橋南北端等四個瓶頸點設置監控點，配置等候線偵測器，搭配仁水隧道 VD 數據，系統綜合各項交通數據資料即時判斷是否達啟動門檻，自動於監控介面跳出警示，供管理人員下載相對應號誌時制。計畫中亦擴增資料蒐集範圍並納入既有設施資訊，針對三處連假高監控路段導入 AI 預測模組，每 5 分鐘執行一次預測，使用過去 2 小時資料預測未來 30 分鐘交通量，提供壅塞預警並下載時制計畫以執行攔截控管。模擬結果顯示，112－113 年連假期間預估可節省用路人旅行時間約 22,924 小時，並降低交控管理人力約 104.5 小時。

(二) 高雄市智慧交通戰情儀表板：高雄市自 2020 年起藉由該計畫的建置，即時監控捷運與輕軌系統各站進出人數為主，供班次調整與車輛加派之依據。同時結合電信信令資料監控活動人潮，可並將其應用在疏散計畫擬定、接駁車路線與班次規劃，有效提升大型活動或尖峰時段之交通服務品質。

(三) 臺南市智慧交通管理系統

該計畫藉由車輛偵測設備、路況監控攝影機、號誌控制器、影像辨識與雲端運算串聯管理與協同工作，達成即時路況監控、號誌調整與道路資訊發佈。臺南市政府近年來已陸續在舊城區、關廟交流道、安定交流道、大灣交流道、永康與仁德交流道推動路廊動態號誌系統建置動態號誌系統，節省各路廊平均 10%以上旅行時間。

(四) 桃園管理監控儀表板

桃園市政府在世界客家博覽會與燈會等活動上，利用交通監控儀表板，整合CVP與GVP資料，以系統偵測分析會場周邊交通與停車場資訊，即時透過CMS與桃園輕鬆GO APP推播通知民眾改道，確保會場周邊道路通暢。

(五) 新北市政智慧交通儀表板

新北市政府自111年起建置智慧交通儀表板，運用AI攝影機、GVP資料與市政儀表板等系統，掌握即時路口車流，數據分析調整號誌時制，研擬相關疏導策略，經統計190處路口平均減少5%用路時間，並降低15%之路口延滯。未來新北市政府將結合「智慧交通」、「智慧停車」及「智慧公運」三大系統，導入生成式AI、車聯網與物流網技術，更深度分析數據與預測，實現更全面智慧交通管理。

(六) 臺北市開源儀表板

臺北市全面開放儀表板，使原先封閉系統可以將不同型態專案快速導入與延伸使用，在此架構中市府將交通、工務、民政、警消、防災等數個局處資料整合於同一公開視覺平台，透過即時交疊多元資料，快速掌握更立體、即時、跨域各類指標，資料標準化可利政府、產業與開源社群，使民間創新成果直接導入市府系統。

二、預測型維運與交通感測平台建置

臺北捷運公司自2024年起發展「預測性軌道營運管理資訊系統 Metro PROMIS」，於列車運行期間同步偵測軌道設備狀況。該系統安裝振動、音量及光學感測元件，搭配物聯網與大數據分析技術，即時掌握軌道異常訊號，提供行控中心與維修單位作為預防性檢修依據，降低突發故障風險，提升運輸系統的穩定性與可靠性。

三、AI號誌控制與強化學習實驗場域

(一) 臺北市AI交通預測與號誌優化應用

該計畫結合道路VD偵測器資料與即時交通資訊，搭配深度學習模型，於每15分鐘重新預測未來2小時內各路段交通量與速率，結果可進一步回饋應用於動態號誌控制策略、路口效率調整，亦有助於旅行時間評估與公車路線規劃。

(二) 高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用

該計畫選定國道1號高雄交流道為場域，聚焦於建國一路與中正一路交會處，以AI技術優化整體時制策略。該計畫運用AI演算法透過模擬學習，使用以效益最大化與成本最小化為導向的回饋函數，自動調整號誌時比。該計畫之AI演算法係以神經網路與強化學習（Reinforcement Learning, RL）為核心，在訓練流程中結合模擬

環境狀態與歷史回饋，決策次週期號誌秒數後，將新時制下載至 SUMO 模擬器，模擬 17 處路口之車流運作，並考量其對鄰近道路的衝擊，確保符合實地應用需求。

(三) 桃園市 AI 智慧號誌控制

採用深度強化學習做為最佳化號誌演算法，導入 YOLO 物件辨識演算法偵測車輛眾多之交流道周邊聯絡道路與省道主幹道共 91 處路口，根據車流、等候線長度等資料，動態調整路口號誌時制。同時透過微觀模擬車流特性，使模型自主學習並產生時制計畫。桃園市在導入 AI 智慧號誌控制後，平均降低路口停等延滯達 19%，減少旅行時間 2~10%。

四、緊急車輛優先通行技術

(一) 臺北市救護車與消防車 GPS 資料共享與號誌聯動系統

臺北市於 2021 年起整合救護車與消防車 GPS 定位資料，作為路口交通號誌的調整依據。當特定緊急車輛接近指定路口上游區段時，系統即能自動接收其即時位置，提前調整下游紅綠燈時相，協助緊急車輛優先通行。統計顯示該系統可平均縮短車輛抵達事故現場時間約 8%，提升緊急應變效率、保全生命財產安全，為智慧城市在公共安全應用方面的重要創新實例。

(二) 新北市智慧雲端動態救護系統

新北市建置智慧型監視器、eTag 等偵測設備，與消防局「智慧雲端動態系統」偵測救護車 GPS，提前開啟車輛前壅塞路口綠燈，避免阻礙救護車通行，啟動後，每趟救護車平均節省 15 秒救援時間。

(三) 桃園市緊急車輛優先號誌

自 2024 年 1 月開始桃園市交通局與消防局合作，利用救護車 GPS 技術進行優先號誌之控制，研究結果顯示在聖保祿醫院主要幹道之民族路橋周邊道路，救護車行車時間從 240 秒縮短至 45~130 秒之間，大幅提升急救成功率。

(四) 臺中市緊急車輛優先號誌

臺中市政府曾先後與交通部運輸研究所、中華電信合作，於水湳經貿園區、向上路五段試辦緊急車輛優先號誌，應用 5G 車聯網技術，目標使消防救護車輛一路綠燈通過路口。救護車輛從水湳消防分隊出發至中平路經過 3 個路口，在無採用優先車輛時，救護車輛於路口遇到綠燈機率為 33%，使用後機率上升至 96%大幅增加救護車輛快速通過路口，有效縮短救護出勤時間，提升效率與行車安全。

(五) 臺南市救護車及公車整合優先號誌

臺南市整合公車與救護車資訊，在奇美醫院與成大醫院之間 70 號公車行經之 21 個路口建置優先號誌系統，有效減少通行時間 37 秒，提升救援效率；另就公車而言，亦可節省 13%之旅行時間，希望能藉此提升民眾搭乘公車意願。

(六) 高雄「消防一路通」

高雄市交通局與消防局配合消防車輛行車安全管理計畫，於包含阮綜合醫院與 2 個消防分隊周圍 12 個路口進行試驗，將交通控制系統與 119 勤務派遣整合，透過 5G 與 GPS 技術，蒐集救護車位置、速度、方向，及時控制路口號誌，增加緊急車輛 25%行車速率與節省 20%送醫時間，提升救援系統安全與效率。

(七) 花蓮縣消防救護優先綠行

花蓮縣府從 2021 年起，在中山中央路試辦「緊急車輛優先通行系統」，提升緊急救援效率，2023 進一步導入無線號誌技術，驗證設備穩定性，確保提升縮短救援時間與路口安全，也能在災害發生時，使號誌系統能正常運行。

五、臺北市 AI 影像辨識即時事件通報

臺北市在市民高架與建國高架橋上設置 AI 影像辨識系統，自動判斷道路施工、壅塞與事故等情況，當系統偵測事件發生時，即會自動即時通報警方處理。研究結果顯示系統反應速度平均比人工觀測提早 8 至 10 分鐘，顯著提高應變效率與事故排除速度，進而改善整體通行效能。

六、人流監測與運量動態調整系統

(一) 高雄市環狀輕軌 5G Smart Train FRMCS 應用平台暨智慧整合系統

高雄市政府結合月台 AI 人流影像偵測與管理、5G 即時通訊影像回傳系統、AI 影像辨識票卡逃漏檢測、軌道行車事前偵測與即時警示及 AR 旅客互動導覽與觀光解說服務等技術，以提升環狀輕軌運營效率與安全性，也增進整體旅客使用體驗與城市行銷功能。

(二) 臺北市捷運 Metro TIMES 捷運人流資訊管理系統

臺北捷運公司透過安裝於車廂下方的壓力偵測器，結合物聯網與票證進出紀錄，即時掌握各車廂擁擠度。資訊同步提供於「臺北捷運 GO」App 及月臺電視，協助旅客避開人流集中車廂，提升搭乘舒適度並優化人流分散。

(三) 臺北市松山文創園區智慧桿 AI 即時監測

該計畫結合 AI 即時監控包括人流、設備狀態、空氣品質等資訊。在人流監測運用智慧桿網路攝影機，以後端 VCA AI Bridge 將影像即時運算與統計，彙整人流數據使其價值轉化，應用於活動評估與資源配置決策依據，如檔期對比、週期趨勢、招商與合作佐證，以及展區價值評估。另外人流監測也可快速掌握遊客特徵，協助搜尋走失遊客或遺失物品。

2.2 國外智慧交通應用案例

本節內容針對國外數位雙生、5G、AIoT 等相關創新技術應用於智慧交通服務案例之蒐集與探討。彙整多國具代表性的智慧交通應用案例，涵蓋交通壅塞緩解與事件管理、公共運輸協調優化、交通安全強化與效率提升、智慧號誌與交通控制策略等面向。各面向涵蓋之案例應用說明如下：

一、美國

(一) 智慧城市整合平台與多模態交通數據應用

美國俄亥俄州哥倫布市：Smart Columbus 作業系統（SCOS）與數據整合架構：哥倫布市於 2016 年獲選美國交通部「智慧城市挑戰賽」優勝城市，獲得 5,000 萬美元聯邦資金及超過 3.6 億美元民間投資，建立起涵蓋交通、能源、健康與數據治理的智慧城市創新架構。交通面向方面，其主要策略包含：

1. 多模態數據整合平台建置：

架設「Smart Columbus 作業系統（SCOS）」作為資料中樞，整合 850 個路側設備、3,000 輛聯網車輛與大眾運輸系統之即時資訊，並透過邊緣運算與 5G 網路實現即時反應。此平台大幅縮短交通事故辨識反應時間達 40%，並與 Pillar Technology 合作建立通用資料標準，促進 Uber、Lime 等私營業者資料共享，提升公車到站預測準確率至 92%，同時強化 15 處壅塞路段即時偵測功能。

2. AI 驅動交通管理系統：

哥倫布市於 175 個路口部署智慧路側單元（RSU）與 1,200 組車載通訊設備，建立 V2X 之相關安全應用：

(1) 交叉路口碰撞預警：透過 RSU 回傳盲點影像，降低 28%轉向事故

(2) 緊急車輛綠波優先：平均縮短 4.2 分鐘急救反應時間

(3) 自適應速限：結合氣象與 Waze 數據動態調整學校區速限，違規率下降

37%

(4) 貨運優化：每 15 分鐘即時重算物流動線，提升市區貨車速率至 22.3 公里/小時

(二) AI 預測模型優化公車營運

美國明尼蘇達州明尼亞波利斯市：Metro Transit 公車到站預測與營運調度，由 Metro Transit 與 Cambridge Systematics 合作，透過整合歷史與即時動態資料，並結合天氣與交通流量資訊，構建公車到站預測模型。該系統有效預測車輛到站時間，並主動調控時序以緩解「公車群聚（bus bunching）」現象，提升整體乘客服務體驗與營運穩定性，是美國公車系統導入智慧預測技術的代表性案例。

(三) 緊急車輛通行優先與即時應變

美國哥倫布市緊急車輛通行權控制系統，透過車載裝置與路側設備之 V2X 即時通訊，哥倫布市實施緊急車輛通行優先機制，使救護車、消防車等可主動向即將接近的號誌發出優先通行請求，據測試顯示可平均縮短 1.64 秒的反應時間。此應用展現智慧交通技術於緊急應變場景中的實質效益，有助提升整體城市韌性與災害應變能力。

二、日本

(一) 交通大數據整合與 AI 智慧號誌控制

日本 MODERATO 智慧號誌系統與交通大數據平台應用，建立完善的交通大數據蒐集與應用體系，整合車載感測器、道路監測設備、ETC 電子收費系統等多源資料，建構中央交通大數據平台。透過即時數據分析技術，廣泛應用於交通流量預測、壅塞預警、路線規劃與事故應變。

在智慧號誌控制方面，日本導入 AI 驅動的「MODERATO 智慧號誌系統」，根據即時路況自動調整號誌時制，達到交通流優化目標。該系統已於東京都與大阪地區進行實證測試，結果顯示平均可減少約 20%至 30%的通勤時間，對於早晚尖峰時段壅塞緩解效果明顯。MODERATO 系統與交通大數據平台深度整合，結合車流、天候與特殊事件（如大型活動、施工、事故）等資訊，能即時支援現場應變策略，也有助於交通政策的長期規劃決策。

(二) 高齡駕駛行為分析與交通安全管理

日本 NTT Data × Kokusai Motorcars 高齡駕駛 AI 認知功能監測系統，2024 年

日本 NTT Data 與東京計程車業者 Kokusai Motorcars 合作，開發出一套以 AI 為核心的「高齡駕駛認知能力偵測系統」，針對 65 歲以上職業駕駛人進行行為監測與功能評估。系統架構包含：

1. 感測裝置：駕駛人配戴生理感測器，並搭配車輛 GPS 與行車電腦，實時記錄駕駛過程中之加減速反應、速度變化、轉向頻率等數據。
2. AI 演算法分析：透過模式辨識與預測模型，分析駕駛人的注意力、判斷力與反應協調性等認知功能是否出現衰退現象。
3. 預防性應用：未來將優先導入該系統至高齡駕駛比例較高之運輸與物流產業，作為駕駛管理與交通安全預警機制，有助於降低潛在事故風險。

該系統不僅具備預警功能，更可作為高齡駕駛再認證制度之補充依據，是結合 AI 與感測技術於道路安全管理的創新實踐。

三、英國

(一) 智慧交通號誌控制與交通預測平台：倫敦即時優化系統（Real Time Optimiser, RTO）與智慧交通基礎設施整合

為達成 2030 年「零碳排放（Vision Zero）」及 2041 年「80%出行轉向步行、騎行、公共運輸」的永續願景，倫敦交通局（Transport for London, TfL）積極推動 AI 與自動化交通管理技術。其智慧號誌控制策略透過「即時優化系統（RTO）」實現動態時制調整，支援 6,400 個自動化號誌路口，系統依賴超過 16,000 個感應器、交通偵測器即時蒐集路況數據，提升車輛、巴士、自行車與行人的通行效率，亦可即時反應突發事件或高流量時段之調整需求。此系統為 TfL 智慧號誌管理的核心平台，並計劃於 2024 年擴大部署至主要自行車道、轉運樞紐與市區交通幹道，以全方位提升通行效率與安全性。

(二) 自動駕駛測試與創新交通實驗：倫敦自駕車與車路協同應用驗證場域 SMLL

倫敦於格林威治地區設置「智慧移動生活實驗室（Smart Mobility Living Lab, SMLL）」，作為自駕車與先進基礎建設驗證基地，包含：

1. 5G 連線智慧路燈：可與行人、自駕車溝通以提示通行
2. 企業合作實驗場域：與 Oxbotica、Waymo 等公司合作測試自駕技術於物流配送與共享移動領域之應用

SMLL 作為車路協同整合的開放性平台，支援各類未來交通模式測試，建立英

國自動駕駛政策、技術標準與產業鏈的重要基礎設施。

(三) 數位雙生導入城市交通模擬：倫敦 2035 交通數位雙生願景與模擬平台發展

TfL 規劃於 2035 年全面導入交通數位雙生（Digital Twins）技術，成立專責實驗室，研發模擬與預測平台。主要研究方向包括：

1. 整合交通大數據、即時感測資訊與事件紀錄
2. 模擬高密度活動（如演唱會、示威）期間之交通情境
3. 支援路線重新規劃、流量再分配與排碳管控策略制定

該願景將數位雙生作為策略性中長期工具，不僅用於即時管理，也支援政策規劃與未來自駕車路網佈局設計，是英國智慧城市計畫中高度戰略性的一環。

(四) 智慧停車與機器人停車系統

英國倫敦蓋特威克機場於 2019 年測試「自動化代客停車系統」，旅客將汽車停至臨時車庫後，機器人會以輪叉抬起車輛並依高精度定位系統搬運至最終停車位。該系統亦可連結旅客航班資訊，於旅客返抵前自動將車輛移回取車區，可提升停車空間使用率與旅客停取車效率。

四、荷蘭

阿姆斯特丹市致力於成為全球智慧交通的領導者，透過「Smart Mobility Programme 2019-2025」推動可持續、零污染且高效的交通系統。該計畫旨在提供智慧運輸解決方案，改善居民、通勤者和遊客的出行體驗，同時掌握城市運輸系統的管理主導權。與交通控制應用相關者包括智慧交通號誌控制及移動數據交通管理中心，摘述如下：

(一) 智慧交通號誌控制：2023 年試點智慧交通號誌，根據天氣狀況和公共交通優先權調整紅綠燈時長，利用 GPS 數據與手機應用程式進行交通流量監控和管理，提升自行車騎行者及大眾運輸工具的通行效率。

(二) 移動數據交通管理中心：阿姆斯特丹設立數百台攝影機並建立數據平台以整合各種交通流量訊息。交通控制中心能即時分析和預測交通流量，減少擁堵、最小化事故風險，提高城市交通效率與安全性。

此外，2023 年阿姆斯特丹市參與為期 5 年的「XCARCITY」研究型計畫，其目的在通過智慧交通解決方案和多模態服務創建持續且高效的都市交通系統。該計畫涵蓋以下七個研究領域：

(一) 流動分析：利用 AI 和新型感測技術(如社交數據、AR/VR)進行數據清理、融

合及交通預測。

(三) 用戶行為、偏好與接受度：分析市民 MaaS 服務環境下採用率、出行模式選擇及行為變化，特別關注健康相關的主動出行方式(如步行、自行車)。

(四) 整合智慧交通策略：開發結合步行、騎行、共享車輛等服務的智慧交通解決方案。

(五) 整合交通網路：設計多模態交通系統，平衡宜居性、可達性與運營成本。

(六) 智慧基礎設施：研究無線網路技術以支持行人、自行車及自動駕駛的安全管理。

(七) 數位雙生：模擬低汽車區域的交通模式，結合 XR/VR 技術進行規劃與管理。

(八) 知識利用：整理智慧交通試點項目影響，探索商業模式及未來城市設計。

五、新加坡

(一) 智慧號誌控制系統

新加坡由 A*STAR 資訊通信研究院（I^2R）與陸路交通管理局（LTA）自 2018 年起共同推動「Cooperative and Unified Smart Traffic System（CRUISE）」智慧號誌控制系統，作為提升都市交通效率與安全的核心架構。該系統以國內研發為基礎，設計上可與現行與未來的新加坡交通管理平台無縫整合，並具備高度擴展性。CRUISE 透過佈建於各重要路口的感測器網絡，整合 AI 與大數據分析技術，能即時辨識交通異常狀況，如事故、壅塞與道路障礙，並迅速調整號誌週期與行人綠燈時間，以維持交通順暢與提升路口運作效率。系統亦能辨識車輛類型與速度，並針對公車與緊急車輛給予優先通行權限，增強整體道路服務公平性與反應能力。同時，透過行車時間優化與號誌協調，該系統亦有助於降低車輛怠速時間與燃油消耗，間接實現節能減碳效益。目前，CRUISE 系統已逐步佈署於各路口與人行道周邊，並正規劃整合其他交通系統資源，打造全市網絡化交通應變機制。

(二) 運輸基礎設施節能管理

新加坡地鐵系統為降低能源消耗並強化永續管理，自 2023 年起在其轄下 70 座地下車站導入 AI 自動空調控制系統。該系統透過分析車站內部溫度、乘客流量、時間段與環境變化，自動調節空調運作模式與強度，以維持站內舒適溫度並節省能源。據統計，此系統可有效降低 5%至 10%的電力耗能，進一步達成節能減碳政策目標。此項應用顯示 AI 在城市交通設施管理中，不僅能提升使用者體驗，也有助於交通營

運系統朝永續與智慧化邁進。

(三) 公共運輸維護與監控

新加坡公車營運業者 SBS Transit 與葡萄牙科技公司 Stratio 合作，導入生成式 AI 進行公車車隊的預測性維護與狀況監控管理。此系統可主動分析車輛運作數據，於故障徵兆初現時即發出警示，並自動生成故障診斷摘要，指出需特別關注的部件與區域。維修人員可透過自然語言問答方式查詢所需資訊，無須手動瀏覽儀表板數據，節省維修前準備時間。該系統能大幅提升維修效率與車輛可用率，減少突發故障對公車營運的衝擊，並為公共運輸系統的智慧管理提供嶄新思維。

(四) 行人安全

為強化公車行人安全保護機制，新加坡陸路交通管理局自 2018 年起於公車上安裝搭載 AI 演算法的行車記錄器與盲點偵測系統。該系統可即時偵測公車前方與側邊的行人與障礙物，並透過雙向警示設備，同步提醒司機與行人注意潛在風險，避免碰撞事故的發生。透過 AI 感知與即時反應能力，該系統有效提升駕駛安全性與行人防護水準，是公共交通導入人工智慧技術以預防事故的成功實例。

(五) 城市道路維運

2024 年 11 月，WeRide 公司於新加坡聖淘沙地區部署 Robosweeper 自駕清潔機器人，作為城市環境維護的創新解決方案。該機器人搭載 360 度全景感知系統與 AI 環境理解演算法，能根據道路狀況與行人密度，自主規劃清掃路徑與作業時段，並於作業期間避開人車密集區域，以減少干擾。Robosweeper 可全天候執行無人清掃任務，提升道路維運效率並減輕人力依賴，展現新加坡於城市智慧維運方面的技術實力與前瞻部署。

六、韓國

(一) 智慧巡檢與風險預警

為提升鐵道設施巡檢效率與人員安全，韓國鐵道公社（Korail）於 2024 年導入搭載 LTE 通訊模組、攝影機與 LiDAR 感測器的自主巡檢機器人。該機器人能於軌道現場自動行走，並即時回傳影像資料至後台系統進行分析。系統可辨識包括軌道裂縫、異物障礙與接縫鬆動等異常狀況，並立即發出警示以輔助維修人員研判。此技術能有效減少人工在惡劣天候與高風險區域內進行巡檢的暴露時間，顯著提升巡檢效率與作業安全。

(二) 地空協同監控平台

韓國自 2002 年即推動 TOPIS（Transport Operation and Information Service）智慧運輸系統，其第三代系統 TOPIS 3.0 整合了計程車與公車 GPS、CCTV 影像、交通卡刷卡紀錄與停車數據，進行即時交通監控與預測服務。該平台可提供事故監測、流量預測、公車到站時間查詢、無人交通執法與交通事件應變建議等多元功能。2023 年起，首爾市政府更結合 AI 無人機進行空中辨識與追蹤車輛軌跡，預測其行駛路線並結合 TOPIS 進行即時協同監控，有效補足地面 CCTV 盲區，強化大型活動與突發事故的交通疏導效能，提升整體都市交通安全與調度能力。

(三) 全自動停車解決方案

韓國富川市自 2020 年至 2023 年間進行「NarCar」自動化停車機器人系統的試行應用。當車輛進入停車場時，系統可自動辨識車牌與車輛類型，並由具備 L4 級自駕能力的停車機器人使用 LiDAR 與多重感測器，將車輛安全移至空車位。駕駛人離場時僅需於出口輸入車號，即可自動取車，實現全自動化停放與取車流程。該機器人亦具備自動充電功能，提升系統營運效能與可持續性。

七、中國

(一) AI 輔助道路排查

2024 年，蘇州市公安單位推出人工智慧交警系統「蘇城朱雀」，作為強化城市交通安全監管的創新解決方案。該系統可整合道路監控影像、無人機空拍與警用巡邏車等多視角數據來源，並透過 AI 模型進行高精度自動辨識，能主動發現視距不良、路口斜交等共計 68 項交通安全隱患，並即時生成具體化的診斷報告。與傳統倚賴人工巡查的作業方式相比，「蘇城朱雀」可將整體分析所需時間縮短逾 80%，同時降低超過 90%的排查成本，顯著提升道路安全風險篩查的效率與精準度。

(二) AI 公車調度與旅運模式學習

深圳市於 2024 年正式推出「公車智慧調度系統」，規定所有市區公車皆須安裝 OD 客流蒐集設備，並透過 AI 視覺辨識技術結合大數據分析進行動態乘客行為學習。系統可即時掌握乘客起訖點與移動模式，並依不同行政區與時段旅運需求，自動調整車型運力配置與發車頻率，亦可評估路線重疊區間是否合併或裁減。透過智慧分析與即時調度機制，不僅提升整體營運效率，更可兼顧服務公平性與調度資源最佳化，代表中國公車營運由靜態時刻表轉向動態智慧決策的重要轉型實例。

(三) 智慧場站營運管理

香港國際機場自 2022 年起全面導入多項智慧營運技術，以提升場站管理效率與

旅客服務水準。其中包括部署智能洗手間管理系統，利用感測器即時監控洗手間使用情況，透過資料預測清潔與補給需求，避免資源缺口。另於行李作業方面，導入影像辨識技術評估卸置效率與關鍵績效指標（KPI），同時使用自動駕駛拖車進行行李運輸與集裝箱移動，降低人力負荷並提升地勤物流準確率。該案例展示 AI 與物聯網技術在國際交通樞紐營運管理中的多層次整合應用，並為其他大型交通場站提供高效率營運管理模式之參考。

2.3 數位雙生在交通之應用

Michael Grieves 在 2000 年初首次提出數位雙生概念，明確定義數位雙生由三個部分組成：實體空間、虛擬空間與聯繫虛實空間數據或資訊流，提出概念化、比較與協作三大價值，將過去便於記錄與管理之報表與數據資料轉化為虛擬空間中可直接洞察特徵趨勢，例如顏色分布，使決策者可快速觀察。另外將實際值疊加在理想模型上，使管理者瞬間發現產品狀態並快速做出決策。最後，數位雙生可提供共享虛擬空間，使管理者可跨區檢控所有相似場域，實現跨地域協同合作。Grieves 強調，數位雙生是從傳統模擬預測下一步應該發生什麼，轉變為透過統一資訊庫即時資訊，獲取最新數據，及時展示實際空間正在發生之情況。Nag et al.(2025)系統性回顧 136 篇文獻，彙整多篇文獻提出數位雙生成熟度分級，根據研究中數位雙生組成五要件與數據流向自動化程度，當中五件要素定義如下：

一、實體物件(Physical object)：包含各種運輸工具、基礎設施與人員或是貨運移動之有形運輸系統。

二、數位物件(Digital object)：以數位形式複製呈現實體物件幾何與物理特性，包含其結構、功能與環境。

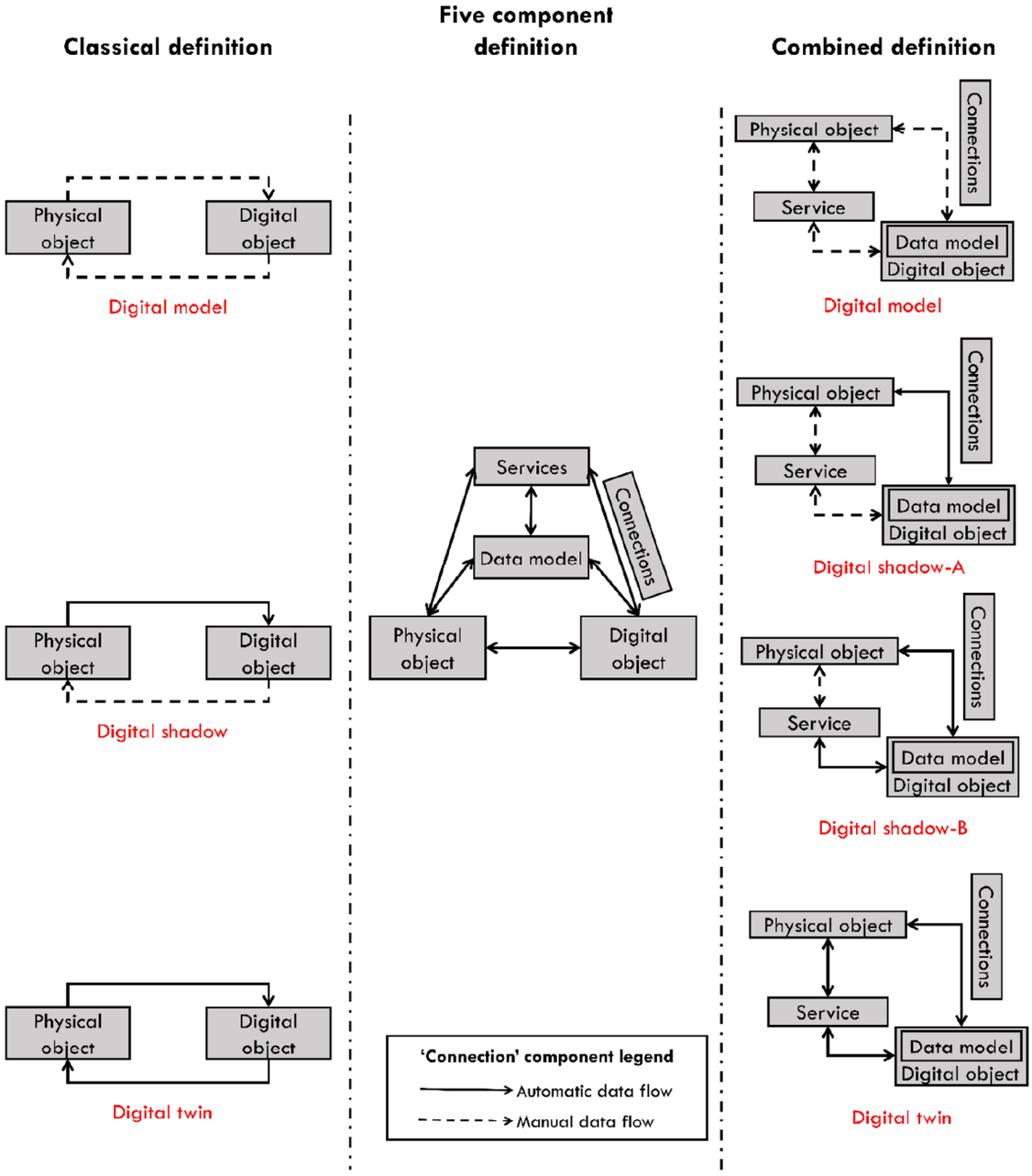
三、資料模型(Data model)：儲存原始資料、支援建模、最佳化、模擬等分析。分析資料與結果亦可在組件中視覺化呈現。

四、服務(Service)：包含使用者與利害關係人功能性服務。包括使用者互動、傳遞相關資訊確保模型與分析正確運作或使用。

五、連結(Connections)：其餘四個組件之間連接。連結決定組件間透過感測器網路、資料收集與資訊通訊技術資訊流。資訊流包含單向、雙向流向，亦可自動連接或使用者手動輸入。

根據四組間以及連結資料流向方式，數位雙生型式被分類圖 2.3.1 中數位模型

(Digital Model)、數位影子(Digital Shadow)及數位雙生(Digital Twin)三等級。



資料來源：Nag et al. (2025)

圖 2.3.1 數位雙生成熟度分級

而對於成熟度分級中，數位模型、數位影子與數位雙生，在 Fuller(2020)明確定義三個等級：

一、數位模型：指既有或規劃中實體物件之數位物件，並且實體物件與數位物件之間不存在自動化數據流向，因此所有資料都須透過規劃者手動輸入後，若實體物件在現實進行變更，並不會影響數位模型。

二、數位影子：此類型實體與數位物件之間存在單向流動，而 Nag et al.(2025)近一步以「服務」物件與實體及數位物件間數據流向是否自動化程度，將數位影子又分為 Digital shadow-A(DS-A)和 Digital shadow-B(DS-B)。DS-A 雖然實體與數位之間有即時數據自動傳遞，然而需要透過人工解讀數據或模型結果，並由人工進行決策行為；DS-B 可以自動獲取即時數據，並且可以自動產出數據或模型分析結果給出決策建議，然而最後操作決策仍需要人工進行調整，例如模型建議調整號誌，管理者根據結果在人工修改時制或秒數。

三、數位雙生：指實體與數位物件之間具備雙向自動化數據流。這類系統不僅能感知即時資料、預測未來，還能自行決策並改變現實世界狀態。

在過去幾年，數位雙生應用研究激增，在交通領域中研究包含物流、公共運輸、智慧交通等。在城市物流系統面臨擁擠、配送路網碎片化及數據連動性不足等挑戰，數位雙生研究支援協作、效率與永續性決策。物流產業應用數位雙生技術於包括數位資訊、資訊傳輸、路線規劃與戰略決策，是以基於數據驅動協作為基礎應用方向，例如 Carvalho 等人(2020)和 Gutierrez-Franco 等人(2021)以數據規劃配送路線與車隊規模；Abouelrous 等人(2023)與 Belfadel 等人(2023)配合機器學習與模型優化，進行戰略決策改善與持續優化。

公共運輸系統與 MaaS 對即時監控、需求預測與低延遲移動追蹤有極高需求，Amrani et al. (2020)、Campolo et al. (2020)與 Deng et al. (2021)之研究中均已驗證此類技術可行性，透過系統可以掌握即時路網情況、預測事故持續時間與客流，以及在 DRT 模型供需匹配與乘車舒適度。Anda 等人(2021)應用手機數據取得旅客移動軌跡，在保護隱私前提下進行合成軌跡以此重建城市人口時空移動軌跡，並與真實數據高度吻合；Chen et al. (2021) 使用時空圖學習與擴張對齊卷積網路(Dilated Alignment Convolution Network, DACN)，提升公車站流量預測準確性。

數位雙生應用在智慧交通系統與車輛技術中，並應用於即時感知、混合交通流管理及自動駕駛安全。對於車輛技術提升，透過共享駕駛行為與多元訊息建構動態賽局模型，分別預測碰撞風險比單純感測器更早發出警示，以及驗證自動駕駛車輛安全決策。智慧交通應用上從高速公路到車隊路徑，Du et al. (2021)結合 LSTM 與深度強化學習優化車隊路徑預測，降低通訊與計算負擔；Hu et al. (2021) 提出積於局部敏感雜湊(LSH)時間感知方法，預測缺失流量與速度數據；突發事件最是考驗交通系統韌性與資料安全性；Fu 等人(2023)以數位雙生建構高速公路智慧框架，整合時間卷積網路預測(TCN)與模型預測控制(MPC)，減少高速公路壅塞與提升整體路網運行效率；Feng et al.

(2023)以結合數位雙生與區塊鍊，並設計多代理人強化學習演算法增加交通系統能力。

除上述多個領域應用，基礎設施設計、維護與長期規劃亦為重要研究領域，數位雙生可以建構城市模型，並導入代理人進行模擬，規劃者可以此分析交通壅塞狀況，並進一步推動社會共融之交通規劃，特別是針對「高齡友善環境』之精準設計。透過數位雙生平台導入具備高齡生理特性（如步行速率低於 0.8m/s、感知距離較短）之代理人（Agents），規劃者可模擬長者在路口遭遇衝突之風險，進而科學化地制定「長者過街補償秒數」與「無障礙導引路網」。此外，亦可整合環境監測模型，針對高齡群體活動頻繁區域進行交通排放模擬，以規劃低污染之友善交通動線，此類應用應能顯著提升智慧城市決策之包容性與預判能力，提供與改善交通決策能力，Castañeda et al. (2021)和 Bellini et al. (2023)分別採用 BIM 交通框架予以 Snap4City 為平台整合大數據、IoT、與意見模型，提供長短期預測與決策；另外 Gao et al. (2021)在回顧鐵路、公路等多個應用 DT 場景現狀，指出資料品質與互動性存在限制。

2.4 綜合探討

綜合前述，彙整臺灣、美國、日本、英國、荷蘭、新加坡、韓國與中國等八個國家智慧交通應用案例，依據各國推動重點與創新技術，整理其代表性智慧交通應用類型，如表 2.4-1。整體而言，各國普遍朝向交通資料整合、人工智慧分析、即時反應調控與多模態運輸協調等方向發展，展現出智慧交通治理從「感知監控」走向「預測決策」的演進趨勢。例如，臺灣與韓國著重於整合 AI 號誌控制、自駕接駁與人流管理，特別強化事件應變與行人安全機制；美國與日本則強調多源資料整合與智慧交通平台建構，並導入 AI 於公車營運、事故預測等場域實證；英國與荷蘭則在數位雙生、城市模擬與多模態協同服務方面具前瞻性規劃;新加坡與中國則顯示在公共運輸智慧維運、生成式 AI 客服與都市物流自動化方面的創新應用潛力。

表 2.4-1 各國智慧交通應用案例彙整

國家	關鍵應用	應用對象	AI 工具
臺灣	AI 預測維運、交通感測與監控、智慧號誌與 AI 號誌優化、緊急車輛通行、智慧停車與人流管理	車輛、人、緊急車、軌道設施	YOLO、強化學習、深度學習、5G V2X
美國	智慧城市平台、多模態交通整合、AI 公車營運優化、V2X 車聯網、緊急車輛優先通行	公車、聯網車、緊急車輛	AI 預測模型、邊緣預算、V2X 通訊技術
日本	交通大數據整合、AI 智慧號誌、高齡駕駛行為監測	車、高齡駕駛	MODERATO 系統、AI 模式辨識、生理與 GPS 感測

英國	即時智慧號誌控制、數位雙生城市模擬、自動駕駛測試	車、行人、場站、數位物件	數位雙生、5G V2X、高精度定位機器人
荷蘭	智慧號誌與移動數據平台、XCARCITY 研究計畫（流動分析、數位雙生、用戶行為研究等）	人、共享運具、基礎設施	AI 數據清理、XR/VR 模擬技術
新加坡	CRUISE 智慧號誌、AI 節能空調、盲點偵測與互動導覽	公車、乘客、司機、地鐵設施	生成式 AI (LLM)、盲點偵測、AI 自動空調控制
韓國	巡檢機器人、TOPIS 3.0 地空監控、智慧配送與自動停車	車、軌道、停車場	無人機 AI 影像辨識、L4 自駕演算法
中國	AI 交警、AI 公車調度、機場智慧營運管理	車、乘客、場站設施	多視角 AI 模型、OD 客流視覺辨識、智慧監控平台

資料來源：本計畫彙整

整體而言，各國實際應用案例顯示智慧交通應用已從單一技術導入邁向跨域整合與政策驅動導向，未來將更強調資料驅動決策、場域驗證成效與城市可持續發展的協調推動。此表格不僅提供各國技術應用面向之概覽，也可作為後續評估不同應用策略成效與可借鑒模式的重要依據。經由上述表格比較，本計畫在「AI 預測決策」領域展現與國際同步技術前瞻性。具備以下幾種特徵：

一、技術突破：開發「主動式 AI 號誌設計模式」才用 Q-Learning 強化學習，相較感應式號誌控制，更能因應高度隨機變化車流，比肩日本 MODERATO 系統、英國 RTO 系統應用。

二、治理應用創新：針對「大型活動」建置之四大預估模組(人流、速率、接駁)、停車，結合手機信令資料與 LSTM 模型，在「事前量化規劃」更加完整，並具備在地治理。

三、數位雙生實務落地：跳脫追逐高擬真 3D 建模迷思，改用「Towards usable DT」三維架構。在「全自動化」雖然相較英國與新加坡須持續優化，然於「DS-B」應用上已相對成熟，能提供管理者有效實務決策支援。

此外，為進一步系統化觀察八國智慧交通應用案例之內容與重點，本計畫建構「應用面向矩陣分析」與「分類統計」兩項工具。首先，表 2.4-2 應用面向矩陣分析將十二類代表性技術與應用面向作為橫軸，八個國家作為縱軸，標示各國是否推動相關應用。從矩陣可明確看出，各國多著重於交通預測與維運、智慧號誌控制、人流與行車安全管理、大數據整合平台建構等基礎面向，呈現普遍性佈建趨勢；相對而言，數位雙生應用與 AI 客服導入等互動創新技術，則僅部分國家投入佈建，反映其技術進程與策略

成熟度尚具差異。其次，依據分類統計結果顯示，最多國家共同關注的應用面向為：

一、交通預測與維運（8 國）

二、智慧號誌與交控（8 國）

三、人流/人車安全管理（8 國）

四、交通平台/大數據整合（8 國）

此四項為智慧交通治理之核心基礎架構與數據驅動關鍵，具有高度普遍性。而自駕運輸、智慧物流與生成式 AI 客服則屬較具技術門檻或特定政策導向之應用，主要集中於技術先進或都市化程度高的城市（如新加坡、臺北、首爾、倫敦等）。

表 2.4-2 各國智慧交通應用面向矩陣

應用	臺灣	美國	日本	英國	荷蘭	新加坡	韓國	中國	總計
自駕接駁/運輸自動化	1	1	0	1	0	1	1	1	6
AI 客服/互動服務	1	0	1	0	0	1	1	1	5
交通預測與維運	1	1	1	1	1	1	1	1	8
智慧號誌與交控	1	1	1	1	1	1	1	1	8
人流/人車安全管理	1	1	1	1	1	1	1	1	8
數位雙生與模擬應用	0	0	0	1	1	0	0	0	2
交通平台/大數據整合	1	1	1	1	1	1	1	1	8
緊急應變與通行優先	1	1	0	1	0	0	0	0	3
智慧停車/物流配送	1	0	0	1	0	1	1	1	5

註：表中數值採二元分類，「1」代表該國具備該項應用實績；「0」代表未蒐集到相關案例。

資料來源：本計畫彙整

由前述對國際上智慧交通案例梳理，本計畫「智慧交通數位神經中樞」構建上，不僅與國際技術趨勢接軌，亦在實地應用與系統整合治理上具備優勢，其中包含：

一、全系統架構整合實作能力：多數國家導入 AI 與大數據發展智慧交通，然多數針對特定情境進行改善與開發，如號誌控制或維修預測等。本計畫將「感知、傳導、思考、反應」數位雙生邏輯，整合多源資料與多個預測模組，實現完整數位神經中樞架構，於系統完整度與國際前瞻技術同步。

二、大型活動治理決策支援深度：相較國際上對於大型活動以模擬交通情況，本計畫開發四項預估模組，從人潮擴散至交通接駁與停車供給，建立一套完整規劃系統。模型預測結果與知識庫，協助決策者在實際場域中，根據預測結果快速評估決策之有效性。

三、實務導向數位雙生示範：相較追逐高擬真 3D 視覺化模擬，本案以三維架構與具備可行動決策建議，降低應用者導入門檻與提升治理效益，使系統更具備擴散潛力。

此外，藉由前述國內外智慧運輸應用案例探討，可綜整下列值得我國未來發展智慧運輸之關注重點：

一、人工智慧應用深化：各國積極導入 AI，包含智慧客服、車輛與行人辨識、智慧交通控制、公共運輸營運與服務改善、行人安全等領域，顯示 AI 可作為改善交通壅塞、提升運輸服務品質及用路人安全之關鍵技術。在前期計畫中已導入 AI 於物件辨識、交通參數預測、與交通管理控制策略至聽，未來可進一步拓展 AI 分析模型與決策系統應用範圍。

二、多元數據整合與應用：應用 GVP、CVP 等多元資料，彌補固定偵測設備不足以成為各國常運用於交通管理之方法，前期計畫中，廣泛應用 GVP、CVP 甚至社群資料進行交通資訊之預測、並獲得不錯預測效果，對於未來交通狀況掌握與管理，可更為精確提出各項交通管理手段，紓解交通雍塞狀況。

三、5G 與邊緣運算技術應用：5G 技術在我國交通部有多項應用補助計畫，在美國亦運用邊緣運算，於交通控制器進行初步資料清洗，再透過 5G 網路傳輸到中央分析系統，加速交通事故辨識速度。在英國亦有應用 5G 技術連接自駕車、智慧路燈，除可更精確運行自駕車，智慧路燈可與自駕車進行溝通並告知行人通過馬路，提升弱勢用路人安全。

四、智慧交通系統大規模建置與公私協作模式：如今各大都市智慧交通建設以從小型實驗邁進大規模建置，在美國哥倫布市整合路側設施與 3,000 部車輛 GVP 資料，建置 AI 智慧交通號誌；英國倫敦則整合 16,000 路側設施建置 6,400 路口智慧號誌，降低都會區車流延滯。在這些計畫中除了傳統投資建設，亦採用公司協作(PPP)方式，導入民間資源進行系統建置。

五、數位雙生技術應用與擴散：數位雙生已在新加坡與英國等地進行城市交通網路模擬與優化研究，並逐步納入政策與規劃。在前期計畫已針對臺中市建置數位雙生架構，未來可持續擴散至公共運輸及智慧交通系統整合，強化即時預測、模擬演練與策略決策支援功能。

第三章 智慧交通數位神經中樞系統歷年計畫建置成果

面對日益複雜的都市交通挑戰，傳統以「路口」為單位的管理思維，已逐漸難以應對跨區域、動態且高變異的交通需求。本章旨在系統性梳理「智慧交通數位神經中樞」計畫自民國 110 年啟動至今的發展脈絡與具體成果。本計畫歷經「概念規劃」、「雛型開發」至「功能精進」三階段的演進，成功將生物神經系統的運作邏輯—感知、傳導、思考與反應，轉化為具備 AI 預測能力與數位雙生技術的現代化交通治理架構。本章內容將由三大構面展開：首先闡述數位神經中樞的系統內涵與仿生架構設計，解析其如何實現從被動應變到主動預警的典範轉移；其次，詳列本計畫所建置之關鍵技術成果，涵蓋交通流預測、公共運輸管理、AI 號誌控制及數位雙生平台等核心模式庫之實證效益；最後，綜整歷年來的學術產出、產業交流與競賽推廣實績。藉此完整呈現本系統如何透過前瞻技術的整合與落地，為我國智慧交通治理奠定數位轉型的堅實基石。

3.1 智慧交通數位神經中樞系統內涵

本計畫前期之執行歷程跨越三個階段，包含「功能架構探討與系統規劃」、「系統雛型開發與驗證實作」、「功能擴充與精進」，呈現出由概念規劃至實證落地的演進邏輯。計畫前三期之第一階段（110 年）主要聚焦於「功能架構探討與系統規劃」，透過廣泛的文獻回顧與專家訪談，確立智慧交通數位神經中樞系統的核心價值與功能藍圖。本節將進行系統性的綜整，從「定義與核心概念」、「架構歸納歷程」、「系統功能實證」三大維度出發，說明「智慧交通數位神經中樞」如何從一個抽象的生物學隱喻，轉化為具備實質運作能力的技術架構。

數位神經系統(Digital Nervous System)一詞係由前微軟總裁比爾蓋茲(Bill Gates)於 1999 年[60]出版之「數位神經系統」書中首度提出，其係從商業經營管理角度切入，但在前期計畫建構「智慧交通數位神經中樞系統」時，仍導入下列重要觀念：

一、收集、管理和使用資訊的方式，為決定輸贏關鍵。

二、數位神經系統應包括數位流程，公司可以藉此了解環境並做出回應，能察覺競爭者的挑戰、顧客的需要，要適時地做出應對措施。

三、數位神經系統需要軟硬體的組合，提供精準、直接和豐富的資訊給知識工作者，增加知識工作者的洞悉力和彼此的合作。

四、數位神經系統擴大個人的分析能力，也結合個人之力，創造企業整體性智慧。

五、知識管理是在管理資料、檔案和人們的心血。

「智慧交通數位神經中樞」並非單指一座實體的交通控制中心，而是一套融合感知、傳輸、決策與行動的完整生態系統。依據過去幾期計畫內容，其定義建立在「數位轉型」與「數位雙生」兩大基石之上，並透過生物神經系統的運作邏輯進行架構化。

若從神經系統角度而言，本計畫採用「數位神經中樞」一詞精確對應生物神經系統的運作機制。在生物體中，神經系統由神經元網絡構成，負責在身體不同部位間傳遞訊號，協調組織器官以應對環境變化。對應至智慧交通系統，此一隱喻包含四個層次的運作邏輯：

一、感知器官：對應於系統的「資料蒐集層」。如同生物的眼、耳、皮膚，交通系統透過佈設於路側的車輛偵測器（VD）、閉路電視攝影機（CCTV）、電子標籤讀取器（eTag/AVI）以及移動式的 GPS 探針車（GVP），全天候感知都市交通的脈動。

二、神經傳導：對應於「5G 通訊網絡」。神經訊號的傳遞速度決定了反應的敏捷度。5G 技術的高速、低延遲特性，確保了海量感測數據能即時回傳至中樞，並將控制指令迅速下達至末端設備。

三、大腦思考：對應於「雲端運算與 AI 模型」。這是數位神經中樞的核心，負責記憶（歷史資料庫）、學習（AI 訓練）、分析（預測模式）與判斷（決策知識庫）。大腦不僅處理當下的訊息，更能基於過往經驗預測未來趨勢。

四、脊髓反射：對應於「邊緣運算（Edge Computing）」。對於需要毫秒級反應的緊急事件（如車輛防撞、緊急車輛號誌截斷），訊息無需上傳至雲端大腦，而是直接在路側單元（RSU）或區域控制器進行運算與反應，實現如同生物「脊髓反射」般的即時保護機制。

「智慧交通數位神經中樞」的核心價值在於透過科技手段實現治理模式的典範轉移，具體展現以下三個面向：

一、從經驗法則轉向數據驅動：傳統交通決策往往依賴管理者的主觀經驗或片段的統計數據。數位神經中樞強調全域數據的即時分析，透過 AI 模型挖掘數據背後的關聯性（如天氣對車流的影響、活動對運量的衝擊），提供科學化的決策依據。

二、從單點控制轉向協同治理：打破過去號誌、公車、停車等子系統各自為政的局面。透過統一的通訊協定與資料交換標準，實現跨系統、跨運具甚至跨縣市的協同運作。例如，當偵測到大型活動散場人潮時，系統能自動協調周邊號誌時制與

公車班次調度。

三、從被動應變轉向主動預警：利用預測模型提前感知潛在的交通瓶頸或安全風險。系統不再只是被動處理已發生的壅塞，而是能在壅塞發生前進行預警並啟動疏導策略，實現防患於未然的治理目標。

「智慧交通數位神經中樞」的架構並非憑空建構，而是透過一套嚴謹的研究方法論（Research Methodology），從實務需求出發，經過多層次的痛點挖掘與專家收斂，逐步歸納而成。為確保系統規劃能切中台灣交通治理的真實需求，研究團隊在第一階段（110年）採用多方利害關係人（Stakeholders）的觀點進行調查，涵蓋規劃設計端、執行操作端與決策管理端。包含「工程顧問公司問卷調查（規劃設計端）」、「六都交通局基層幹部問卷調查（執行操作端）」、「六都卸任交通局長焦點團體工作坊（決策管理端）」。綜合上述三方意見，研究團隊將雜亂的痛點進行歸納後，並以此推導出數位神經中樞應優先發展的功能模組。依據前期計畫規劃，數位神經中樞的系統架構可劃分為四個層次，這四層架構完整覆蓋數據的生命週期與價值創造過程。

一、數據蒐集層：此層的核心功能為「即時偵測」。

(一) 多元數據融合：系統不僅蒐集傳統的路側設備數據（VD、CCTV），更整合來自移動載具的浮動車資料（GVP）、手機信令數據（Cellular Data）以及公共運輸票證數據。

(二) 5G C-V2X 應用：在特定應用場景（如緊急車輛優先通行）中，利用 5G C-V2X 傳輸設備建立車輛與路側設施（V2I）的直接連線，達到極低延遲的資訊交換。

二、數據處理層：此層的核心功能為「資料分析」與「資訊萃取」。

(一) 異質資料清洗：針對不同來源、不同格式的原始數據進行標準化處理，剔除雜訊與異常值。

(二) 特徵工程：從原始影像或數據流中萃取出關鍵交通參數（如車種分類、轉向量、旅行時間、停等長度）。

(三) 通訊協定標準化：此層亦涉及通訊協定的轉換與對接，確保現有都市交通控制系統能與國際主流車聯網標準無縫接軌。

三、思考與決策層：此層為系統的「大腦」，包含三個關鍵模組：

(一) 預測模型：構建未來交通量資訊預測模式。利用深度學習演算法，依據歷史數

據與即時特徵，推估未來短時間內的交通狀態（如未來 15 分鐘的路段速率）。

(二) 人工智慧規劃決策模型：基於預測結果，自動研擬最佳化的管理策略（如最佳號誌時制、替代路徑建議）。

(三) 即時決策知識庫：將交通專家的經驗法則轉化為系統規則。例如當特定情境觸發時（如公車連班、嚴重事故），系統能依據知識庫快速檢索對應的標準作業程序（SOP）。

四、反應與應用層：此層負責將決策轉化為具體行動與服務。

(一) 即時處理反應機制：執行系統決策，如直接下達號誌控制指令、發送告警訊息。

(二) 3D 視覺化模型：結合數位雙生技術，將複雜的數據轉化為直觀的 3D 動態場景，提供管理者全觀視角的監控介面。

(三) 資訊服務：向用路人發布行程規劃建議、路況警示，或向緊急車輛提供優先號誌服務。

在系統架構定位上，本計畫之「數位神經中樞」與既有交通管理系統（TMC/ATC, eTraM）具備明確之功能邊界。既有系統主要負責基礎設施之監控與物理層級之指令執行（執行層）；而數位神經中樞則扮演上位之『智慧大腦』，負責跨來源資料之深度融合分析與數位雙生模擬（決策層），兩者透過標準化 API 進行數據交換，形成感測與控制之完整迴圈。

3.2 模式庫知識庫建置成果

本計畫多年期的核心理念在於將城市交通系統比擬為生物的神經系統：路側偵測設備如同「受器」負責感知環境；5G 通訊網絡如同「神經纖維」負責高速傳遞訊息；雲端與邊緣運算平台如同「大腦與脊髓」負責思考與決策；而號誌控制器與資訊發布系統則如同「動器」負責執行動作。透過此一仿生架構，計畫旨在解決傳統交通管理中「資訊孤島」、「反應延遲」與「決策碎片化」的三大痛點。計畫之執行歷程展現從理論驗證到實務落地的嚴謹脈絡，第一階段（110-111 年）聚焦於功能架構的探討與系統雛型的開發，確立以「數位雙生」為載體，並完成初步的高速公路車流預測與工程事件分析模組。第二階段（112-113 年）則進入功能擴充與精進期，重點在於將場域從封閉或半封閉環境（如實驗室、特定路段）推向複雜的都市開放場域（如臺中市水湳經貿園區、臺灣大道），並深化 AI 模型在非常態事件、公共運輸及緊急救援等高難度情境的應用。

本節將深入剖析計畫歷程中建置的十二項核心產出，涵蓋預測模式、控制系統、知識庫及整合平台。分析將採「問題導向」與「效益驅動」之視角，針對每一項目探討其建置之深層目的、技術架構如何解決具體痛點，以及實證場域中量測到的具體效益。

一、交通預測與分析模式庫：感知與預知

在數位神經中樞的架構中，預測模型扮演著「前額葉皮質」的角色，負責對未來的交通狀態進行模擬與預判。本節將探討針對不同交通情境（常態、非常態、工程施工、大型活動）所開發的四類關鍵模式。

(一) 交通速率預測模式

1. 建置目的與技術演進

此模式之核心目的在於打破傳統交通管理僅能「看見現在」的侷限，賦予系統「預見未來」的能力。透過精確預測未來 1 小時內每 5 分鐘的道路行駛速率，交通管理者可藉此參考作為提前進行號誌時制調整或路徑導引，從而消弭潛在的壅塞。

在技術演進上，本計畫經歷以下過程：

(1) 初期階段（110-111 年）：主要針對高速公路及快速道路，利用 ETC 及 VD（車輛偵測器）之歷史數據，構建基於時間序列的預測模型。此階段重點在於處理連續性較強的穩定車流。

(2) 精進階段（112-113 年）：預測範圍擴展至交通特性更為複雜的都市幹道（如臺中市臺灣大道）。數據源從單一的路側設備數據，擴充為 GVP 的數據架構。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 偵測盲區與數據斷鏈：傳統依賴路側設備（VD）的預測方式成本高昂，難以覆蓋全路網。都市道路常因設備故障或建置不足導致數據斷鏈。本模式透過 GVP 數據的導入，填補空間上的偵測盲區，實現全路網的覆蓋 。

(2) 都市斷續流預測困難：都市交通受號誌、路邊停車、行人穿越等干擾，呈現高度非線性與隨機性。傳統線性回歸模型難以捕捉此特性，導致預測誤差大。本計畫模型能有效學習這些非線性特徵。

(3) 被動式管理的滯後性：過去交控中心往往在壅塞發生後才介入，此時車流已回堵，疏導效果有限。

3. 實證效益與數據分析

(1) 預測精準度之量化突破：實證數據顯示，在高速公路路段，採用本計畫模型

後的速率預測平均絕對百分比誤差（MAPE）可降至 7.4%，遠優於傳統模型的 10-15%。在更具挑戰性的都市道路環境，經由特徵工程優化（納入時段、天候因子），預測精度較前期模型平均提升約 24.7%，表現其實用價值。

(2) 主動式壅塞預警：系統將速率預測值進一步轉換為「壅塞機率」指標。當預測未來某時段壅塞機率超過閾值（如 70%）時，系統會自動觸發預警，讓管理者能提前 30 分鐘啟動應變機制，有效降低尖峰時段的平均延滯時間。

(3) API 服務化與跨域應用預測結果已封裝為標準 RESTful API，未來可供第三方服務（如導航 APP）介接，將效益直接延伸至終端用路人，協助其避開即將壅塞的路段。

(二) 非常態車流速率預測模式

1. 建置目的

「常態」模型在面對規律性通勤車流時表現優異，但在節慶、大型促銷活動或極端天氣等「非常態」情境下，歷史規律往往失效。本模式之目的在於捕捉這些特殊事件下的交通流變異特徵，建立專屬的預測邏輯，以應對具備「可預期性」但「非規律性」的交通衝擊。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 特殊事件下的模型失靈：以百貨公司週年慶為例，其車流型態與平日截然不同，且受促銷力道、天氣、假日等多重因素影響。若沿用常態模型，會產生巨大的預測偏差，誤導交控決策。

(2) 外部干擾因子的量化難題：傳統交通模型難以將「活動熱度」、「降雨強度」等非交通因子轉化為模型可理解的特徵輸入。

3. 實證效益與數據分析

(1) 創新特徵工程的應用：本模式創新性地納入「搜尋引擎關鍵字搜尋量」（如 Google Trends 中針對特定百貨公司的搜尋熱度）作為反映潛在旅次需求的領先指標，並結合氣溫、雨量等環境數據。實證研究發現，加入搜尋量特徵後，對於活動期間車流高峰的預測能力顯著增強，MAPE 可控制在 4.0% 左右，有效解決需求預估不準的難題。

(2) 運算效率與準確度之最佳化：透過特徵重要性分析（Feature Importance Analysis），研究團隊發現僅需使用重要性排名前 5 的特徵（如前一時段速率、

搜尋熱度等），即可達到與全特徵模型相近的解釋力（$R^2 > 0.92$），但運算時間大幅縮短，極大提升系統在即時運算環境下的反應速度。

(3) 精準的人力與資源調度：未來交通局可依據預測結果，精確規劃義交佈署的時段與地點。例如，預測某個週六下午 2 點將出現異常車流高峰，即可提前安排警力進行路口淨空，而非全天候盲目執勤。

(三) 工程事件影響分析模式

1. 建置目的

道路施工是造成非預期性壅塞的主要原因之一。本模式旨在建立一套基於微觀車流模擬的分析工具，能夠在施工計畫審核階段，預先模擬不同施工方案（封閉車道數、長度、時段）對交通流的衝擊，實現「虛擬預演，實體避險」。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 交維計畫缺乏科學量化依據：過去施工單位提送的交通維持計畫多基於經驗法則，缺乏量化數據支持。審查單位難以客觀判斷某項施工是否會造成嚴重回堵。

(2) 動態衝擊評估困難：施工對車流的影響是動態的，會隨著上游流量變化而產生連鎖反應（如回堵溢流至上游路口）。靜態分析無法捕捉此種動態擴散效應。

3. 實證效益與數據分析

(1) 高擬真度的衝擊模擬：本模式利用 VISSIM 軟體結合歷史流量數據，構建高精度的模擬環境。實證顯示，在非施工情境下，模擬結果與實際觀測值的 MAPE 僅為 2.31%；在施工情境下，MAPE 亦控制在 12.05% 的優良範圍內。這表示模式能準確預估施工期間的速率下降幅度與排隊長度。

(2) 決策支援與方案優化：模式能產出具體的績效指標（MOE），如平均延滯時間、速率變化圖。審查人員可據此要求施工單位調整施工時段（例如避開模擬顯示的重度壅塞時段）或縮減施工圍籬範圍。

(3) 綜合預警機制：系統將模擬結果與即時速率預測結合，當預測施工造成的壅塞機率超過設定門檻（如 70%）時，會自動彈出示警視窗，不僅提醒管理者，亦可連動 CMS 發布改道資訊。

(四) 大型活動車輛旅運關鍵路徑分析模式庫

1. 建置目的

針對跨年晚會、燈會等超大型活動，人車流來源複雜且路徑多變。本模式庫旨在利用大數據技術（GVP、CVP），識別活動期間車輛的主要進出路徑（Key Paths），並分析各路徑的流量負載特性，協助交通局規劃更具針對性的疏導策略與攔截圈 。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 起迄需求（OD）難以掌握： 大型活動的參與者來自四面八方，傳統問卷調查樣本數少且缺乏時效性，難以掌握全貌。

(2) 瓶頸路段辨識不清： 缺乏數據支持下，往往只能憑經驗猜測車流匯集點，導致警力配置未能對準真正的瓶頸路段。

3. 實證效益與數據分析

(1) 關鍵路徑之精確指認：以臺中七期百貨週年慶為例，模式成功歸納出 5 條車流量最顯著的關鍵路徑（如臺灣大道、惠中路特定路段），並量化出活動期間車流量較平日成長超過 100%（甚至達 175.5%），為交通疏導提供明確的「戰場地圖」。

(2) 分時旅次分布推估：模式能精確推估活動期間的分時抵達與離開旅次。以跨年晚會為例，分析指出凌晨 1 點為車流離開之最高峰，達 8,000 車旅次。此數據直接指導撤場階段的號誌時制設定與公車接駁班次規劃。

(3) 科學化的攔截圈規劃：依據關鍵路徑與流量分析，系統可協助劃定多層次的交通管制攔截圈，並在攔截圈外圍科學化選址備援停車場，實現「外圍停車、接駁進入」的策略，有效降低核心區的交通負荷。

二、公共運輸管理與預測模式庫：優化與應變

公共運輸是解決都市交通問題的根本解方。本計畫將 AI 技術引入公車管理，從預測需求到優化供給，再到異常事件處理，構建完整的智慧化管理體系。

(一) 公共運輸客運量預測模式

1. 建置目的

本模式旨在精確預測市區公車路線及特定站點在未來時段的上下車人數（客流量）。透過分析歷史票證數據、日期屬性及外部環境因子，建立高精度的需求預測模型，以支援公車業者的動態營運調度。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 供需失衡與人流滯留：面對活動散場或突發性人潮，固定班表缺乏彈性，常

導致乘客久候或車輛過度擁擠。

(2) 公車連班效應：由於路況不穩，常發生多輛公車同時到站，前車爆滿後車空駛，資源配置極不效率。

(3) 調度決策缺乏數據支持：站務人員往往憑過去經驗安排發車，缺乏科學數據來決定何時該發加班車或區間車。

3. 實證效益與數據分析

(1) 預測精準度之卓越表現：運用 Stacking 集成學習模型，並納入「前一時階客流量」、「歷史同期平均」、「天氣」等關鍵特徵，實證顯示在特定路線的客流預測上，MAPE 可達 8.02%，R2 高達 0.98。這意味著系統能極為準確地預判下一時段的人潮規模。

(2) 即時動態調度支援：預測結果直接連動「營運調度知識庫」。當系統預測某站點未來 30 分鐘客流將超過閾值時，會自動建議調度員加密班次或發出區間車，實現「需求導向」的精準服務。

(3) 乘客資訊服務優化：預測的擁擠度資訊可透過 APP 推播給乘客，引導其避開尖峰時段或改搭其他班次，提升整體乘車體驗。

(二) 公共運輸管理知識庫

1. 建置目的

將公共運輸管理領域的專家經驗、標準作業程序（SOP）及歷史應變案例，轉化為數位化、結構化的知識庫系統。此系統不僅是資料的儲存庫，更是具備推論能力的決策輔助工具。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 經驗傳承斷層：資深調度員的隱性知識難以移轉，新手面對突發狀況（如車輛故障、事故）時往往反應不及。

(2) 應變標準不一：不同人員對同一事件的處置方式可能迥異，影響服務品質的一致性與可靠性。

3. 實證效益與數據分析

(1) 情境式決策導引：系統針對「公車連班」、「人流異常增加」、「車輛故障」等常見情境，建立標準化的處置劇本。當事件觸發時，系統自動跳出建議方案（如：調整站間行駛時間、實施跳站停靠），大幅縮短決策時間。

(2) 數位化 SOP 落實：建立如「公車緊急事件處理知識庫」，確保在發生事故時，調度員能依循標準程序進行乘客接駁安排、通報及現場排除，降低人為疏失風險。

(3) 整合應用：知識庫與數位雙生平台整合，當 AI 偵測到場站人流異常時，直接觸發知識庫中的應變流程，達到從「感知」到「決策」的自動化閉環。

三、智慧化號誌控制與路口管理模式：執行與優化

號誌控制是交通管理的終端執行環節。本計畫透過 AI 與車聯網技術，將號誌控制從「定時被動」升級為「即時主動」，並引入精細化的效能評估指標。

(一) 主動式 AI 號誌設計模式

1. 建置目的

建立一套基於 AI 深度強化學習（Q-Learning）的號誌控制模式。該模式能即時接收路口偵測數據，並動態調整號誌時制參數，以追求路口延滯最小化或傳輸量最大化。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 定時號誌（TOD）的僵化：傳統 TOD 模式依據歷史統計設定，無法應對突發性的車流波動（如臨時性活動、天氣變化）。

(2) 感應式控制的侷限：傳統感應控制雖能延長綠燈，但缺乏對整體路網效率的考量，且對飽和車流的處理能力有限。

3. 實證效益與數據分析

(1) 即時動態優化：系統能即時辨識異常車流特徵（如流量標準差偏離常態 >1.5 倍），並自動切換至經模擬驗證的最佳化時制。實證顯示，在尖峰時段能有效降低路口平均延滯時間，提升紓解效率。

(2) 自我學習與演化：透過 Q-Learning 機制，系統能根據每次調整後的績效回饋（Reward，如延滯減少量）不斷修正決策邏輯。這意味著系統使用越久，越能適應路口的特性，具備自我成長能力。

(3) 安全邊界保護：設計嚴謹的「安全邊界層」，確保 AI 決策絕不違反最小綠燈、行人通行時間等安全限制。同時具備失效自動回復機制，通訊中斷時自動回歸 TOD 模式，確保運作安全無虞。

(二) 路口綠燈使用率分析模式

1. 建置目的

利用 AI 影像辨識技術（AI CCTV），精確追蹤路口車輛軌跡，計算綠燈期間實際有車輛通過的時間比例，即「綠燈使用率」。此系統旨在量化評估號誌運作效率，將「號誌是否浪費」轉化為可見的數據。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 綠燈空檔浪費：傳統定時號誌常出現某方向已無車流但綠燈仍持續，而另一方向卻大排長龍的情況，造成時間與能源的雙重浪費。

(2) 缺乏量化評估指標：過去調整時制多憑經驗觀察，缺乏客觀數據佐證號誌效率，難以進行精細化調整。

3. 實證效益與數據分析

(1) 科學化時制調整依據：系統每 15 分鐘更新一次各方向的綠燈使用率。若發現某方向使用率長期低於 30%，系統會建議縮短該方向綠燈秒數或在離峰時段切換為閃光模式，從而減少無謂的紅燈等待。

(2) 匝道儀控與瓶頸管理：應用於快速道路匝道口，可監測匯入效率。若使用率過高導致回堵，可作為啟動匝道儀控（Ramp Metering）的觸發條件，保護主線車流。

(3) 視覺化效能監控：整合至數位雙生平台，以 3D 方式直觀呈現各路口的效率狀態（如：紅色代表低效率浪費），讓管理者能一眼辨識需優化的路口，實現數據驅動的精準治理。

(三) 緊急車輛優先通行號誌控制模式

1. 建置目的

利用 5G C-V2X（Cellular Vehicle-to-Everything）車聯網技術，構建車輛（OBU）、路側（RSU）與交控中心（TMC）之間的低延遲通訊鏈路。為執行緊急任務的消防車與救護車提供「一路綠燈」的優先通行權。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 緊急車輛受困車陣：儘管擁有法規優先權，但在實體壅塞的車陣中，緊急車輛往往寸步難行。

(2) 路口穿越的高風險：緊急車輛闖紅燈穿越路口時，極易與橫向來車發生嚴重碰撞，造成「二次傷害」。

3. 實證效益與數據分析

(1) 救援時間顯著縮短：在臺中水湳經貿園區與高雄市的實證場域中，透過優先號誌控制，緊急車輛在路口的延滯時間大幅降低，整體旅行時間可減少 30% 以上，對於分秒必爭的急救任務至關重要。

(2) 多元控制策略應用：系統實作兩種控制策略：

(A) 綠燈延長（Green Extension）：若車輛到達時為綠燈，則延長綠燈時間。

(B) 紅燈截斷（Red Truncation）：若為紅燈，則強行切斷橫向綠燈（在滿足最小綠燈後），提早給予緊急車輛綠燈。

(3) 系統架構的創新：採用標準化的 SAE J2735 訊息集（SRM/SSM），並與導航系統整合，實現從「路徑規劃」到「號誌控制」的全自動化運作，駕駛員無需手動操作即可享有優先權。

四、系統整合與數位治理平台：融合與標準

前述各項模式與子系統最終需匯聚於統一的平台與標準之下，以實現數據的融合與協同運作，這是數位神經中樞的「軀幹」。

(一) 數位雙生平台

1. 建置目的

構建一個與真實交通世界完全對應的虛擬 3D 數位空間。整合 GIS 圖資、3D 模型、即時交通數據（GVP、CVP、VD、號誌狀態）及 AI 預測結果，提供具備「時空回放」、「即時監控」與「未來模擬」能力的視覺化管理平台。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 數據抽象難以理解：傳統交控中心充滿數字與 2D 報表，缺乏直觀的空間感，難以快速掌握複雜路網的連動關係（如：A 路口壅塞如何影響 B 路口）。

(2) 決策缺乏全觀視角：難以同時呈現車流、號誌、事故與施工等多維度資訊的空間交互影響。

(3) 缺乏「試誤」環境：交通策略無法在真實世界隨意測試，數位雙生提供低成本的虛擬測試場。

3. 實證效益與數據分析

(1) 高擬真 3D 視覺化決策支援： 採用 Cesium 3D 引擎，能自動讀取交通數據並渲染 3D 場景。管理者可直觀看到路段顏色的動態變化（紅/綠代表壅塞程

度）、車流軌跡及號誌燈號狀態，大幅縮短狀況判讀時間 。

(2) 時光機功能：具備強大的時序資料管理能力，使用者可透過時間軸控制器，回放歷史事件（檢討事故成因）、監控當下狀況，甚至展示未來 1 小時的預測結果（預知壅塞），實現全時態的交通管理。

(3) 跨域資料融合與標準化：平台採用 NGSI-LD 等國際標準數據模型，能整合 GVP Batch/Predict API 及即時感測數據。不僅支援大型活動的人流模擬，更為跨部門的數據共享奠定標準基礎。

(二) 交通異常事件疏導應變知識庫

1. 建置目的

針對非預期性交通異常（如嚴重車禍、號誌故障、臨時封路），建立標準化的應變處置流程與決策輔助機制。這相當於神經中樞的「免疫反應系統」。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 突發事件反應混亂：面對重大事故，若無標準指引，易造成通報延遲、處置失當或資源調度混亂。

(2) 經驗斷層：資深人員離退後，寶貴的應變經驗往往隨之流失，無法有效傳承。

3. 實證效益與數據分析

(1) 數位化 SOP 引導：系統將紙本 SOP 轉化為數位規則。當事件發生（如 A1 事故），系統自動跳出對應的處置檢核表（Checklist）與建議策略（如：需通報哪些單位、建議發布的 CMS 訊息內容、號誌調整建議）。

(2) 縮短應變時間：將「感知」到「行動」的決策鏈路大幅縮短。系統主動推播建議方案，交控人員僅需確認執行，大幅提升處置效率與準確度，減少人為判斷錯誤的風險。

(三) 都市交通控制通訊協定 3.0 版檢討

1. 建置目的

隨著 5G、AIoT 及車聯網技術的導入，既有的「都市交通控制通訊協定 V3.0」已顯得捉襟見肘。本項目旨在全面檢討並修訂協定，制定能納管新型設備、支援車聯網通訊的新一代標準。

2. 解決之關鍵痛點

(1) 新設備無法納管：舊協定缺乏對 AI 攝影機偵測數據（如車種分類、軌跡）、

UPS 不斷電系統（電池電量、健康狀態）等新型設備的定義，導致這些高價值數據無法回傳中心。

(2) 車路聯網互通性差：既有協定未考量 C-V2X 國際標準（如 SPaT/MAP 訊息），難以支援緊急車輛優先通行等先進應用。

(3) 廠商規格不一：因協定不足，各家廠商被迫自訂私有協定，導致系統整合困難，後續維運成本高昂。

3. 實證效益與數據分析

(1) 標準化與互通性的躍進：完成與「號誌控制器與車聯網路側設施間資通訊標準（TCROS）」的對接，確保國內標準與國際接軌。新增關於 UPS 狀態監控、AI 偵測數據回傳及自行車/行人偵測之定義，為設備互通奠定基礎。

(2) 促進產業生態系發展：透過公開、統一的標準，降低了廠商開發與整合的門檻，促進了良性的市場競爭，利於台灣智慧交通產業的整體發展。

(3) 支援全面應用落地：新版協定草案的提出，解決技術落地的最後一哩路，使得緊急車輛優先、AI 號誌控制等先進功能得以在全台各縣市標準化複製與推廣。

五、小結

「構建 5G 智慧交通數位神經中樞」計畫透過多年的深耕，成功將 5G、AI、數位雙生等前瞻技術與交通管理實務深度融合。本計畫不僅以解決當前交通管理痛點為前題，更為台灣智慧交通的數位轉型建立基礎。具體而言，前述十二項智慧交通數位神經中樞系統之相關建置成果，具備下列核心優勢：

(一) 全方位感知與精準預測：從常態到非常態，從車流到人流，建立完整的 AI 預測體系，大幅提升對交通未來的掌握度。

(二) 主動式與智慧化控制：突破傳統定時控制的侷限，實現基於 AI 的動態號誌優化與緊急車輛優先通行（旅行時間減少 30%），顯著提升路網效率與安全性。

(三) 數位化決策支援：透過數位雙生平台與知識庫的結合，將隱性的專家經驗轉化為顯性的系統規則，並以直觀的 3D 介面輔助決策，實現「數據驅動」的治理模式。

(四) 標準化基礎建設：通訊協定的修訂確保系統的可擴充性與永續性，為未來技術的接入預留廣闊空間。

3.3 推廣與應用成果

本案「智慧交通數位神經中樞系統」採分期、循序方式推動，第 1 期(110 年)以系統概念與功能架構之建構為主，第 2 期(111 年)完成系統雛型開發與初步驗證，第 3 期(112-113 年)則進一步進行功能擴充、技術精進及示範場域之應用驗證，逐步形塑具備實務應用潛力之智慧交通管理支援系統。配合各期研究重點，計畫於 110-113 年期間同步規劃並辦理成果推廣、交流與應用展示，使研究成果由概念規劃與雛型實作，逐步深化至實務應用與經驗累積。

本節即以前述 110 年至 113 年之計畫成果，彙整智慧交通數位神經中樞系統之歷年建置、推廣與應用成果，說明各期推廣重點及其對系統成熟度與應用擴散之貢獻；至於第四期(114-115 年)之相關成果，則另於第八章「其他計畫成果」中專章彙整說明。

以下內容將依期別整理第 1 至第 3 期計畫之推廣與應用成果，分別就各期推動重點進行摘要說明，並條列該期所辦理之重要成果宣導、推廣活動及相關發表事項，以具體呈現智慧交通數位神經中樞系統之推廣作法如何隨系統發展階段逐步深化。

一、110 年(第 1 期)：系統概念建構與核心價值宣導

第 1 期計畫主要任務在於奠定智慧交通數位神經中樞系統之整體發展基礎，著重於系統定位與核心概念之釐清，透過功能架構研析與交通管理需求盤點，建立後續系統雛型開發、功能擴充及分期推動之共通架構與發展方向，作為整體計畫推動之基礎。

(一) 年度推動重點與成果摘要

本階段完成智慧交通數位神經中樞系統之整體研究架構與發展藍圖之建構成果。就系統之核心理念、功能定位與技術構成進行系統性研析，並透過交通管理實務需求盤點，明確界定數位神經中樞於多元交通資料整合、即時偵測、分析預測與決策支援等面向所應扮演之角色，形成後續分期推動與系統實作之研究基礎。

在具體成果方面，完成智慧交通數位神經中樞系統之整體功能架構規劃，並建立分期發展構想與系統推動路徑，作為第二期雛型開發與第三期功能擴充之依據。此外，透過國內外相關案例與技術趨勢之比較分析，歸納我國導入智慧交通數位神經中樞之關鍵課題，並形成可供後續系統設計與實證驗證採用之設計原則與發展方向。

整體而言，相關成果已由概念性構想轉化為具體之研究產出與系統發展藍圖，不僅支撐後續系統雛型開發與實證場域之推動，亦為計畫跨年度推展奠定穩固之技術與應用基礎。

(二) 重要推廣與應用內容

配合智慧交通數位神經中樞系統之概念建構與架構規劃，推廣與應用作業以專家意見蒐集、制度議題研析、示範場域遴選及成果對外交流為主軸，形成第一期推廣與應用之主要架構，透過多元形式之座談、審查與成果發表活動，逐步凝聚跨單位共識，並為後續年度之系統實作與應用驗證奠定基礎。

1. 智慧交通數位神經中樞系統相關座談與意見蒐集

為建構智慧交通數位神經中樞系統之整體架構內涵，另行辦理專家及高階實務主管座談會，就我國交通治理所面臨之課題及智慧交通數位神經中樞系統應具備之功能架構進行意見蒐集與交流。相關座談邀請曾任或現任六都交通首長及交通領域專家學者參與，從政策治理與實務管理層面，提供系統概念建構與功能定位之建議。

透過座談交流，彙整六都在交通管理、資料整合及智慧化推動過程中之共通需求與關鍵挑戰，作為智慧交通數位神經中樞系統核心理念與功能架構規劃之重要參考。上述相關座談共辦理 2 場次，累計參與人數約 38 人次，有效支撐後續年度系統雛型建置與應用推動方向之研析。

2. 都市交通控制通訊協定 3.0 版檢討相關推廣活動

為有效推動都市交通控制通訊協定 3.0 版之檢討與修正，透過一系列座談會與研討會方式，廣泛蒐集管理單位及系統開發單位之意見，包含協定檢討前之整體方向意見蒐集會議，以及協定初稿完成後之研討與修正交流，並於完成階段辦理成果發表會對外分享。上述都市交通控制通訊協定 3.0 版檢討相關座談與研討活動，累計參與人數約 269 人次，有助於凝聚制度修正共識並提升後續推動可行性。

3. 示範場域遴選與跨計畫交流推廣

為利後續年度進行實作驗證，辦理示範場域遴選審查會議，優選縣市為臺中市，並進一步透過優選縣市訪談會議確認實作場域位置與需求。另辦理臺中地區智慧運輸相關計畫執行交流座談會，掌握運研所計畫與地方智慧運輸相關計畫之執行課題與整合契機，相關交流計畫包含「中彰投聯合交通協控計畫」、「臺灣大道自動駕駛巴士場域車路建置及營運規劃」、「臺中市市區公車營運管理資訊系統建置及維運案」及「臺中市交通行動服務(MaaS)計畫」等。上述示範場域遴選及交流相關會議，累計參與人數約 40 人次。

4. 智慧交通創新應用競賽與成果分享活動

辦理「110 年數位交通創意應用競賽-公共運輸數位轉型之應用競賽」相關審查會議，藉由競賽方式促進交通資料之活化與創新應用。並於計畫執行尾聲辦理成果分享說明會，對外說明本計畫之整體規劃構想與相關技術成果，提升成果之能見度與交流效益。上述競賽審查及成果分享活動，累計參與人數約 115 人次。

5. 學術投稿與研究成果對外發表

為促進研究成果之學術交流與技術驗證，完成學術論文投稿共 2 篇，並在「中華民國運輸學會 2021 年年會暨學術論文國際研討會」發表，使研究成果得以接受學術社群之檢視與交流，發表論文題目如下：

(1)「運用注意力機制之雙向長短期記憶方法於高速公路尖峰時段交通預測之改善」，著重於透過深度學習模型提升高速公路尖峰時段交通狀態預測之準確性。

(2)「運用 C-V2X 整合路口號誌控制規劃與設計緊急車輛優先通行解決方案」，聚焦於通訊技術與號誌控制之整合，提出緊急車輛優先通行之規劃與設計構想。

上述研究成果除作為第一期之學術輸出外，亦為後續年度於交通預測分析模組建置、緊急車輛優先通行相關系統實作及應用驗證等工作項目，提供理論基礎與技術發展方向之支撐。

二、111 年(第 2 期)：系統雛型開發與驗證推廣

延續前期所建立之系統概念與整體發展藍圖，本期推動重點由研究架構與功能規劃，進一步轉向智慧交通數位神經中樞系統之系統雛型開發與初步驗證。透過核心模組實作、功能整合及實務回饋蒐集，逐步將系統構想具體化，並藉由成果發表、競賽推廣及學術交流等方式，檢視系統設計之可行性與應用潛力，作為後續功能擴充與場域導入之基礎。

(一) 年度推動重點與成果摘要

本期完成智慧交通數位神經中樞系統之系統雛型建置與核心功能實作，依據前期所建立之功能架構與設計原則，逐步落實交通資料蒐集、整合、分析及視覺化等關鍵模組，並建立系統操作流程與基本運作機制。

在具體成果方面，系統雛型已具備整合多元交通資料來源之能力，並可支援交通狀態監測、事件分析及初步決策輔助等功能，呈現智慧交通數位神經中樞作為交通管理支援平台之實際運作樣貌。透過雛型系統之測試與驗證，亦同步檢視系統架構設計

之合理性，作為後續功能精進、模組擴充及場域應用之重要依據。

整體而言，階段成果使智慧交通數位神經中樞系統由概念規劃正式邁入實作與驗證階段，系統成熟度明顯提升，並為後續跨系統整合與示範場域導入奠定關鍵技術基礎。

(二) 重要推廣與應用內容

配合系統雛型完成與關鍵應用技術逐步成熟，推廣與應用作業重心由概念說明，轉向系統成果公開發表、實作驗證推廣及應用交流擴散，透過成果發表會、實作輔導型競賽、業界交流媒合及學術投稿等多元方式，促進研究成果與實務及學術社群之對接。

1. 系統雛型與關鍵技術成果發表推廣活動

為對外說明智慧交通數位神經中樞系統雛型建置成果及相關關鍵技術之應用成效，辦理成果發表與技術交流活動，發表主題涵蓋「智慧交通數位神經中樞雛型系統建置成果」、「緊急救援車輛智慧號控系統驗證實作技術成果」以及「都市交通控制通訊協定 3.0 版(110-111 年)檢討成果」等，共計辦理 3 場成果發表及交流活動。

其中，「智慧交通數位神經中樞雛型系統建置成果交流座談會」除進行系統雛型成果說明與技術分享外，並特別邀請六都交通主管機關高階主管出席交流，包含新北市、臺北市、桃園市、臺中市、臺南市及高雄市政府交通局之局長或副局長層級代表，針對系統雛型成果進行實務觀點之回饋與討論，使研究成果能直接對應主要都市交通治理需求，並作為後續功能精進與場域應用深化之重要參考。

整體成果發表與技術交流活動主要邀集中央及地方交通主管機關、學術研究單位及產業界代表參與，其中「智慧交通數位神經中樞雛型系統建置成果交流座談會」及「緊急救援車輛智慧號控系統驗證實作技術研討會」以實體方式辦理，各場次參與人數約 60 人次;「都市交通控制通訊協定 3.0 版(110-111 年)檢討成果交流座談會」則以線上方式辦理，參與人數約 65 人次。透過成果發表與交流討論，促進系統設計理念、技術作法與實務應用情境之充分溝通，並蒐集各界對後續推動方向與應用深化之具體建議。

2. 實作輔導型競賽之推廣成效與成果展現

本期以競賽作為推廣與實作驗證之重要機制，辦理「交通數據創新應用服務-公共運輸數位轉型輔導暨實作競賽」，透過競賽結合技術輔導與實作導向之方式，

引導參與團隊將智慧交通數位神經中樞相關資料與技術，實際應用於公共運輸數位轉型情境中，促進研究成果由系統雛型進一步延伸至具體應用成果。

競賽過程中提供實作輔導與專業諮詢，並於「競賽評審暨業界交流媒合會」中辦理成果發表與交流，共計 4 組團隊進行實作成果發表，展示其於公共運輸資料分析、服務應用及系統整合等面向之具體成果；相關競賽評審、成果發表及交流活動累計參與人數約 60 人次。透過評審討論與業界交流，檢視各團隊實作成果之可行性與應用潛力，並促進競賽成果與實務需求之對接。

3. 學術投稿與研究成果擴散

為促進智慧交通數位神經中樞系統雛型建置成果之學術交流與技術驗證，本期持續將相關研究成果轉化為學術論文，透過國內期刊、研討會及國際期刊進行投稿與發表，強化研究成果於交通資料分析與智慧交通應用領域之學術能見度，完成相關成果學術論文發表共 3 篇，其論文題目、投稿對象及研究重點摘要如下：

(1)「應用混合深度學習模式於高速公路多時段交通速率預測」

本文發表在《運輸計畫季刊》，研究重點在於整合多種深度學習模型架構，提升高速公路於不同時間尺度下之交通速率預測準確性，作為交通預測分析模組建置之理論基礎。

(2)「高速公路可預期施工事件之車流影響模擬分析模式」

發表於「中華民國運輸學會 2022 年年會暨學術論文國際研討會」，研究聚焦於施工事件情境下之車流變化模擬，建立可支援交通管理單位進行事前評估之分析模式。

(3)「利用集成學習模式與不同時間特徵預測短期公車服務運量」

發表於「中華民國運輸學會 2022 年年會暨學術論文國際研討會」，研究著重於結合集成學習方法與時間特徵，提升短期公車服務運量預測之穩定性與實用性。

整體而言，本期學術成果以交通預測分析與事件影響評估為核心，對應智慧交通數位神經中樞系統於資料分析模組與應用服務之建置需求，並為後續功能擴充與場域應用深化提供理論與技術支撐。

三、112-113 年（第 3 期）：功能擴充與精進

延續前期智慧交通數位神經中樞系統雛型建置與初步驗證成果，本期推動重點進

一步聚焦於系統功能擴充、技術精進及應用深化，透過模組優化、整合測試與多元交流機制，逐步提升系統於實務推動層面之成熟度，並為後續擴大應用與跨計畫整合奠定基礎。

(一) 年度推動重點與成果摘要

本期針對智慧交通數位神經中樞系統既有功能架構進行擴充與精進，持續強化交通資料處理效能、分析與預測模型穩定性，以及系統整合與應用彈性，使系統可支援更為多元之交通管理與應用情境。

透過功能優化與整合驗證，智慧交通數位神經中樞系統已由前期可運作之雛型架構，進一步發展為具備整合分析、應用支援及後續擴充能力之平台，逐步展現其於實際交通管理與應用推動上之可行性與發展潛力。

(二) 重要推廣與應用內容

配合智慧交通數位神經中樞系統於第 3 期進入功能擴充與技術精進階段，本期推廣與應用作業之重點，著重於系統成果對外說明、制度與技術議題深化、高層實務意見回饋，以及研究成果之持續擴散，透過不同層級與形式之交流活動，使系統建置成果能有效銜接後續應用推動與跨單位整合。

1. 系統功能擴充與技術成果推廣

為對外說明智慧交通數位神經中樞系統於功能擴充與技術精進之具體成果，辦理多場成果交流與發表活動，針對系統架構優化、功能擴充內容及應用構想進行說明與意見交流。

其中，辦理「【構建 5G 智慧交通數位神經中樞-功能擴充與精進】112 年成果交流座談會」，就系統功能擴充成果與技術精進內容進行交流，活動採實體與視訊並行方式辦理，參與人數約 36 人次。另辦理「『構建 5G 智慧交通數位神經中樞-功能擴充與精進』成果發表與未來展望」活動，對外完整說明本期系統建置成果與後續發展方向，活動採實體與視訊並行方式辦理，參與人數約 61 人次。透過成果說明與交流討論，提升各界對系統功能精進成果之理解，並蒐集後續推動建議。

2. 制度與技術議題深化交流

針對都市交通控制通訊協定 3.0 版之修訂與應用推動需求，持續辦理制度議題之交流與說明活動，促進相關單位對協定內容與應用情境之理解。

辦理「都市交通控制通訊協定 3.0 版檢討成果交流工作坊」，針對協定修訂重

點、應用架構及實務推動議題進行說明與討論，活動採實體與視訊方式辦理，參與人數約 24 人次，有助於凝聚制度推動共識並支援後續實務應用。

3. 高層實務意見交流與推動策略回饋

延續前期推動經驗，另行辦理六都交通首長意見交流座談會，邀集六都交通主管機關高階主管，針對智慧交通數位神經中樞系統之整體推動策略、功能精進方向及未來應用構想進行意見交流。透過高層實務觀點之回饋，作為後續系統深化及跨都會推廣之重要參考依據。

4. 學術投稿與研究成果擴散

配合智慧交通數位神經中樞系統功能擴充與場域應用成果之累積，本期持續將相關研究成果轉化為學術論文，透過國內外期刊、研討會及國際會議進行投稿與交流，促進研究成果之學術擴散與技術對話。完成相關成果學術論文發表共計 5 篇，其論文題目、投稿對象及研究重點摘要如下：

(1)「利用集成學習模式與不同時間特徵預測短期公車服務運量」

發表於《運輸學刊》，研究重點在於建構穩定之短期公車運量預測模型，支援公共運輸營運分析與決策應用。

(2)「結合搜尋引擎關鍵字趨勢與多時間特徵預測特殊活動期間車站級客流量」

發表於「中華民國運輸學會 2023 年會暨學術論文國際研討會」，並結合論文發表與海報展示方式，探討特殊活動期間交通需求變化之預測方法。

(3)「異常車流號誌時制決策機制」

發表於「中華民國運輸學會 2023 年會暨學術論文國際研討會」，研究重點在於建立異常交通情境下之號誌控制決策邏輯，回應智慧交通管理決策支援需求。

(4) “Advancing Traffic Flow Prediction for Special Events: A Stacking Approach to Clustering-Based Predictive Modeling”

發表於 2024 年於杜拜舉行之智慧型運輸系統世界大會(ITS World Congress in Dubai)，研究重點在於提出結合分群與堆疊式模型之特殊事件交通流預測方法，強化智慧交通系統於特殊情境下之分析能力。

(5)「智慧交通數位雙生模型開發與應用-以臺中市臺灣大道永福路口至工業區一路口為例」

發表於「第 42 屆測量及空間資訊研討會」，結合實際路口場域與數位雙生模

型建構，呈現智慧交通數位神經中樞於場域應用之研究成果。

綜整而言，本期學術研究成果已由前期之方法與模型驗證，進一步延伸至功能精進、特殊事件分析及實際場域應用層級，並透過國內外期刊、研討會及國際會議之交流管道，使智慧交通數位神經中樞系統相關研究成果得以持續對外擴散，並作為後續系統深化與跨年度推動之研究基礎。

綜整 110 至 113 年各期推動成果，智慧交通數位神經中樞系統係依循「概念建構-雛型開發-功能擴充與精進」之分期推動脈絡，逐步由研究構想與架構規劃，發展至具備實務應用潛力之系統平台。各期除完成對應之系統建置與技術研析工作外，亦同步透過成果發表、座談交流、制度研析、競賽推廣及學術投稿等多元方式，持續擴散研究成果並蒐集實務回饋。在推廣與應用層面，前期著重於系統概念與核心價值之宣導，中期透過雛型系統驗證與實作輔導，逐步強化跨單位理解與實務連結，後期則聚焦於功能深化、制度議題討論及成果整合發表，使智慧交通數位神經中樞系統之推動由單一研究計畫，逐步轉化為可支援交通治理與決策之整合型應用架構。

整體而言，110 年至 113 年之推廣與應用成果，不僅有效提升智慧交通數位神經中樞系統之能見度與成熟度，亦透過持續性的交流與學術擴散，奠定後續跨計畫整合、場域深化應用及長期推動之基礎，作為未來智慧交通相關政策與系統發展之重要參考。

第四章 模式庫與知識庫之精進優化

模式庫與知識庫係智慧交通數位神經中樞系統中之關鍵，就像向人的大腦和脊髓一樣具備思考與增長智慧及經驗傳承與複製能力，在前期計畫中已成功開發如 3.2 節所述之 12 項模式庫及知識庫，在本計畫中則將進一步檢視各模式庫或知識庫之完整性，針對部分內容進行精進或優化，另一方面配合智慧交通數位神經中樞系統之整合與實作，以 API 方式呈現各模式庫與知識庫之成果，再配合開發指引的編制，讓本計畫之成果可廣泛應用到其他場域中。本章將依序針對交通預測速率模式庫、路口綠燈使用率分析模式庫、大型活動交通影響分析模式及大型活動交通疏導應變知識庫等精進優化作法進行說明。

4.1 交通預測速率模式

為使後續系統開發與應用指引之閱讀具備一致性，本章針對交通速率預測之技術層級進行以下術語界定：

一、模型（Model）：指核心演算法本身或本計畫研發之 Stacking。

二、模式（Algorithm Pattern）：指針對特定交通情境（如通勤路段、連假疏運）所研擬之運算邏輯與參數組合。

三、API：指資料介接之標準界面，用於模型運算結果與交控系統間的自動化資訊交換。

四、系統：指整合資料處理、模型運算、可視化界面及 API 輸出後，能交付予使用者所使用之完整應用平台。

4.1.1 多年期發展歷程回顧

本計畫交通速率預測技術的發展系以多年期計畫歷經三個主要發展階段。而本期計畫之精進成果，實建立在過去基礎之上，並針對過往痛點進行整合及應用轉型。

一、第一階段：高速公路預測時期

在計畫發展初期，預測技術主要應用於高速公路場域。此階段主要依賴高速公路完善的車輛偵測器（Vehicle Detector, VD）作為資料來源。由於高速公路屬於封閉型系統，車流特性單純，且硬體偵測資料相對穩定，因此初期的模型建置重點在於驗證預測演算法在理想環境下的準確性。此時期的成果證實交通流預測的可行性，但應用

範圍僅侷限於骨幹路網。

二、第二階段：市區道路小範圍路段預測

預測場域從高速公路延伸至市區道路，由於市區道路環境相對複雜且既有實體 VD 設備建置有限，無法涵蓋大範圍。因此，前期計畫雖然成功將預測技術移植至市區，但受限於資料來源，僅能針對有佈設 VD 的特定小範圍路段進行預測測試。並將小範圍交通預測成果導入前期計畫所構建之臺灣大道數位雙生中進行應用。

三、第三階段（本期）：大規模路網 GVP 導入與數位雙生系統整合

為突破實體設備的覆蓋率限制，同時探討預測模型在不同資料源之預測成效，本期計畫引入資訊工業策進會（後續簡稱資策會）提供之 GVP 資料。GVP 資料打破硬體建置的疆界，能夠取得市區道路大規模路網的交通資訊（由眾多 RoadID 組成的密集路網）。本階段的關鍵在於面對巨量、異質的 GVP 數據，如何構建一套能夠「涵蓋大範圍路網」且「自動化運行」的預測系統，這正是本期計畫於交通速率預測精進的核心主旨。

4.1.2本期精進目標：系統化與落地實作

本期計畫的「精進優化」主要聚焦於「系統工程」與「服務落地」的全面優化。目標是將實驗室等級的預測模型，轉化為一套能 24 小時自動運作之系統。精進優化內容涵蓋以下全生命週期的自動化整合過程：

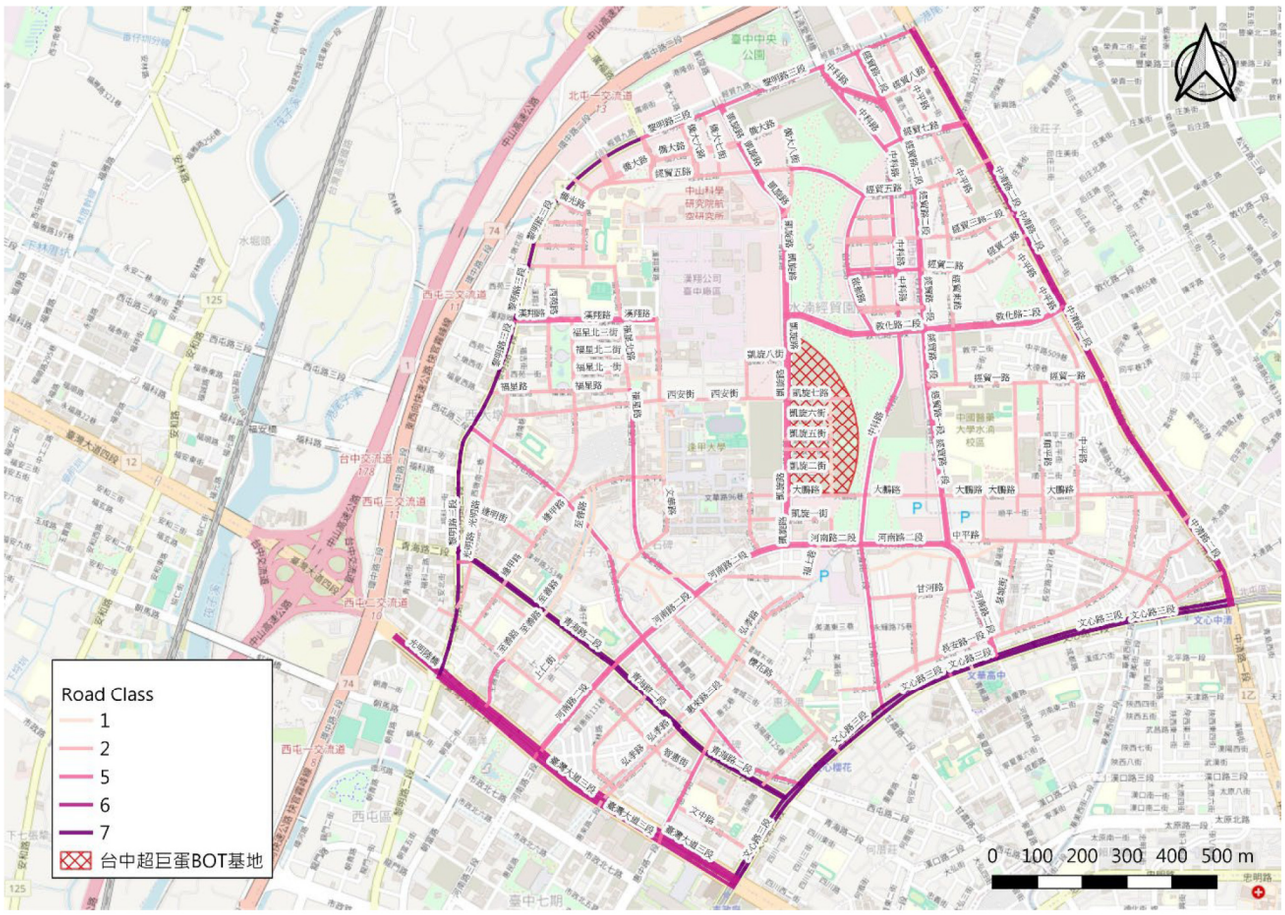
一、資料流的自動化介接與正規化：建立自動化機制，從資策會端持續介接 GVP 數據。系統需具備處理大規模路網資料的能力，將原始數據即時轉換為模型可讀的特徵格式，以每 5 分鐘為一單位進行滾動式更新。

二、模型封裝與持續維運 (MLOps)：不同於過往手動訓練、手動部署的模式，本期建立一套標準化的模型訓練與封裝流程，將訓練完成的預測邏輯封裝為獨立的 .pkl 模型檔案。使預測引擎能夠與系統程式解耦，提升系統穩定性，更便於未來的版次更新與管理。

三、即時預測與 API 服務化：系統上線後，將執行持續性的即時預測任務。為讓預測結果能被廣泛應用，並將成果標準化為 API 服務，設計統一的欄位標準。

四、數位雙生平台的整合應用：最終的精進成果展現在「應用端」。透過標準化 API，預測結果直接應用於本計畫構建之數位雙生（Digital Twin）平台，作為其中之功能之一，將數據轉化為具備時空維度的視覺化呈現，達到真正的決策輔助。

綜合前述，後續章節將詳細闡述從 GVP 資料處理、模型自動化封裝到 API 服務構建之技術實作過程，說明本期計畫如何達到從「單點預測」到「全系統自動化落地」的精進。茲將本期計畫 GVP 交通速率預測範圍彙整如圖 4.1.1 所示，總計涵蓋 1,589 條路段。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.1.1 GVP 交通速率預測路網範圍（水湳跨年場域周邊）

4.1.3資料源精進說明

本期計畫在資料源上的最大精進，在於由傳統依賴硬體佈建的「點狀」車輛偵測器（VD），轉型為全面導入 GVP 的「面狀」探針資料。此一轉變解決市區道路偵測設備覆蓋率不足的痛點，更將預測範圍由單一路段擴展至由數千個路段（RoadID）交織而成的大規模路網。本節將說明針對 GVP 資料特性的掌握、介接機制以及為適應大規模路網而構建的標準化預測處理流程。

此外，本計畫發展之速率預測模式架構具備一定彈性，可使用各類型資料來源，如 VD、ETC 等資料，不限於使用 GVP 資料。本期導入資策會 GVP 資料，係將其

視為具備廣域代表性之資料案例，以驗證模式於大規模路網下之預測成效，並非受限於單一資料源。

一、資料來源與介接機制

本系統之交通流數據來源，係透過與資策會建立之數據介接通道取得。不同於傳統 VD 資料需自行維護硬體設備與通訊線路，GVP 資料反映的是移動裝置在道路上的即時動態，具有覆蓋廣、無需硬體維運的優勢。本計畫建立一套自動化介接機制，持續從資策會端獲取最新的 GVP 數據封包，經系統解析後存入自建的 PostgreSQL 資料庫中。系統針對大量且頻繁的數據傳輸進行優化，確保在全天候運作下，資料流能穩定、不間斷地注入預測系統。

二、資料結構解析與正規化

GVP 原始資料雖然豐富，但要進入嚴謹的預測模型，必須先進行結構解析與標準化定義。根據本計畫實作經驗，定義以下核心欄位作為模型訓練與即時預測的基礎：

(一) 空間識別 (RoadID)：

資料中的 roadid（如 230089925）是串聯路網的關鍵索引。與傳統 VD 依賴「測站位置」不同，GVP 的 RoadID 對應的是實際的 GIS 路段。本精進項目在於建立一套對照機制，能同時處理並平行運算成千上萬個 RoadID 的數據，將單點的資料流轉化為「路網級」的矩陣資料。

此外，在空間維度方面，本模式以「路段 (Road Segment/RoadID)」為最小預測單位。目前實作範例係以 OpenStreetMap (OSM) 路網為基礎進行空間切割，惟模式架構具備高度彈性，可相容於其他種路段編碼方式，確保只要具備路段唯一識別碼即可進行獨立之速率預估。

(二) 時間維度 (Date & Mins)：時間欄位包含 Date（日期）與 Mins（時間點，格式如 20:50）。由於原始探針資料回傳的時間可能不固定，因此在資料前處理階段引入「時間正規化」機制，強制將所有數據對齊至標準的 5 分鐘時間窗（Time Window）。例如，將 20:51、20:53 的零散數據聚合為 20:50 或 20:55 的標準刻度，以符合交通預測模型對時序規律性的要求。

(三) 關鍵特徵 (Speed)：Speed（平均速率）是本系統的核心預測標的。GVP 的速率是基於路段上多個樣本點的聚合結果，相較於 VD 的瞬時速率，GVP 的速率更能反映路段整體的旅行水準。

三、大規模路網資料預處理流

面對全路網大規模的 GVP 資料，傳統的人工清洗方式已不敷使用，本期計畫建構一套自動化的 ETL（Extract, Transform, Load）預處理流程，作為預測系統運作的基礎。

(一) 資料清洗與異常偵測

在真實的運作環境中，GVP 資料可能因訊號遮蔽或樣本數過少而產生雜訊，精進後的系統內建自動清洗邏輯。

1. 極端值過濾：自動剔除超出物理極限的異常速率(如超高速或非合理的靜止)。
2. 缺失值填補：針對偶發性的資料中斷，系統採用歷史同期平均法進行自動填補，確保輸入模型的時序資料是連續且完整的，避免因資料空窗導致模型崩潰。

(二) 特徵工程自動化

為讓機器學習模型能精準捕捉交通趨勢，原本由研究人員手動計算的特徵工程，現已封裝為自動化程式碼。

1. 時序特徵提取：系統自動依據 Date 與 Mins，提取出「星期幾」、「是否為假日」、「尖離峰時段」等衍生特徵。
2. 歷史滯後特徵 (Lag Features)：自動產生過去 N 個時間點（如過去 15 分鐘、30 分鐘）的歷史速率序列，作為預測未來速率的關鍵輸入。

(三) 批次化處理架構

考量到需同時對數千個 RoadID 進行預測，若採單一路段逐一處理將造成系統延遲。因此，本計畫在資料處理層導入「批次化（Batch Processing）」架構。系統將全路網資料依據 RoadID 進行分群，並將同一時間斷面的所有路段數據打包成矩陣形式，一次性送入模型進行平行推論。

4.1.4預測模型的自動化封裝與生命週期管理

在前期計畫中，預測模型的產出往往依賴研究人員手動操作分析軟體，針對特定路段進行參數調校與訓練，此種極度仰賴人力之作業模式無法應對本期計畫或未來應用時之中大規模路網需求。本節將詳述核心運算的精進成果，亦即構建一套「自動化訓練系統」，將資料輸入、模型訓練、多步預測邏輯與模型封裝（Encapsulation）整合為標準化流程，確保系統能產出穩定且可供即時呼叫的 .pkl 模型檔案。

一、多步預測邏輯的實作設計

為滿足管理單位決策需求，本系統的預測能力並不僅止於「下一刻」，而是需要提供未來一段時間的趨勢。本期精進在於確立標準化的「多步預測（Multi-step Prediction）」邏輯：

(一) 時間顆粒度標準化：依據 GVP 資料特性與交通應用慣例，將時間基準統一為 5 分鐘(5-min interval)。這是在資料變動靈敏度與運算負載之間的最佳平衡點。

(二) 滾動式預測視窗 (Rolling Forecast Window)：系統並非一次預測全天的數值，而是採用滾動視窗機制。

1. 輸入 (Input X)：讀取該 RoadID 過去 N 個時間點的歷史速率（例如過去 60 分鐘的 GVP 序列）。

2. 輸出 (Output Y)：模型一次性推論出未來 6 個時間步的速率值。

亦即預測未來 30 分鐘內的交通變化（5 mins × 6 steps）。這種設計能讓數位雙生平台在接收到數據時，不僅呈現當下路況，還能產出未來半小時的預測趨勢。

二、模型訓練流程自動化 (Automated Training Pipeline)

面對成千上萬個 RoadID，本計畫開發批次訓練腳本，取代過去的人工操作。此自動化流程包含以下精進特點：

(一) 訓練資料集的自動切分：程式自動讀取清洗後的 GVP 歷史大數據，依據時間序列特性，自動劃分訓練集與驗證集。不同於傳統隨機抽樣，本計畫採用「時間序列切分（Time Series Split）」，確保模型是用「過去」的資料來學習預測「未來」，嚴格遵守時序因果關係。

(二) 超參數自動最佳化：不同等級道路（如快速道路 vs. 市區巷弄）之車流型態各異，自動化訓練模組內建參數搜尋機制，能針對該批次路段自動尋找最佳的模型參數組合，無需人工逐一調整，大幅提升大規模路網模型的適應性。

三、模型物件化與封裝技術 (Pickle Serialization)

為讓預測模型能夠在正式環境中高效運作，本計畫導入模型序列化（Model Serialization）技術。

(一) 從程式碼到二進位檔案 (.pkl)：訓練完成的模型不再只是存在於記憶體中的變數，而是透過 Python 的 pickle 或 joblib 函式庫，將包含模型結構、權重參數以及特徵前處理邏輯的完整物件，封裝並儲存為實體的 .pkl 檔案。

(二) 解耦訓練與推論 (Decoupling)：透過封裝成 .pkl 檔，達到「訓練環境」與「線

上服務環境」的解耦：

1. 訓練端：負責消化歷史巨量資料，運算耗時長，產出 .pkl 檔。
2. 服務端（API）：僅需載入輕量級的 .pkl 檔，即可對即時 GVP 資料進行毫秒級的快速推論，無需重新訓練。

(三) 版本控管優勢：封裝後的模型檔案具備可攜性與版次管理能力。當資策會 GVP 資料累積更多歷史數據，或路網結構改變時，只需在後台重新執行訓練腳本，產出新版的 .pkl 檔案並替換舊檔，即可完成預測系統的邏輯更新，完全不影響線上 API 的服務架構。

四、運算效能優化

考量到全路網預測的運算量，本章節之精進亦包含運算資源的配置優化。利用封裝好的模型檔案特性，系統支援「平行運算（Parallel Computing）」載入。在實務運作上，可同時啟動多個預測執行緒，分別載入不同分區路網的 .pkl 模型進行平行推論，確保在接收到最新的 GVP 即時資料後，能在極短時間內預測全市區路網未來 30 分鐘的速率變化。

五、模型效能監控與維護機制

針對 AI 模型之效能衰退（Model Drift）風險，系統建立自動化回饋迴圈，每日比對預測值與事後蒐集之實測值。當關鍵指標（如 MAE）連續偏離預設閾值時，系統將主動通知維運人員評估是否執行週期性模型重新訓練 。若即時資料缺失，則透過六階階層式補值策略進行資料品質降級處理，確保預測服務不中斷。

4.1.5全自動化即時預測系統之構建

在前幾期計畫中，預測作業多半屬於「離線分析」性質，模型運行往往需要人工介入操作，難以達到真正的即時應用。本期計畫的關鍵精進，在於將預測模型嵌入至一個標準化的系統架構中，實現從資料獲取到結果產出的「全自動化」。自動化即時預測系統之架構如圖 4.1.2 所示，茲就系統架構之設計思維與即時運作流程分別說明如下：

一、系統架構設計思維

為確保系統能承載大規模路網的 GVP 資料流並維持高穩定性，參考現代化軟體工程的微服務概念，將系統架構劃分為三個低耦合（Loosely Coupled）的層次：

(一) 資料介接層：負責與外部（資策會）進行 GVP 資料的交換。此層具備緩衝機

制，能處理網路波動，確保原始資料（Raw Data）能準確寫入系統暫存區。此外，本系統所指之「交通即時資料」泛指可供模式運算之多元速率來源，包含但不限於 VD、EVP、GVP 或其他異質即時數據，使系統能彈性介接不同場域之既有設施資料。

(二) 核心運算層：此層為系統的核心，不負責對外連線，專注於運算，主要負責載入前述的 .pkl 模型檔案，執行特徵工程與推論運算。

(三) 服務發布層：此層係負責將運算結果「產品化」，亦即將預測數據存入資料庫，並提供 API 接口供數位雙生平台呼叫，確保運算邏輯與前端應用完全分離。

二、全自動化即時運作機制

系統上線後即進入「全自動化循環」模式。不同於過去單次執行的腳本，本系統建立一套以 5 分鐘為一次循環的標準作業流程。以下說明每個循環內的自動化步驟：

(一) 步驟一：時序觸發與資料同步 (T+0 min)

系統內建排程器（Scheduler），每當時間到達 5 分鐘的倍數（如 10:00, 10:05...），即自動觸發更新任務。系統會自動鎖定「當下時間點」回推過去 N 分鐘的 GVP 資料視窗，向資料介接層請求最新的 Speed 數據。若偵測到資料源延遲，系統具備「自動重試（Retry）」與「降級處理」機制，確保流程不中斷。

(二) 步驟二：即時特徵工程

取得即時 GVP 資料後，系統需將其轉換為模型看懂的格式。調用的特徵處理邏輯(如填補缺失值、正規化)完全引用自訓練階段封裝的 Transformer 物件，確保「線上推論」與「離線訓練」的邏輯一致，避免常見的「訓練/推論偏差」問題。

(三) 步驟三：載入模型與平行推論

運算核心呼叫已封裝好的 .pkl 模型檔案。

1. 輸入：處理好的即時路網特徵矩陣。
2. 輸出：產出該時間點對應的未來 6 個時間步預測值。例如：若當下時間為 10:00，系統將一次產出 10:05, 10:10, 10:15, 10:20, 10:25, 10:30 的速率預測值。
3. 效能優化：針對大規模路網（多 RoadID），此步驟採平行運算處理，確保在數秒內完成全路網的推算。

(四) 步驟四：結果儲存與歷程管理

預測結果產出後，系統自動將數據寫入關聯式資料庫（RDB）。資料表設計不僅儲存「預測值」，同時保留「預測產生的時間（Created Time）」與「目標時間（Target Time）」。使未來能夠進行「預測 vs. 實際」的精確度回溯分析，為下一階段的模型優化提供數據基礎。

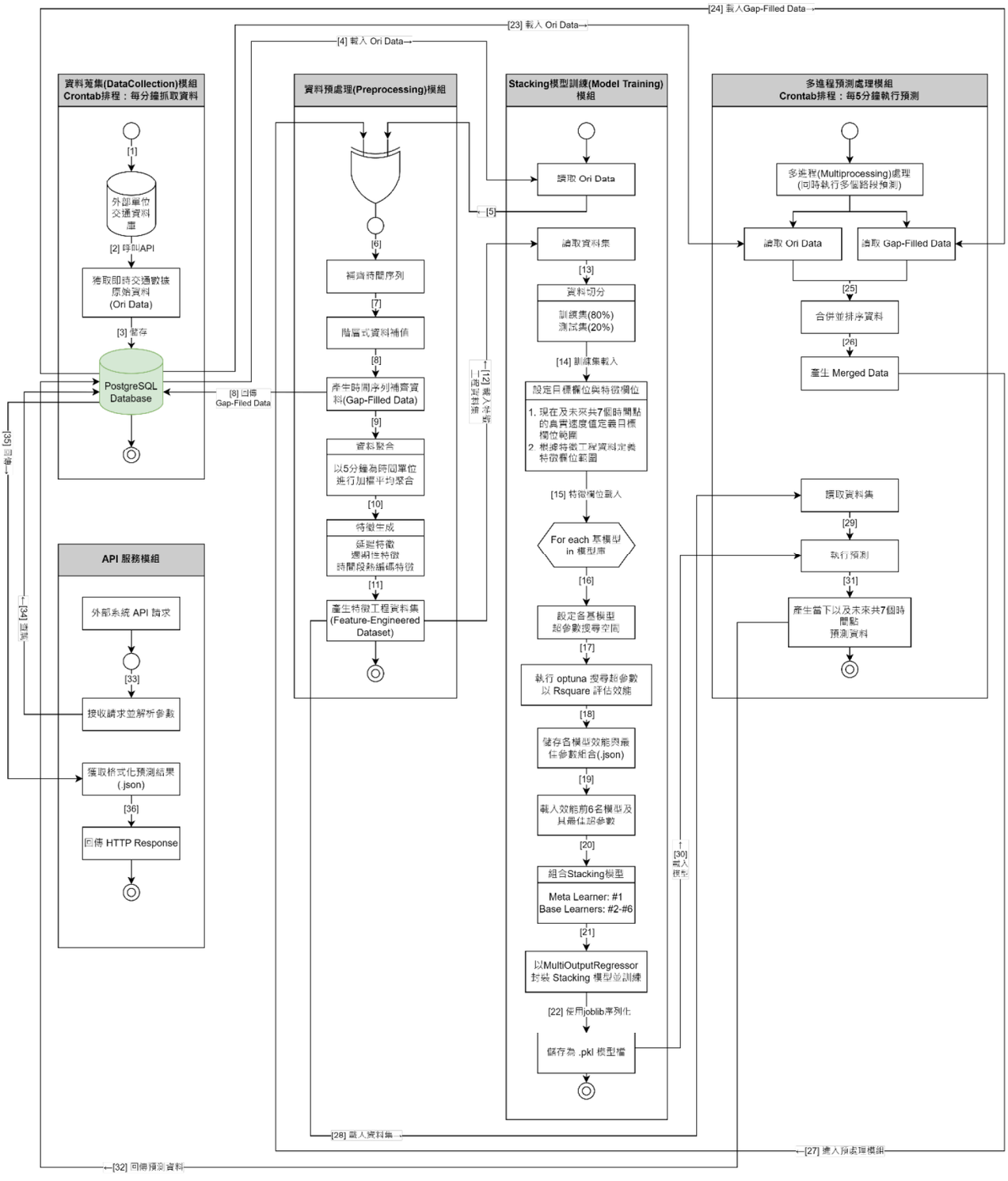


圖 4.1.2 自動化即時預測系統架構

三、系統整合與數位雙生對接準備

本系統架構的最終目的係為支援數位雙生平台的視覺化呈現。因此，在架構設計上，特別強化「資料落地」的即時性。

(一) 低延遲寫入：為讓數位雙生平台能看到「近乎即時」的未來趨勢，從 GVP 資料進入系統到預測結果寫入資料庫，整體延遲被嚴格控制。

(二) 服務解耦：預測系統只負責「產出數據」，不負責「繪圖」。透過將結果標準化存儲，數位雙生平台可隨時依照其需求（如查詢特定路段、特定時段）來撈取數據，達到後端運算與前端展示的分工機制。

4.1.6API 標準化與數位雙生應用

經過前述章節的資料處理與自動化運算，系統已具備產出高準確度預測值的能力，惟若預測結果僅停留於資料庫或封閉的伺服器中，便無法發揮其實質價值。本期計畫在服務輸出端的精進，重點在於「介面的標準化」與「應用的視覺化」，透過設計符合國際標準的 RESTful API，並開發測試介面，將交通預測數據無縫整合至數位雙生平台，藉此達到從「數據」到「決策」的轉化。

在預測成果的 API 標準化設計上，為讓第三方系統（如各縣市交控中心）能夠便利且統一地存取預測數據，應摒棄過往以 CSV 檔案交換或直接讀取資料庫的傳統模式，並重新定義標準化的 API 輸出規格。

一、介面協定與格式

(一) 傳輸協定：採用標準 HTTP/HTTPS 協定，確保跨平台、跨網路環境的通用性。

(二) 資料格式：統一採用 JSON (JavaScript Object Notation) 格式進行資料交換。JSON 輕量且易於解析的特性，大幅降低介接端的開發門檻與網路傳輸負載。

二、標準化欄位定義

針對預測結果設計精簡但資訊完整的欄位架構，確保每一筆回傳資料都具備明確的時空定義。主要欄位規範如下：

(一) road_id (String)：路段唯一識別碼。作為與 GVP 圖資及 GIS 系統對接的關鍵索引（Key）。

(二) predict_time (String)：預測時間戳記（格式：YYYY-MM-DD HH:mm:ss）。因系統一次回傳未來 6 個時間步的數據，需透過此欄位明確標示該數值是對應「未來哪一個 5 分鐘」。

(三) predict_avgspeed (Float)：模型運算出的預測平均速率。此為本計畫數位雙生平台進行色彩渲染（如紅/黃/綠擁塞等級）之主要依據。

(四) actual_avgspeed (Float)：實際平均速率（適用於可接收速率平均值時）。

API 設計中包含「實測值」欄位。當查詢歷史時間點時，系統能同時回傳「當時的預測值」與「後來發生的實際值」，這讓介接單位能即時在前端進行精確度比對，增強使用者對系統的信賴感。

4.2 路口綠燈使用率分析模式

4.2.1 系統化與落地實作精進策略

本計畫針對都市交通號誌資源分配的最佳化，發展出「綠燈使用率（Green Light Utilization Rate, GLUR）」分析技術。其發展歷程由初期的概念驗證與單點試作，歷經演算法的學理深化與修正，最終發展為一套具備標準化建置指引、可與數位雙生平台即時連動的成熟系統。以下為詳細的三階段發展回顧：

一、第一階段：概念與雛型驗證（初期試作）

在此階段，計畫在「構建 5G 智慧交通數位神經中樞」架構下，規劃導入 AI 影像辨識技術作為路口交通參數蒐集之核心，旨在克服傳統感測設備（如線圈）在部署靈活性與維護成本上之侷限，並提供更多元之分析維度。

(一) 發展背景：面對傳統交通績效指標（如延滯、佇列）僅能被動反映問題的侷限，計畫提出「資源導向」的新思維，試圖量化號誌綠燈時間的「供給」與車流「需求」之間的平衡關係。

(二) 場域試作：初期選定臺中市臺灣大道上的少數關鍵路口（如臺灣大道/永福路口）進行概念性驗證。

(三) 技術嘗試：

1. 利用 AI CCTV 劃設偵測區塊（ROI），統計綠燈期間通過的車輛數（PCU）。
2. 初步建立「綠燈使用率 = 實際通過車輛數 / 預估最大通過車輛數」的計算邏輯 。
3. 驗證成果：在初期試作中，系統成功辨識並計算出路口綠燈使用率之準確率可達 88.8%，並初步嘗試將此數據以每 15 分鐘更新一次的頻率，介接至數位雙生平台進行視覺化展示 。此階段證明利用影像辨識計算綠燈資源

運用效率的可行性。

二、第二階段：演算法理精進與模型修正

隨著試作經驗的累積，研究團隊發現實務上並非所有號誌控制器皆能即時連線回傳燈態，因此針對計算模型進行關鍵的改良與分流，發展出適應不同場景的演算方法。

(一) 核心突破：將綠燈使用率的計算模型針對「離線控制器」的方式發展推估法，以提升系統的適用性。

(二) 靜態時制計畫推估法：針對無法即時連線的傳統路口，開發基於「表定排程（Schedule）」的推估模型。系統依據資料庫中的靜態時制計畫，推算特定統計區間內的「理論總綠燈時間」，解決了離線路口無法計算使用率的痛點。

(三) 指標定義明確化：確立以 GLUR 數值進行績效分級的標準（如：GLUR 值過高≧90%，代表號誌使用效率佳；若 GLUR 值偏低<50%，代表號誌使用效率不佳，有進一步檢討必要。

三、第三階段：系統標準化與數位雙生整合

在完成演算法的優化後，本年度重點在於將技術轉化為可複製、可擴散的標準系統，並編撰《路口綠燈使用率分析系統建置指引手冊》，同時完成與數位雙生平台的整合。

(一) 標準化建置指引：

1. 制定從影像攝取、AI 推論（使用 YOLOX 與 ByteTrack 技術）、資料庫存取到 API 輸出的完整系統架構 。
2. 規範標準化的資料交換格式（JSON），確保不同廠商開發的系統能有一致的介接標準 。

(二) 數位雙生深度整合：

1. 即時動態呈現：系統正式將分析結果以每 15 分鐘為一週期的頻率，自動更新至數位雙生平台 。
2. 3D 視覺化決策：在數位雙生模型的 3D 介面中，以立體標註方式直接顯示各方向的綠燈使用率百分比，並輔以顏色管理（綠/黃/紅/紫）直觀呈現路口效能 。
3. 自動化告警：系統能自動偵測路口各方向的資源「不平衡指標」，當偵測到

某方向過度飽和（紫色）而另一方向閒置（黃色/紅色）時，自動發出時制調整建議 。

4.2.2本期精進目標：系統化與落地實作

本期計畫於路口綠燈使用率分析之「精進優化」，主要聚焦於「系統工程化」與「交控應用落地」的全面優化。目標在於將過往以人工或研究性質為主的分析方式，而是將影像分析成果轉化為一套可於交控中心長期穩定運作、具備標準輸出的自動化系統。精進優化內容涵蓋以下全生命週期之自動化整合流程：

一、影像資料流的自動化介接與正規化：建立自動化機制，持續介接路口 AI CCTV 即時影像資料。系統需具備處理多路口、多攝影機影像資料的能力，將原始影像轉換為可供分析之車輛事件資料，並統一對齊至固定時間窗（以 15 分鐘為單位）進行彙整與更新，確保分析結果具備一致性與可比性。

二、分析模組封裝與持續維運：不同於過往需人工執行分析程式的模式，本期計畫建立標準化之分析流程，將車輛偵測、追蹤、事件判斷與綠燈使用率計算邏輯進行模組化封裝，使核心分析引擎可與系統服務層解耦運作。此一設計可提升系統穩定性，並有利於後續分析邏輯調整與版本更新管理。

三、定期統計與 API 服務化：系統上線後，將依固定時間窗自動執行綠燈使用率統計作業，並將分析成果以標準化 API 形式對外提供。透過統一之欄位定義與回傳格式，使綠燈使用率結果能被交控中心、數位雙生平台及其他交通管理系統直接介接與應用 。

四、數位雙生平台之整合應用：最終之精進成果展現在「應用端」。透過標準化 API，綠燈使用率分析結果可直接整合至本計畫所建置之數位雙生平台，作為路口號誌效能監測功能之一，將分析數據轉化為具備空間與時間維度的視覺化呈現，進一步支援號誌調整與交通管理決策。

綜合前述，後續章節將進一步說明從影像資料處理、分析模組自動化封裝到 API 服務建構之技術實作過程，闡述本期計畫如何達成由「單點號誌評估」邁向「系統化、可落地之綠燈使用率分析」的精進成果。

4.2.3影像資料感知與正規化處理

本期計畫於路口綠燈使用率分析之資料源精進，核心在於由傳統依賴人工調查方式取得路口車流量，轉型為以 AI 影像辨識之分析資料。此一轉變不僅解決人工調

查無法隨時隨地取得路口車流量之限制，更使綠燈使用情形得以直接量測，將分析範圍由單一路口擴展至可長期、系統化監測之路口群組。

一、資料來源與介接機制本系統之號誌效能分析資料來源，係透過既有路口 AI CCTV 攝影機影像進行取得。不同於傳統需額外佈建車輛偵測器或線圈設備之方式，影像資料具備覆蓋廣、建置成本低且可重複利用之優勢。本期計畫建立一套自動化影像介接機制，透過 RTSP 協定持續接收路口即時影像串流，並於系統端以非同步佇列方式進行管理，確保在多路口、多攝影機同時運作情境下，影像資料能穩定輸入後續分析流程。

二、資料結構解析與正規化：原始影像資料雖能完整呈現路口交通狀況，但須經結構化處理後，方能進入綠燈使用率分析流程。本期計畫依實務需求，定義以下核心資料欄位作為後續統計與分析之基礎：

(一) 空間辨識（Intersection ID 與 Approach）：影像分析結果以路口 ID 作為主要空間索引，並進一步區分各行進方向（Approach），使系統能夠針對同一路口之不同方向，獨立計算其綠燈使用情形。此一設計有別於過往僅以整體路口流量評估號誌效能之方式，可更精細反映各方向綠燈配置是否符合實際需求。

(二) 時間維度（Time Window）：系統統一採用固定時間窗進行資料彙整，本期計畫以 15 分鐘為一分析單位。所有車輛事件皆需對齊至標準時間窗，確保不同時段、不同路口之使用率結果具備一致性，並利於後續趨勢分析與跨路口比較。

(三) 關鍵特徵（PCU、Green Used 與 Usage）：影像辨識模組可即時統計各方向之車流量（PCU），並依據號誌時制資訊，換算車輛於綠燈期間實際使用之綠燈時間（Green Used），進而計算綠燈使用率（Usage）。此一資料結構使「綠燈是否被有效利用」得以量化呈現，成為號誌效能分析之核心指標。

三、影像資料前處理與品質控管流程：面對長時間、大量影像資料之輸入，若未建立完善的前處理與品質控管機制，將影響分析結果之可靠性。本期計畫建構一套自動化影像資料前處理流程，作為綠燈使用率分析之基礎。

(一) 影像事件過濾：系統透過車輛追蹤與跨線事件判斷機制，避免同一車輛於短時間內被重複計算，確保車流統計與使用率計算之準確性。

(二) 異常資料排除：針對影像中可能出現之遮擋、畫面抖動或光線異常情形，系統可自動排除無效或不合理之事件資料，降低雜訊對分析結果之影響。

(三) 長時間穩定運作設計：所有前處理流程皆以自動化方式執行，使系統在 24 小時連續運作情境下，仍能維持資料品質與分析穩定性，避免因人工介入不足而影響整體系統效能。

4.2.4以靜態時制計畫為基礎之綠燈使用率推估模式

本期計畫在取得 AI 影像辨識之實際車流資料（分子）後，面臨的最大挑戰在於如何精確取得路口的「理論綠燈供給量（分母）」。考量國內現行交通環境中，仍有許多路口號誌控制器屬於離線或傳統型，無法即時回傳燈號狀態。為解決此痛點，本期計畫確立以「靜態時制計畫推估法（Static Signal Timing Plan Calculation）」作為核心演算邏輯，將交通管理從傳統的「被動監測」轉向「主動資源優化」。

一、「資源導向」評估指標的確立：

為量化路口號誌資源的運用效率，本系統正式定義「綠燈使用率（Green Light Utilization Rate, GLUR）」作為核心績效指標。其定義為「實際通行車輛數（需求）」與「理論最大通行車輛數（供給）」之比值。 此一指標能直接量化綠燈資源的供需平衡狀態，例如：當 GLUR 達 90% 以上時，代表該方向綠燈接近飽和，需增加資源；當 GLUR 低於 40% 時，則代表綠燈資源嚴重浪費，應予以縮減。此量化數據為後續時制調整提供了明確且客觀的依據。

二、靜態時制計畫推估邏輯：

針對無法即時回傳燈態的控制器，本計畫建立一套標準化的推估模型，透過以下四個步驟精確計算綠燈使用率：

(一) 時制計畫數位化 系統首先將路口現行的靜態時制計畫表進行結構化建檔與數位化。內容包含各時段之週期、時差以及各分相的綠燈秒數等參數，並存入系統資料庫中作為運算基準。

(二) 精確的時間切片運算在進行定期統計分析（如每 15 分鐘）時，系統會依據分析當下所對應的時段與時制計畫，將時間軸進行精確切割。此步驟能確保即便在時制計畫切換的過渡期（例如由離峰轉尖峰時段），系統仍能正確對應當下的綠燈秒數配置。

(三) 理論供給量計算（分母） 系統依據時間切片結果，自動推算出該統計區間內，各行進方向累計獲得的「總綠燈秒數」。接著，結合該路口方向的飽和流率（Saturation Flow Rate），計算出該方向在理想狀態下的「理論最大通行容量」，以此作為綠燈使用率計算的分母（供給端）。

(四) 實際需求量整合（分子與結果） 最後，系統將 4.2.2 節所述，由 AI 影像辨識偵測並統計的「實際通過車輛數（轉換為 PCU）」作為分子（需求端）。透過分子與分母的運算，即可精確計算出該時段的綠燈使用率。

此「靜態時制計畫推估法」有效克服硬體設備未連網的限制，使得綠燈使用率分析不再侷限於高階智慧路口，而能廣泛應用於全路網的效能評估，為後續的自動化分析模組奠定基礎。

4.2.5分析模組自動化封裝與管理

在前期計畫中，綠燈使用率分析多半仰賴研究人員或工程人員以人工方式執行影像分析與資料彙整，針對特定路口或時段進行結果計算與檢視，整體流程偏向「半手動」作業模式，難以支援長時間、多路口之穩定運作需求。本期計畫之核心精進，在於建構一套可長期運行的「自動化分析流程」，將影像事件輸入、使用率計算邏輯、定期統計與分析模組封裝整合為標準化處理架構，確保系統能持續產出穩定且可供即時查詢之綠燈使用率結果。

一、定期分析邏輯的實作設計：

為滿足交通管理單位於號誌檢討與成效評估上的實務需求，本系統之分析能力並不僅止於單一時間點的結果輸出，而是需能反映一段時間內綠燈使用情形的變化趨勢。本期精進重點在於確立標準化的「定期分析」邏輯：

(一) 時間顆粒度標準化：

依據號誌控制實務與交控應用慣例，系統將分析時間基準統一為 15 分鐘（15-minute interval）。此一設定可在反映交通變化靈敏度與系統運算負載之間取得平衡，亦符合多數交控中心進行成效評估之使用習慣。

(二) 固定時間窗統計機制：

系統並非即時計算每一筆車輛事件的使用率結果，而是採用固定時間窗彙整方式進行分析。

1. 輸入：彙整指定路口、指定方向於該 15 分鐘時間窗內之車輛通行事件與對應號誌時制資料。
2. 輸出：系統一次性計算該時間窗內各行進方向之綠燈使用率指標。
3. 此一設計可確保分析結果具備穩定性，並利於後續跨時段、跨路口之比較與趨勢分析。

二、分析流程的自動化處理架構：

面對多路口、長時間且持續產生之影像事件資料，本期計畫以自動化分析流程取代過往人工操作方式。整體流程具備下列精進特點：

(一) 分析資料的自動彙整與切分：

系統可自動讀取已完成前處理之影像事件資料，依據時間戳記將資料切分為固定之 15 分鐘分析區間。此一切分方式確保所有使用率計算皆遵循一致的時間邊界，避免因人工操作導致分析區間不一致的問題。

(二) 分析參數的一致化與重複使用：

不同路口或方向之綠燈使用率分析，雖在交通特性上存在差異，但其計算邏輯與參數定義需保持一致。本期計畫將相關分析參數（如時間窗長度、事件去重規則、使用率計算公式）統一封裝於分析模組中，使系統能以一致標準處理所有路口資料，避免人工調整造成結果偏差。

三、分析模組物件化與封裝技術：

為使綠燈使用率分析能於正式環境中穩定運作，本期計畫將核心分析流程進行模組化與物件化封裝，形成可獨立部署之分析元件。

(一) 從程式流程到分析模組：原本分散於多段程式碼中的影像事件處理、統計計算與結果輸出邏輯，皆整合封裝為獨立之分析模組。該模組包含完整的資料讀取、計算與輸出流程，可由系統排程器自動觸發執行。

(二) 分析與服務層解耦：透過模組化封裝，達成「分析執行」與「對外服務」的解耦：

1. 分析端負責處理大量影像事件資料並完成使用率計算，屬於背景批次運作。
2. 服務端(API)僅需讀取已產出之分析結果，即可快速回應查詢請求，無需即時計算。
3. 此一設計可有效降低 API 服務負載，提升系統整體穩定性。

(三) 版本控管與邏輯更新優勢：封裝後的分析模組具備明確的版本控管能力。當號誌時制調整、分析邏輯修正或計算規則需更新時，僅需於後台更新分析模組版本並重新執行分析流程，即可產出新版使用率結果，無需變更既有 API 介面，確保前端系統介接不受影響。

四、運算效能與長時間運作優化：

考量到多路口同時進行綠燈使用率分析之運算需求，本章節亦針對系統效能進行配置優化。透過分析模組封裝與批次處理設計，系統可依路口或區域進行分批運算，並支援平行處理機制，使整體分析流程能在可控時間內完成。此一效能設計，確保系統在長時間連續運作情境下，仍能穩定產出各路口之綠燈使用率分析結果，作為後續交控決策之可靠依據。

4.2.6即時綠燈使用率分析系統之構建

在前幾期計畫中，綠燈使用率分析作業多半屬於「離線分析」或人工輔助性質，分析流程往往需要人員手動執行影像處理、資料彙整與結果計算，難以支援長時間且穩定的即時應用。本期計畫的關鍵精進，在於將綠燈使用率分析模組嵌入至一套標準化的系統架構中，實現從影像資料取得到分析結果產出的「全自動化」運作流程。本節將詳述此系統架構（如圖 4.2.1）之設計思維與即時運作機制。

一、系統架構設計思維

為確保系統能承載多路口 AI CCTV 影像資料流並維持高穩定性，本期計畫參考現代化軟體工程之微服務概念，將綠燈使用率分析系統架構劃分為四個層次：

(一) 資料來源層

負責與各路口 AI CCTV 攝影機進行即時影像資料介接。此層級具備影像緩衝與連線管理機制，可處理網路波動或影像暫時中斷情形，確保原始影像資料能穩定輸入系統之暫存與處理佇列。

(二) 資料與處理

本層級負責原始影像資料之接收、暫存與前處理作業，為後續 AI 推論提供穩定且一致的輸入資料。系統於接收到即時影像串流後，先進行影像擷取並存入影像佇列（img 佇列），以避免即時串流直接進入推論模組所造成的效能瓶頸。在影像正式送入 AI 推論前，系統會執行必要之影像前處理作業，包含影像尺寸調整、畫面裁切（ROI 設定）、影像格式轉換與基礎品質檢查等流程。透過此一資料處理層之設計，可有效將不穩定的即時影像串流轉換為結構化且可控的影像資料來源，確保後續推論流程在長時間運作下仍能維持穩定效能。

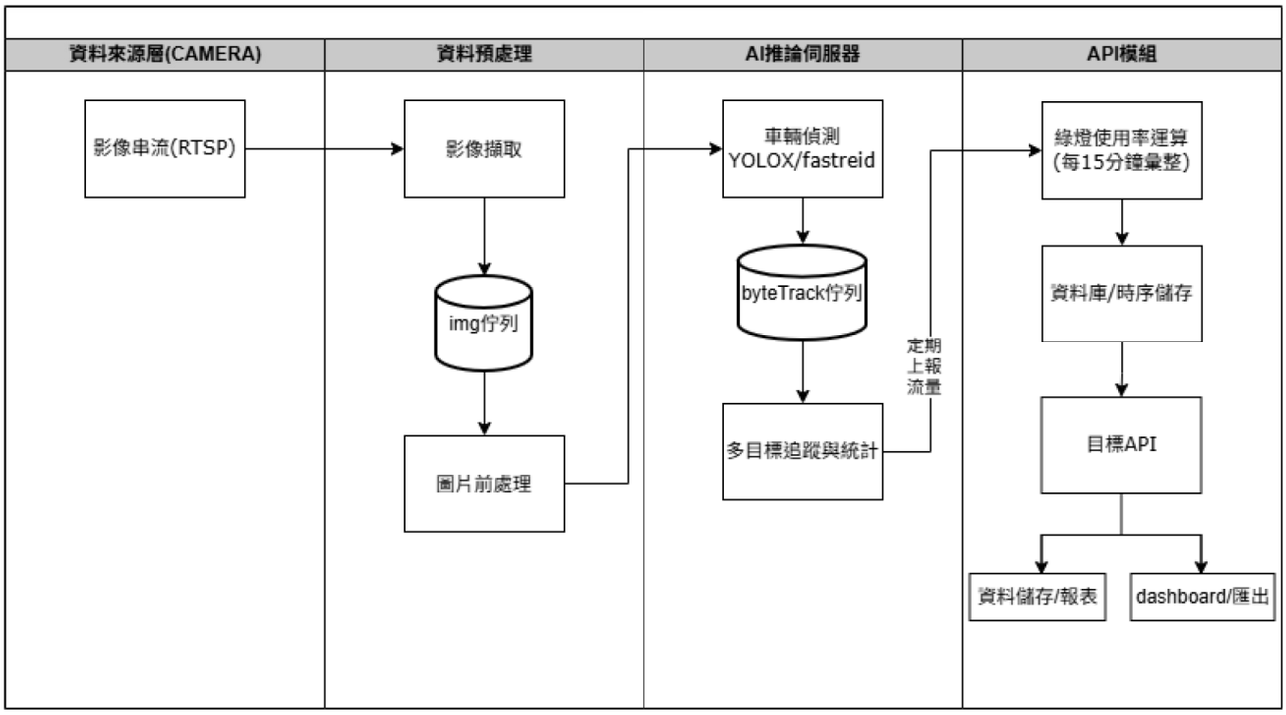
(三) AI 推論層

系統之「核心運算單元」。此層級不負責對外連線，專注於影像分析與綠燈使用率相關運算，包含車輛偵測（採用 YOLO / FastReID 等模型）、車輛追蹤（如

ByteTrack 佇列機制）、多目標追蹤與跨線事件判斷等處理流程。所有推論與事件統計流程皆依既定模型版本與分析參數自動執行，並定期產出車流量與通行事件資料，作為後續綠燈使用率計算之基礎，確保整體分析邏輯具備一致性與可重複性。

(四) API 模組

負責將 AI 推論與分析結果進行「產品化」處理。本層級會依固定時間窗（如每 15 分鐘）彙整各路口、各方向之綠燈使用率分析結果，並將資料寫入後端資料庫進行歷史保存。同時，系統透過標準化 API 對外提供查詢服務，使數位雙生平台、交控系統或儀表板（Dashboard）能即時存取分析成果，確保核心分析邏輯與前端應用介面完全分離。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.2.1 綠燈使用率分析系統架構

二、全自動化即時運作機制

系統正式上線後，即進入「全自動化循環」運作模式。不同於過往需人工啟動的分析腳本，本系統建立一套以固定時間窗為基準的標準作業流程。以下說明每一分析循環內的自動化步驟：

(一) 步驟一：時間觸發與資料同步

系統內建排程器（Scheduler），每當時間進入新的分析時間窗（以 15 分鐘為

一單位)，即自動觸發分析流程。系統會自動鎖定該時間窗範圍內之影像事件資料，並由影像介接層同步傳遞至核心分析層。

(二) 步驟二：即時影像事件整理與前處理

取得影像事件資料後，系統會自動執行事件整理與前處理作業，包括車輛追蹤去重、事件時間對齊與方向性判斷。此階段所使用之處理邏輯，完全沿用分析模組封裝時所定義之規則，確保「背景分析」與「對外查詢」結果的一致性，避免分析偏差。

(三) 步驟三：分析模組載入與平行運算

核心分析層載入已封裝完成之綠燈使用率分析模組，並針對各路口、各行進方向執行使用率計算。

1. 輸入：指定時間窗內之車輛通行事件資料與對應號誌時制資訊。
2. 輸出：產出該時間窗內各路口、各方向之綠燈使用率指標。
3. 效能優化：針對多路口分析需求，系統採用平行運算方式處理不同路口或區域之資料，確保在可控時間內完成整體分析作業。

(四) 步驟四：結果儲存與歷程管理

分析結果產出後，系統自動將使用率資料寫入資料庫。資料表設計除儲存「綠燈使用率結果」外，亦同步記錄分析時間窗起迄時間與資料產生時間，使後續可進行長期趨勢分析與號誌調整成效回溯，作為下一階段號誌優化之依據。

三、系統整合與數位雙生對接準備

本系統架構之最終目的，在於支援數位雙生平台之視覺化呈現與交控應用。因此，在系統設計上特別強化「資料即時落地」與「服務解耦」兩項原則：

(一) 低延遲資料寫入

為使數位雙生平台能近乎即時掌握各路口號誌使用情形，從影像資料進入系統到分析結果寫入資料庫之整體流程，皆經過效能優化設計，確保分析結果可於短時間內對外提供。

(二) 後端分析與前端展示解耦

綠燈使用率分析系統僅負責穩定產出分析數據，不涉及前端圖形呈現或互動邏輯。數位雙生平台可依自身需求，透過 API 即時查詢特定路口或時段之分析結果，達成後端運算與前端展示清楚分工之系統架構。

4.2.7API 標準化與數位雙生應用

經過前述章節之影像資料處理、自動化分析與系統化運算，本系統已具備持續產出高穩定度綠燈使用率分析結果之能力。然而，若分析成果僅停留於後端資料庫或內部系統中，將難以支援實際交通管理決策。本期計畫於服務輸出端之精進，核心在於「介面標準化」與「應用視覺化」，透過設計符合 RESTful 架構之 API 服務，將綠燈使用率分析結果無縫整合至數位雙生平台，實現由「分析數據」轉化為「號誌決策依據」的應用目標。

在綠燈使用率分析成果的 API 標準化設計上，為使第三方系統（如各縣市交通控制中心、智慧交控平台）能以一致方式存取分析結果，本期計畫捨棄過往以檔案交換或直接連線資料庫之傳統作法，重新定義具備一致欄位結構與語意的 API 輸出規格，確保系統整合與後續擴充之彈性。

一、介面協定與格式

(一) 傳輸協定

系統採用標準 HTTP/HTTPS 傳輸協定提供 API 服務，確保於不同作業系統、不同網路環境下皆能穩定介接，並符合現行政府資訊系統之安全與通用性要求。

(二) 資料格式

所有 API 回傳資料統一採用 JSON 格式進行交換。JSON 格式具備結構清楚、體積輕量且易於解析之特性，可有效降低介接端系統之開發門檻，並提升資料傳輸效率。

二、標準化欄位定義

參考《綠燈使用率系統建置指引手冊》及本計畫所制定之 API 規範，針對綠燈使用率分析結果設計精簡且資訊完整之欄位架構，確保每一筆回傳資料皆具備明確之空間、時間與分析意義。主要欄位定義如下：

(一) intersection_id（Integer）

路口唯一識別碼，作為綠燈使用率分析之主要空間索引，供交控系統與數位雙生平台進行路口對應與定位。

(二) window_start / window_end（String）

分析時間窗之起迄時間（格式：YYYY-MM-DD HH:mm:ss），用以明確標示該筆使用率結果所對應之分析區間，確保歷史查詢與趨勢分析具備一致時間基準。

(三) approach（Integer）

路口行進方向編號，用以區分同一路口下不同方向之綠燈使用情形，支援方向別號誌效能檢討。

(四) usage（Float）

綠燈使用率分析結果，代表該時間窗內實際被車流使用之綠燈比例，為本計畫於數位雙生平台進行號誌效能呈現與比較之核心指標。

(五) pcu_count（Integer）

該時間窗內由 AI 影像辨識所統計之車流量，作為綠燈使用率計算之基礎資料之一，並可輔助進行號誌調整合理性判斷。

此外，API 回傳結果亦包含該時間窗內各方向使用率之統計指標（如最小值、最大值、平均值與標準差），使介接系統能快速掌握單一路口內各方向號誌配置之差異程度，作為後續檢討依據。

三、數位雙生平台整合應用

本期計畫 API 設計之最終目的，在於支援數位雙生平台之視覺化應用。透過標準化 API，數位雙生平台可即時查詢指定路口於特定時間窗內之綠燈使用率分析結果，並結合路口空間資訊，於視覺化介面中呈現各方向號誌效能差異。在實際應用上，綠燈使用率可作為數位雙生平台中號誌效能圖層之核心數據來源，透過顏色、數值或圖形化方式直觀呈現「綠燈是否被有效利用」，協助交通管理單位快速辨識長期使用率偏低或配置不均之路口，進而作為號誌時制調整與交通策略規劃之決策輔助工具。

(一) 3D 視覺化動態呈現：系統將分析出的綠燈使用率數據，透過 API 每 15 分鐘自動更新至數位雙生平台。在 3D 模擬環境中，以立體標註方式直接顯示各方向的綠燈使用率百分比，提供管理者直觀的空間效能資訊 。

(二) 績效分級與顏色管理：為提升決策效率，系統建立 GLUR 數值的顏色分級：

1. 紫色（過高 ≥90%）：顯示路口飽和，需增加綠燈資源。

2. 綠色（良好 70%-90%）：資源配置得當。

3. 黃色（中等 50%-70%）：有優化空間。

4. 紅色（偏低 <50%）：顯示資源浪費，建議縮減綠燈時間。

(三) 自動化告警與決策支援：系統內建「不平衡指標（Imbalance Indicator）」偵測功能，能自動計算路口各方向使用率的標準差與全距。當偵測到顯著的資源不

平衡（例如某方向過度飽和而另一方向閒置）時，系統會自動發出告警並生成「建議轉出/轉入綠燈」的調整策略 ，協助管理者快速進行時制優化。

4.3 大型活動交通影響分析模式

大型活動屬於非重現性事件，人潮在短時間內大量湧入、聚集並離開特定地點，難以透過一般長期運輸規劃模型進行需求預測與分析，故過往大型活動多以單位面積法概算活動總人數，依主辦單位經驗規劃管制範圍、替代停車場選擇等交維措施，缺乏數據導向的決策依據。隨著第五代行動通訊技術（5G）的發展，其高頻寬、低延遲及大規模物聯網連結的特性，可提供更快速、穩定的網路服務，適用於掌握大型活動期間的短期需求。

本計畫運用 5G 通訊技術掌握過往大型活動期間的人潮流向與分布趨勢，並進一步建構大型活動交通影響分析模式庫，以於大型活動前事前推估共四大分析面向之分時需求：分時人流、路段速率、接駁車需求與停車需求，作為大型活動期間人車流管制與疏導的決策參考。承前期「構建 5G 智慧交通數位神經中樞－功能擴充與精進」之計畫，本模式將延續前期臺中水湳跨年活動作為實作範例(如圖 4.3.1 所示)，以手機信令資料(Cellular-Based Vehicle Probe, CVP)作為主要使用資料，並於四大面向中闡述相關流程與精進之處，同時呈現相關推估結果。



資料來源：本計畫繪製

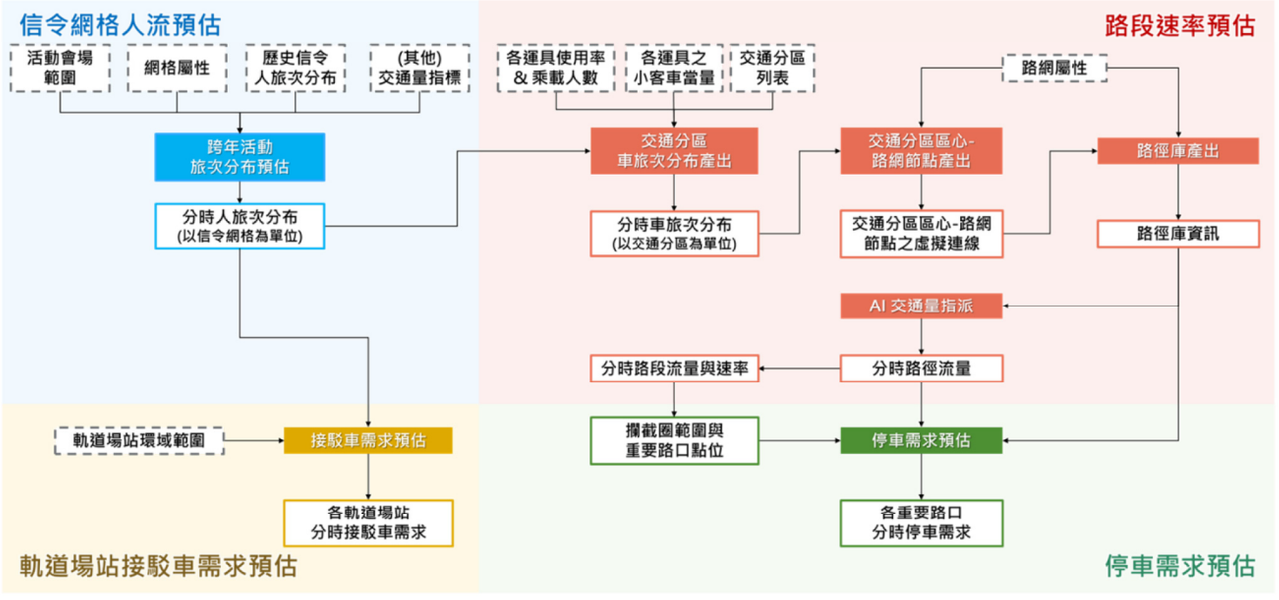
圖 4.3.1 臺中水湳跨年活動地點及其周邊重要道路

本模式的整體推估流程如圖 4.3.2 所示，共分為四大核心模組：信令網格人流預估模組、路段速率預估模組、軌道場站接駁車需求預估模組與停車需求預估模組，對應本模式於大型活動前所需推估之四大分析面向。本模式之四大核心模組主要定位為「事前管制規劃」工具，旨在透過歷史大數據模擬，於活動前提供決策者量化之預估數據，以

支援交通維持計畫之擬定與資源部署。

其中，信令網格人流預估模組係透過歷史手機信令資料，並結合其他可反映整體交通需求變化之相關資料，推估未來大型活動期間之人旅次空間分布情形。路段速率預估模組則進一步將信令網格人旅次轉換為交通分區車旅次分布，於建立交通分區間之路徑庫後，透過鼎漢自行開發之 AI 半動態交通量指派模式，預測各路徑之分時交通量，並轉換為分時路段流量及路段速率。此外，軌道場站接駁車需求預估模組可推估活動會場與各軌道場站間之分時接駁車需求；停車需求預估模組則以路段速率預估模組之輸出結果為基礎，於活動主辦方界定攔截圈範圍及重要路口點位後，計算自各重要路口進入活動會場之分時累積淨進入車旅次，以作為分時停車需求之推估結果。

本模式之各核心模組具備獨立開發與應用之彈性，並可依使用者實際需求進行調整或擴充。本節將針對四大核心模組，分別說明其建置目的、功能內容、所需輸入資料、預估流程及輸出成果。其中，本模式之輸出成果將以 2026 年跨年活動之預估結果呈現；而針對各模組建置過程中有精進之處，則將先行說明其調整或精進內容，並輔以針對前期計畫 2024 年跨年活動之預估與驗證結果進行說明，最後再呈現 2026 年跨年活動之預估結果，以完整說明本模式之應用成效。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.2 大型活動交通影響分析模式庫的整體推估流程

4.3.1信令網格人流預估模組

本模組以單元網格為基礎之歷史信令人旅次分布資料為主要資料來源，並輔以可反映整體交通需求變化之臺中捷運全系統全日運量資料進行人流預估。首先，針對

歷年跨年期間之信令人旅次分布資料與臺中捷運全系統運量進行分析，以確認兩者於跨年期間具備一定程度之相關性。其後，建立長短期記憶（Long Short-Term Memory, LSTM）模型，預測未來跨年期間之臺中捷運全系統全日運量。最後，依據歷年跨年期間信令人旅次分布與捷運運量增長率之變化關係，推估跨年活動期間各信令網格間之分時人旅次分布，作為後續大型活動交通維持計畫擬定及各時段交通疏導人力配置之重要參考依據。

與前期計畫僅依過往臺中捷運全系統全日運量增長量進行推估相比，本期計畫進一步精進人流推估流程，改以先透過 LSTM 模型預測未來跨年期間臺中捷運全系統之全日運量，再據以進行信令網格人流推估，以提升人流預估之精準度。本小節將以 2024 年跨年期間的人流預估為例，說明相關精進內容與驗證成果，並進一步推估 2026 年跨年期間之人旅次分布。

一、模組使用資料

(一) 手機信令資料

近年來公私部門常透過手機信令資料迅速掌握活動熱點與到訪人潮，於區域旅次特性資料掌握上，除透過旅次特性調查問卷取得用路人實際旅次目的與其採用之運具外，更加以利用手機信令資料進行輔助分析，以掌握整體旅次需求量，可見透過信令資料掌握用路人之旅次行為具有一定可利用價值。相較於傳統的問卷調查，手機信令資料具有即時、巨量之優勢，可快速掌握指定範圍之旅次需求與特性，更可反映特殊事件或大型活動事件下旅次行為變化與分布情形，故本計畫採用手機信令資料以作為掌握臺中市於大型活動期間之旅次起迄需求量與分布之基礎資料。

信令資料係以基地臺服務網格為單位，將基地臺訊號投射服務範圍利用三角座標進行定位，並透過空間地理資訊技術，依內政部最小統計分區，建立各分區圖資資料與其所屬之空間屬性對應資料，以利於基地臺所蒐集之數據進行空間化匹配與應用分析，因本計畫後續將以臺中水湳跨年活動當實作範例，故將臺中市以及跨年活動會場範圍手機信令資料網格切分示意圖繪製如圖 4.3.3 所示，並將手機信令資料處理流程圖繪製如圖 4.3.4 所示。手機信令資料可反映全路網之總體人旅次流向，惟其不具備直接區分運具之特性。本計畫係將其視為總需求基數，後續再透過外部調查參數進行運具組成分析。

跨年活動舉辦地雖在水湳中央公園周邊，惟本計畫考量除參與跨年活動之旅

次需求外，尚包含因通行必要性、觀光活動等所衍生之其他旅次，皆可能對臺中市整體道路路網交通量造成變化與影響。爰此，本計畫於手機信令資料之蒐集範圍設定為全臺中市，而資料蒐集涵蓋三年期跨年活動期間之全日資料，分別為：2021/12/31~2022/1/1(2022 年跨年期間)、2022/12/31~2023/1/1(2023 年跨年期間)和2023/12/31~2024/1/1(2024 年跨年期間)。當中，2022 與 2023 年跨年期間的資料將用於進行人流預估，而 2024 年跨年期間的資料將會用於驗證。

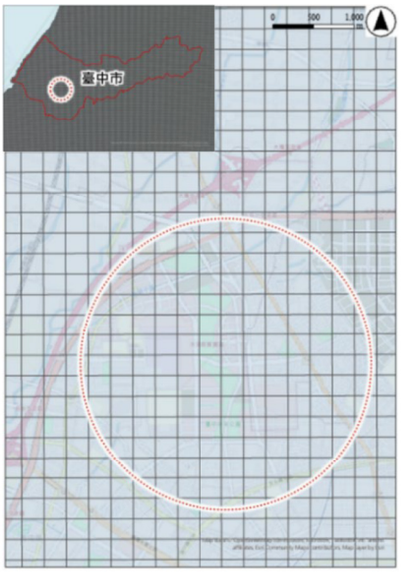


圖 4.3.3 手機信令網格切分示意圖

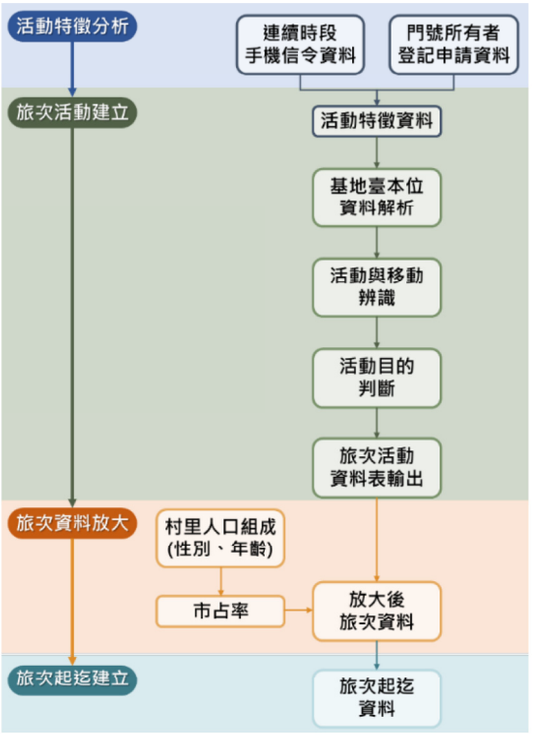
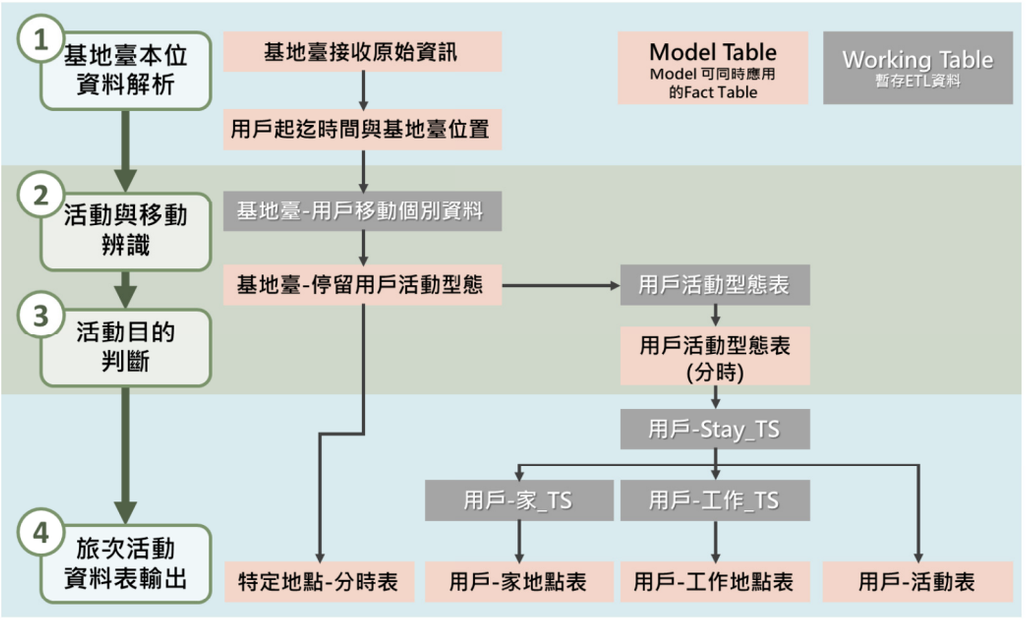


圖 4.3.4 手機信令資料處理流程圖

1. 蒐集連續時段手機信令資料進行活動特徵分析：手機信令資料屬個人化資料，需透過長時段資料的觀察以及分析，因此本計畫蒐集連續平日計畫範圍內活動的信令資料，再配合門號所有者的登記申請資料，藉以釐清個別訊號的活動特徵。

2. 利用手機信令資料建立旅次活動資料：針對資料的處理與流程包含基地臺本位資料解析、活動與移動點辨識、活動目的判斷、移動運具(機動與非機動)判讀、旅次活動資料表輸出如圖 4.3.5 所示，相關停留判斷依據為在一分析單元網格內停留 15 分鐘以上。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.5 旅次活動資料建立流程圖

3. 以村里為分析單元進行旅次資料放大處理：將透過社會經濟資料服務平臺取得村里資料為基礎分析單元，將村里中的人口組成，依其性別、年齡層進行區分，再依據取得手機信令資料於該村里單元各人口結構群組的市占率進行放大處理，若有樣本數過少之情形，再以鄰近村里樣本進行插補。

4. 建立旅次起迄資料：本計畫之手機信令資料係以個人資料為旅次分析與放大基礎，分別分析臺中市整體跨年期間旅次量、起迄分布、活動熱點，以掌握並分析臺中市大型活動期間之旅次特性，並作為後續大型活動交通影響分析模式庫之基礎輸入資料。當中，各基礎單元網格大小為 250 x 250 公尺，其資料欄位說明如表 4.3-1 所示。

表 4.3-1 臺中市手機信令資料欄位說明

欄位名稱	欄位名稱	欄位說明
o_end_date	日期	日期
o_end_week_day	星期	星期別
home_gridid	家網格編號	家網格
home_c_name	家網格縣市	家網格縣市
home_t_name	家網格鄉鎮市區	家網格鄉鎮市區
trip_purpose	旅次目的	旅次目的(HBW、HBO、NHB)
trip_type	旅次類型	旅次類型(II、IE、EI、EE)
trip_hour	旅次發生小時	旅次發生小時(出發時間與抵達時間中點，24 小時制)
od_dur_minute_flag	旅次時間長度	旅次時間長度組別
o_gridid	起點網格編號	起停留網格 ID
o_c_name	起點網格縣市	起停留縣市
o_t_name	起點網格鄉鎮市區	起停留鄉鎮市區
d_gridid	迄點網格編號	迄停留網格 ID
d_c_name	迄點網格縣市	迄停留縣市
d_t_name	迄點網格鄉鎮市區	迄停留鄉鎮市區
pass_flag	行經水湳中央公園	是否經過水湳中央公園(1=Yes/0=No)
amp_imsi_cnt	放大後旅次數	小於等於 5 以平均值取代

資料來源：本計畫彙整

(二) 臺中捷運全系統全日運量資料

因歷年跨年期間之手機信令資料不足以反映臺中水湳與其周邊地區長期運輸需求變化，本計畫爰另行蒐集可反映長期整體交通需求變化之相關資料，且該資料需與跨年期間之信令人旅次分布具備一定程度之關聯性，以作為後續信令人流推估之依據。經觀察，水湳中央公園鄰近捷運文華高中站與文心櫻花站，且臺中市政府於歷年水湳跨年活動期間，均鼓勵民眾使用上述車站後步行往返活動會場，並另安排接駁車服務往返松竹車站及捷運市政府站。基於上述交通配套措施，研判跨年期間之臺中捷運運量與停留水湳的信令人旅次之間可能具一定程度之關聯性，故進行下述之相關性分析。



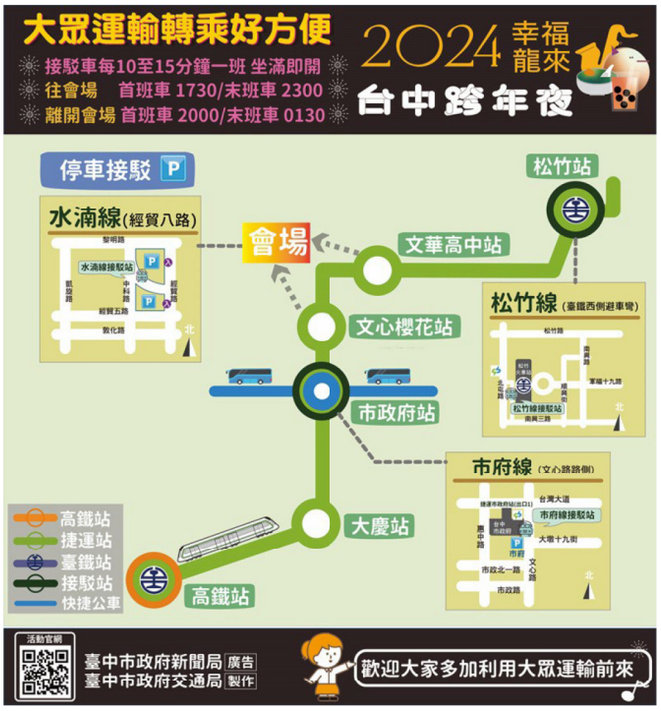
資料來源：臺中市政府。

圖 4.3.6 2022 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊



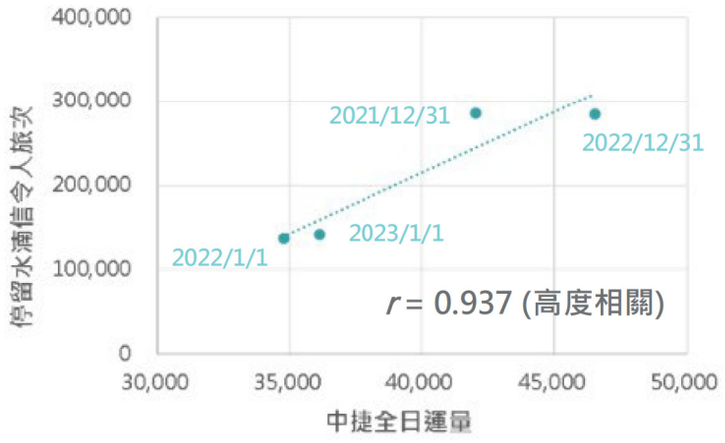
資料來源：臺中市政府。

圖 4.3.7 2023 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊



資料來源：臺中市政府。

圖 4.3.8 2024 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊

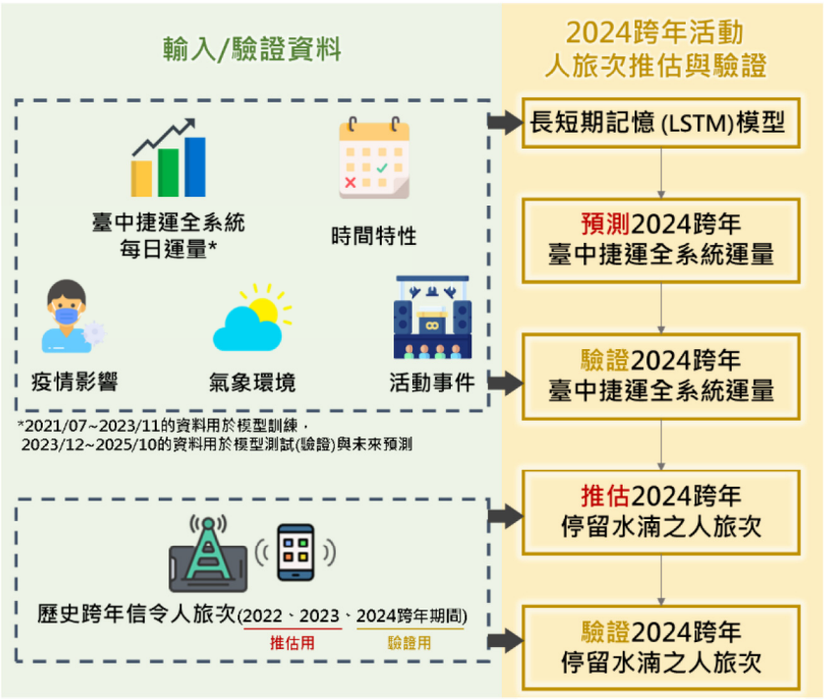


資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.9 旅次活動資料建立流程圖

二、模組預估流程與 2024 年跨年活動期間之驗證結果

相較於前期計畫，本期計畫進一步精進人流預估方法，故本節將一併說明相關預估流程與驗證方式，其整體流程如圖 4.3.10 所示。首先本模組透過 LSTM 模型預測 2024 年跨年期間之臺中捷運全系統全日運量，並以 2024 年跨年期間之實際運量資料進行驗證。隨後，依 2022 與 2023 年跨年期間停留水湳地區之信令人旅次數與捷運運量增長率之變化關係，推估 2024 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次，並同時以實際觀測之手機信令資料進行驗證。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.10 本模組預估流程與驗證方式

(一) 利用 LSTM 模型預測未來臺中捷運全系統之全日運量

圖 4.3.11 顯示 LSTM 模型所使用之輸入變數，共分為五大類，分別為：臺中捷運系統相關變數、時間特性變數、疫情影響變數、氣象環境變數及活動事件相關變數。其中，考量 2021 年及 2022 年期間之捷運運量仍受疫情因素影響，本模型於上述期間納入相對應之疫情影響變數，以反映疫情對捷運運量之影響，進而提升模型之預測能力；惟該影響因子於 2022 年 10 月 13 日臺灣入境居家檢疫措施取消後，即設定為不再影響捷運運量。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.11 LSTM 模型所使用之變數

圖 4.3.12 顯示 LSTM 模型預測臺中捷運每日運量之結果與實際觀測結果之比較。本計畫採用 Lewis (1982)所提出平均絕對值誤差百分比(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)作為判斷各類預估結果之評估指標：若 MAPE≦10%，代表模型具有高精確預估能力；若 MAPE 介於 10~20%，屬於優良的預估；若 MAPE 落在 20~50%，則屬於合理的預估；若 MAPE 超過 50%，則代表預估能力不佳。茲將 MAPE 之計算公式如下所示：

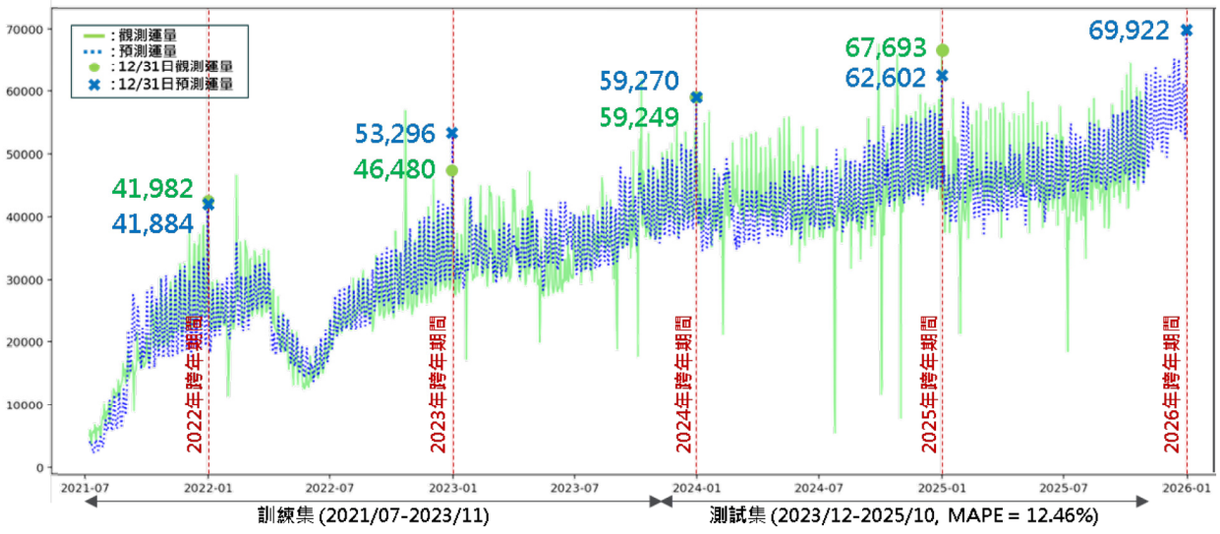
$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right|}{n},\ i = 1,2,3,\ \ldots,\ n$$

其中，y_i：樣本i之實際值

$\hat{y}_i$：樣本i之預估值

n：樣本總數。

由測試集結果可知，其每日運量之 MAPE 值為 12.46%，顯示此模型具備優良預測能力。其中，2024 年跨年期間兩日之預測運量與實際觀測運量分別為 104,497 人次與 107,825 人次，兩者差異僅約為 3.09%，顯示模型於跨年期間之運量預測具有良好準確度。



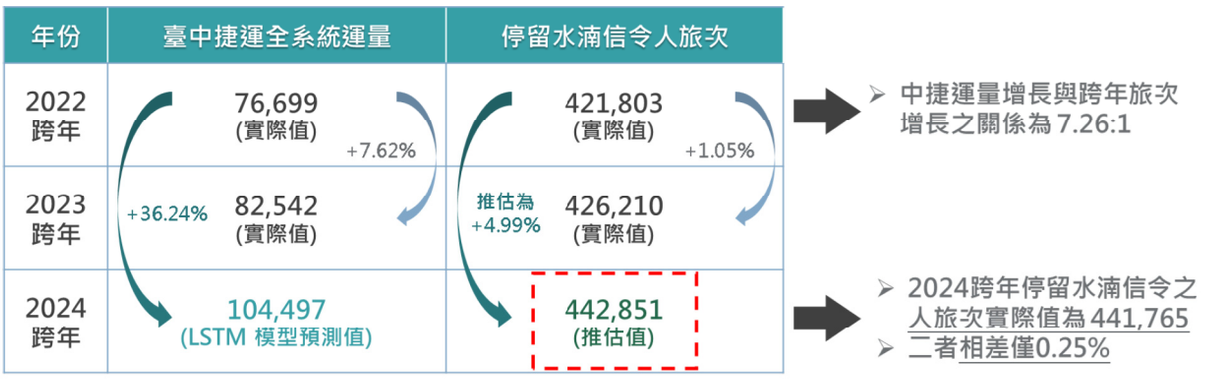
資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.12 LSTM 模型預測運量與實際觀測運量

(二) 2024 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次推估與驗證

茲將 2024 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次推估流程如圖 4.3.13 所示。首先，透過比較 2023 年跨年期間相較於 2022 年跨年期間之臺中捷運全系統運量與停留水湳地區之信令人旅次數，計算其增長率後，推得捷運運量增長與跨

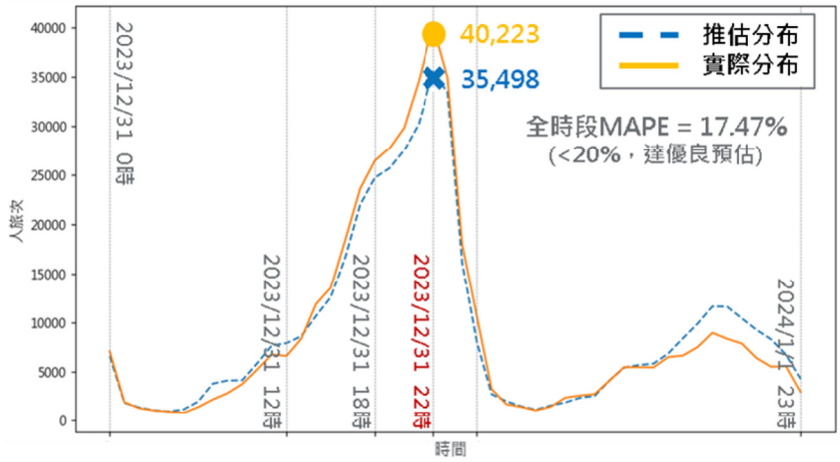
年旅次增長之關係約為 7.26：1。另進一步結合 LSTM 模型所預測之 2024 年跨年期間臺中捷運全系統運量，可推估 2024 年跨年期間停留於水湳地區之信令人旅次數為 442,851 人次。依事後蒐集之實際信令人旅次資料顯示，2024 年跨年期間停留於水湳地區之實際信令人旅次數為 441,765 人次，與推估結果之差異僅約 0.25%。相較於前期計畫僅依據過往臺中捷運全系統全日運量增長量進行推估之差異值為 2.09%，本期計畫之推估流程顯示出更高之準確性，亦說明其具有一定之合理性。



資料來源：本計畫繪製

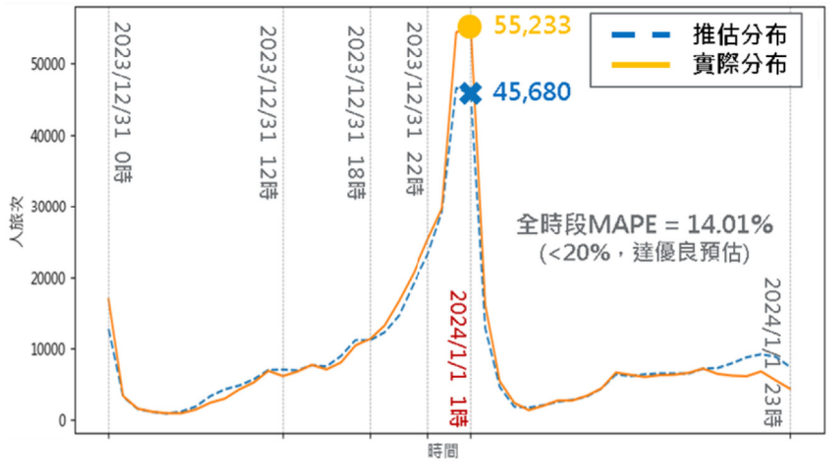
圖 4.3.13 2024 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次推估流程

根據上述推估流程，可進一步分析 2024 年跨年期間抵達與離開活動會場周邊之分時旅次分布，並將推估值與實際觀測分布進行對比。由圖 4.3.14 可發現抵達會場周邊之旅次在 12/31 日下午開始逐步增加，並於當晚 22 時達到峰值；推估與實際之分時分布趨勢相同，且其 MAPE 值為 17.47%，顯示此推估方法具優良預估能力。而由圖 4.3.15 可知，離開活動會場的旅次主要集中於 1/1 日的 0 時至 1 時，其中於凌晨 0 時大幅增加，並於 1 時達到峰值；其推估趨勢與實際觀測趨勢相符，MAPE 值亦僅為 14.01%。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.14 2024 年跨年活動期間抵達活動會場周邊的分時旅次分布

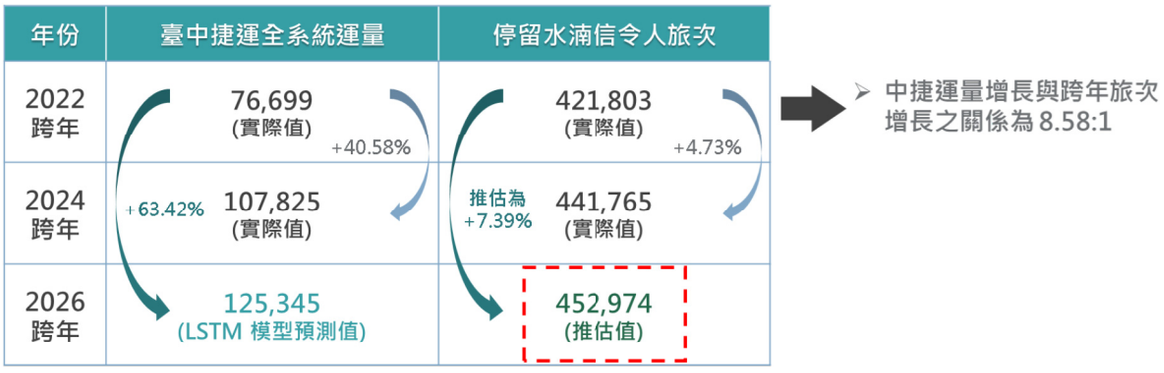


資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.15 2024 年跨年活動期間離開活動會場周邊的分時旅次分布

三、2026 年跨年期間人流預估結果

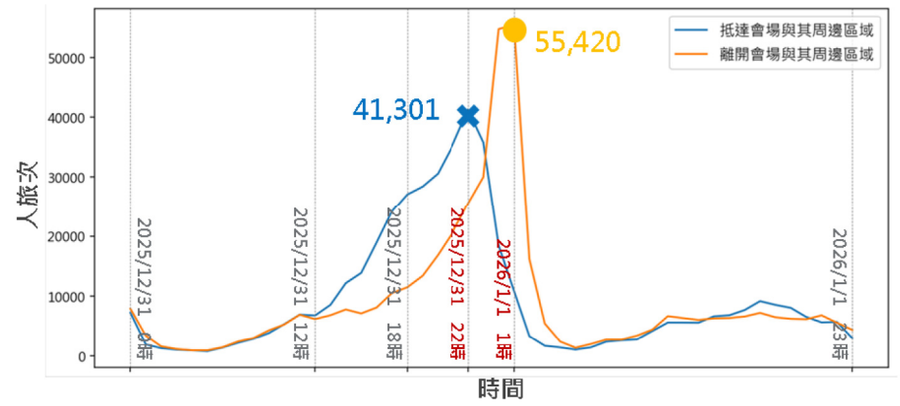
鑒於本推估方法於 2024 年跨年活動期間之驗證顯示優良預估能力，本計畫進一步利用此方法預估 2026 年跨年期間之信令人流，其推估流程如圖 4.3.16 所示。首先，透過比較 2024 年跨年期間相較於 2022 年跨年期間之實際臺中捷運全系統運量與停留水湳地區之信令人旅次數，計算其增長率後，推得中捷運量增長與跨年信令旅次增長之關係為 8.58：1。另使用 LSTM 模型所預測之 2026 年跨年期間臺中捷運全系統運量(125,345 人次)，可進一步推估 2026 年跨年期間停留於水湳地區之信令人旅次數為 452,974 人次。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.16 2026 年跨年活動期間停留水湳地區之信令人旅次推估流程

茲將所推估 2026 年跨年活動期間抵達與離開活動會場與其周邊區域之分時旅次分布如圖 4.3.17 所示。當中，抵達活動會場周邊的旅次在 12/31 日下午逐步增加，並於當晚 22 時達到峰值；離開活動會場周邊的旅次集中於跨年活動倒數結束後，並於 1/1 日凌晨 1 時達到峰值，整體趨勢與 2024 年跨年活動期間相似。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.17 2026 年跨年活動期間抵達與離開活動會場周邊的分時旅次分布

四、人流預估流程之探討

本模組以手機信令資料掌握臺中市歷年跨年活動期間之旅次分布作為基礎資料，並輔以臺中捷運全系統每日運量資料進行人流預估。整體預估流程經 2024 年跨年活動期間之人流驗證，結果顯示本推估方法具備良好之預測能力。然而，該方法仍存在以下限制：

(一) 手機信令資料之取得涉及成本考量，於部分情境下可能不易取得。針對無法取得手機信令資料之情況，可改以其他以單元網格為基礎之歷史人旅次分布資料作為替代資料來源，例如以 IoT 感測器覆蓋單元、CCTV 設備覆蓋單元、建物區塊網格、行政區網格，或其他空間型網格與設施單元等為基礎之旅次分布資料進行推估；惟相關人旅次分布資料需能完整涵蓋大型活動交通影響分析之整體空間範圍，以確保推估結果之合理性。

(二) 本模組之推估方法係基於活動會場鄰近捷運站，且臺中捷運運量與停留於活動會場之信令人旅次數呈現正相關之前提，並以捷運運量資料作為反映活動會場及其周邊地區長期運輸需求變化之交通量指標。然而，並非所有大型活動場域皆符合上述條件。針對此情形，建議未來應因地制宜，依場域屬性選用適當之交通量指標，包含但不限於捷運運量、公路客運運量、臺鐵運量、道路交通流量、共享運具使用量，或其他可反映整體交通運輸需求變化之指標，以作為人流推估之依據。

(三) 未來亦可透過蒐集更長期之歷史人旅次分布資料及更多元之輔助資料，例如天氣狀況、各基礎單元網格之土地使用變化、居住與就業人口、活動規模與性質等變數，並結合人工智慧（Artificial Intelligence, AI）方法進行模式建立，

直接預測基礎單元網格之間的旅次量，以進一步提升大型活動期間旅次分布預測之準確性與適用性。

4.3.2路段速率預估模組

本模組將信令網格人流預估模組所產出之預估人旅次分布轉換為以交通分區為單位之車旅次分布，並結合公路路網屬性資料建構各交通分區間之路徑庫資料，可進一步透過鼎漢自行開發之 AI 半動態交通量指派模式，於事前預估大型活動期間活動會場周邊道路之分時路段流量，最後再透過 BPR 函數(Bureau of Public Roads Function)所建立之旅行成本函數將分時路段流量轉換為分時路段速率，可作為大型活動交通維持計畫與人車流導引策略擬定之參考依據。此外，本模組將 CVP 人旅次轉換為車流量之過程中，係導入「運具使用比」與「乘載人數」兩項外部關鍵參數。透過此邏輯，可將人流動態依比例映射為各向之小客車當量 (PCU)。

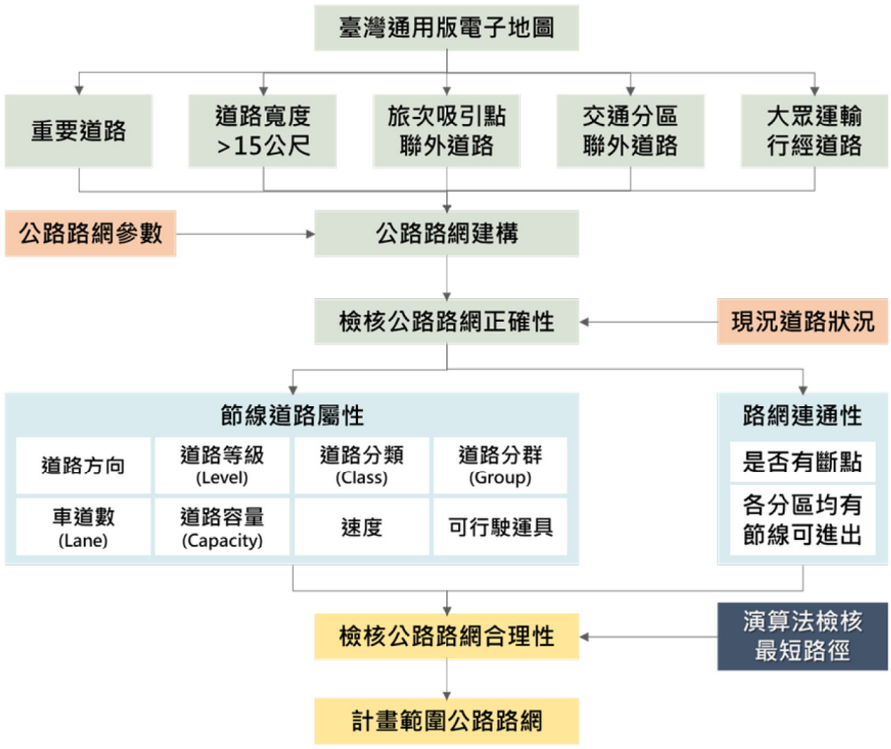
鑒於本期計畫與前期計畫所採用之方法一致，且前期計畫已針對 2024 年跨年活動期間活動會場周邊之推估路段速與 GVP（GPS-based Vehicle Probe）資料之實際路段速率進行驗證，並達到 1.39%之高精確預測能力，爰此，本小節不再重複說明相關驗證細節，並將以說明重點預估流程與 2026 年跨年期間之路段速率預估結果為主。

一、模組使用資料

除使用信令網格人流預估模組所產出之預估人旅次分布資料外，本模組亦使用公路路網屬性資料，作為用路人進行路徑選擇時之影響變數，並用於將路段流量轉換為路段行車速率之計算依據。以下就公路路網之建置進行說明。

巨觀模型路網建置主要係由公路路網中節線(Link)、節點(Node)、交通分區中心點(Centroid)所構成，節點為道路之交叉點，兩交叉點間之路段則為節線，而交通分區中心點代表交通分區的旅次產生及吸引點，為所有旅次之重心點。公路路網於運輸規劃模型中扮演之公用包含計算分區與分區間之最短路徑、行駛時間或行駛成本，以提供後續模擬各旅次分布所選擇之行駛路徑，藉此求得路網上所有旅次需求之交通量指派結果。

圖 4.3.18 呈現本計畫公路路網編修之流程圖。同前期計畫，本模組以內政部國土測繪中心「臺灣通用電子地圖」為基礎進行生活圈公路路網之建構，並參考「中臺區域整體運輸規劃系列研究」[86]所設定之公路路網道路屬性參數，再依據現況道路狀況與 2026 年跨年活動道路管制計畫，針對活動場域(水湳中央公園)周邊道路進行細化與編修。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.18 公路路網編修流程圖

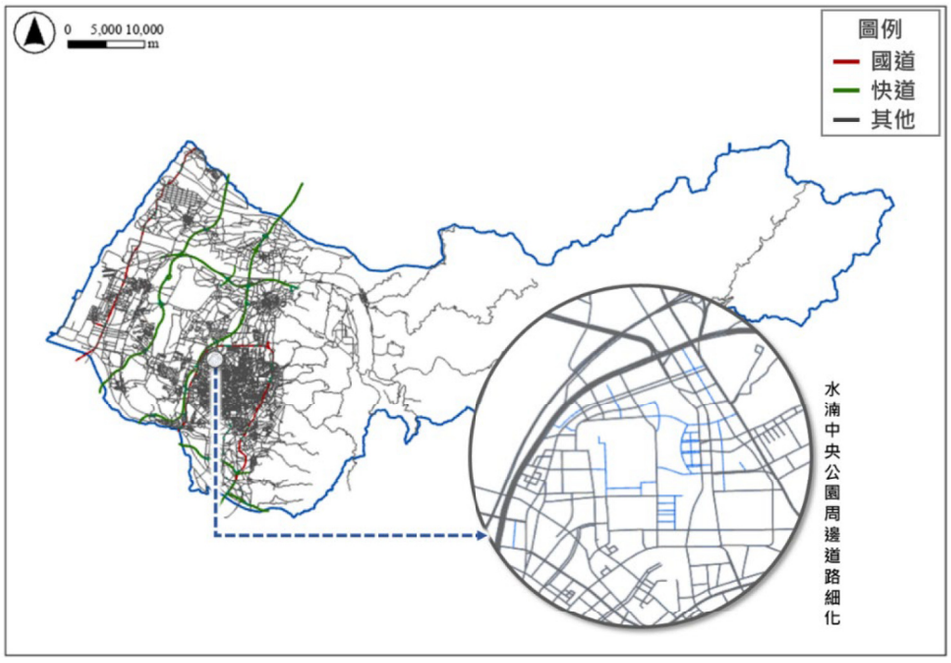
(一) 公路路網建構

同前期計畫，本期計畫亦以內政部國土測繪中心之「臺灣通用電子地圖」為基礎，篩選出臺中市範圍內重要道路，並保留道路寬度較寬者、大眾運輸行經道路者、交通分區聯外道路者、旅次吸引點聯外道路者等，並透過 Google Map 街景現況、縣府或政府公開資料查詢平臺提供之道路資料進行道路檢核。本計畫路網建構以 GIS 軟體編修，路網建構原則說明如下：

1. 保留計畫範圍內重要道路以符合計畫範圍內交通特性。
2. 保留道路寬度多於 15 公尺。
3. 保留大眾運輸行經道路以供大眾運具通行。
4. 保留交通分區聯外道路以保持各交通分區進出之完整性。
5. 保留重要旅次吸引點聯外道路，以確保各交通分區人口聚集地之聯通性。
6. 同一路段以一條節線為原則，但高快速公路、高架道路則以兩條不同方向之單向節線建立。
7. 部分快慢分隔之道路予以簡化。

本計畫所建立之公路路網如圖 4.3.19 所示，範圍涵蓋臺中市之國道、快速道

路、省道、市道、區道與其他主要道路。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.19 臺中市簡化版公路路網(編修後)

(二) 公路路網參數

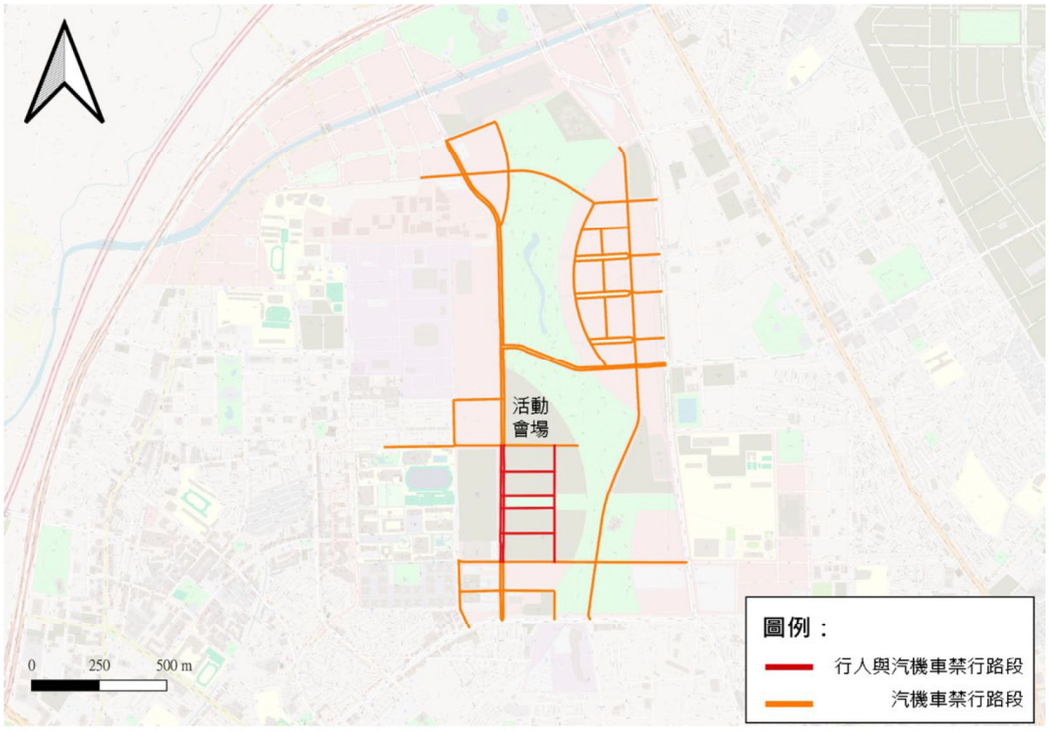
與前期計畫相同，本期計畫亦參考「中臺區域整體運輸規劃系列研究」所設定之路網參數建構本計畫範圍之公路路網，並根據現況道路進行路網更新與編修，經編修後產出之公路路網屬性說明詳如表 4.3-2 所示。另因各公路路網參數（如道路等級、道路分類、旅行成本參數及容量設定）皆與前期計畫一致，爰此不再重複說明。惟鑒於本期計畫需進行 2026 年跨年活動期間之交通影響分析，故特別針對 2026 年跨年活動期間之交通管制計畫路段進行細部編修與調整(如圖 4.3.20 所示)，以避免車輛於交通量指派過程中行經該等管制路段。

表 4.3-2 公路路網屬性說明表

欄位名稱(英)	欄位名稱(中)	欄位名稱(英)	欄位名稱(中)
NO	節線編碼	ROADNAME	道路名稱
STATE_2026	2026 年跨年管制路段	IMPT_DIR	(0,1)=(雙向,單行)
TSySet	可使用運具別	Length	道路長度(km)
FromNodeNO	節線起點編號	ToNodeNO	節線迄點編號
V0PrT	道路自由車流速率	CapPrT	道路容量
LEVEL	道路等級	NMT	禁行機車
CLASS	道路分類	NBUS	禁行公車

欄位名稱(英)	欄位名稱(中)	欄位名稱(英)	欄位名稱(中)
GROUP	道路分群	NTK	禁行大貨車
NumLanes	車道數	CAPACITY	道路容量
$\propto$	節線 BPR 函數 $\propto$ 值	β	節線 BPR 函數 β 值

資料來源：「中臺區域整體運輸規劃系列研究」，本計畫彙整



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.20 2026 年臺中跨年晚會活動交通管制計畫圖

二、模組預估流程

與前期計畫相同，本模組將所預估之人旅次分布轉換為以交通分區間之車旅次分布，並結合公路路網屬性資料建構各交通分區間之路徑庫資料。隨後，透過鼎漢工程顧問公司自行研發之 AI 半動態交通量指派模式，可於事前預估跨年活動期間會場周邊道路之分時路段流量，最後再藉由 BPR 函數所建立之旅行成本函數將路段流量轉為路段速率。

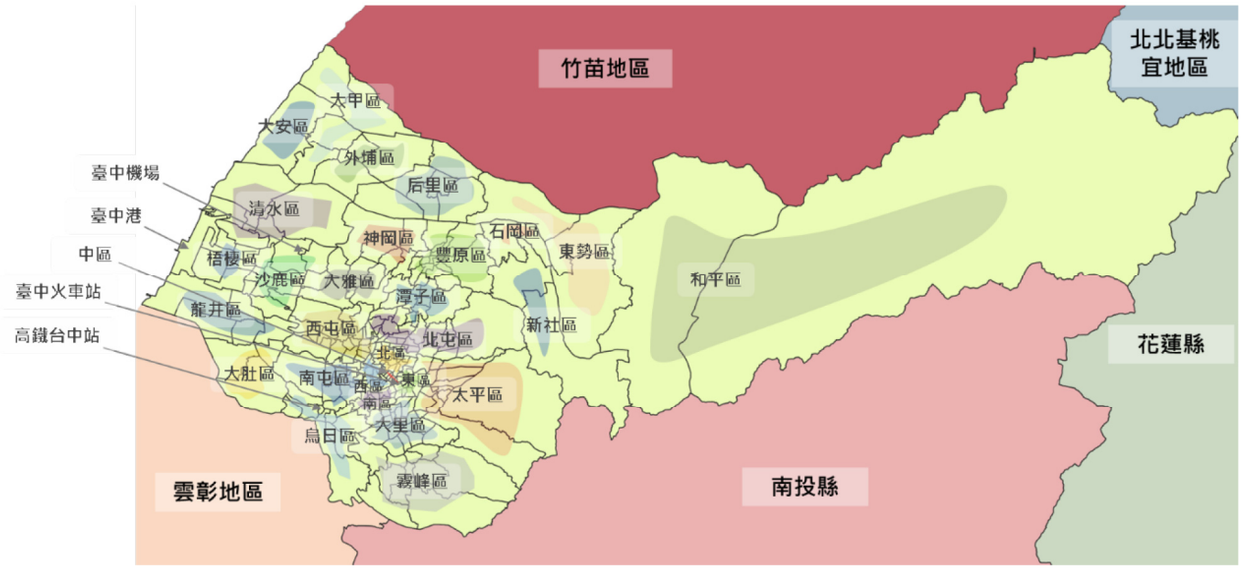
(一) 信令人旅次分布轉換為交通分區間之車旅次分布

1. 交通分區劃分

由於手機信令資料之分析尺度以 250 公尺之矩形網格為單位，網格數眾多且遍布全臺，不適於旅次分析與交通量指派使用，故本計畫延前期計畫作

法，以交通分區作為交通量指派的分析空間單元。交通分區之劃分目的在於將研究範圍依照不同地區特性劃分為若干交通分區，並進行資料分析與預測，以解釋與分析交通分區間之旅次行為及特性。

本計畫將行政區內數個村里組成一個交通分區，共劃設 268 個界內交通分區。並考量鐵路與公路轉乘、港區貨運、機場客貨運等特性劃設 4 個交通場站分區，分別為高鐵臺中站、臺中火車站、臺中港、臺中機場；而界外交通分區則以臺中市與界外之聯通道路歸類為 6 個界外交通分區，分別為北北基桃宜地區、竹苗地區、雲彰地區、中南部和臺東地區、南投地區、花蓮地區，因此本計畫共計 278 個交通分區，如圖 4.3.21 與表 4.3-3 所示。



註：中南部和臺東地區並未列出。

圖 4.3.21 交通分區示意圖

表 4.3-3 交通分區列表

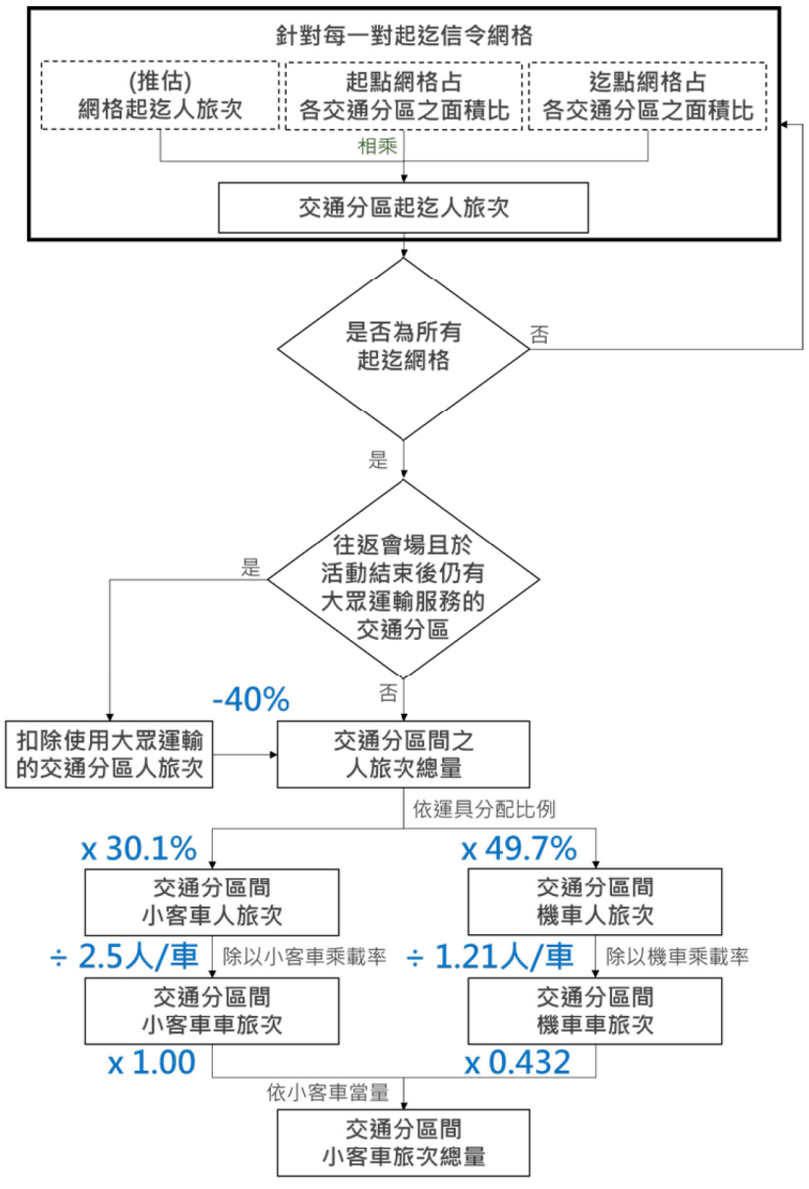
分區	涵蓋範圍	分區數量
區內交通分區	中區	4
	東區	12
	南區	10
	西區	16
	北區	20
	西屯區	22
	南屯區	13
	北屯區	24
	豐原區	17

	東勢區		3
	大甲區		4
	清水區		6
	沙鹿區		11
	梧棲區		6
	后里區		6
	神岡區		5
	潭子區		11
	大雅區		7
	新社區		2
	石岡區		2
	外埔區		3
	大安區		2
	烏日區		9
	大肚區		3
	龍井區		5
	霧峰區		11
	太平區		14
	大里區		18
	和平區		2
交通場站分區	高鐵臺中站		4
	臺中火車站		
	臺中港		
	臺中機場		
界外交通分區	北北基桃宜地區	臺北市、新北市、基隆市、桃園市、宜蘭縣	6
	竹苗地區	新竹縣、新竹市、苗栗縣	
	雲彰地區	雲林縣、彰化縣	
	中南部和臺東地區	嘉義縣、嘉義市、臺南市、高雄市、屏東縣、臺東縣	
	南投地區	南投縣	
	花蓮地區	花蓮縣	
總計			278

資料來源：本計畫彙整

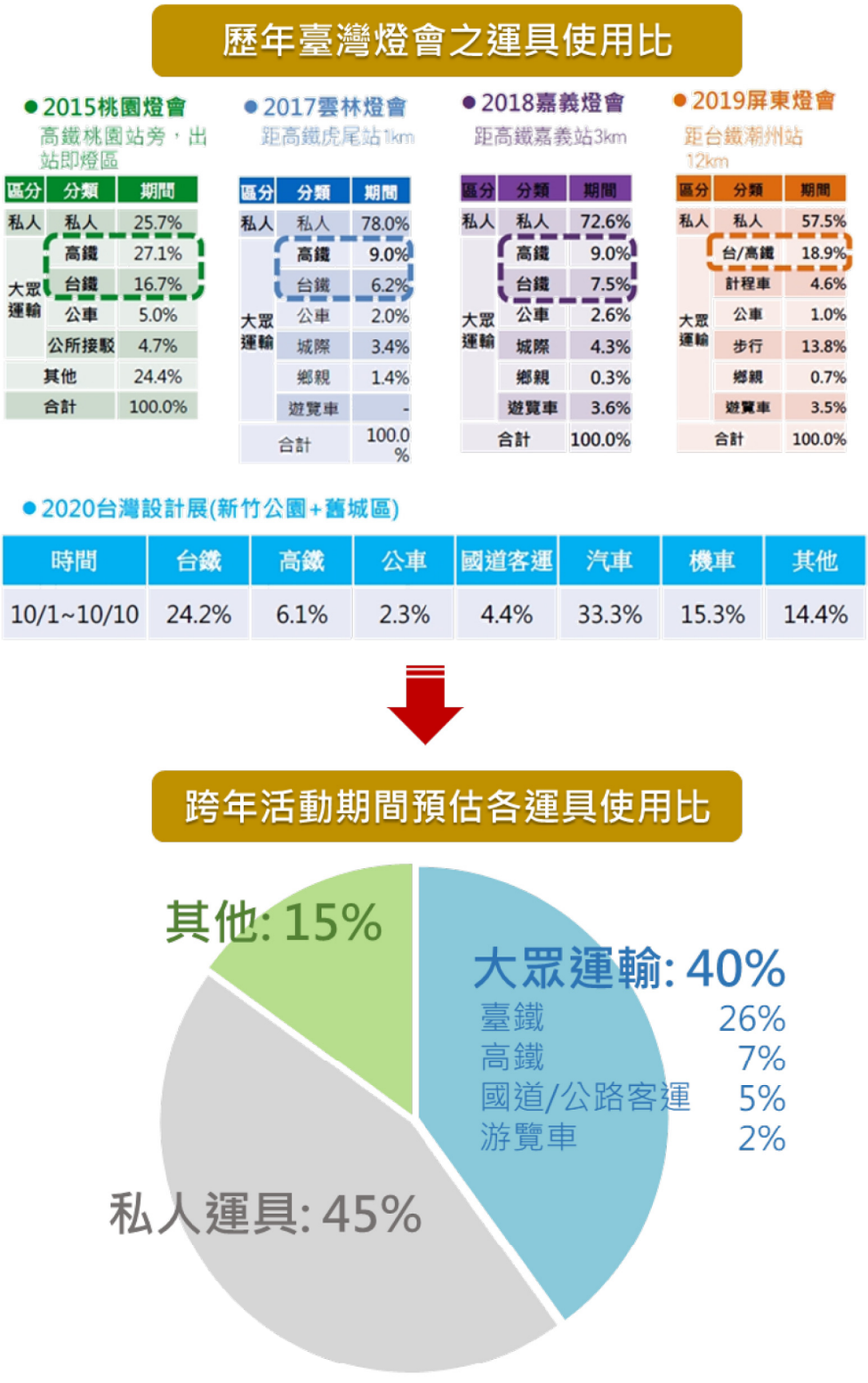
2. 2026 年跨年期間推估信令人旅次轉為交通分區間車旅次

茲將信令人旅次轉換為交通分區車旅次之整體流程如圖 4.3.22 所示。因跨年活動期間，部分民眾會使用軌道或公車客運等大眾運輸服務往返會場，依歷年臺灣燈會之運具使用比，本模組預估使用大眾運輸往返會場的人旅次占交通分區間之人旅次總量之 40%，相關分結果可彙整如圖 4.3.23 所示。另因使用大眾運輸入場之民眾於活動結束後一般亦搭乘大眾運輸離場，故本計畫優先找出如圖 4.3.24 所示跨年活動後仍提供軌道或公車客運服務之交通分區，並將使用大眾運輸往返會場的人旅次自該交通分區的人旅次總量中扣除後進行私人運具於公路路網之交通量指派。



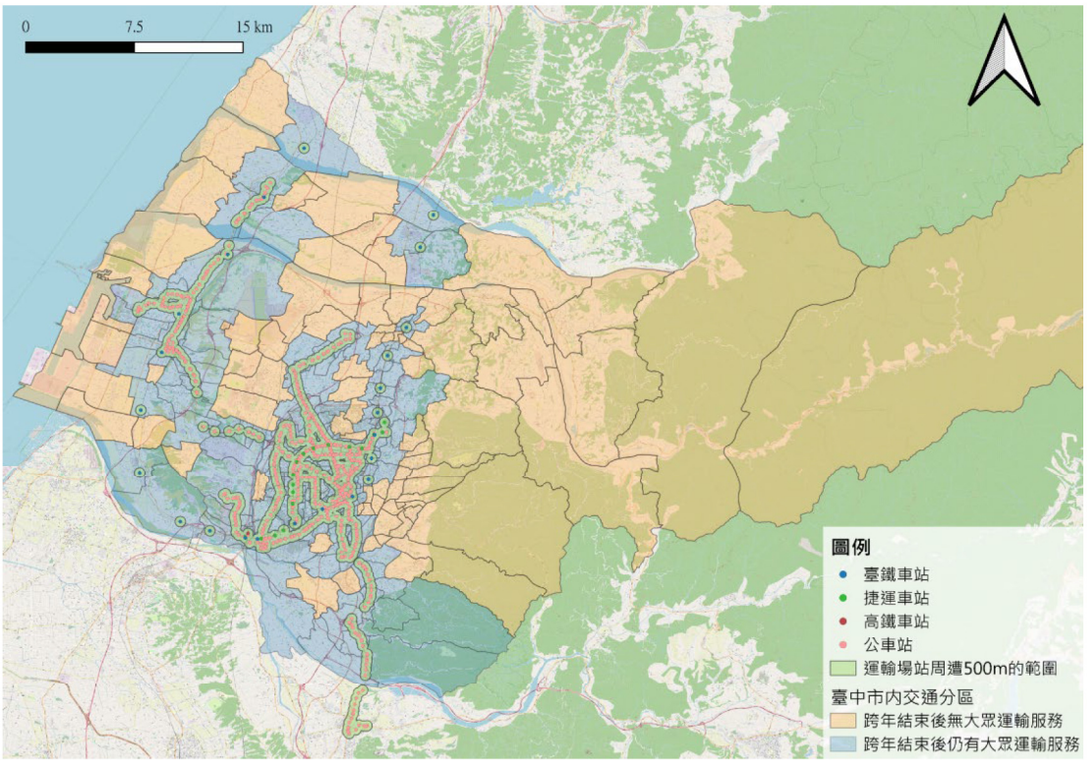
資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.22 信令網格人旅次轉換為交通分區車旅次總量之流程



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.23 由歷年臺灣燈會之運具使用比推估本示範活動各運具使用比



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.24 跨年活動後仍提供大眾運輸服務之交通分區

另參考交通部統計處發布「111 年民眾日常使用運具狀況調查摘要分析」之中部地區外出民眾運具次數市占率，取自用小客車市占率為 30.1%、機車市占率為 49.7%，可將交通分區間之人旅次總量拆分為小客車和機車人旅次。本計畫亦參考交通部統計處發布「111 年自用小客車使用狀況調查報告」和「111 年機車使用狀況調查報告」，中部地區平假日自用小客車最常乘坐人數(含駕駛人)和機車最常乘載人數(含駕駛人)為本計畫之乘載率，小客車平日為 1.7 人、小客車假日為 2.5 人、機車為 1.21 人，可將交通分區間之小客車和機車人旅次分別轉換為小客車和機車車旅次，再透過小客車當量可將交通分區間之小客車和機車車旅次轉換為交通分區間之車旅次(PCU)總量，最終產出之交通分區車旅次分布如 4.3-4 所示。

為掌握與推估於大型活動期間，交通分區間之車旅次起迄需求於臺中市道路路網中之流量分布情形，需建立各分區區心與道路節點之虛擬連線，其交通分區區心透過虛擬連線與道路節點連線之對照資訊如表 4.3-5 所示。

表 4.3-4 交通分區起迄表

欄位名稱(英)	欄位名稱(中)	欄位說明
o_end_date	日期	日期
trip_hour	旅次發生小時	旅次發生小時(出發時間與抵達時間中點，24 小時制)
o_zoneid	起點分區	起點交通分區編號
d_zoneid	迄點分區	迄點交通分區編號
od_zone_pcu_trip	交通分區車旅次	起迄交通分區之間的車旅次(PCU)

資料來源：本計畫彙整

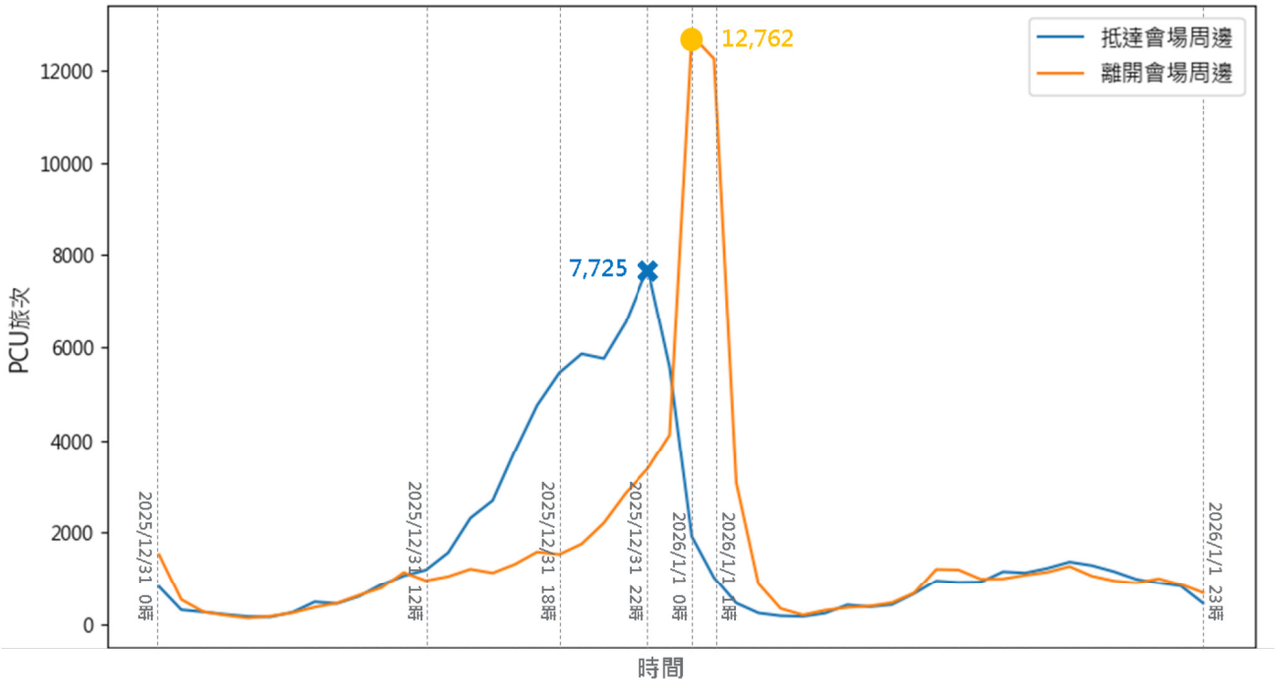
表 4.3-5 交通分區區心與道路節點對照起迄表

欄位名稱(英)	欄位名稱(中)	欄位說明
o_end_date	日期	日期
o_end_week_day	星期	星期別
trip_purpose	旅次目的	旅次目的(HBW、HBO、NHB)
trip_type	旅次類型	旅次類型(II、IE、EI、EE)
trip_hour	旅次發生小時	旅次發生小時(出發時間與抵達時間中點，24 小時制)
o_zoneid	起點分區	起點交通分區編號
o_zone_lon	起點區心經度	起點交通分區區心經度
o_zone_lat	起點區心緯度	起點交通分區區心緯度
o_nodeid	起點節點	起點路網節點編號
o_node_lon	起點節點經度	起點路網節點經度
o_node_lat	起點節點緯度	起點路網節點緯度
d_zoneid	迄點分區	迄點交通分區編號
d_zone_lon	迄點區心經度	迄點交通分區區心經度
d_zone_lat	迄點區心緯度	迄點交通分區區心緯度
d_nodeid	迄點節點	迄點路網節點編號
d_node_lon	迄點節點經度	迄點路網節點經度
d_node_lat	迄點節點緯度	迄點路網節點緯度
od_zone_pcu_trip	交通分區車旅次	起迄交通分區之間的車旅次(PCU)

資料來源：本計畫彙整

將圖 4.3.14 和圖 4.3.15 中所有前往抵達和離開會場周邊的分時人旅次，依圖 4.3.22 所述之流程轉換為分時車旅次。圖 4.3.25 所示為 2026 年跨年期間抵達和離開會場周邊之推估分時車旅次結果，可觀察抵達會場周邊的旅次自 12/31 日中午 12 時後逐步增加，並於當日晚間 22 時達到高峰，達 7,725 車旅

次；而離開會場周邊的車旅次則於下午 18 時陸續增加，且其車旅次呈現高度集中現象，主要集中於 1/1 日 0~1 時，並於凌晨 0 時達至尖峰且突破 12,000 車旅次。基於上述分析結果，相關交通維持管理單位應於上述入場與離場尖峰時段適度增加交通疏導人力與管制作為，以有效引導人車流動並維持活動會場周邊道路之服務水準；相關應變與疏導策略之詳細內容，將於「大型活動交通疏導應變知識庫」小節中進行說明。



資料來源：本計畫彙整

圖 4.3.25 本計畫推估 2026 年跨年期間抵達和離開會場周邊分時車旅次

3. 路徑庫建置

透過建置巨觀模型路網並依 2026 年跨年活動之交通管制計畫，本模組已對水湳中央公園周邊道路進行細化與編修，另為考慮整體路網的旅次分布需求，進一步構建各起迄間不分車種之路徑庫資訊。針對各起迄交通分區依據可行駛時間或行駛距離，利用 Yen's 演算法[90]可求出臺中市範圍內各起迄下之所有可行路徑。茲將路徑庫資訊之欄位建置如表 4.3-6 所示，同時結合表 4.3-2 所示之公路路網屬性，可掌握路徑上各節線屬性，以供後續路徑交通量指派模式進行路網交通量推估使用。

表 4.3-6 路徑庫資訊之說明表

欄位名稱(英)	欄位名稱(中)	欄位說明
o_zoneid	起點分區	起點交通分區編碼
o_nodeid	起點節點	起點路網節點編碼
d_zoneid	迄點分區	迄點交通分區編碼
d_nodeid	迄點節點	迄點路網節點編碼
path_id	路徑序號	該對起迄交通分區的路徑 ID (依照路徑成本由小至大排序)
path_cost	路徑成本	路徑的行駛時間(秒)或行駛距離(公里)
path_seq	節線序號	路徑所經節線順序
l_id	節線	節線編碼
l_fromnodeNO	節線起點	節線起點編號
l_tonodeNO	節線迄點	節線迄點編號
cum_time	累積行駛時間	自起點路網節點至該節線迄點的行駛時間(秒)

資料來源：本計畫彙整

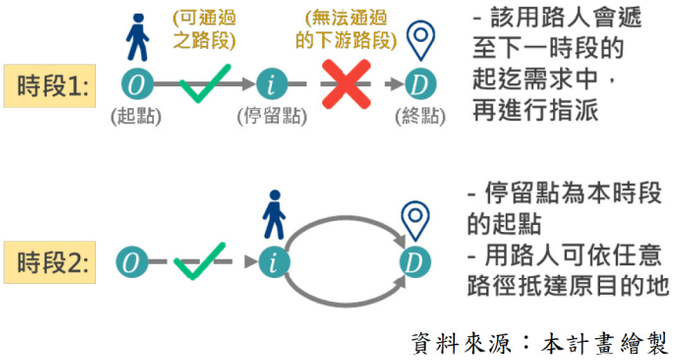
4. 交通量指派模式的建立

依據前述推估之 2026 年跨年活動期間車旅次需求，並結合 2026 年跨年活動期間交通管制計畫所建置之臺中市路網路徑庫資料，本期計畫透過顧問公司自行研發之 AI 半動態交通量指派模式，進行跨年活動期間之多時段路徑指派分析。AI 半動態交通量指派模式之輸入資料為以交通分區為基礎之車旅次需求分布以及各交通分區之間的路徑庫資訊，經本模式可產製出 2026 年跨年活動期間臺中市路網範圍內所有道路之道路流量(PCU)，作為後續於大型活動交通疏導應變知識庫的參考依據之一。

於跨年活動期間，各時段皆有旅次需求由不同交通分區陸續抵達活動會場，或由活動會場離開至各交通分區。本計畫假設各時段之時長為一小時，並採半動態交通量指派之概念，於跨年活動期間進行多時段交通量指派，同時考量不同時段旅次遞延之影響，其相關說明如圖 4.3.26 所示。

假設一民眾所處起點交通分區距會場所處迄點交通分區之最短旅行時間長於一小時，可知該用路人將無法於該單一時段內抵達迄點交通分區，進而停留於於路網中的某一節點中(如圖中所示之 i 點)。於實際情況中，該用路人將於下一時段由 i 點出發繼續前往活動會場。然而，傳統之連續性靜態交通量指派係於多個時段中分別進行相互獨立之靜態指派，且假設用路人皆可

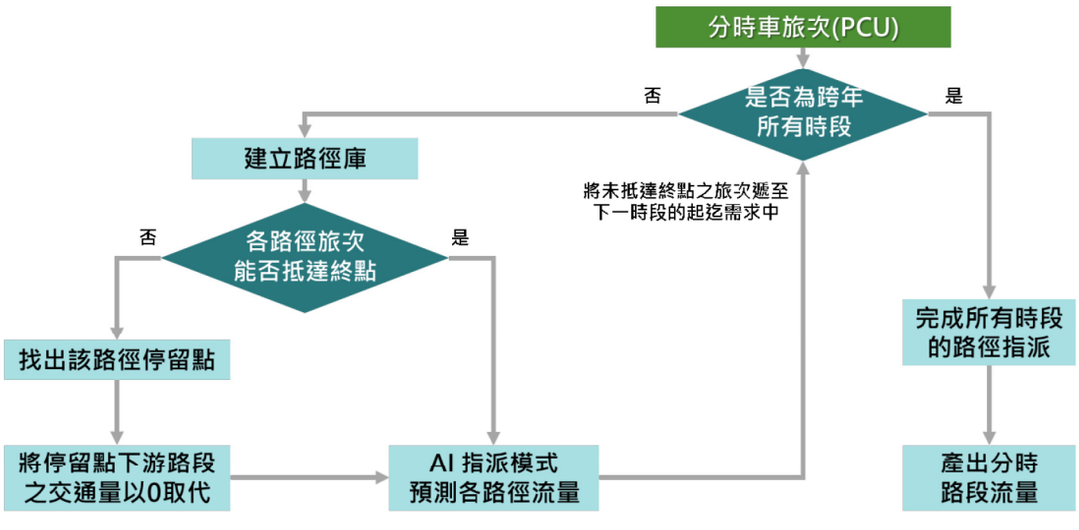
於單一時段抵達目的地，無法反映此類跨時段旅次遞延之情形。爰此，本計畫延前期計劃，使用半動態交通量指派之概念，以考量旅次遞延對交通量指派之影響。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.26 半動態指派示意圖

半動態交通量指派的核心概念乃於各時段進行靜態指派，找出各路徑於該時段的停留點，並將無法抵達迄點分區之旅次遞延至下一時段的起迄需求中，於下一時段繼續進行靜態指派，相關分析流程如圖 4.3.27 所示。本計畫於掌握 2026 年跨年活動期間分時車旅次起迄需求後，於各時段建立路徑庫並透過 AI 交通量指派模式，以靜態指派之方式預測各路徑交通量。隨後，計算各路徑的旅次能否於該時段內抵達迄點分區，亦即判段表 4.3-6。所述「path_cost」之路徑行駛時間是否多於該時段時長，若該旅次無法於該指派時段抵達迄點分區，則將這些用路人加入至下一時段的車旅次起迄需求中，並於下一時段自其停留點分區出發繼續前往迄點分區。上述步驟將於各時段重複進行，直至完成所有時段之交通量指派。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.27 半動態指派流程圖

5. 2026 年跨年期間活動周邊之分時路段速率預估結果

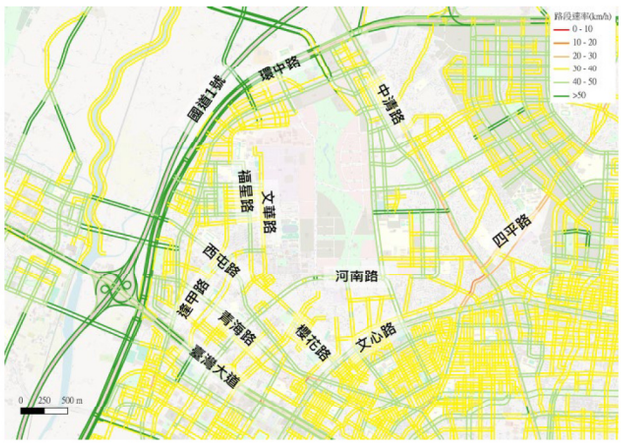
利用上述經前期計畫驗證之 AI 半動態交通量指派模式，可進一步推估 2026 年跨年活動期間臺中市整體路網上之各路段流量，並透過路段 BPR 函數與容量將路段流量轉換為路段速率，供後續進一步規劃相關交通疏導應變策略及擬定相關管制措施。依圖 4.3.25 所示之 2026 年跨年期間抵達及離開活動會場周邊之分時車旅次推估結果，可知民眾自跨年當日(12/31)中午 12 時後即陸續進場，直至隔日(1/1)凌晨 1 時後始完成離場，故本期計畫特別呈現 12/31 日上午 11 時間至 1/1 凌晨 2 時之半動態交通量指派分析結果，供掌握活動期間進出場車旅次對周邊道路速率之動態影響。



2025/12/31 11:00



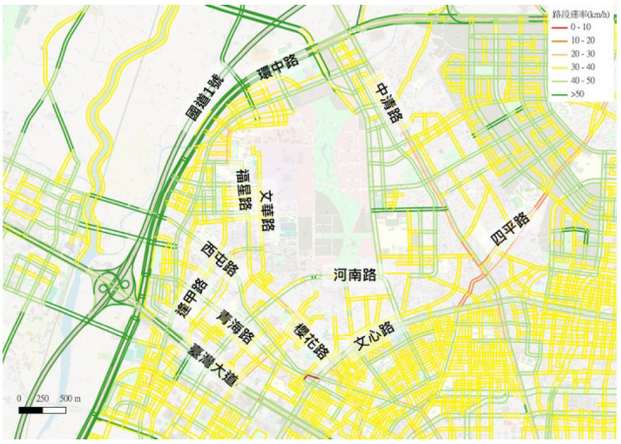
2025/12/31 12:00



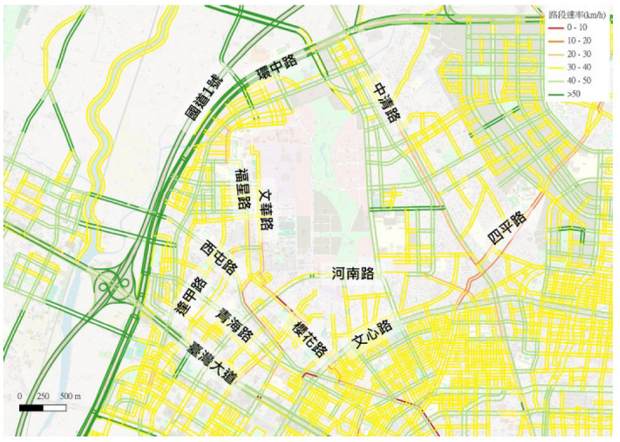
2025/12/31 13:00



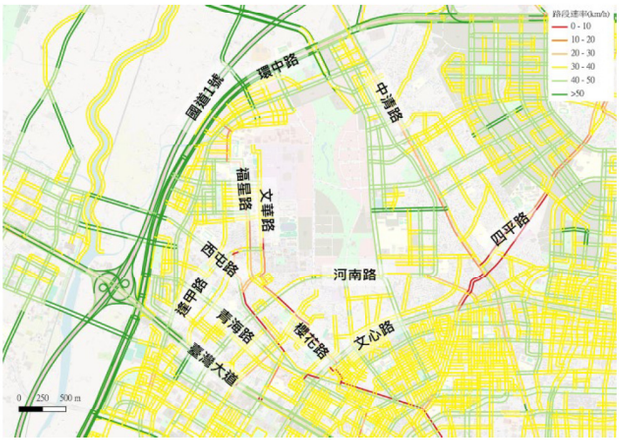
2025/12/31 14:00



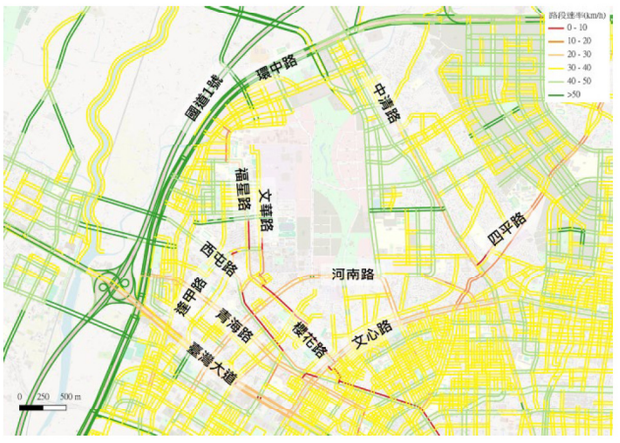
2025/12/31 15:00



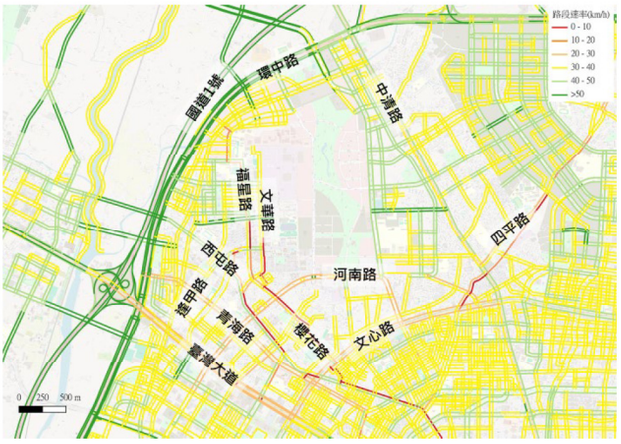
2025/12/31 16:00



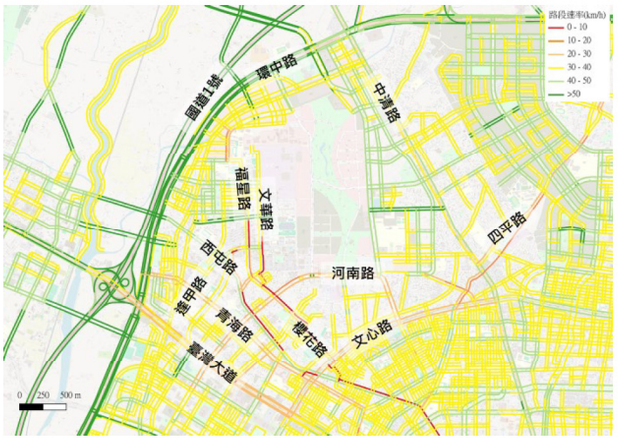
2025/12/31 17:00



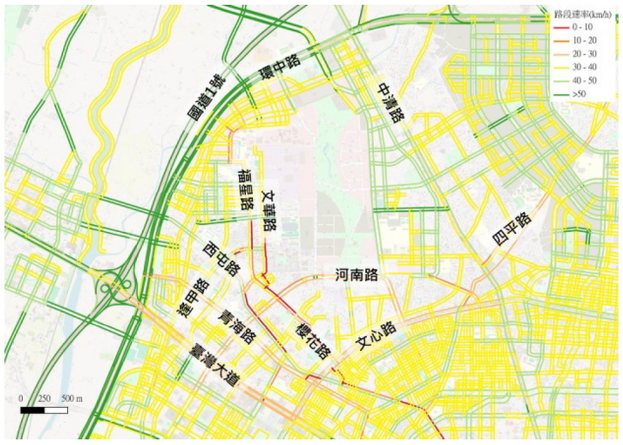
2025/12/31 18:00



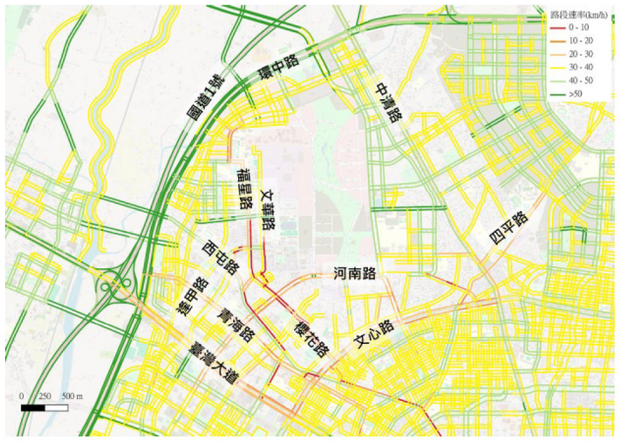
2025/12/31 19:00



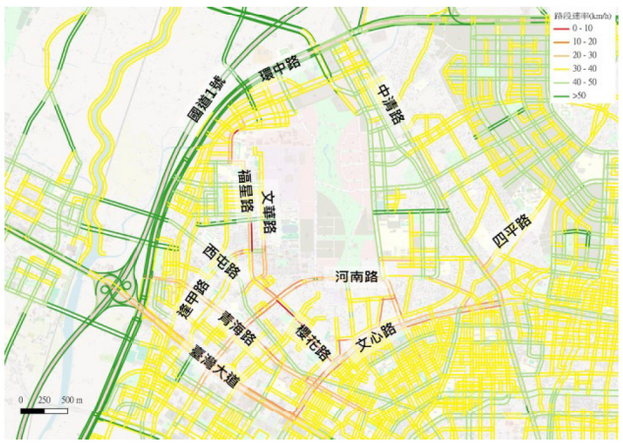
2025/12/31 20:00



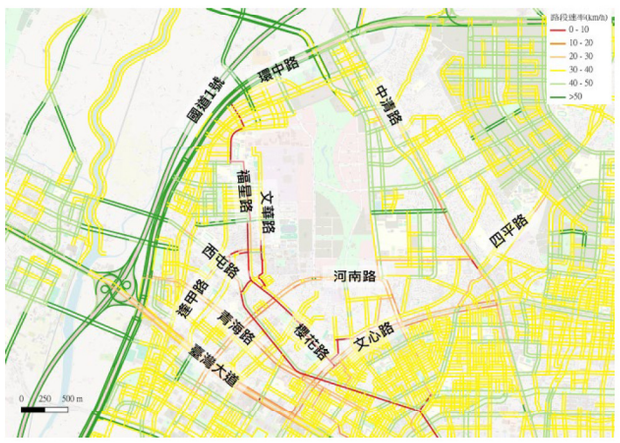
2025/12/31 21:00



2025/12/31 22:00



2025/12/31 23:00



2026/1/1 0:00



2026/1/1 1:00



2026/1/1 2:00

資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.28 本計畫推估 2026 年跨年期間活動會場周邊道路之分時路段速率

由圖 4.3.28 的推估分時路段速率可知，於 12/31 日上午民眾尚未陸續進場前，活動會場東側之中清路與四平路即已呈現路段速率偏低之情形，顯示

該等路段屬於平日即出現壅塞之道路。於 12/31 日中午至下午 17 時、民眾開始陸續進場之時段，除會場東側之中清路與四平路僅出現輕微速率下降外，會場南側及西南側多數路段則出現明顯路段速率降低之現象，尤以文心路、西屯路、福星路、文華路及逢甲路等路段最為顯著。由上述觀察結果，可知會場東側路段僅呈現微幅速率變化，故非民眾主要入場動線；相對而言，會場南側與西南側之道路為民眾進入活動會場之主要入場動線。

另於 12/31 日下午 18 時至晚間 22 時之入場尖峰時段，可觀察到會場東側之中清路與四平路路段速率回升，進一步反映該側道路並非主要入場使用路段；相對地，會場南側與西南側之路段速率則出現進一步惡化，其中臺灣大道、文心路、青海路、逢甲路、櫻花路、河南路、西屯路、福星路及文華路等路段之速率多低於 30 km/h，顯示於入場尖峰期間，民眾高度集中由南側與西南側之道路進入活動會場。於 12/31 日晚間 23 時，隨著入場尖峰時段已過，多數民眾已抵達活動會場，致使本時段大部分路段之行車速率呈現微幅回升之現象，尤以西屯路、福星路、文華路及逢甲路等路段最為顯著。

於倒數活動結束後，可觀察活動會場周邊再次出現路段速率大幅下降之現象，其中以 1/1 日凌晨 1 時之路段速率表現最為不佳。此外，除活動會場西側與西南側道路外，會場東側之中清路與四平路等路段亦呈現速率明顯下降之趨勢，說明民眾於離場階段同時由西側、西南側及東側多方向離開活動會場。其中，臺灣大道、青海路與河南路等路段之行車速率多低於 20 km/h，文心路、逢甲路、櫻花路、西屯路、福星路、文華路、中清路與四平路等路段之行車速率更低於 10 km/h，突顯民眾於凌晨 0 時至 1 時集中離場對周邊路網造成顯著之交通衝擊。而於凌晨 2 時，活動會場周邊大幅提升，反映大部分民眾於倒數活動後已完成離場。

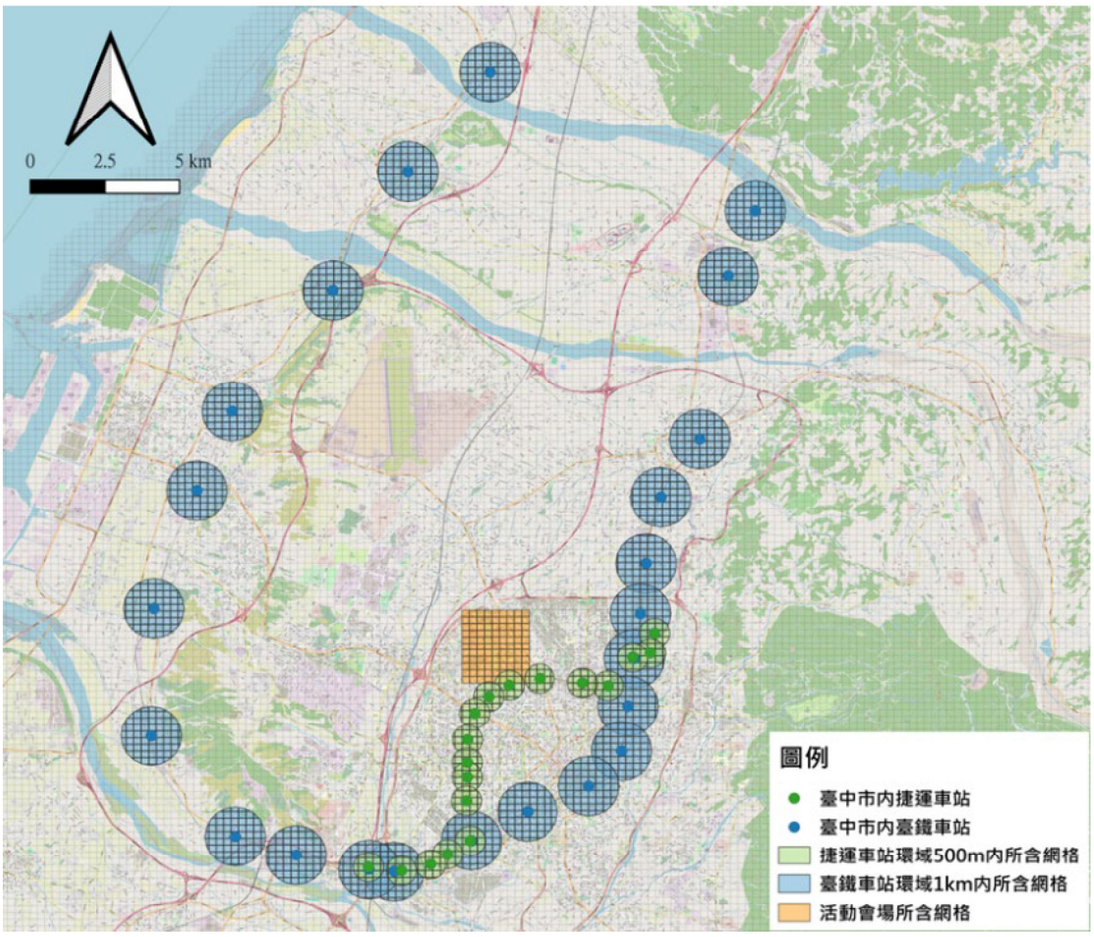
綜上所述，本模組所使用之 AI 半動態交通量指派模式能用於推估跨年活動期間會場周邊道路的分時路段速率，供交維單位於跨年活動前掌握民眾到離場時段與動線。上述指派結果可用於制定攔截圈範圍，作為後續停車需求預估模組推估攔截圈重要路口各方向分時停車需求使用，並作為後續知識庫於指派交管人員引導人車流、挑選備援停車場及擬定相關管制策略時之參考依據。

4.3.3軌道場站接駁車需求預估模組

依信令網格人流預估模組所產出之預估人旅次分布，可掌握跨年活動期間的分時信令人旅次起迄分布，本模組進一步根據活動會場與軌道場站周邊環域所含之信令網格，預估活動期間往返會場與臺中市內軌道場站之接駁車需求，作為後續知識庫進行接駁車路線規劃與量能規劃之參考。另因本期計畫與前期計畫所採用之方法一致，本小節將以說明重點預估流程與 2026 年跨年期間之接駁車需求預估結果為主。

一、模組使用資料

除使用信令網格人流預估模組所產出之預估人旅次分布資料外，本模組亦需先行產出活動會場與各軌道場站環域所含之手機信令網格，如圖 4.3.29 所示。



資料來源：本計畫繪製

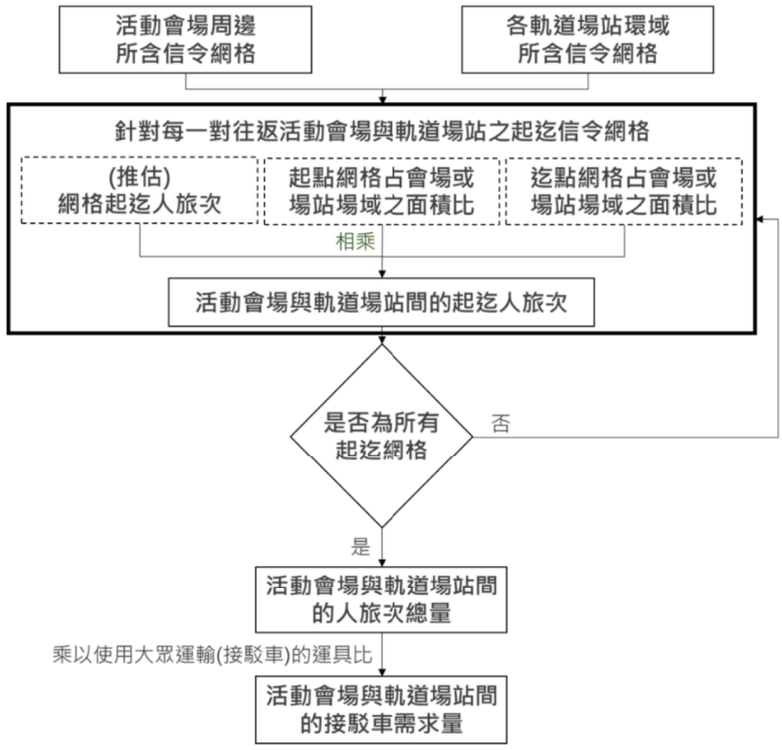
註：本計畫以軌道場站環域 500m 或 1km 的範圍計算搭乘大眾運輸之人旅次。

圖 4.3.29 活動會場與臺中市內軌道場站環域之手機信令網格

二、模組預估流程

圖 4.3.30 所示為軌道場站接駁車需求預估流程圖。本模組首先選定臺中市內各軌道場站環域與活動會場周邊所含手機信令網格(如圖 4.3.29 所示)，再將所推估 2026

年跨年期間的信令人資料透過起迄點網格中軌道場站周邊與活動會場的面積占比進行細部拆分後，轉換為軌道場站與活動會場之間的人旅次總量。隨後，依歷年臺灣燈會之運具使用比(如圖 4.3.23 所示)，本計畫預估使用大眾運輸(接駁車)往返各軌道場站與會場的人旅次佔所有人旅次總量之 40%，故可進一步預估往返各軌道場站周邊與會場之接駁車需求。上述步驟將針對跨年期間的各小時進行計算，從而得出分時往返各軌道場站周邊與會場的接駁車需求。



資料來源：本計畫繪製

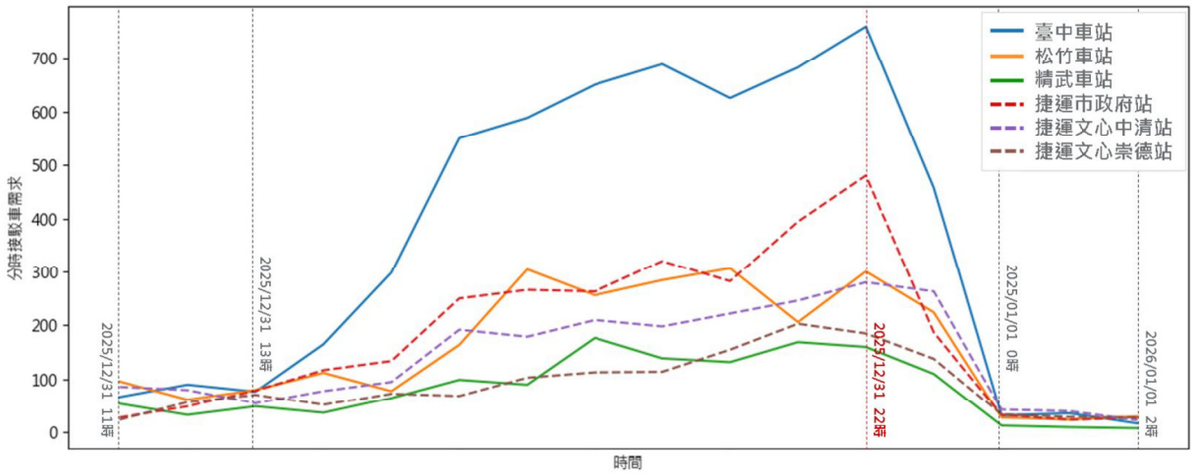
圖 4.3.30 往返活動會場與軌道場站之接駁車需求推估流程圖

三、2026 年跨年期間往返各軌道場站與活動會場周邊之分時接駁車需求預估結果

因民眾自跨年當日(12/31)中午 12 時後即陸續進場，直至隔日(1/1)凌晨 1 時後始完成離場，故為掌握活動期間往返各軌道場站周邊與活動會場周邊之動態，本期計畫針對 12/31 日上午 11 時至 1/1 日凌晨 2 時之時段，進行分時接駁車需求預估分析。本計畫將自六個主要軌道場站周邊出發且使用接駁車前往活動會場的分時需求如圖 4.3.31 和

表 4.3-7 所示，可知 12/31 日晚間 22 時為最多民眾使用接駁車入場的時段。該時段自六個主要軌道場站搭乘接駁車入場之人數約為 2,164 人次，其中以自臺中車站及捷運市政府站周邊出發者約占 50%。

圖 4.3.32 和表 4.3-8 所示為自活動會場離開並使用大眾運輸抵達主要軌道場站周邊的分時人旅次。分析顯示，民眾集中於倒數活動結束後（即凌晨 0 時和 1 時）使用接駁車離場，當中以凌晨 1 時為離場接駁車需求最高的時段，推估本小時之接駁車需求為 2,535 人次；另可觀察離場民眾主要搭乘接駁車前往臺中車站、松竹車站及捷運文心中清站周邊。根據上述推估結果，後續知識庫階段可掌握往返活動會場及主要軌道場站的分時接駁車需求，進而針對接駁車需求進行路線規劃與每小時接駁車班次之計算。

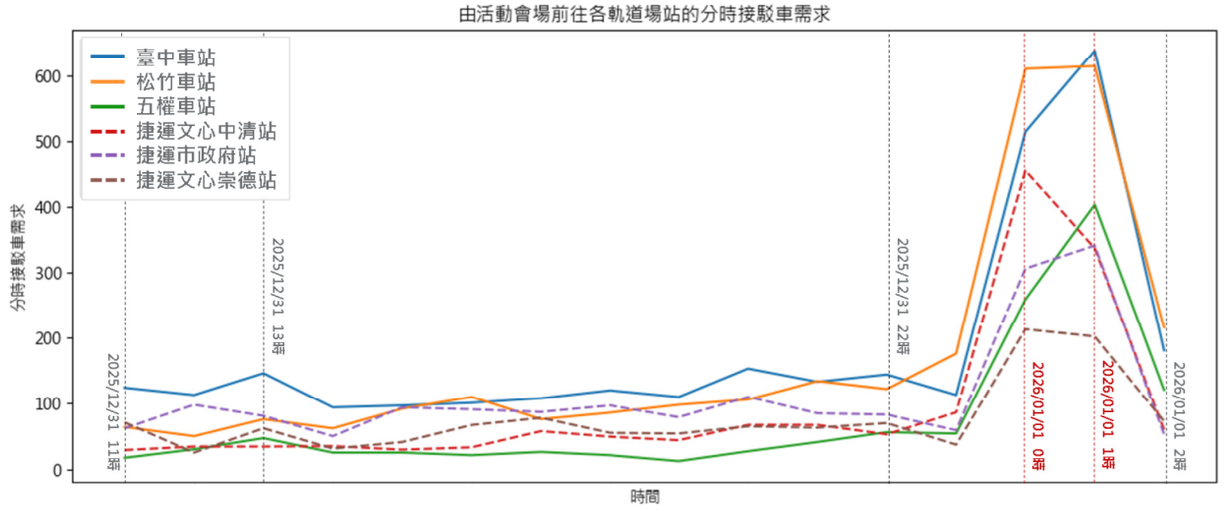


註：本計畫於推估接駁車需求時，排除步行即可抵達活動會場的文心櫻花和文華高中站。

圖 4.3.31 自主要軌道場站出發且使用大眾運輸前往會場分時人旅次(2026 年跨年期間)

表 4.3-7 自主要軌道場站出發且使用大眾運輸前往會場分時人旅次(2026 年跨年期間)

(日期)時間	臺中車站周邊	松竹車站周邊	精武車站周邊	捷運市政府站周邊	捷運文心中清站周邊	捷運文心崇德站周邊	總數
(12/31) 11:00	67	96	54	28	86	24	355
(12/31) 12:00	90	62	33	49	80	57	371
(12/31) 13:00	77	80	49	79	55	71	411
(12/31) 14:00	165	112	37	117	78	52	561
(12/31) 15:00	298	78	65	134	95	73	743
(12/31) 16:00	550	164	99	250	192	69	1,324
(12/31) 17:00	588	304	90	266	179	103	1,530
(12/31) 18:00	650	256	177	263	210	113	1,669
(12/31) 19:00	688	284	139	320	198	114	1,743
(12/31) 20:00	625	306	132	282	222	155	1,722
(12/31) 21:00	682	206	169	394	246	203	1,900
(12/31) 22:00	759	300	160	480	280	185	2,164
(12/31) 23:00	457	224	110	187	263	138	1,379
(1/1) 00:00	32	28	13	33	43	34	183
(1/1) 01:00	36	24	10	24	40	29	163
(1/1) 02:00	17	30	8	27	23	28	133



註：本計畫於推估接駁車需求時，排除步行即可抵達活動會場的文心櫻花和文華高中站。

圖 4.3.32 自活動會場離開並使用大眾運輸抵達主要軌道場站分時人旅次(2026 年跨年)

表 4.3-8 自活動會場離開並使用大眾運輸抵達主要軌道場站分時人旅次(2026 年跨年)

(日期)時間	臺中車站周邊	松竹車站周邊	五權車站周邊	捷運文心中清站周邊	捷運市政府站周邊	捷運文心崇德站周邊	總數
(12/31) 11:00	124	64	17	29	62	71	367
(12/31) 12:00	113	50	30	34	98	25	350
(12/31) 13:00	146	76	47	34	81	62	446

(12/31) 14:00	94	62	25	35	50	31	297
(12/31) 15:00	97	92	25	29	94	41	378
(12/31) 16:00	101	110	21	33	91	67	423
(12/31) 17:00	108	76	26	58	87	78	433
(12/31) 18:00	120	86	21	49	97	55	428
(12/31) 19:00	110	98	12	44	79	54	397
(12/31) 20:00	153	106	27	67	110	65	528
(12/31) 21:00	133	134	41	67	85	63	523
(12/31) 22:00	144	122	56	53	83	70	528
(12/31) 23:00	113	176	54	86	59	37	525
(1/1) 00:00	514	610	259	455	306	213	2,357
(1/1) 01:00	638	614	403	337	341	202	2,535
(1/1) 02:00	181	216	121	60	53	73	704



資料來源：臺中市政府

圖 4.3.33 2026 年跨年期間關於接駁車與捷運的相關交通資訊

而由圖 4.3.33 的事後觀察可知，臺中市政府已於 2026 年跨年期間安排接駁車往返活動會場與松竹車站及捷運市政府站。惟依本模組之預估結果顯示，臺中車站周邊為接駁車需求量最高之軌道場站，故未來市府於進行相關跨年活動之交通配套規劃時，建議可將臺中車站納入接駁車服務路線的場站之一，以滿足相關旅運需求，並進一步提升整體疏運效率與服務完整性。

4.3.4停車需求預估模組

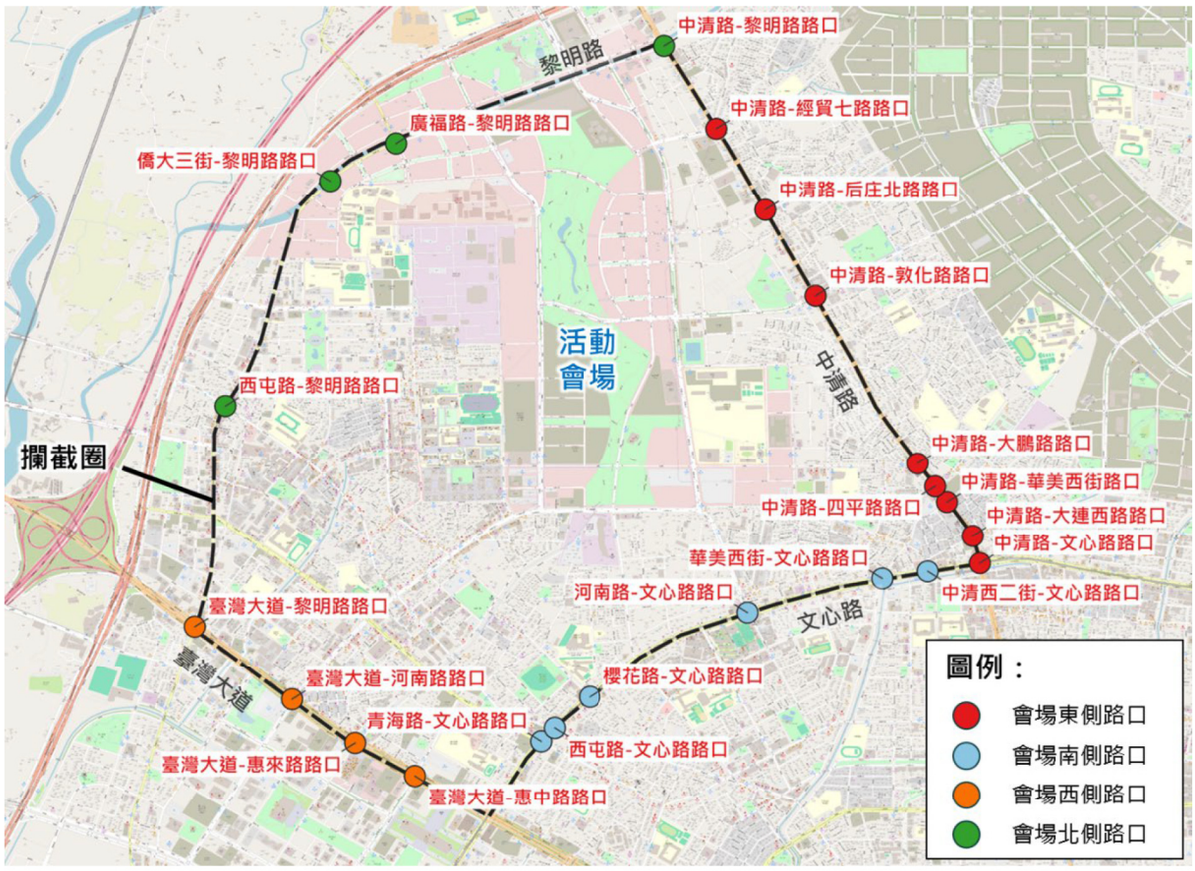
依路段速率預估模組所產出交通分區間之分時路徑庫資訊與各路徑之分時流量之預估結果，可掌握各時段不同路徑途徑之路段及其對應的交通量。據此，本模組可於跨年活動前界定攔截圈範圍與攔截圈上之重要路口點位，進而估算跨年活動期間之分時停車需求，作為後續知識庫規劃備援停車場與制訂停車導引之參考依據。另考量本期計畫與前期計畫所採用之方法一致，故本小節將以說明重點預估流程與 2026 年跨年期間之停車需求預估結果為主。

一、模組使用資料

本模組使用路段速率預估模組所產出交通分區間之分時路徑庫資訊與各路徑之分時流量預估結果，供跨年活動前進行交通攔截圈範圍及攔截圈上重要路口之界定，進而推估各時段之停車需求。

相關攔截圈和重要路口之界定方式如下。依圖 4.3.28 所示 2026 年跨年活動期間會場周邊分時路段速率之預估結果，可觀察路段速率顯著下降之路段多集中於臺灣大道、文心路、中清路及黎明路所圍之範圍內，爰將上述路段所形成之區域界定為跨年活動期間之交通攔截圈範圍。另透過比較民眾入離場期間（即 12/31 日中午 12 時至 1/1 日凌晨 1 時）之分時路段速率，與民眾尚未入場前及完成離場後（即 12/31 日上午 11 時及 1/1 日凌晨 2 時）之路段速率差異，可辨識出攔截圈範圍內路段速率顯著下降之路段，顯示該等路段承載較高交通流量。據此，將上述速率明顯下降路段周邊之路口界定為攔截圈重要路口，合計共 22 處，並依其於攔截圈內之相對位置（東、南、西或北側）進行分類與標示，作為後續知識庫研判各來向停車需求、規劃備援停車場及制訂停車導引策略之重要參考依據。茲將 2026 年跨年期間所界定之攔截圈與其重要路口如資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.34 所示。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3.34 2026 年跨年期間攔截圈範圍與攔截圈重要路口之點位

二、模組預估流程

依分時路徑庫及交通量指派結果，可掌握各時段不同路徑所途經之路段及其對應之交通量，並據以判定攔截圈上之重要路口。隨後，以攔截圈內的交通分區為迄點分區，可計算由各重要路口從外部進入攔截圈範圍內的分時進入車旅次；同時，以攔截圈內的交通分區為起點分區，可計算自各重要路口離開攔截圈範圍的分時離開車旅次。之後，計算各重要路口的分時累積淨進入車旅次，即本時段的累積淨進入車旅次乃上一時段累積淨進入車旅次加上本時段進入車旅次並減去本時段離開車旅次之數值，可視為由該路口進入之分時停車需求。最後，將各重要路口的分時停車需求進行加總，可得跨年活動期間的分時停車需求總量。本模組針對活動期間分時停車需求總量之推估流程可彙整如圖 4.3.35 所示。

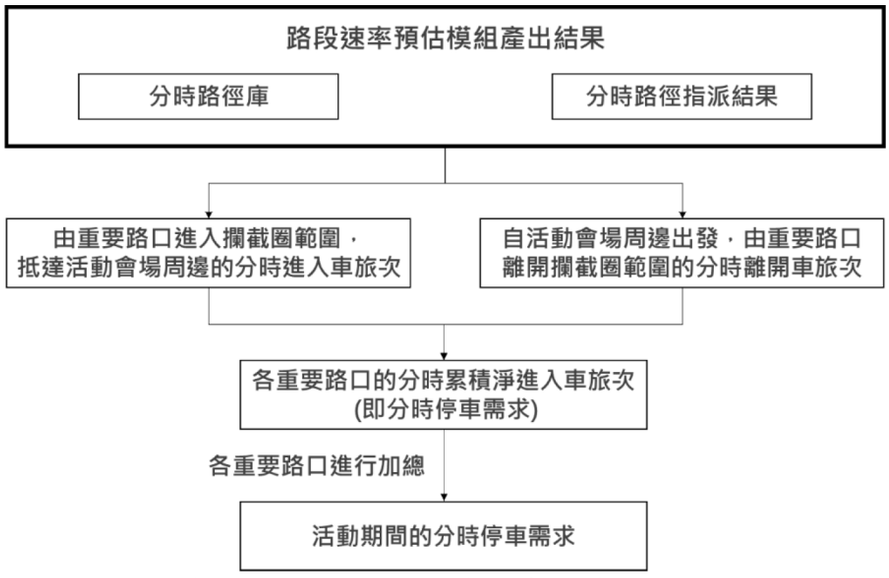


圖 4.3.35 跨年活動期間的分時停車需求總量之預估流程

三、2026 年跨年期間往之分時停車需求預估結果

因民眾自跨年當日(12/31)中午 12 時後即陸續進場，直至隔日(1/1)凌晨 1 時後始完成離場，故為掌握活動期間停車需求之變化，本期計畫針對 12/31 日上午 11 時至 1/1 日凌晨 2 時之時段，進行分時停車需求總量預估分析。

茲將攔截圈 22 個重要路口依其位於攔截圈之相對位置分類，並將各來向之分時停車需求推估結果如圖 4.3.36 與表 4.3-9 所示，可觀察停車需求多由攔截圈南側路口進入，故建議可於南側優先安排更多交管人員，或搭配車流導引策略，引導用路人前往最近的停車場，避免車輛經過壅塞路段，以降低會場周邊道路壅塞之情況並提高整體交通之運行效率。

另可知跨年活動之停車需求於中午 12 時後逐漸增加，並於晚間 23 時達尖峰，且隨後隨倒數活動結束而迅速減少。根據此分析結果，建議知識庫可以晚間 23 時的最大停車需求作為備援停車場數量估算之依據，以確保活動期間可提供足夠停車位，滿足最高需求情境。此外，本模組預估結果亦顯示自凌晨 0 時起，停車需求大幅下降，說明有大量車輛從活動會場周透過重要路口離開攔截圈範圍，故建議知識庫應於凌晨 0 時至 1 安排足夠人力引導車流有效地離場，並引導其避開壅塞或繞行路段，以降低活動結束後之交通衝擊。

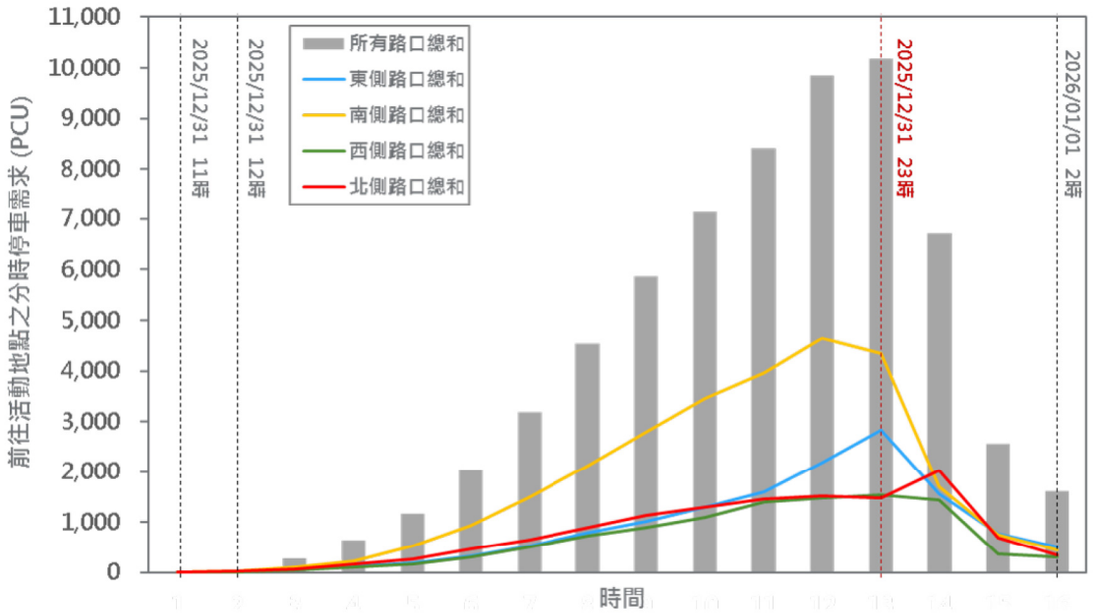


圖 4.3.36 活動期間分時停車需求之推估結果

表 4.3-9 攔截圈各來向分時停車需求推估結果

(日期)時間	東側路口總和	南側路口總和	西側路口總和	北側路口總和	所有路口總數
(12/31) 11:00	0	0	0	0	0
(12/31) 12:00	15	19	9	18	61
(12/31) 13:00	62	98	42	68	270
(12/31) 14:00	133	234	100	175	642
(12/31) 15:00	191	532	177	270	1,170
(12/31) 16:00	332	927	304	479	2,042
(12/31) 17:00	523	1,490	506	656	3,175
(12/31) 18:00	784	2,127	738	893	4,542
(12/31) 19:00	1,021	2,798	894	1,146	5,859
(12/31) 20:00	1,288	3,446	1,104	1,294	7,132
(12/31) 21:00	1,609	3,958	1,399	1,451	8,417
(12/31) 22:00	2,187	4,655	1,478	1,528	9,848
(12/31) 23:00	2,832	4,340	1,538	1,472	10,182
(1/1) 00:00	1,552	1,704	1,437	2,020	6,713
(1/1) 01:00	772	744	364	683	2,563
(1/1) 02:00	504	445	305	346	1,600

藉由前述交通量指派結果，本模組可初步界定攔截圈範圍、挑選出進出攔截圈範圍之重要路口，並計算透過這些路口的分時停車需求，再加總以計算跨年活動期間的分時停車需求總量。該結果可供知識庫掌握用路人進出活動會場的主要動線、最大停

車需求之車旅次及其發生時間，作為車流導引動線規劃、不同時段交管人員配置及備援停車場規劃之參考。

4.4 大型活動交通疏導應變知識庫

因應大型活動產生之停車供給壓力與人車流疏導課題，本計畫延續前述交通預測速率、路口綠燈使用率分析、大型活動交通影響分析模式庫之資訊，進行「停車供需分析知識庫」「交通引導與管制措施知識庫」與「接駁車需求預估知識庫」之設計；知識庫旨在提供分析步驟說明與相關資訊，協助規劃人員善用模式庫預估結果，包含人流熱點、道路速率、路口流容比與停車需求等，以擬定適當之分時交通維持措施。

4.4.1停車供需分析知識庫

進行大型活動之停車供需分析時，應先掌握各來向之停車需求，並針對各來向之需求與進場動線規劃適當備援停車場，適當攔截並滿足停車需求，避免活動核心區域充斥尋找車位之遊蕩車輛。停車供需分析知識庫提供相關規劃原則，並彙整各方向停車需求、周邊停車場資訊地圖，方便規劃人員進行備援停車場選址。

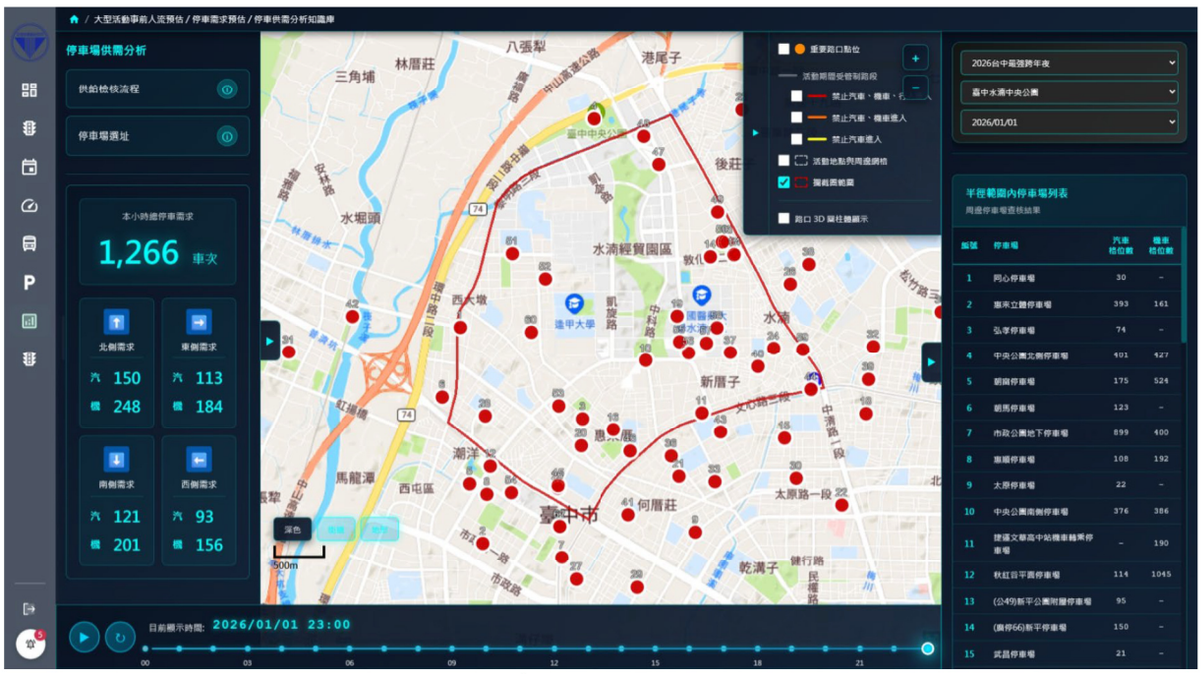


圖 4.4.1 停車供需分析知識庫介面

一、規劃原則指引（如圖 4.4.1 中介面左上角區塊）

分為供給檢核流程、停車場選址兩步驟。

(一) 供給檢核流程

點擊ⓘ圖示即可查看供給檢核流程圖；透過以活動地點為中心擴大備援停車場選取範圍，直至滿足需求為止，確保活動衍生之停車需求對周邊影響影響皆在掌控內。

(二) 停車場選址

停車場選址分為「既有停車場」「未開發空地」與「學校／機關用地」三大類別，點擊ⓘ圖示可逐類別查看篩選原則；考量疏導資訊精簡與人力安排，既有停車場以車位數 100 席以上較有列為備援之效益，未開發空地與其他用地則以權屬確認和洽談情形為主要可行性考量。

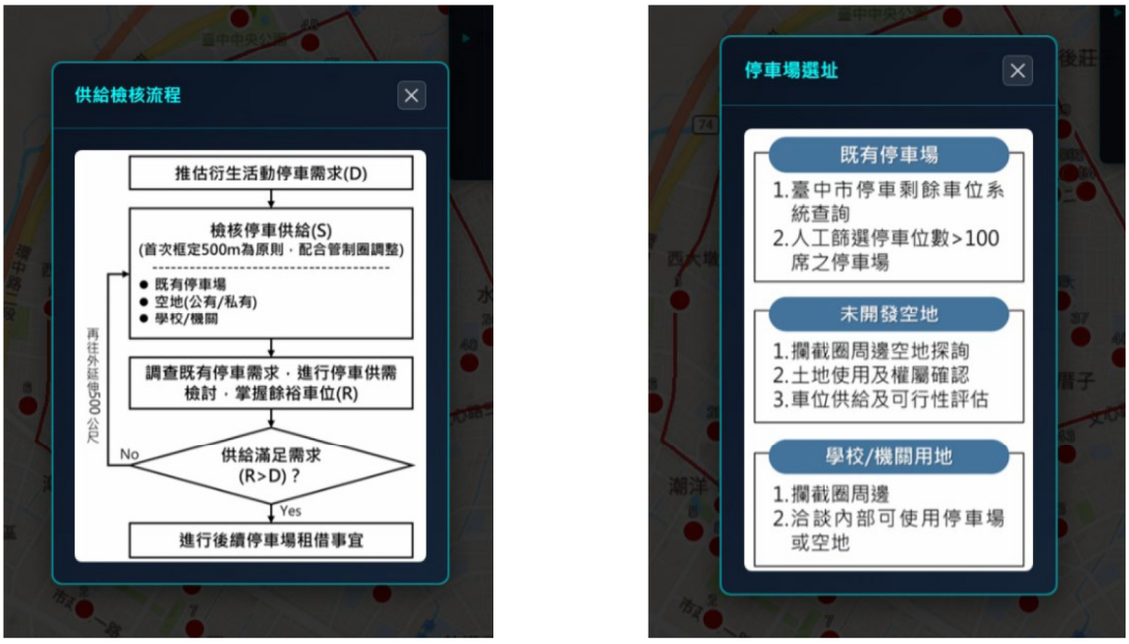


圖 4.4.2 規劃原則指引詳細說明

二、停車需求統計（如圖 4.4.1 中介面左下角區塊）

統整以活動地點為中心之各方向指定時段停車需求，以利快速掌握不同區域所需之備援停車場，提升規劃作業方便性。

三、互動式停車場資訊地圖（如圖 4.4.1 中介面中央與右側區塊）

介面右側表列活動地點周邊停車格位數 100 席以上之路外停車場，並依照編號標記於介面中央地圖上；點擊列表內的停車場或地圖上的點位，即可查看停車場營運型態、業者、車位數等資訊，方便相關人員進行停車供給統計與洽談作業。

4.4.2交通引導與管制措施知識庫

交通引導與管制措施之訂定始於警示路口指認與進離場動線安排，待引導與管

制措施布設位置確定後，方能進行宣導內容、人力配置之規劃。交通引導與管制措施知識庫設計「警示路口判定」「進離場動線安排」「交通管制與導引規劃」與「交通疏導人員配置」四步驟說明，協助相關人員依序分析必要資訊，並提出適當之規劃。

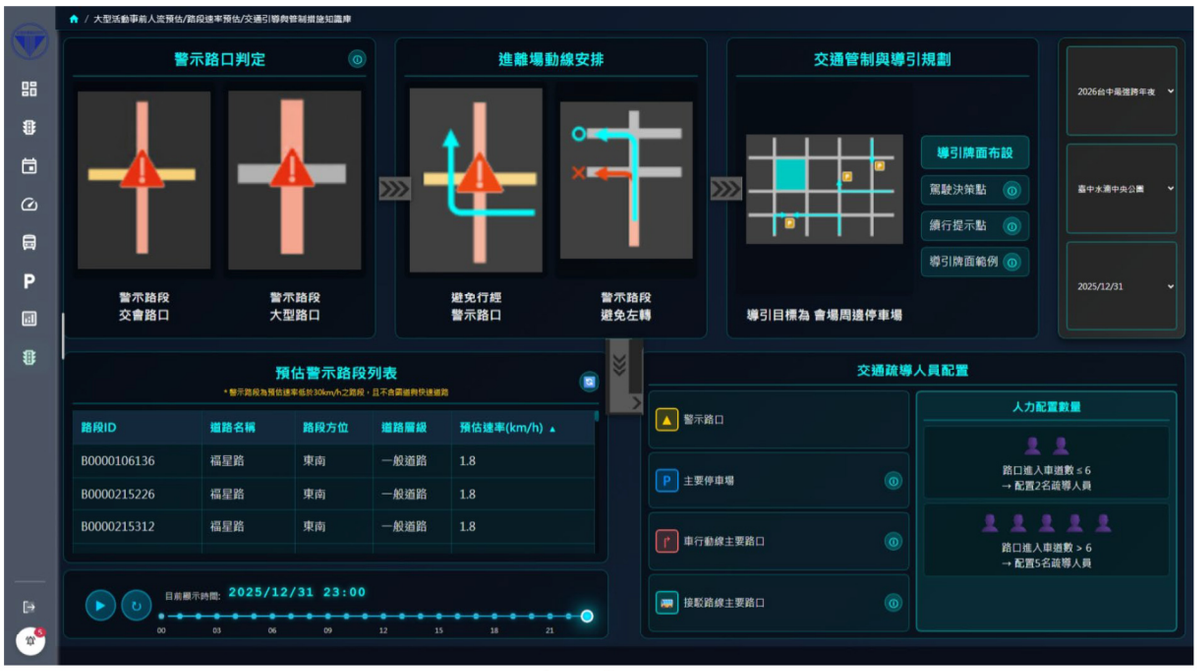


圖 4.4.3 交通引導與管制措施知識庫介面

一、警示路口判定（如圖 4.4.3 中介面左上角區塊）

本計畫建議將「兩條警示路段交匯之路口」或「警示路段沿線之大型路口」指認為警示路口，並以此為基礎進行後續規劃；點擊區塊內的①圖示可查看大型路口建議條件：「警示路段本身雙向合計車道數≥4」或「警示路段上任何進入車道數總和 > 8 之四岔以上路口」。

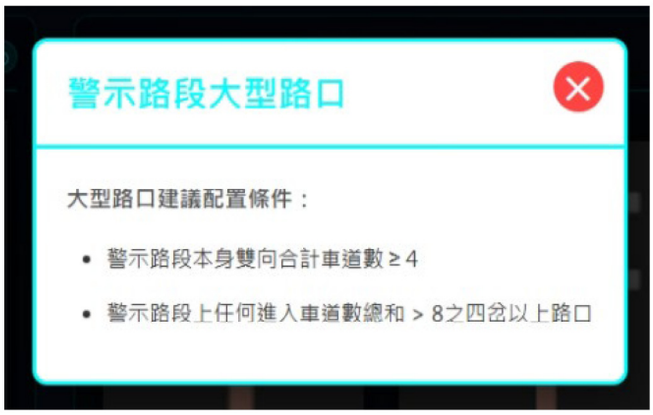


圖 4.4.4 警示路段大型路口判斷條件建議

二、進離場動線安排（如圖 4.4.3 中介面上排中央區塊）

本計畫建議導引系統與宣導之進離場動線避免行經預測警示路口，且避免於警示路段左轉，以減少對警示路段運作效率之衝擊；相關原則搭配圖示呈現。

三、交通管制與導引規劃（如圖 4.4.3 中介面右上角區塊）

導引系統搭配前述進離場動線安排進行規劃，且整體目標應為將車輛分散導引至會場周邊停車場，以避免車輛過度集中於會場核心區域；導引牌面建議布設於「駕駛決策點」或「續行提示點」，區塊內亦提供導引牌面參考範例，點擊ⓘ圖示可查看對應內容。

(一) 駕駛決策點

駕駛決策點為車輛須決定是否轉向或變換車道之岔路，常見駕駛決策點包含但不限於：「區域聯外公路交流道周邊」與「車行動線須轉向路口」；點擊ⓘ圖示可查看詳細說明。

(二) 續行提示點

續行提示點為車輛應維持現況行向、但受道路環境影響而可能猶豫處，常見續行提示點包含但不限於：「跨越多線道直行：動線直行穿越之路口、與動線橫交之道路進入車道數合計>4」與「長距離無導引：動線直行穿越之路口，其上下游 1 公里內皆無導引牌面」；點擊ⓘ圖示可查看詳細說明。



圖 4.4.5 交通管制與導引規劃相關建議與範例

四、交通疏導人員配置（如圖 4.4.3 中介面右下角區塊）

人員配置規劃同樣配合前述進離場動線安排與警示路口判定進行，分為疏導人力配置位置與數量兩部分。

(一) 人力配置位置－警示路口

警示路口較易受活動影響出現交通壅塞，建議配置疏導人員。

(二) 人力配置位置－主要與備援停車場

主要備援停車場（汽機車格位數合計>500 席）進出量大，可能與道路上的人車產生頻繁衝突，建議於出入口配置疏導人員；活動進場時間以場外車輛排隊控管、滿場疏導機制為管制重點，活動散場期間則以增進停車場離場效率為主。

(三) 人力配置位置－車行動線主要路口

考量多車道之道路通常為主要幹道，須維持一定車流運作效率，建議針對進離場主要動線行經之大型路口（進入車道數總和>8）預防性配置疏導人員，以降低活動衍生交通量對既有道路通勤功能之影響。

(四) 人力配置位置－接駁路線主要路口

接駁車乘載人數密度高於私有運具，為更具效率之活動人流運輸模式；為確保接駁車輛運作順暢性，建議於接駁路線行經之主要路口（進入車道數總和>8）與接駁車專用道之起迄點規劃疏導人員。

(五) 人力配置數量

疏導人員配置數量應考量路口複雜程度進行調整；若路口進入車道數≤6，建議配置 2 名疏導人員，反之建議配置 5 名疏導人員，以確保值勤人員適當之工作負荷與人身安全。

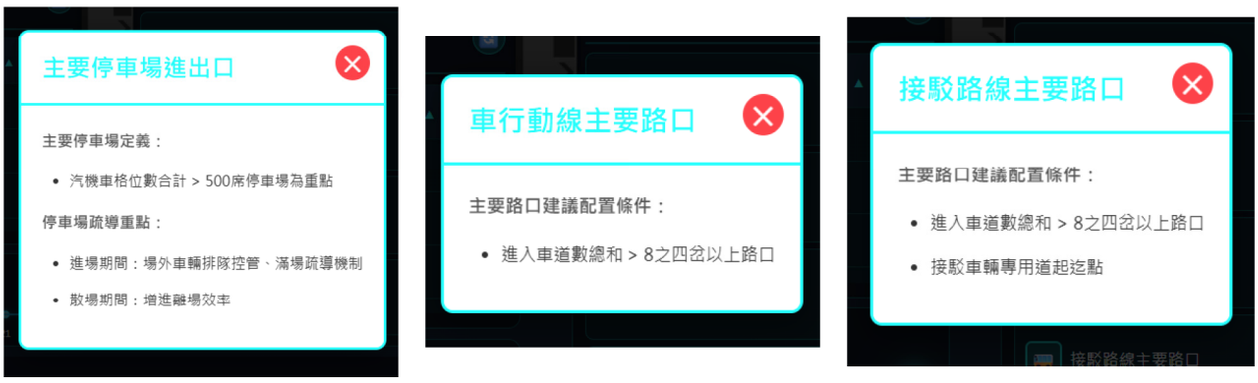


圖 4.4.6 交通疏導人員配置位置相關建議

五、預估警示路段列表（如圖 4.4.3 中介面左下角區塊）

此區塊介接路段速率預估的警示路段資料，方便規劃人員查找，並進行警示路口判定與進離場動線安排。

4.4.3接駁車需求預估知識庫

進行大型活動前，為方便管理者規劃交通疏導策略建議，應先掌握參與活動之民眾人數，藉此推估活動會場往返軌道場站之接駁車需求，以及接駁車服務量能與其路線規劃，進行最佳路線規劃及配套措施，並配合活動參與人數使用合適的車種。同時，為了落實交通導引，活動前須規劃完善的宣導措施，包含安排引導人力與接駁牌面設置。接駁車需求預估知識庫介面如圖 4.4.7 所示。

以下將針對預估本小時車隊規模、接駁車站點規劃指引、接駁車種規劃指引與注意事項，以及人員與牌面規劃指引，共分為四部分進行詳細說明。

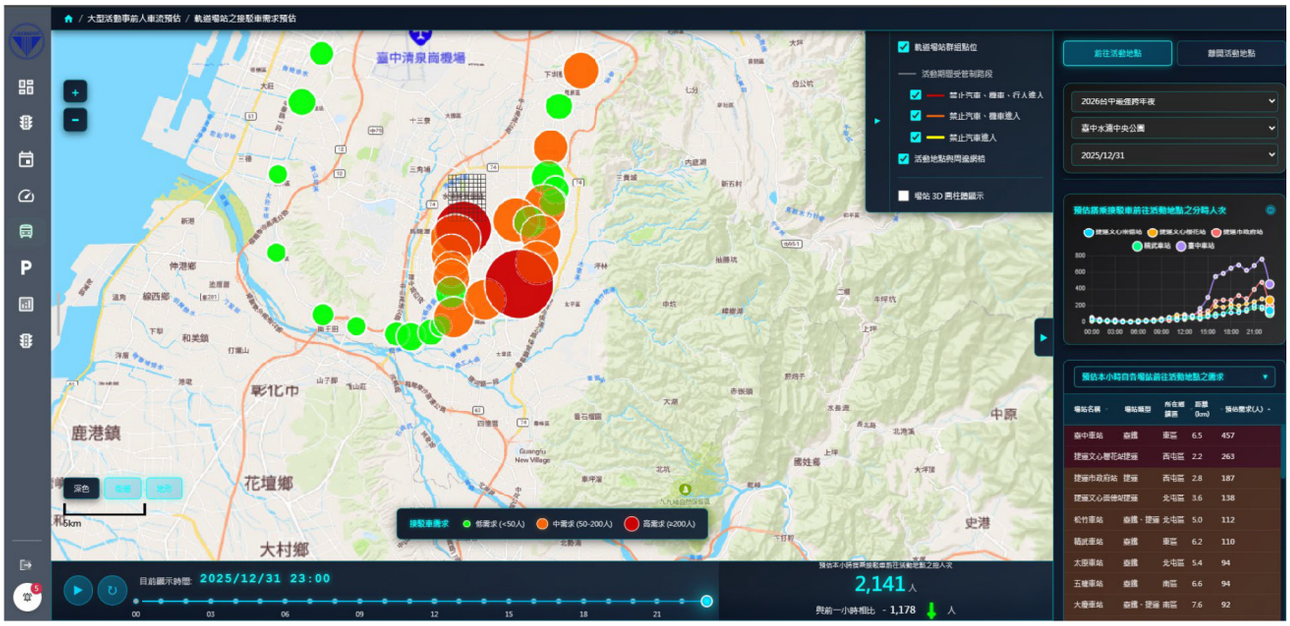


圖 4.4.7 接駁車需求預估知識庫介面

一、預估本小時車隊規模（如圖 4.4.7 中介面右下角小分頁區塊）

為確保車隊規模能滿足尖峰需求，提供穩定、順暢且具備應急能力的接駁服務，依據過往經驗，每輛接駁車平均可搭載 30 人，推估過程考量的變數包括接駁車單趟往返行駛時間、旅客上下車所需時間，以及車輛整備與調度時間。

藉由公式計算每輛車單趟服務所需時間，可進一步推算每小時所需行駛趟次，再依每小時趟次估算所需投入的基本車輛數。為確保運作彈性與應對突發需求，再藉由

基本車輛數計算出備援車輛數，本計畫參考國內公共汽車客運業與接駁車營運實務，通常採 15%~20% 之車輛備援率（Spare Ratio），以確保在有車輛需進行例行保修或發生突發故障時，仍能維持既定班次服務，因此其數量以基本車輛數的 20%進行推算，知識庫介面如圖 4.4.8 所示。

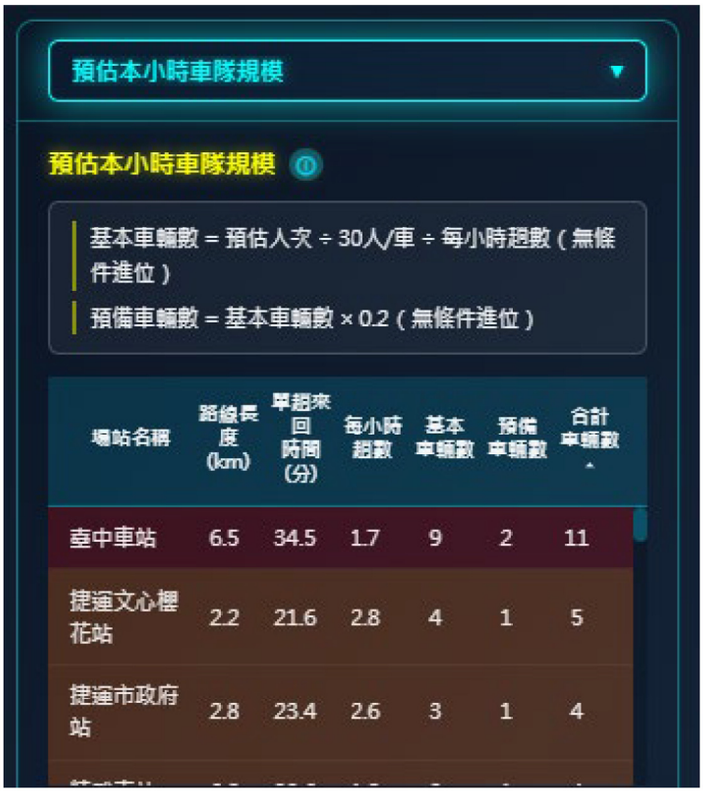


圖 4.4.8 預估本小時車隊規模知識庫介面

二、接駁站點規劃指引（如圖 4.4.7 中介面右下角小分頁區塊）

(一) 停靠站點位置規劃

為提升接駁車使用率與停靠站規劃參考，可優先利用既有設施，如公車站位、黃線、臨停區空間進行設置，設置時需考量其路段交通狀況、既有公車站位容量及民眾候車空間等因素，選擇合適的停靠點。此外，站點選址需同時考量民眾等候所需之空間，參考相關人流分析標準，民眾排隊所需之空間約 0.7 ㎡/人。透過需求分析結果以及班次規劃，推估整體接駁站點候車空間需求，作為接駁車站點位置規劃參考。知識庫介面如圖 4.4.9 所示。

(二) 行駛動線規劃

為最佳化接駁路線配置，確保合理的車隊規模，安全地運輸大量人潮。因此，接駁車行駛動線需評估單趟行駛時間、沿線道路壅塞程度、中間停靠站之必要性，

以及是否需要規劃接駁車專用道等，以確保接駁設計路線順暢且可行。同時，需與後續車隊規模推估及接駁車種規劃相互配合，形成完整且可執行的接駁服務計畫。知識庫介面如圖 4.4.9 所示。

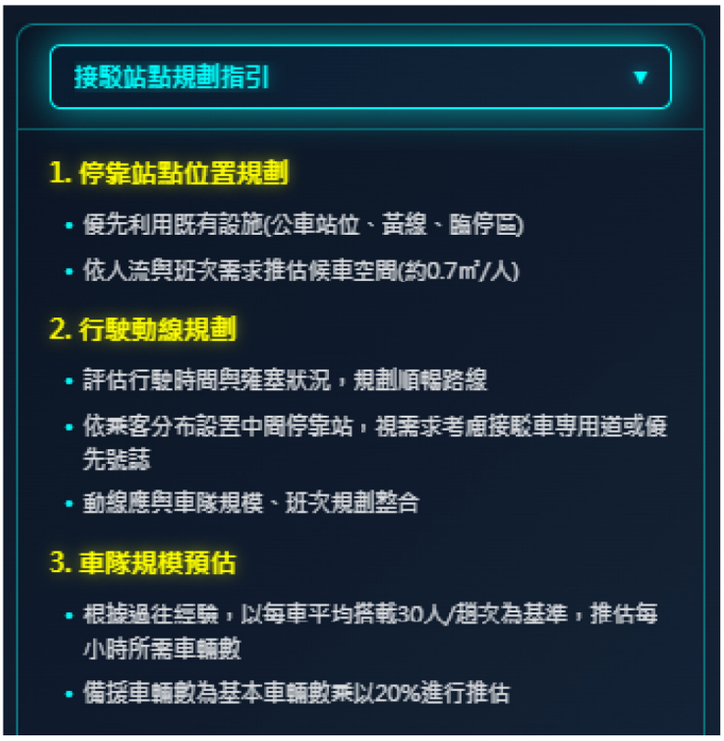


圖 4.4.9 接駁站點規劃指引知識庫介面

三、接駁車種規劃指引及注意事項（如圖 4.4.7 中介面右下角小分頁區塊）

確保接駁車具備符合法規，並滿足實際運輸需求之車輛條件，提供民眾安全穩定的接駁服務。接駁車之車輛型式、技術規格、配備標準及相關保險內容，均將依據公路監理機關及《道路交通安全規則》等相關法規辦理，並依實際活動規模、路線條件與乘客需求調整配置，確保車輛運作安全。知識庫介面如圖 4.4.10 所示。

(一) 車種形式

1. 大型活動優先採用甲種大客車(約 30~40)，其次採用乙種大客車(約 20 人)
2. 視需求規劃特殊規格，如電動車、低底盤公車、復康公車

(二) 車輛規範

1. 車齡限制：例如 10 年車，2014 年 1 月 1 日(含)以後出廠且經監理機關檢驗合格
2. 車身尺寸：車身尺寸應符合道路交通安全規則相關規定

(三) 車輛配備

1. 需備有無線電或免持聽筒手機，可隨時與調度人員聯繫調度

2. 車輛應配合於車頭及車側懸掛或張貼車輛識別牌面

(四) 相關保險要求

1. 於履約期間依公路法第 65 條規定投保強制險、乘客責任險等

2. 投保期間為活動期間，廠商應於活動開始前完成投保，並檢附相關證明文件呈報機關

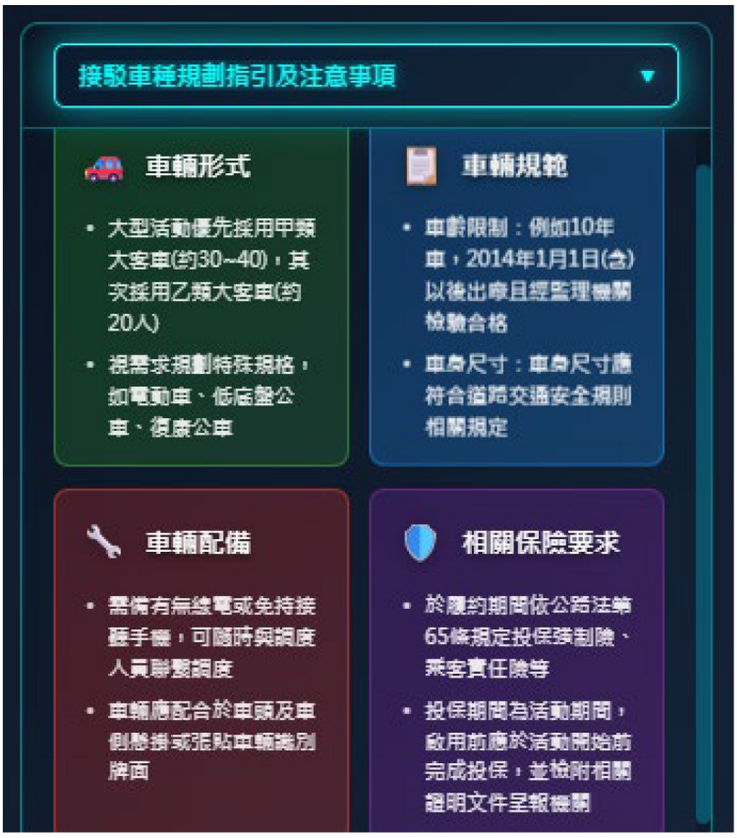


圖 4.4.10 接駁車種規劃指引及注意事項知識庫介面

四、人員與牌面規劃指引（如圖 4.4.7 中介面右下角區塊）

確保現場人力有效管理動線、維持候車秩序並支援接駁運作。服務人員之人數配置、資格條件與其應具備之能力，將依主辦單位要求辦理，並依據接駁車行駛動線、投入的車輛數、服務時段與班次安排等因素進行調整，以維持人力充分支援整體接駁運作。

各服務人員人數、雇員資格及能力之規劃與要求將配合主辦單位，並視接駁車動線規劃、接駁車數量、服務時間與班次來訂定。知識庫介面如圖 4.4.11 所示。



圖 4.4.11 人員與牌面規劃指引知識庫介面

第五章 智慧交通數位神經中樞全系統開發整合與實作

交通數位雙生模型主要系藉由真實世界交通網絡、道路、交通設施、車輛、行人、交通號誌等相關虛擬模型的建立，整合即時交通數據、遙感數據、地理資訊數據等多元數據，進行更精確的模擬或預測，以作為各項決策作業之參考。在前期計畫中已成功參考 NGSI-LD Ontology 及 SAE J2735 等國際標準開發數據模型。透過 CCTV 等偵測器蒐集場域即時資訊並傳回 Microsoft Azure 數位雙生平台，並以 Ontology 數據模型存取，透過 API 提供 3D 模型(數位神經中樞三維平台)即時呈現臺中市臺灣大道永福路口至工業區一路鄰近路口之各項資訊，並成功整合車流告警、人流告警、號誌異常告警、交通參數預測等知識庫或模式庫功能，確認數位雙生模型在智慧交通數位神經中樞系統之可用性。惟在研究過程中亦發現智慧交通數位神經中樞系統的發展係為實現交通管理決策的評估，3D 模型之擬真程度並非重點，另一方面如何藉由更經濟實惠之技術進行實作應為本計畫未來擴展至各縣市之重點。

本章主要在透過全新的數位雙生模型呈現智慧交通數位神經中樞全系統開發整合與實作之成果，以展現其前計畫中依據國際標準開發數據模型所訂定資料標準，並擴大整合更多知識庫與模式庫開發成果，確實滿足智慧交通數位神經中樞全系統智慧決策之開發目的。第一節將先說明本計畫整合實作之構想，其次再依序針對臺中市之實作案例及場域、實作整合技術與系統架構進行完整說明，最後呈現實作成果及進行綜合探討。

5.1 整合實作構想

一、整合測試之目的

本計畫業經前兩期計畫已成功建立以「日常交通情境」為主的交通數位雙生雛型平台，完成即時資料整合、視覺化呈現、交通參數預測與告警模組等核心能力建置，並於臺中市臺灣大道路口完成場域實作與驗證。此階段成果已證明，數位雙生架構在常態交通管理下具備穩定性與可行性。惟前期成果亦顯示，數位雙生平台相較一般 GIS 視覺化平台，對於空間精確性、時間連續性與系統整合（資料庫、元件庫、函式庫協作）之要求較高，整體資源投入亦相對提升，亟需進一步釐清其在交通管理決策上的系統性價值與可擴散條件。

針對上述挑戰，本期計畫之核心重點並非新增單一功能，而是以「前期既有成果延續」為基礎，透過本期大型活動情境之整合實作，系統性驗證前期所建構之平台架構與

資料模型能否在不同情境、不同規模、不同使用單位條件下持續適用，進而證明其具備更廣泛推廣之可行性。此一驗證工作亦呼應本期推動「模組化、標準化、可擴散」之執行策略意涵：透過不同機構參與導入與平台銜接測試，驗證平台架構與資料模型的延續性與擴散潛力，確保未來全國推廣時具備「可轉移性」、「可擴充性」與「操作相容性」。

此外，鑑於本期管理需求由「日常交通」擴展至「大型活動」之高度非常態情境，其特徵包含短時間人車流劇烈波動、運具比例快速改變、需求高度集中，且管理決策需跨單位、跨系統同步進行，已超出單一模組或單一資料源可有效支撐之範圍。因此，本期以打造「整合式平台測試環境」為核心，聚焦驗證下列三項關鍵問題：

(一) 既有的日常交通數位雙生能力，是否能順利轉用於大型活動？

(二) 不同資料模型與分析模組，能否在同一平台中同步運作而不互相干擾？

(三) 平台架構是否具備未來跨場域、跨機關擴散的可行性？

為降低導入門檻並提升可維運性，本期在數位雙生建構策略上完成關鍵轉型：由前期偏向高擬真、高精細之建模呈現（建置與維護成本較高，且需更多資源投入）轉向以「地理空間底圖＋資料驅動視覺化」為主之巨觀呈現，並採用開源且具商業友善授權之技術組合作為核心（如 Vue、TypeScript 與 Cesium 等），使軟體授權成本可控，並利於後續跨單位複製與擴充。同時，本期亦以模型精細度分級（LOD）作為成本—效益平衡依據，採取 LOD1－2 的折衷策略，在可辨識的環境細節與長期維運負擔間取得平衡，以縮短建置時程並降低維護成本，強化推廣落地可行性。

綜上所述，今年度之整合測試，係以「前期成果延續」與「技術轉型落地」為雙主軸：一方面承接前期既有的資料整合、時序管理與視覺化核心能力；另一方面透過大型活動場域之壓力測試與跨機構導入驗證，證明本平台由「日常交通的微觀應用」可擴展至「大型活動的巨觀治理」，並具備後續模組化、標準化與跨場域擴散所需之可轉移性、可擴充性與操作相容性。

最後，鑑於管理範疇從「單一路口微觀控制」擴展至「跨區域路網協控」，本計畫在數位雙生建構策略上進行關鍵轉型，由前期的「微觀模擬」轉向「巨觀感知」。本整合測試將進一步驗證此一技術轉型是否能滿足以下三大決策需求：

(一) 管理粒度之適配：從「節點」擴展至「面」，前期計畫採用類似 Unity 引擎之高精細建模，旨在解決單一路口（節點）的瓶頸。然而，面對跨年晚會等大型活動，決策者需要的是全域宏觀視角（God's Eye View）。測試將驗證改採 GIS（如 Cesium）為基礎的巨觀架構，以網格與路段為單位，是否能更有效呈現

人流熱區擴散與路網壅塞趨勢，而非受限於單一車輛的微觀行為。

(二) 資訊負載與決策效率之最佳化：從「擬真」轉向「判讀」，在緊急應變決策中，過度擬真的 3D 細節（如路樹、標線、車輛外型）易構成視覺雜訊。整合測試將確認透過簡化底圖、強化數據層的視覺表現（如熱點圖、速率色階），能否幫助管理者更直觀地判讀「區域飽和度」、「綠燈利用率」等關鍵績效指標，提升跨單位溝通效率。

(三) 運算資源配置與系統擴充性：從「渲染」轉向「演算」捨棄高成本且難以維護的全擬真建模，改採輕量化通用圖資，旨在將系統算力從前端圖形渲染轉移至後端複雜演算。測試將驗證此架構是否能釋放足夠運算資源，以支撐模式庫功能模組的高強度執行，確保在巨量即時數據下，系統仍能維持即時反應能力。

二、整合測試之重點

本期測試重點聚焦於「從單點功能，走向整體決策流程的驗證」，並以大型活動（臺中水湳場域跨年活動）作為代表性情境，分為三個層次進行驗證：

(一) 應用情境轉換的可行性驗證

驗證平台是否能從「日常通勤為主的交通管理」，順利轉換為「高密度人流與短時間交通衝擊」的大型活動應用場景，包含人流推估、運具分佈推演、交通影響分析等功能是否能有效支撐活動前規劃。

(二) 即時監控與預警能力的整合驗證

測試平台在活動進行期間，是否能同時掌握即時路段速率、路口負荷與號誌使用效率，並即時呈現交通瓶頸與異常狀態，協助管理人員快速辨識問題、調整策略。

(三) 跨模組協同與決策支援能力驗證

重點不在於單一模型預測準確度，而在於預測結果是否能被其他模組即時引用、監測結果是否能觸發告警與應變建議、知識庫是否能與即時情境連動，形成可操作的管理建議。此階段的測試，本質上是在驗證平台是否具備「系統級運作能力」，而非僅止於技術展示。

三、整合架構與各項分析模式之串接說明

本期計畫採取「模組化設計、共通資料模型與情境導向流程」之整合策略，將不同分析模式整合於同一數位雙生平台中，形成完整之大型活動交通管理應用架構，說明如下：

(一) 交通預測速率模式

平台透過 GVP（GPS-Based Vehicle Probe）資料即時蒐集路段車速與車流狀態，並介接交通速率預測模型，產出短期未來路況之預測結果。相關預測資料以結構化格式寫入平台資料層，供即時視覺化顯示、告警判斷與後續管理者決策引用，作為提前掌握壅塞風險之依據。

(二) 路口綠燈使用率分析模式

結合即時車流資料與號誌時制資訊，平台計算路口於特定時間單位（例如每 15 分鐘）之車流消化程度，轉換為綠燈使用率指標。該指標可即時反映路口實際負荷情形，協助管理者辨識關鍵瓶頸路口，並作為是否進行號誌調整與人力介入之判斷依據。

(三) 大型活動交通影響分析模式

透過 CVP（Cellular-Based Vehicle / Crowd Probe）資料進行活動前人流推估，分析活動吸引範圍、進出場方向及分時人流變化，對應傳統運輸規劃中之旅次吸引、旅次分佈與運具分佈等步驟。分析結果可進一步支援接駁車規劃、停車需求估計及交通管制策略之擬定。

(四) 大型活動交通疏導應變知識庫

平台整合歷史大型活動案例與實務管理經驗，建構交通疏導應變知識庫。系統提供對應之應變建議，作為管理人員決策輔助工具，而非取代人工判斷。

綜合前述，本期計畫之核心價值不在於新增單一功能，而在於透過大型活動情境之整合測試，驗證前期所建構之數位雙生平台、資料模型與分析模組，是否能在高風險、非常態之交通環境下穩定運作，並有效支撐跨模組、跨情境之交通管理決策。相關測試成果可作為後續推動平台模組化、標準化與跨機關擴散應用之重要依據，確保未來在不同城市、不同大型活動場域中，具備良好的可轉移性、可擴充性與操作相容性。針對未來實質營運之分工，本計畫明確界定既有交通控制系統為「營運主系統」，承擔交通管理之法定職權與控管執行；數位神經中樞則定位為「輔助決策模組」。中樞系統將 AI 預測成果、路口綠燈使用率告警及應變知識庫等智力資產，以建議方案之形式推送至主系統介面，提供管理人員在大型活動或突發事件時之決策參考，實現「科學數據導向」的智慧化管理。

5.2 實作案例及場域說明

一、實作背景與目標

承續前兩期計畫於「日常交通營運」數位雙生模型之建置成果，本期計畫將焦點轉向更具挑戰性的「非常態情境」應變能力。鑑於大型活動期間往往伴隨劇烈的交通變異與複雜的資源調度需求，本計畫選定臺中水湳經貿園區核心（同時為臺中超巨蛋預定地）之跨年活動作為實作案例。本場域具備路網密集、交通型態多元及人車流動頻繁等特性，能同時反映日常通勤之常態流動，以及大型活動期間之極端運作情境，為「智慧交通數位神經中樞系統」提供理想的壓力測試與整合驗證環境。

二、場域範圍與特性

本計畫選定之實作驗證場域涵蓋臺中市都市核心區域，以水湳經貿園區為中心，向外輻射至周邊重要交通節點。該區域周邊包含捷運綠線、高速公路、高鐵臺中站及市區主要幹道（如中清路、文心路），並匯集多處停車場與商業設施。此場域不僅涵蓋商業區、住宅區及重要交通樞紐，更透過導入第三方 GVP 資料與路側設備，建構起高頻率更新的數據基礎。詳細場域規格與特性如表 5.2-1 所示。

表 5.2-1 場域規格與特性綜整表

項目	子項	說明
場域涵蓋範圍	涵蓋面積	約 100 平方公里
	路口數量	約 300–500 個主要路口
	路段數量	約 3,000–10,000 道路路段
	資料更新頻率	每 5 分鐘更新一次
場域特性	道路型態	都市核心區域(水湳經貿園區區域)，包含主要幹道、次要道路及住宅區道路
	區域組成	涵蓋商業區、住宅區及重要交通樞紐等多元化區域
	資料基礎設施	透過探針車資料與路側設備

資料來源：本計畫彙整

三、選定原因與實作價值

選擇臺中超巨蛋跨年活動作為實作場域，主因在於其具備「高密度短時人潮」、「集中進出通道」及「易發生瓶頸」等特性。根據過往統計，活動期間數萬人流瞬間湧入，車流壓力倍增，極易造成交通壅塞與人車混流。透過此極端場景，可深度驗證系統在異常密度成長、臨時熱區形成下的即時運算與應變能力。具體選定原因與實作目的說明如下：

(一) 應用代表性：涵蓋都市交通管理之典型情境，包括尖峰時段壅塞、大型活動交通管制等，路網複雜度適中，適合作為系統功能驗證與成果展示場域，具備向其他城市推廣之參考價值。

(二) 資料多元：透過導入第三方多元數據 GVP（Government Vehicle Probe）探針車資料覆蓋，資料品質穩定，更新頻率符合即時與準即時視覺化應用需求。

(三) 驗證技術可行：於真實交通場域中驗證系統之運作穩定性，評估 3D 視覺化與整合分析對交通管理之實際應用效益，並累積系統建置與維運經驗。

5.3 實作整合技術與系統架構

本系統整合前端視覺化、後端資料處理、時序資料管理等技術層面，建構一套完整之交通數位雙生整合架構。系統透過標準化資料處理流程，將多元交通資料與預測分析成果進行整合，並統一轉化為可供前台應用之格式，使不同分析結果能於同一平台中一致呈現。

一、前端視覺化

本計畫所構建數位雙生系統之前端視覺化技術可彙整如表 5.3-1 所示，其係採用現代化前端框架結合三維地理空間視覺化技術，建構具備高互動性與即時回應能力之交通數位雙生操作介面。整體前端架構以 Vue 3 與 TypeScript 為核心，透過元件化與狀態管理機制，支援複雜交通資料之即時呈現與跨功能模組之狀態同步。

在三維視覺化方面，系統整合 3D 視覺化引擎，將道路網絡、交通狀態與分析結果以三維方式呈現於地理空間場景中，並結合時間軸控制與互動操作功能，使使用者可直觀觀察交通狀態於不同時間點之變化情形。此外，系統透過狀態管理機制統一管理全域應用狀態、時序資料與使用者操作設定，確保多項功能模組間之資料一致性與操作流暢性。前端介面則採用模組化 UI 元件設計，提供時間控制、資訊檢視與操作設定等功能，提升整體操作效率與使用體驗。

表 5.3-1 前端視覺化技術綜整表

技術項目	整合方式	主要應用說明
Vue 3 + TypeScript	作為前端核心框架，建構模組化應用架構	建構響應式使用者介面，支援路由控制與跨模組狀態整合
3D 視覺化引擎	整合三維地理空間視覺化技術	呈現道路網絡與交通狀態之三維視覺化，支援互動操作與時間軸切換
Pinia 狀態管理	統一管理前端全域狀態與時序資料；輕量級、直觀的 API 設計	管理交通資料狀態、使用者操作設定與功能模組間資料同步
Naive UI 元件庫	提供標準化介面元件	支援時間控制、資訊顯示與設定操作等前台互動功能

資料來源：本計畫彙整

二、後端資料處理

本計畫所構建數位雙生系統之後端資料處理技術可彙整如表 5.3-2 所示，為支援交通數位雙生系統之即時呈現與分析應用，建置一套多資料來源整合與資料處理方式，整合歷史、即時與預測交通資料，並結合道路地理資訊，形成一致且可比較之交通資料基礎。透過明確之資料處理流程，確保不同來源、不同時間尺度之交通資料，能穩定轉化為前台視覺化與分析應用所需之格式，支援後續交通狀態判讀與決策輔助。

表 5.3-2 後端資料處理技術綜整表

類別	技術／內容	說明
多資料源整合	探針車歷史資料（GVP Batch）	提供歷史交通狀態
	預測交通資料（GVP Predict）	提供未來時段交通狀態預測資訊
	即時交通資料	提供當前路況與即時交通狀態
	道路地理資訊	提供道路座標、名稱與類型等基礎地理資訊
資料處理流程	資料擷取與解析	透過 API 取得多來源資料，進行格式解析與基本驗證
	資料標準化	將不同來源資料轉換為一致之交通資料格式
	地理資訊整合	結合道路地理資訊，建立路段與交通資料對應關係
	交通狀態計算	計算交通壅塞程度並進行分級，支援視覺化呈現
資料處理支援工具	CSV / 壓縮檔處理函式庫	支援批次資料解析與檔案處理作業
	地理空間資料處理函式庫	支援道路幾何運算與空間分析需求

資料來源：本計畫彙整

三、時序資料管理

本計畫所構建數位雙生系統之時序資料管理處理技術可彙整如表 5.3-3 所示，為支援交通數位雙生於時間維度之呈現與分析，本系統建置時序資料管理用以統一管理不同時間點之交通資料狀態，支援歷史回放、即時監控與預測情境切換等應用需求。

表 5.3-3 時序資料管理技術綜整表

技術項目	功能	技術實作
TemporalManagementService（時序管理服務）	管理多個時間點的交通資料快照	● 使用陣列儲存 TimestampedTrafficData 物件 ● 實作資料導航功能（前進、後退、跳轉） ● 支援資料分類（歷史、當前、預測） ● 提供持久化儲存（localStorage）

資料來源：本計畫彙整

四、系統架構設計

本計畫所構建數位雙生系統之系統架構可彙整如表 5.3-4 及圖 5.3.1 所示，本期交通數位雙生系統採用模組化、資料驅動之架構設計，整體系統依功能分工劃分為「資料蒐集與整合」、「時序資料管理」、「3D 視覺化渲染」、「時間控制介面」及「API 服務」五大模組。各模組彼此獨立運作，並透過明確定義之資料流向與介接關係進行串接，使系統能在維持架構清晰的前提下，支援多來源交通資料整合、時間序列管理與前台互動應用，同時保有後續功能擴充與跨系統整合之彈性。

(一) 資料蒐集與整合模組

資料蒐集與整合模組為整體數位雙生系統之資料基礎，負責穩定取得多元交通資料來源，並將其轉換為平台內部一致之資料格式。系統可同時整合歷史交通資料、未來交通速率預測資料及即時交通資料，並結合 OpenStreetMap（OSM）之道路地理資訊，建立具備空間與時間一致性的交通資料基礎。所有外部資料在進入平台後，均會轉換為標準化之交通資料結構，包含道路識別碼、道路名稱、平均速率、資料時間戳、壅塞程度、道路類型及地理座標等欄位，確保後續模組可在不需關注資料來源差異的情況下進行分析與視覺化處理。此一設計亦使平台得以因應不同城市或機構之資料可得性，彈性調整資料來源配置。

(二) 時序資料管理模組

時序資料管理模組為數位雙生系統實現「歷史回放、即時監控與未來預測」的核心機制，負責管理多個時間點之交通資料快照。系統將交通資料依時間屬性區分為歷史、當前及預測三種類型，並以時間戳為索引進行統一管理，使不同分析模組與前端視覺化皆能同步指向同一時間狀態。

透過此模組，系統可支援時間點前進、後退、跳轉及快速回到最新資料等操作，並將使用者所選定之時間狀態作為後續視覺化與分析模組的共同依據，使數位雙生不僅呈現單一瞬間畫面，而能完整反映交通狀態隨時間變化的動態特性。

(三) 3D 視覺化渲染模組

3D 視覺化渲染模組負責將時序資料管理模組所提供之交通資料，轉換為可供判讀的三維路網視覺化成果。本系統以 Cesium 3D 引擎為核心，採取以路段與路網層級為主的巨觀呈現方式，將交通速率與壅塞程度以顏色分級方式映射至道路幾何上，使管理人員可快速辨識壅塞熱區與路網整體運作狀態。相較於前期偏重高擬真單點建模之方式，本期視覺化設計刻意降低不影響判讀的細節層級，將系統資源集中於交

通狀態呈現與互動操作效能，以支援大範圍路網與高頻率資料更新情境，提升大型活動與跨區域管理時之實用性。

(四) 時間控制介面模組

時間控制介面模組為時序資料管理之使用者操作層，提供直觀的時間軸控制機制，使使用者可透過點選、拖曳或播放方式，瀏覽不同時間點之交通狀態。所有時間操作皆即時回饋至時序資料管理模組，並同步觸發 3D 視覺化更新，確保畫面呈現與系統狀態一致。透過此一設計，管理人員可將時間軸作為主要操作邏輯，快速比較活動前、活動中及活動後之交通變化，強化數位雙生於決策支援上的可操作性。

(五) API 服務模組

API 服務模組為系統對外擴散與跨系統整合之關鍵節點，負責將平台內部之交通資料與分析成果，以標準化 RESTful API 形式提供給外部應用程式或其他管理系統介接使用。透過明確之端點設計與認證授權機制，外部系統可依需求查詢歷史、即時或預測交通資料，作為後續決策分析、顯示或應用服務之基礎。此一模組化 API 設計，使交通數位雙生平台不再侷限於單一展示系統，而能作為可嵌入既有治理架構之服務元件，支援未來跨機關、跨場域之擴散應用。

表 5.3-4 五大模組說明

模組	說明
模組一：資料蒐集與整合	整合歷史、即時及預測交通資料與道路地理資訊，作為後續分析與呈現之基礎。
模組二：時序資料管理	管理不同時間點之交通資料快照，支援歷史、即時與預測資料之分類與切換。
模組三：3D 視覺化渲染	透過三維視覺化技術呈現道路網絡與交通狀態，將交通壅塞程度與路網資訊直觀顯示於系統介面。
模組四：時間控制介面）	提供時間軸操作機制，支援時間點切換、播放與回放功能，使使用者可觀察不同時間狀態下之交通變化。
模組五：API 服務	提供標準化資料介接介面

資料來源：本計畫彙整

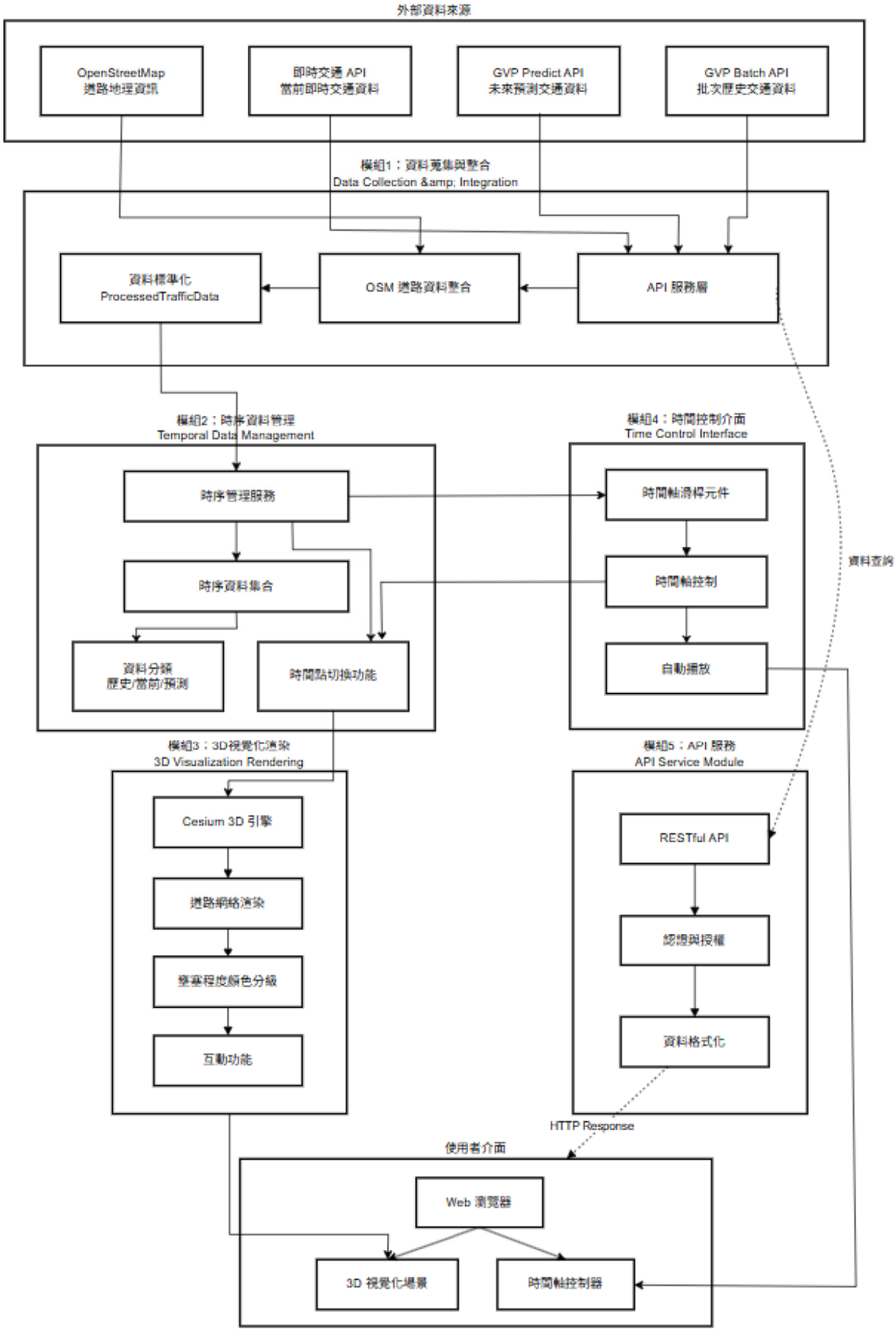


圖 5.3.1 本計畫數位雙生系統架構圖

5.4 實作成果

本節彙整智慧交通數位神經中樞之整合實作成果，說明各項分析模式如何於前台中協同運作，支援交通管理決策應用，茲就相關實作成果說明如下：

一、交通速率預測與壅塞路段預警應用

透過整合交通速率預測模式建置於智慧交通數位神經中樞之前台介面中，提供路網層級之即時與短期交通速率預測視覺化成果如圖 5.4.1 所示，以支援交通管理人員進行整體路況掌握與預警判斷。以數位雙生技術為基礎，將交通速率預測結果即時映射至三維路網場景中，並可依道路層級進行顯示與篩選。各路段之交通狀態以顏色分級方式呈現，直觀反映路段通行順暢或壅塞之情形，快速辨識整體路網中潛在之交通瓶頸區域。

系統進一步提供「預測壅塞路段排行」功能，彙整交通速率預測結果，自動篩選時段內速率顯著下降之路段，並依預測壅塞程度進行排序顯示。管理人員可即時掌握高風險壅塞路段及其預估速率數值，作為後續交通疏導、號誌調整或事件應變之優先處理依據，避免僅於壅塞發生後進行被動處理。另在系統中亦提供短期路網交通變化推演功能，可依五分鐘為時間單位，逐步呈現未來 30 分鐘內之路網交通速率變化情形。透過時間軸控制介面，使用者可觀察不同預測時點下路網顏色與壅塞分布之演變，協助交通管理單位提前研判壅塞生成、擴散或緩解之趨勢，並規劃相應管理策略。

透過上述整合設計，將交通速率預測成果由後端模型運算，轉化為結合路網視覺化、壅塞排序判讀與時間推演能力之決策支援前台介面，使交通管理作業由傳統即時反應模式，進一步邁向「預測導向之主動管理」，展現智慧交通數位神經中樞於整合分析與決策支援層面的實作成果。

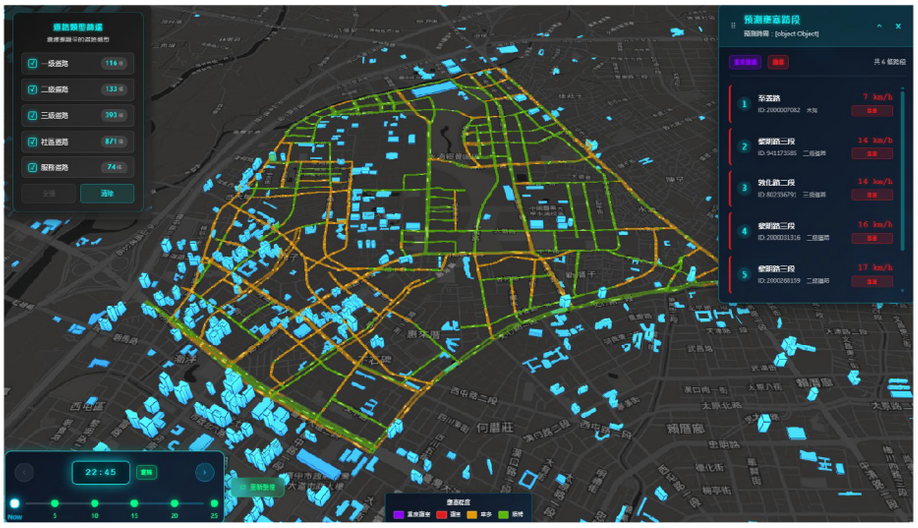


圖 5.4.1 交通速率預測服務功能情境示意圖

二、路口綠燈使用率分析與號誌效能視覺化呈現

進一步整合路口綠燈使用率分析模式於智慧交通數位神經中樞前台中，提供路口層級之號誌效能視覺化與異常判讀功能如圖 5.4.2 所示，使交通管理人員可由路網層級下鑽至單一路口，精準掌握各方向號誌運作情形。系統以數位雙生路網為基礎，於地圖介面中標示各路口節點，並依據綠燈使用率分析結果，以顏色與標記方式呈現路口整體運作狀態。管理人員可快速辨識綠燈使用率偏低、配置不均或潛在效率異常之路口，作為後續檢討與調整之重點對象。

當使用者點選特定路口時，系統可顯示該路口之詳細綠燈使用率資訊，包含各行車方向之綠燈使用率、車流量分布及整體平均使用率，並輔以路口配置示意圖進行說明。透過此方式，管理人員可直觀比較各方向號誌資源分配是否合理，判斷是否存在特定方向綠燈資源未被有效利用，或因交通需求不均導致之效率落差。系統同步提供路口綠燈使用率之異常警示清單，彙整使用率顯著偏離常態之路口，並呈現其相關統計指標，協助管理人員快速掌握需優先檢討之節點。此一設計可避免僅依賴人工巡查或經驗判斷，使號誌效能檢討作業更具系統性與客觀性。透過將綠燈使用率分析結果整合至數位雙生前台，本系統成功將後端分析成果轉化為可即時判讀之視覺化資訊，使交通管理作業不僅能掌握路段通行狀況，亦能深入檢視路口號誌資源使用效率，形成由「路網」至「路口」之完整決策支援鏈結，展現智慧交通數位神經中樞於多層級交通管理應用上的整合實作成果。



圖 5.4.2 路口綠燈使用率分析功能服務情境示意圖

三、大型活動人流熱點預估與空間分布呈現

整合人流熱點預估分析於智慧交通數位神經中樞前台中，提供以活動為情境之人流規模、空間分布與時間變化之視覺化呈現如圖 5.4.3 所示，協助交通管理單位提前掌握大型活動期間之人流聚集趨勢。

可依活動時間與地點條件，預估活動期間人流於路網空間中之分布情形，並以點狀群聚與網格化熱度方式呈現人流集中區域，直觀顯示潛在人潮熱點及其相對規模，作為活動周邊交通管制與動線規劃之參考依據。同步提供人流來源結構與時間變化分析，包含活動前後不同時段之人流變化趨勢，以及市內、市外人流比例與主要來源區域分布，協助管理人員研判人流進出高峰時點與可能衍生之交通壓力。為強化決策應用，本功能亦可疊加顯示公共運輸站點、停車設施及共享運具等相關設施位置與資訊，使人流預估結果能與交通資源配置進行整合判讀，支援活動期間之整體交通與人流管理規劃。透過前述整合設計，系統將人流預估分析成果轉化為可直觀判讀之數位雙生前台畫面，使大型活動管理由事後應變，提升為事前研判與整體規劃，展現智慧交通數位神經中樞於跨域整合應用上的實作成果。



圖 5.4.3 人流熱點預估服務功能情境示意圖

四、大型活動接駁車需求預估與站點配置輔助

本系統整合人流預估成果於智慧交通數位神經中樞前台中，提供大型活動期間接駁車需求預估與站點配置之輔助分析功能如圖 5.4.4 所示，協助管理單位研判活動期間

替代運具之使用需求。系統可依活動時間與地點條件，預估活動期間各接駁站點之需求規模，並以視覺化方式呈現接駁需求於空間上的分布情形，直觀顯示需求較高之接駁站點，作為接駁動線與站點配置規劃之參考。另系統同時提供接駁需求之時間變化趨勢與站點清單排序，協助管理人員掌握活動前後不同時段之接駁需求高峰，並辨識需優先投入資源之重點站點。透過將接駁車需求預估結果整合至數位雙生前台，本系統支援大型活動期間多元交通模式之整體規劃，提升活動交通管理之彈性與完整性。

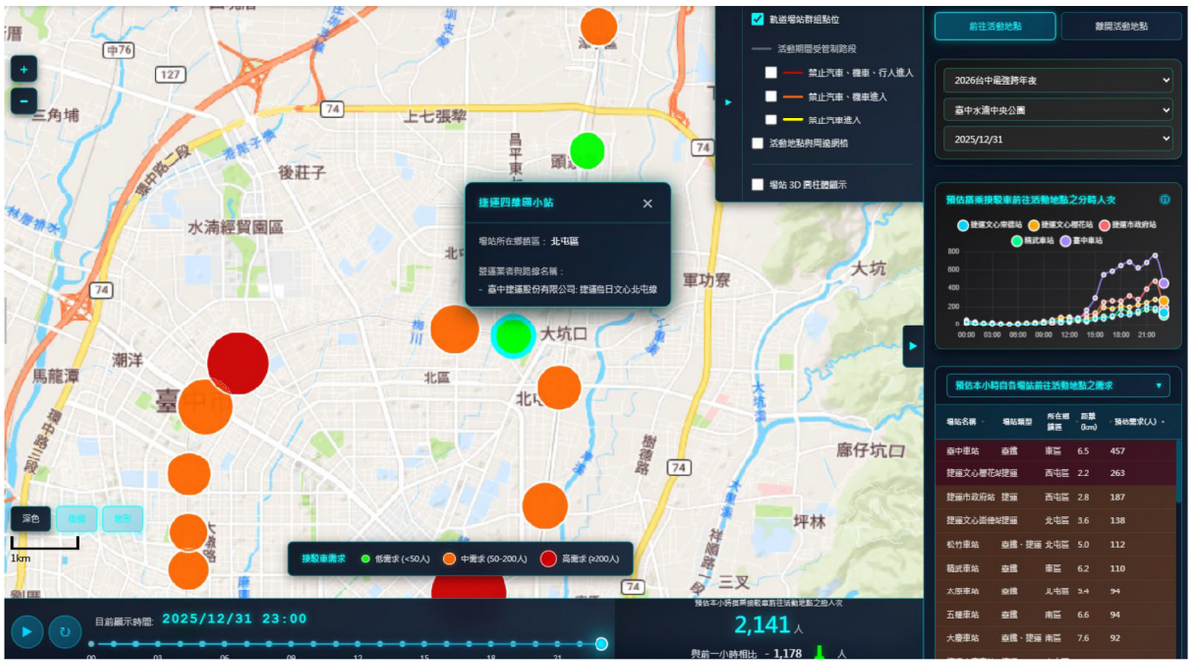


圖 5.4.4 接駁車需求預估服務功能情境示意圖

五、大型活動停車需求預估與重點節點呈現

本系統於大型活動情境下整合停車需求預估分析，於智慧交通數位神經中樞前台中，提供活動期間停車需求空間分布與重點節點判讀功能圖 5.4.5 所示，協助交通管理單位提前掌握潛在停車壓力區域。系統可依活動時間與範圍條件，預估活動期間各路口之停車需求情形，並以顏色與節點大小方式呈現停車需求強度，直觀顯示低、中、高停車需求之空間分布，協助管理人員快速辨識停車需求可能集中之區域與節點。在系統中亦提供重點路口之停車需求資訊檢視功能，管理人員可透過點選路口，查看該節點於不同時段之預估車流與停車需求變化，並結合時間軸控制，觀察停車需求隨活動進程之變化趨勢。透過停車需求排序與趨勢呈現，管理單位可提前規劃交通引導、停車管理或相關管制措施。透過將停車需求預估結果整合至數位雙生前台，本系統使大型活動期間之停車管理由事後因應，提升為事前研判與整體規劃，進一步強化活動交通管理之完整性與可操作性。



圖 5.4.5 停車需求預估服務功能情境示意圖

六、大型活動停車供需分析與支援決策呈現

整合停車需求預估與停車供給資訊於智慧交通數位神經中樞前台中，提供大型活動期間停車供需分析與決策支援呈現如圖 5.4.6 所示，協助管理單位快速判斷活動周邊停車資源是否足以因應預估車流。系統以活動範圍為基準，彙整周邊停車場位置與可用格位數，並與預估停車需求進行空間對照，直觀呈現停車需求集中區域及其周邊可支援之停車供給情形。管理人員可透過地圖與清單介面，同步掌握各停車場之汽車與機車停車格位數，作為停車引導與管制規劃之參考依據。系統中同時提供停車供需檢核流程之視覺化說明，輔助管理單位依據需求與供給關係，研判是否需啟用替代停車場、臨時停車空間或相關配套措施。透過將停車供需分析結果整合至數位雙生前台，本系統使大型活動停車管理由經驗判斷，提升為具備量化依據之輔助決策，強化活動交通整體規劃之完整性。

七、交通引導與管制規劃輔助功能

本系統進一步整合交通速率預測、停車需求與供需分析成果，於智慧交通數位神經中樞前台中，提供大型活動期間交通引導與管制規劃之輔助功能如圖 5.4.7 所示，協助管理單位於活動前完成整體交通配置之研判與規劃。系統可依據預測結果，自動判定可能形成壅塞或衝突之警示路口與路段，作為交通管制與引導規劃之重點關注區域。並結合進離場動線配置概念，提供避開警示路口之行車動線安排建議，協助管理人員思考車流分流與動線引導策略。系統中亦整合導引牌面設置、主要停車場、車行與接駁動線等關鍵節點資訊，提供交通引導與管制資源配置之參考，並輔以人力配置建議，支援活動

期間交通管理與現場執行規劃。透過將交通引導與管制規劃結果整合於數位雙生前台，系統使大型活動交通管理由單點經驗判斷，提升為可視化、可檢核之整體規劃輔助，強化活動交通管理之可操作性與完整性。

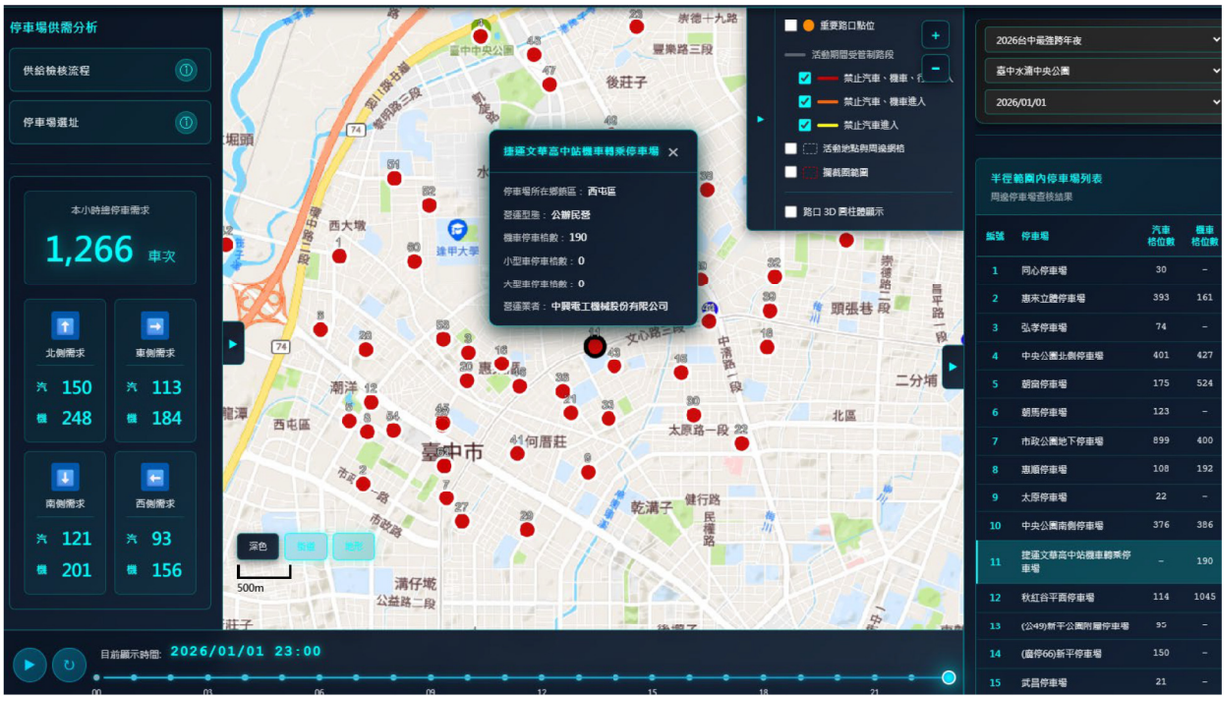


圖 5.4.6 停車供需分析服務功能情境示意圖

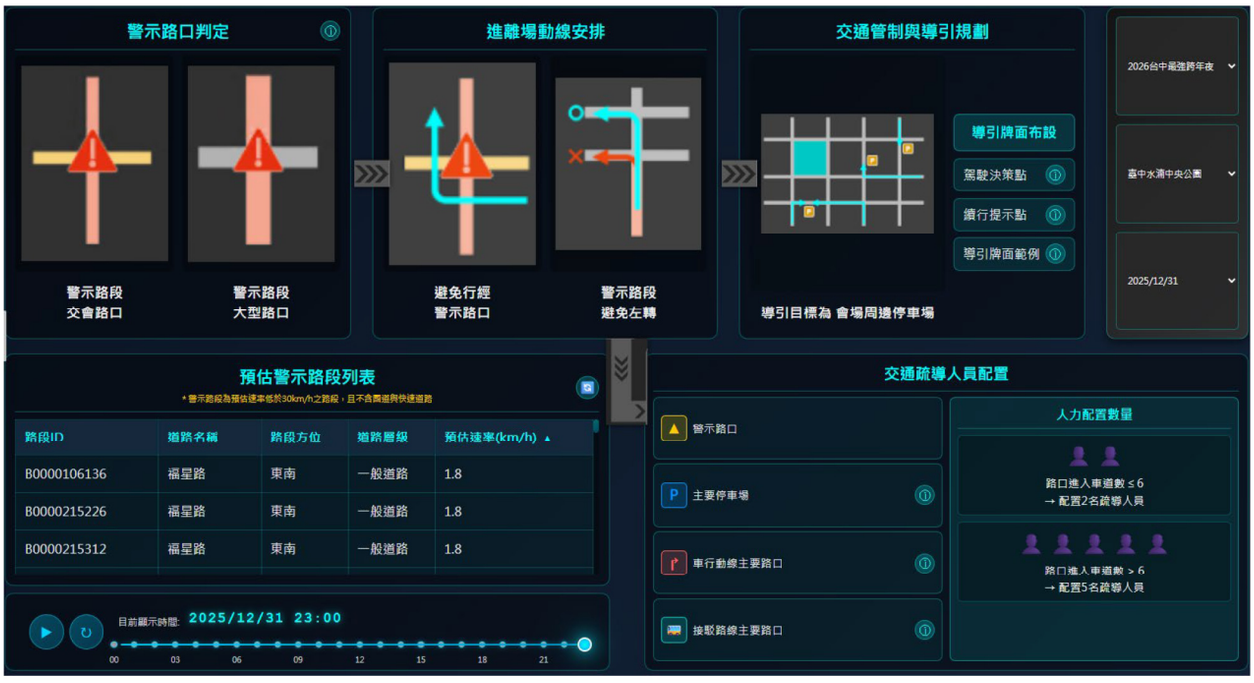


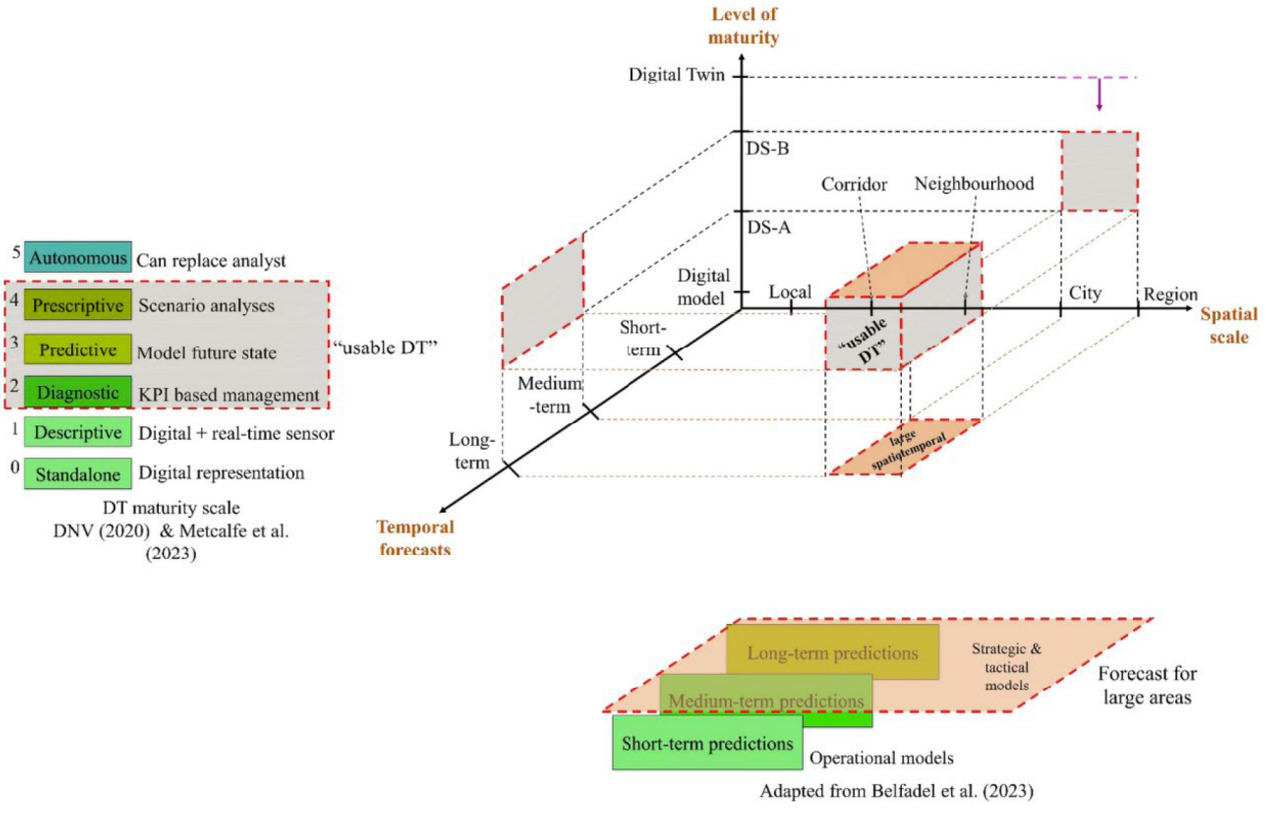
圖 5.4.7 交通引導與管制規劃輔助功能示意圖

5.5 綜合探討

5.5.1「Towards “usable” digital twins」架構定位

本計畫回顧 Nag et al.(2025)之研究，傳統數位雙生（Digital Twin, DT）成熟度模型多源自製造、能源或流程工業領域，其假設系統行為可高度自動化，並以「完全自動化（Autonomous）」作為最高成熟狀態。然而，交通與運輸規劃系統高度受人類行為、政策接受度與多元利害關係人互動影響，使得「完全自動化」在多數城市治理情境下並不現實。Nag et al.(2025)因此指出：既有單向遞進式成熟度模型若直接套用於交通領域，將導致「高成熟度 DT 幾乎不可實現」的矛盾結論，並強調在交通規劃實務中，DS-A 或 DS-B 等較低成熟形式，在較大時空尺度下仍可被視為可用（usable）DT。

Nag et al.(2025)亦提出如圖 5.5.1 之「Towards “usable” digital twins」概念：成熟度評估不應僅以「是否完全自動化」為核心，而應該以在特定時空尺度下是否 “good enough” 且可被實務採用作為判定基準。



資料來源：Nag et al.(2025)

圖 5.5.1 Nag et al.(2025)「Towards “usable” digital twins」概念圖

一、「Towards “usable” digital twins」三維評估邏輯

Nag et al.(2025)將 DT 的評估，從傳統「單一垂直成熟度」擴展為同時考量技術成熟度（maturity）、空間尺度（spatial scale）與時間預測期程（temporal forecasts）的三維架構，如對應圖 5.5.1 中之右上圖，並彙整如表 5.5-1。其核心主張為 DT 的適切成熟度需與其應用的時空尺度相互匹配，而非追求單一最高等級。

表 5.5-1 「Towards “usable” digital twins」三維評估邏輯

軸向	代表意義	對應用途
垂直軸 Z	DT 成熟度層級：Digital Model → DS-A → DS-B → Digital Twin（以連結自動化與服務可行動性區分）	● Digital Model： ➢僅提供數位化表示與離線分析 ➢缺乏即時資料串流與回饋機制 ● Digital Shadow-A（DS-A）： ➢可自動接收即時或準即時資料 ➢分析結果仍需由人類解讀並轉化為決策 ● Digital Shadow-B（DS-B）： ➢ 模型結果可直接轉譯為可操作建議（KPI、告警、情境分析） ➢但實體系統仍需人為介入執行 ● Digital Twin： ➢具備雙向、自動化回饋能力 ➢可在特定場域內形成「分析—決策—執行」
水平軸 Y	空間尺度：Local → Corridor → Neighbourhood → City → Region（運輸系統的空間管理範圍）	● Local：以「單點設施/單一節點」為核心的 DT 管理範圍（典型：單一路口/匝道/站點），適合即時監控與操作控制。 ● Corridor：以「連續路段＋多節點串聯」為核心的 DT 管理範圍（典型：幹道/快速道路走廊），適合走廊層級的壅塞變化判讀與協調控制。 ● Neighbourhood：以「城市內次區域/生活圈」為核心的 DT 管理範圍（面狀），適合事件/活動衝擊管理、停車與人流熱點治理等戰術層決策。 ● City：以「全市路網」為核心的 DT 管理範圍，適合跨區協同、城市級績效（KPI）與方案影響評估；但要達到更高 DT 成熟度更具挑戰。 ● Region：以「跨城市/都會區/區域路網」為核心的 DT 管理範圍，常連動較長期的預測與策略規劃；文獻顯示此尺度的 DT 研究占比相對較少，且成熟度提升更困難。
斜向軸 X	時間尺度(預測期程)：Short-term→Medium-term →Long-term forecasts（模型預測／規劃時間視窗）	● Short-term：Operational models(即時操作、即時控制) ● Medium-term：戰術層決策(調度、方案評估) ● Long-term：Strategic planning(政策、願景、結構性變革)

資料來源：Nag et al.(2025)

二、垂直軸 Z：DT 類型判定

此外，作者以 DT 五大構成（physical object、digital object、data model、service、connections）為基礎，並以「connections 的自動化程度」與「service 是否能產出可行動洞見」、以及「是否自動回連物理世界執行」區分 DT 類型，如表 5.5-2。研究提到，在交通規劃領域中，DS-A 與 DS-B 並非「不成熟的過渡型態」，而是在多數情境下最具實務價值的成熟形式。

表 5.5-2 DT 類型判定要點

類型	核心特徵
Digital Model	以離線模型/分析為主；缺乏（或非自動）即時連結；多為數位化表示與分析
DS-A（Digital Shadow-A）	模型輸出無法直接轉成可行動步驟；因 data model 與 service 間缺乏自動連結，需使用者解讀後介入決策
DS-B（Digital Shadow-B）	可自動連結到 service（KPI、告警、清單、方案評估、建議）並提供可行動洞見；但未自動連回 physical space 執行，仍需人為介入落地
Digital Twin	具備雙向自動化閉環（digital → physical 的自動回饋）；能自動修改物理環境屬少數案例

資料來源：Nag et al.(2025)

三、水平軸 Y：空間尺度

圖中水平軸呈現從 Local（局部）到 Region（區域）的空間擴展，其隱含意涵為：空間尺度越大，代表系統複雜度越高、人類行為與政策不確定性越強、完全自動化越不切實際。而圖中以紅色虛線標示的「usable DT」區域，顯示：Local / Corridor 等小尺度系統可較容易達到高成熟度（甚至接近 Digital Twin），City / Region 等大尺度系統即使僅達 DS-A 或 DS-B，仍可視為「可用且成熟」的 DT。

四、斜向軸 X：時間預測尺度與模型功能定位

斜向軸反映交通模型在不同預測期程下的功能角色，此設計強調：短期預測適合高更新頻率、即時資料驅動，且常見於小尺度、操作型 DT。中長期預測關注趨勢與情境分析，不需要（也不適合）高度即時或自動回饋。因此，要求長期、區域尺度 DT 達到「即時全自動控制」本身即不合理。

而圖 5.5.1 中之右上圖主要是於「斜向軸（時間尺度）」加註一個很重要的概念，即時間預測越短，越可能形成可操作、可即時回饋的 operational DT 服務；時間預測越長、空間越大，越應以戰術/策略層的情境分析與決策支援為主，而不宜用「是否能即時自動閉環」來要求成熟度。此外，圖 5.5.1 中之左圖是「傳統 DT 成熟度階梯」，

引用 DNV(2020)與 Metcalfe et al.(2023)的 DT maturity scale（表 5.5-3），紅色虛線框住的是 Level 2－4，作者刻意把 Autonomous（Level 5）放在框外，想傳達在交通規劃中，「完全自動化、取代人類決策」既不實際也不必要，核心原因為「交通系統無法移除人類行為」、「政策、規劃、治理本來就需要人」、「技術再先進，也無法自動替代規劃者」。

表 5.5-3 傳統 DT 成熟度階梯

Level	意義
0 Standalone	靜態數位表示
1 Descriptive	即時感測 + 描述
2 Diagnostic	KPI 管理
3 Predictive	預測未來狀態
4 Prescriptive	情境分析、建議

資料來源：Nag et al.(2025)

綜合以上 Nag et al.(2025)研究對於「Usable DT」的核心定義與判斷準則，結合三軸分析提出的 usable digital twins 概念可歸納為以下判斷邏輯：「只要數位雙生在其對應的空間尺度與時間尺度下，能提供足夠成熟、可信且可被實務採用的決策支援，即可被視為成熟且可用的 DT。」其關鍵特徵包括：不以「完全自動化」作為唯一成熟指標、接受人類作為決策與執行回路中的必要角色、容許 DS-A/DS-B 成為高成熟度狀態、強調「適配性」而非「最高等級」。綜合而言，〈Towards usable digital twins〉圖所傳達的關鍵意涵可歸納如下：

一、交通領域不適用單向、線性 DT 成熟度模型；
二、DT 成熟度應視其時空應用範圍進行調整；
三、DS-A 與 DS-B 在實務上是高度可行且成熟的 DT 型態；
四、「可用性（usability）」比「完全自動化」更重要。

5.5.2本計畫數位雙生系統於「Towards usable DT」架構之定位

一、本計畫功能模組於 DT 成熟度與時空尺度之定位意涵

綜合本計畫之系統建置內容（多源即時/準即時資料整合、標準化資料模型、視覺化、預測、KPI/告警、清單排序與知識庫建議等），並依 Nag et al.（2025）之判定基準，本計畫「智慧交通數位神經中樞」整體成熟度定位如下：

(一) 成熟度（垂直軸）：以 DS-B 為主（部分呈現功能可介於 DS-A→DS-B）。其原因在於系統已能將資料與分析結果自動連結至服務層（service），輸出可供

管理者直接採取行動的洞見（如：壅塞路段排行、異常清單、KPI 指標、告警與應變建議），但最終執行（號誌調整、管制啟動、人力派遣等）仍屬人工決策落地，尚未形成 digital→physical 的自動閉環，符合 DS-B 定義。

(二) 空間尺度（水平軸）：屬 Neighbourhood，以「城市內次區域/生活圈」為核心的 DT 管理範圍（面狀）。

(三) 時間尺度（斜向軸）：以 Short-term（5 分鐘更新、未來 30 分鐘推演）為主，並包含大型活動事前規劃之 Medium-term（人流、接駁、停車等戰術規劃）。文獻亦指出高更新頻率較適合短期視窗，而長期規劃未必需要同等即時性。

(四) usable DT 判定：依 Nag et al.（2025）主張，對於較大時空尺度之運輸治理情境，DS-A／DS-B 仍可視為「usable DT」，不必以 fully automated DT 作為唯一標準；因此本計畫屬可用型數位雙生之務實落點。

彙整本計畫所建置之各項交通數位雙生功能模組，並依據 Nag et al.（2025）所提出之 Digital Model、Digital Shadow-A（DS-A）、Digital Shadow-B（DS-B）及 Digital Twin 分類架構，綜合評估其在成熟度層級（垂直軸）、空間尺度（水平軸） 與時間尺度（斜向軸）上之實際落點。

由表中分析結果可知，本計畫所建置之核心功能模組，包含多源交通資料整合、短期交通速率預測、壅塞預警、路口綠燈使用率 KPI 分析、大型活動人流熱點推估、停車與接駁需求評估，以及知識庫型交通疏導建議等，多數皆可歸類為 DS-B（Digital Shadow-B）層級。其主要特徵在於：系統已能自動串接即時或準即時資料，並將分析結果轉化為具體的可行動輸出（actionable insights），如異常清單、優先排序、指標評估結果與策略建議，直接支援管理人員進行判斷與決策；惟相關控制與執行行為仍由人為介入完成，尚未形成完全自動化之實體閉環控制。此一成熟度定位與 Nag et al.（2025）對交通與運輸系統 DT 發展現況之論述高度一致。文獻明確指出，在具高度人為行為與政策判斷需求之交通系統中，DS-A 與 DS-B 並非過渡或不成熟狀態，而是最具實務可行性與應用價值的成熟型態。因此，本計畫雖未追求全面自動化之 Digital Twin 架構，然其在「服務可行動性」與「決策支援能力」層面，已符合文獻所定義之 usable digital twin 要件。

在空間尺度方面，顯示本系統主要涵蓋 Neighbourhood 至 City 等中至大型城市尺度，能同時支援路段、路口群組與跨區域路網之整體管理需求；在時間尺度上，則以 Short-term operational 應用為主，並輔以 Medium-term tactical 規劃用途（如大

型活動前之人流、接駁與停車規劃）。此種時空定位亦呼應文獻所指出：對於城市尺度以上之交通系統，不宜以即時全自動控制作為成熟度必要條件，而應重視其是否能在適當的時間尺度下提供可靠且可採用的決策支援。

二、本計畫於「成熟度—空間—時間」三軸架構中的整體落點

茲進一步將本計畫整體系統定位整理如表 5.5-5 所示，映射至 Nag et al.（2025）所提出之「成熟度—空間尺度—時間尺度」三維評估架構中，以說明本系統在整體交通數位雙生發展脈絡中的相對位置與合理性。由表中綜合判定可知，本計畫在成熟度層級（垂直軸）上，以 DS-B 為主要落點，代表系統已具備穩定的資料連結能力與服務層輸出機制，能將分析與預測結果直接轉化為管理與規劃所需之資訊產品；在空間尺度（水平軸）上，系統涵蓋 Neighbourhood 至 City 等中大尺度範圍，符合城市層級交通管理與大型活動治理之實際需求；在時間尺度（斜向軸）上，則以短期即時監控與操作支援為核心，並延伸支援中期之戰術與規劃應用。

依據 Nag et al.（2025）所提出之「Towards usable digital twins」概念，在此類較大時空尺度之應用情境中，DS-A 或 DS-B 層級即可被視為具備高度成熟度與實務價值的數位雙生系統，不必以 fully automated Digital Twin 作為唯一評估標準。換言之，本計畫系統之價值不在於是否完全取代人類決策，而在於其是否能於對應之時空尺度下，穩定、持續且有效地支援交通管理與規劃決策。

綜合表 5.5-4 與表 5.5-5 之分析結果可知，本計畫所建置之交通數位雙生系統，在成熟度定位、時空尺度適配性與實務可用性三方面，均與 Nag et al.（2025）所提出之「usable digital twin」發展方向相符，具備作為城市級交通治理與大型活動管理決策支援平台之合理性與可行性，亦為後續跨場域擴散與政策推動提供明確之理論依據與實證基礎。此種向「Usable DT」轉型的策略，對於「跨單位協作效率」具有顯著實務貢獻。具體表現於以下兩點：

一、大幅降低硬體門檻：透過 LOD 1-2 之輕量化圖資策略，系統運算負載顯著降低。這使得交控中心在多螢幕、多機同時監控高流量場域時，仍能維持極低的顯示延遲（低於 200ms），避免因系統耗損過大而導致決策滯後。

二、突破空間限制的行動協作：輕量化架構使現場執勤人員透過一般行動載具（平板或手機）即可輕易接入平台，達成「前端現場」與「後端指揮中心」之即時視角同步。相較於過往高擬真模型僅能在特定高效能工作站執行，本計畫成果能提升第一線人員在大型活動疏運期間的應變速度。

表 5.5-4 本計畫數位雙生功能模組之 DT 成熟度與時空尺度定位

模組／能力面向	本計畫 具體內容	成熟度 判定	主要空間尺度	主要時間 尺度	判定依據 （對照文獻）
多源資料蒐集與標準化（NGSI-LD、SAE J2735、API 整合）	整合 GVP（歷史/即時/預測）、CVP、人流/車流/設施等；統一資料格式並供前台/模組使用	DS-A→DS-B（偏 DS-B）	Neighbourhood–City	Now/Short	具自動資料流與資料模型，並可支援 service 自動運作；若直接驅動告警/清單則偏 DS-B
時序資料管理＋時間軸回放/推演	歷史/當前/預測切換；時間點前進、後退、跳轉、播放；支援多模組同步	DS-A（可上推至 DS-B）	Neighbourhood	Short	僅回放/呈現多屬 DS-A；若結合可行動輸出（排行/警示）則可進至 DS-B
交通速率預測＋壅塞路段預警	5 分鐘更新、短期速率預測、壅塞排行、未來 30 分鐘推演	DS-B	Corridor–Neighbourhood	Short	預測結果自動轉為排行/預警/分級等 service，屬可行動洞見；執行仍人工＝DS-B
路口綠燈使用率 KPI＋異常清單	綠燈使用率、方向別指標、異常路口清單、下鑽檢視	DS-B	Local–Neighbourhood (可擴至 City)	Short/Medium	KPI 與清單屬 actionable insights；號誌調整仍人工介入＝DS-B
大型活動人流熱點（CVP）與分布	活動前人流推估、熱點網格、來源結構、時間變化	DS-B（規劃導向）	Neighbourhood	Medium	結果直接支援管制/資源配置規劃（service 明確）；非自動執行＝DS-B
接駁需求預估與站點配置輔助	站點需求規模、趨勢曲線、站點排序	DS-B（戰術/規劃）	Neighbourhood	Medium	直接輸出優先序與需求量作為決策依據，符合 DS-B 之 service 連結特徵
停車需求預估＋供需檢核與策略	節點需求強度、供需對照、替代停車/臨時空間檢核流程	DS-B（戰術/規劃）	Neighbourhood	Medium	已轉為「可檢核流程＋方案」，屬可行動洞見；執行仍人工＝DS-B
疏導應變知識庫（建議型）	彙整歷史案例與實務經驗，提供應變建議（不取代人工）	DS-B（決策支援）	Neighbourhood – City（可擴散）	Short–Medium	強調人類需存在於回饋迴路，DS-B/usable DT 符合運輸實務
對外 API 服務與跨系統整合	RESTful API、可嵌入既有治理架構、支援跨機關擴散	強化 DS-B 可用性	City–Region	全期程	強化 connections 與 service 可部署性，支撐可擴散與可維運之 usable DT

資料來源：本計畫彙整

表 5.5-5 本計畫於「成熟度—空間—時間」三軸之整體落點

軸向	本計畫落點	證據（系統特徵）	對應圖 5.5.1 之意涵
成熟度(垂直軸)	DS-B（主）	可自動產出 KPI/告警/排行/建議等 service；執行仍人工	城市級治理情境下，DS-B 仍屬 “usable DT”
空間尺度(水平軸)	Neighbourhood	水滴園區：以「城市內次區域/生活圈」為核心的 DT 管理範圍	較大尺度更不宜以 fully automated DT 作為唯一目標
時間尺度(斜向軸)	Short-term 為主＋Medium-term 規劃	5 分鐘更新、30 分鐘推演；活動前人流/接駁/停車規劃	高更新頻率較適用短期；中長期著重情境/方案分析

5.5.3技術特點與成本分析

一、技術特點與整體優勢分析

本系統在技術設計上以開源技術為核心，兼顧效能表現與長期營運成本控管。系統主要技術元件採用 Vue、Cesium、Pinia 等成熟之開源框架，皆屬商業友善授權模式，在建置與後續擴充過程中，有助於降低整體建置成本與長期維運負擔，提升公部門導入之可行性。在系統架構層面，本系統採模組化設計，將核心功能劃分為資料蒐集、時序管理、三維視覺化、時間控制與 API 服務等五大模組，各模組職責明確且彼此低耦合，使系統能支援獨立開發、測試與部署作業，提升系統維護效率，並保有彈性以因應未來功能擴充或技術替換需求。更重要的是，該模組化與標準化設計使平台能將「資料—分析—呈現」進一步轉化為「排行、清單、KPI、告警、建議」等可操作服務，即在未形成自動閉環的前提下，仍可提供可行動洞見並支援人機協作決策。

為提升系統整合能力，提供標準化之 RESTful API 介面，並支援前端嵌入與 API 介接等多元整合模式，可依不同應用情境與既有系統架構進行彈性串接，降低跨系統整合的技術門檻與導入成本。在視覺化與效能表現方面，系統採用三維視覺化引擎，能有效支援大規模道路網絡與交通資料渲染，並透過 WebGL 效能優化機制，使管理人員在高資料量情境下，仍能即時掌握整體交通狀態。此種「以判讀與決策支援為核心，而非追求高擬真建模」之路徑，亦回應文獻對交通領域 DT 發展之務實觀點：在較大時空尺度下，重點是可用性（usable）與情境適配，而非完全自動化。

二、成本初步分析

為評估本系統於不同導入情境下之成本可行性，以下從開發、部署及維運三個面向進行概略成本分析，作為後續推動應用與擴散之參考，並彙整如表 5.5-6。

(一) 開發成本

在系統開發階段，若採自行開發模式，主要成本來自人力投入、系統測試與驗證作業。以完整系統建置為例，需投入前後端開發與系統整合人力，開發期約為半年至一年，人力成本約落於 300-600 萬元。此外，開發環境所需之基本硬體設備成本約為 2-3 萬元，軟體部分多採用開源技術，僅於選用特定進階服務時可能產生 0-10 萬元之授權或服務費用。另功能、效能與安全性相關測試與驗證成本約為 50-100 萬元。整體而言，自行開發模式之初期開發成本約介於 350-710 萬元之間(未包含後續維運費用)。若採服務介接模式，系統開發成本主要集中於短期整合與設定作業，整合開發成本約為 5-20 萬元，可沿用既有硬體設備。另可能產生依使用規模計價之服務訂閱費用，作為年度支出項目。

(二) 部署成本

在系統部署階段，依實際應用規模不同，部署成本亦有所差異。以中小型正式環境為例，系統可支援約 1,000 至 5,000 條路段之處理需求，主要成本仍集中於系統整合與部署設定作業，整合開發成本約為 5-20 萬元，硬體部分多可沿用既有設備，無需額外投入，另依實際使用情形產生服務訂閱費用。在大型正式環境中，系統需支援 10,000 條以上路段之處理需求，部署方式可透過分散式架構與應用伺服器擴充進行因應，整合開發成本同樣約為 5-20 萬元，硬體設備可採既有或雲端資源方式支援，相關服務費用則依使用量與規模彈性調整。

(三) 維運成本

在系統維運階段，成本主要來自系統調整、功能優化與必要之服務訂閱支出。以中小型環境為例，維運作業通常需投入 1 至 2 名工程人員進行系統調整與例行維護，相關成本約為 5-20 萬元，硬體部分多沿用既有設備。另依實際使用情形，可能產生年度服務訂閱費用，作為系統穩定運作與資料服務之支出。

表 5.5-6 本計畫系統成本概略彙整表

面向	自行開發模式(概估)	服務介接模式(概估)	說明
開發	350–710 萬	5–20 萬 + 訂閱費	自行開發含人力與測試驗證；介接以短期整合為主
部署	5–20 萬(整合設定)	5–20 萬(整合設定)	硬體多可沿用；大型環境可採分散式/雲端
維運(年)	5–20 萬 + 訂閱費	5–20 萬 + 訂閱費	以例行維護、調整與服務費為主

三、大規模擴散可行性評估

綜合前述系統架構設計、實作成果驗證與成本概略分析，本系統具備推動大規模

擴散之可行性：

(一) 系統採模組化分工與標準化介面設計，核心功能（資料整合、時序管理、三維視覺化與時間控制、對外 API 服務）可依不同城市既有條件彈性選配與調整，降低導入時的客製化負擔。

(二) 系統以多來源交通資料整合與一致化資料處理流程為基礎，能配合各地資料可得性逐步導入，並透過時序資料管理機制支援歷史、即時與預測情境切換，使應用價值不侷限於單一情境或單點功能。

(三) 系統以開源技術為主，初期建置可依「自行開發」或「服務介接」採取不同導入策略，並依規模採分階段部署與擴充，使成本投入具可控與可預期性。整體而言，若各城市具備基本交通資料來源與既有交控系統整合條件，本系統可作為具擴充彈性、可維運且可複製之交通數位雙生平台，支援後續跨場域推廣與擴散應用。

5.5.4 智慧化大型活動交通管理標準作業指引（SOP）

此外，基於前述水滴跨年晚會之數位雙生實作經驗，本計畫歸納出「智慧化大型活動交通疏導 SOP」，提供交通管理機關作為未來大型事件之參考準則：

一、事前階段（模擬與預演）

(一) 情境模擬：利用數位雙生平台針對活動進場與散場時段進行車流模擬，預判可能之回堵熱點。

(二) 模式預選：依據預期規模，從模式庫中選取適用之預訓練 AI 號誌模型。

(三) 設備檢校：確認路側 5G 邊緣運算設備、CCTV 與 VD 連線狀態。

二、事中階段（動態監控與主動介入）

(一) 動態偵測：透過 5G 高頻寬回傳即時影像，監控關鍵路段（如中清路、經貿路）之即時流率。

(二) 主動介入：當預測流量超過臨界值，AI 號誌模型產出最佳化秒數，並經由 5G 低延遲 API 下送至現場控制器。

(三) 跨單位共享：透過網頁式數位雙生界面，同步資訊予現場執勤員警與交控中心，達成決策一致性。

三、事後階段（績效評估與優化）

(一) 量化分析：統計疏運時間、路段平均旅行時間等指標，產出成效報告。

(二) 參數校正：將本次活動數據回饋至模式庫與知識庫，優化 AI 預設參數，作為下年度活動之基準。

第六章 輔導落地應用及成效評估作業

本章主要透過實際道路場域之落地應用，驗證「主動式 AI 號誌時制檢測及自動化調整模式」在解決真實交通課題上之具體成效與運作穩定性。為確保評估結果具備客觀性與科學依據，本計畫選定具混合車流特性之「臺中市福康路與福順路口」作為實證場域，並採用交通工程領域標準之「事前-事後比較研究法（Before-and-After Study）」，透過數據監測與指標檢核，評估其效益，並提出後續應用推廣之執行方式。

6.1 落地應用方案討論

為確保研究成果能與地方交通治理需求深度連結，本計畫藉由「示範城市交流座談會」之辦理，與管理單位直接對話，定義出最終具備實作價值且可落地之示範方案。

一、方案評估與需求銜接：示範城市交流座談會

本計畫於 114 年 10 月 22 日 假臺中林皇宮辦理「示範城市交流座談會」，活動相關照片可彙整如圖 6.1.1。會議由交通部運輸研究所張益城組長與逢甲大學蘇昭銘教授共同主持，並邀集臺中市政府交通局葉昭甫局長帶領各科室主管與會。會議初始，由團隊針對本計畫開發之「智慧化模型與分析成果」進行專題報告，提出如圖 6.1.2 所示之「路口 AI 動態號控」及「大型活動交通影響分析模式」等應用構想。



圖 6.1.1 會議舉辦花絮



圖 6.1.2 會議說明主題

二、落地決議：福康福順路口主動式 AI 號誌設計模式

經過會議現場的深度研商，考量場域代表性與技術可行性，三方達成選定「福康路-福順路口」作為本計畫落地應用之示範場域之共識，並採行「主動式 AI 號誌設計模式」。決議選定此方案之關鍵考量如下：

(一) 場域代表性：福康路與福順路口鄰近中港澄清醫院，周邊醫療與商業活動頻繁，且為進出臺灣大道之重要側轉節點，具備複雜的車流特性。

(二) 技術模式定位：針對該路口尖峰延滯問題，落地方案將整合「異常湧入觸發機制」與「強化學習（RL）決策」。當系統偵測到車流偏離歷史規律（如超過 1.5 倍標準差）時，將自動觸發動態時制計畫調整。

(三) 實作目標：決議以提升路口平均效率為初步目標，並要求後續將實作成效彙整，作為臺中市政府未來撰寫智慧號誌相關標案需求時的技術參考依據。

6.2 落地應用案例說明

本計畫選定臺中市西屯區「福康路與福順路口」作為「主動式 AI 號誌時制檢測及自動化調整模式」之實證場域。本節將詳細闡述場域之交通工程特性、系統建置架構、計畫執行目的，以及成效評估之方法論與指標定義。

6.2.1 場域特性

一、道路幾何與路網功能分析

本案驗證場域位於臺中市西屯區福康路與福順路交叉口。福康路為雙向四車道配置，屬該區重要南北向次要幹道，主要連接台灣大道四段（主要幹道）與西屯路三段，承擔高密度之通勤與就醫（鄰近澄清醫院）旅次；福順路則為雙向二車道之地區集散道路，主要服務周邊國安國宅及 J-Mall 商圈之住商混合車流。路口距上下游路口間距短（約 150 至 180 公尺），車流易受鄰近號誌運作連動影響，需考量連鎖性控制策略。

二、交通流特性與現況課題

現地調查顯示，該路口車種組成複雜，機車佔比顯著，且尖離峰時段之流量特徵差異大。原有時制採固定式 TOD（Time of Day）控制，僅區分尖峰(75 秒)與離峰(60 秒)週期。

6.2.2設備架設與系統架構

一、號誌控制器升級作業

汰換既有微型控制器，升級為具備都市交通控制通訊協定之號誌控制器(支援動態指令集)，該控制器需支援 5F10(啟動動態控制)、5F18(時制計畫切換)及 5F40(狀態查詢)等通訊協定，確保中控端與路側端之即時雙向溝通。

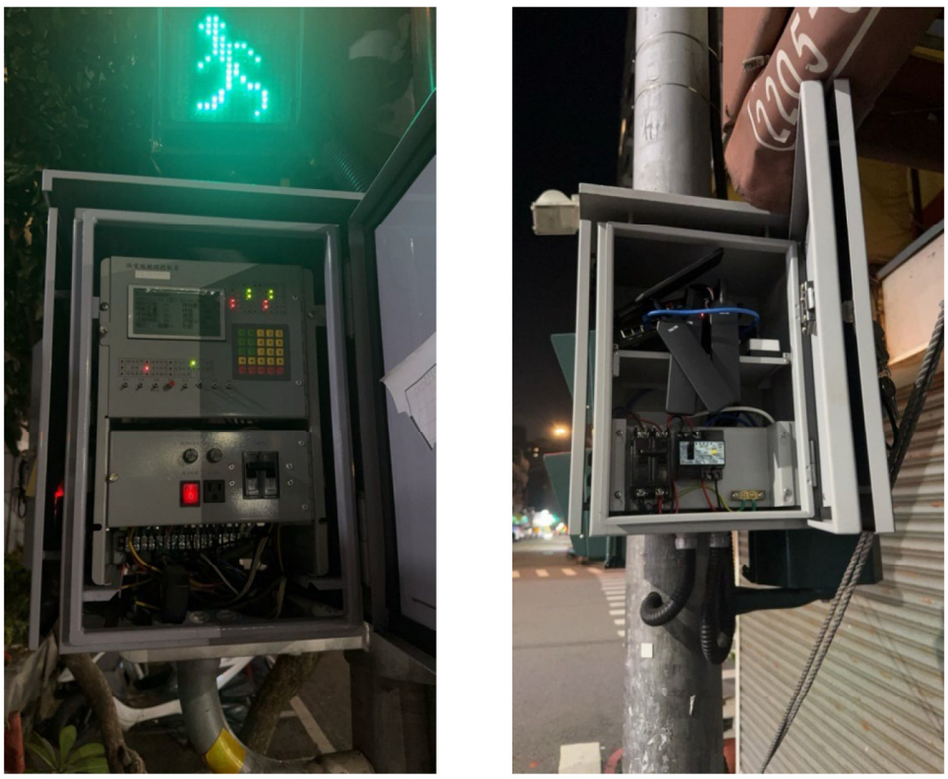


圖 6.2.1 號誌控制器更換後現況

二、AI 感測與邊緣運算部署

於路口制高點佈設高解析度 AI 影像偵測器，具備全天候車流辨識能力，並可即時運算各方向之轉向流量、車種分類，並設定異常流量門檻作為觸發動態調整之判斷依據。



圖 6.2.2 現場 AI 攝影機拍攝畫面

三、通訊網路建置

採用 MVPN 專用虛擬網路，確保數據傳輸之資安防護與低延遲特性，建立「偵測端-決策端-執行端」之穩定鏈路。

6.2.3實證目的

本實證案例旨在驗證主動式 AI 號誌時制檢測及自動化調整模式於具不穩定車流交通量特性的市區路口之適用性，主要技術目標如下：

一、提升路口運作韌性：驗證系統面對非預期性交通壅塞(如事故、天氣、活動引致之異常車流)時，主動切換最佳化時制之應變能力。

二、優化供需平衡效率：透過學習機制調整週期與時相秒數，研擬合適時制計畫，期以最小化無效綠燈時間，以降低整體路口之平均停等延滯。

三、建立自適應演算法庫：藉由實作數據回饋，修正 Q-learning 演算法參數，建立具備自我演進能力之 AI 模式庫。

6.2.4成效評估計畫

本計畫採用「事前-事後比較研究法」，以量化數據驗證系統導入效益，相關評估

作業規劃作業時程如下：

一、基準期(事前)：於系統上線前 1 個月 進行現況數據蒐集，建立以現行 TOD 時制為基礎之績效基準線。事前評估時間為 114/11/7~114/12/6。

二、評估期(事後)：系統正式運作後，持續進行 2 個月之長期監測，蒐集包含平/假日及全日各時段之運作數據。事後評估時間為 114/12/7~115/2/6。

6.3 成效評估

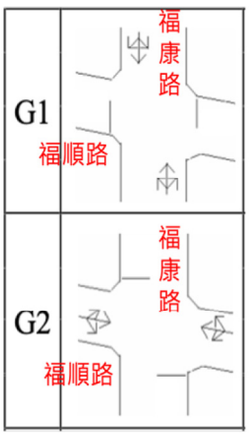
6.3.1 成效評估作業實施情形

本計畫為確保系統導入效益驗證之客觀性與準確度，採用交通工程領域標準之「事前-事後比較研究法」。評估作業不僅針對單一指標，更涵蓋系統穩定度、交通效率改善及時制反應靈敏度等多面向分析。整體作業依據系統建置時程，劃分為「基準建立」與「成效驗證」兩大階段。

一、基準期（事前評估階段）：

為建立成效比對之客觀基準，本計畫於系統正式上線前一個月啟動事前評估作業，時間自民國 114 年 11 月 7 日至 114 年 12 月 6 日止。此階段主要針對場域在既有「固定時制（TOD）」運作下之交通數據進行盤點。依據現況調查數據顯示，「福康路-福順路口」在離峰時段之平均路口停等延滯為 10.2 秒，尖峰時段則高達 18.6 秒。此外，現況時制採簡單二時相運作(尖峰週期 75 秒、離峰週期 60 秒)，此固定設定成為後續比較之基準線。

時　制		一		二		三	
時　相		02		02		02	
時　差		050		034		015	
週　期		100		60		75	
步階	燈 號	秒數	鎖定	秒數	鎖定	秒數	鎖定
1	G1	50		27		40	
2	Y1	3		3		3	
3	R2	2		2		2	
4	G2	40		23		25	
5	Y2	3		3		3	
6	R2	2		2		2	



週一～週五		週六、週日	
一		二	
時間	時制	時間	時制
07 : 00	03	07 : 00	02
09 : 00	02	12 : 00	03
16 : 00	03	19 : 00	02
19 : 00	02		

資料來源：臺中市政府交通局，本計畫彙整

圖 6.3.1 現況時制計畫

表 6.3-1 路口現況服務水準

時段	方向	各方向平均停等延滯(秒)	路口平均停等延滯(秒)
離峰	EB	6.1	10.2
	WB	13.0	
	NB	8.9	
	SB	11.2	
尖峰	EB	17.8	18.6
	WB	35.0	
	NB	5.5	
	SB	10.3	

資料來源：本計畫彙整

二、評估期（事後驗證階段）：

系統正式運作後，隨即進入為期兩個月之密集監測與成效驗證，時間自民國 114 年 12 月 7 日至 115 年 2 月 6 日。本階段重點在於驗證 AI 系統是否能依據即時流量觸發「異常湧入」門檻，並動態切換至較長週期時制。同時透過系統後台之 API 監控日誌，確保評估數據之完整性與可信度。

6.3.2交通流特性變異分析與現況時制課題探討

本計畫透過 AI 影像偵測設備，長期蒐集福康路與福順路各方向之全日轉向交通量，並繪製成多日疊合之交通量時序折線圖如圖 6.3.2 至圖 6.3.5 所示。透過縱向比較不同日期在「相同時段」的流量數據，揭示該路口交通流具有高度的「隨機變動性」，進而證實傳統固定時制在運作上的本質缺陷。

一、交通流變異特性分析：依據 AI 偵測數據所繪製之折線圖，各方向交通流呈現以下顯著特徵：

(一) 尖峰時刻的流量震盪幅度大

1. 觀察福順路往西的數據，雖然每日上午 08:00 均呈現顯著的尖峰趨勢，但其流量峰值在不同天之間存在較大落差。部分日期的尖峰流量僅約 300 PCU/hr，而特定日期卻激增至接近 500 PCU/hr。此一高達 200 PCU 的落差顯示，即使是「同一時段」，其交通需求亦非定值。
2. 同樣現象亦可見於福康路往北的下午尖峰（17:00-19:00），不同日期的車流曲線呈現高度離散，顯示下班尖峰的車流湧現時間與強度具有高度不確定性。

(二) 離峰時段的隨機性波動

在福康路往南的數據中，中午離峰時段(12:00-14:00)的車流線條交錯複雜，部分日期出現非預期性的短暫車流增加，這與周邊商業區(如 J-Mall)或醫院的臨時性活動高度相關，難以用單一歷史平均值涵蓋。

(三) 方向性差異顯著

福順路往東呈現極為集中的傍晚尖(18:00-19:00)，且尖峰過後的流量衰退速度在不同日期亦不相同，顯示社區回流車潮的特性深受個別活動影響。

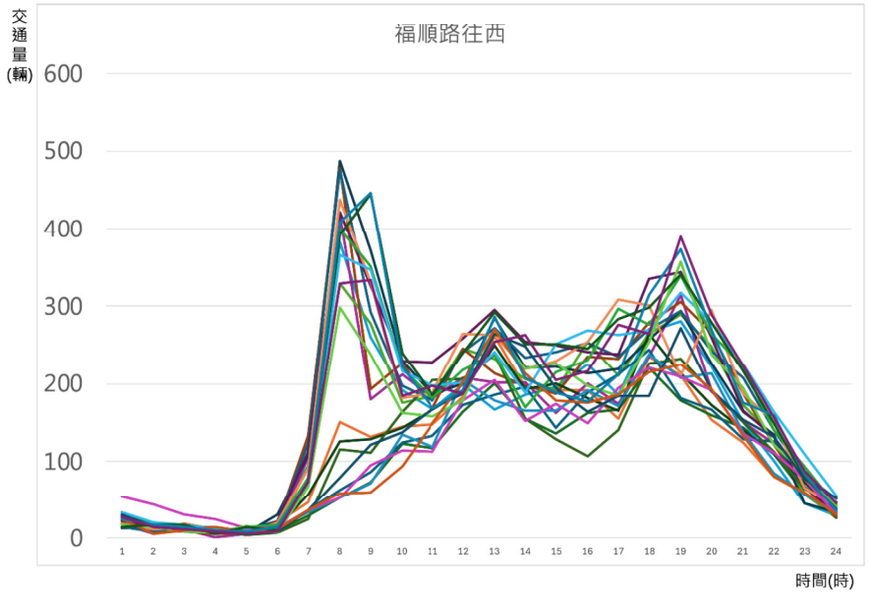


圖 6.3.2 福順路往西方向交通量

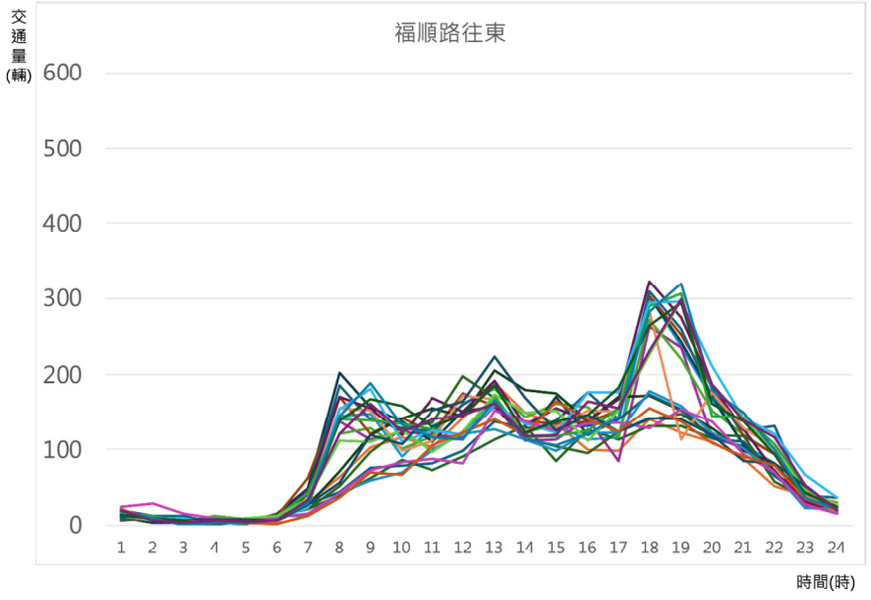


圖 6.3.3 福順路往東方向交通量

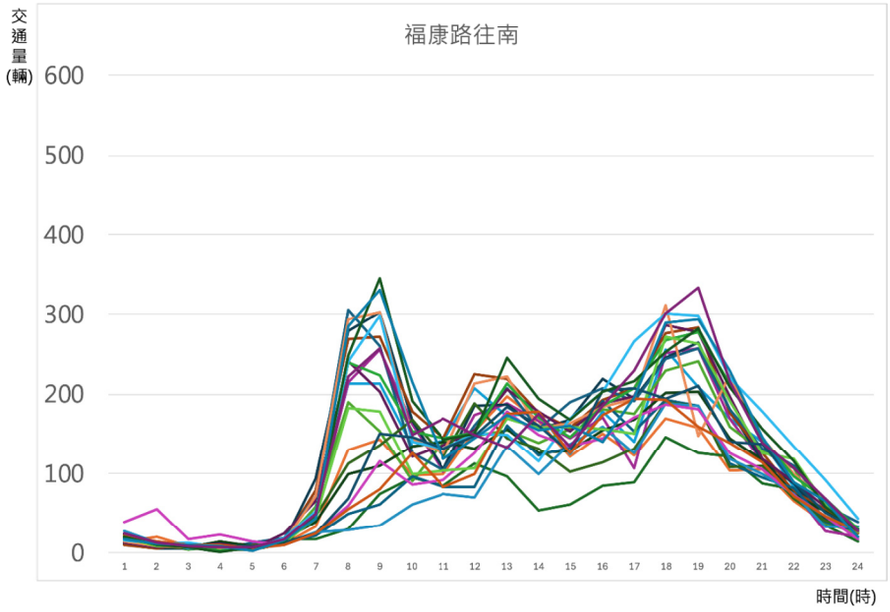


圖 6.3.4 福康路往南方向交通量

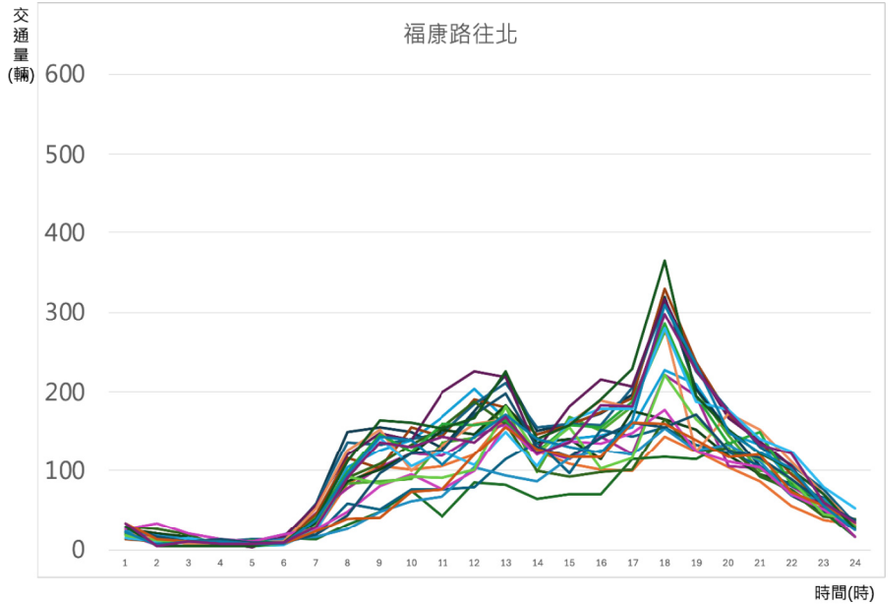


圖 6.3.5 福康路往北方向交通量

二、定時控制 (TOD) 於高變異流量情境下之適應性分析：現行交通控制主流採用的 TOD 策略，係假設交通流具有「高度重複性」，並依據歷史資料來設定固定的時制計畫。然而，對照上述實測現況交通量之結果，當路口交通需求呈現較高之隨機性波動時，傳統 TOD 模式在維持資源分配效率上面臨以下潛在之優化空間。

(一) 供需失衡風險

1. 資源分配不均：若 TOD 依據歷史高流量值設定長綠燈，但在流量偏低之

離峰日，可能導致綠燈資源利用率（GLUR）下降，使得橫向車流產生非必要之等候時間。

2. 暫態飽和壓力：當遭遇突發性需求高峰，固定之週期容量可能較難即時消化瞬時車隊，增加路口回堵與延滯之風險。

(二) 時段劃分的僵化

從折線圖可見，每日交通尖峰之起訖時間存在細微偏移。TOD 採固定時段切換之邏輯，在應對「尖峰提前或延後」之彈性略顯不足。本計畫之 AI 模式係作為 TOD 之延伸補強，旨在透過動態偵測，補足固定時段切換間之需求落差，達成更精準之時制銜接。

三、導入 AI 動態調整之必要性：

綜合上述分析，該路口交通流的「變異數（Variance）」過大，已超出 TOD 固定參數所能容許的緩衝範圍。本計畫導入的「主動式 AI 號誌調整模式」，正是基於此一實測證據，透過 AI 即時偵測當下真實需求，動態選擇合適的時制計畫。這不僅解決「同一時段流量不同」的控制難題，更將傳統「基於歷史統計」的被動控制，升級為「基於即時數據」的主動響應，解決車流因不同因素產生的不穩定車流情況，所需因應合適時制計畫來紓解交通的問題。

6.3.3實測數據分析與討論

本計畫透過長期監測（包含平日與假日）之運作數據，針對時制切換行為進行深度分析，發現既有定時時制（TOD）存在顯著之供需失衡問題，在導入 AI 模式後已有效改善。茲將實測數據彙整如圖 6.3.6 至圖 6.3.9 所示。從圖 6.3.6 可以看出週六時段，紅色圈標示處為現況時制計畫原本是執行尖峰時段時制，本模式因應流量需求對應出僅需執行離峰時制；從圖 6.3.7 可以看出週日時段，紅色圈標示之部分現況時制計畫原本是執行尖峰時段時制，本模式因應流量需求對應出僅需執行離峰時制；從圖 6.3.8 可以看出週一時段，紅色圈標示之編號 1 部分，現況時制計畫原本是執行離峰時段時制，本模式因應流量需求對應出需執行尖峰時制，紅色圈標示之編號 2 部分，現況時制計畫原本是執行離峰時段時制，本模式因應流量需求對應出需執行尖峰時制；從圖 6.3.9 可以看出週二時段，紅色圈標示之編號 1 部分，現況時制計畫原本是執行離峰時段時制，本模式因應流量需求對應出需執行尖峰時制，紅色圈標示之編號 2 部分，現況時制計畫原本是執行離峰時段時制，本模式因應流量需求對應出需執行

尖峰時制。彙整說明如下：

一、既有時制問題診斷：經由系統長期監測發現，原有的 TOD 設定與實際車流需求存在兩大落差：

(一) 週末時段之「無效綠燈」：數據顯示在週六的部分時段及週日全時段，實際車流並未達到尖峰水準，但舊有時制仍強制執行「尖峰時制（週期 75 秒）」，導致支道或幹道出現長時間空等，綠燈使用效率不佳。

(二) 平日時段之「應變不足」：在平日（如 12/29 週一、12/30 週二），系統偵測到突發性的尖峰車流湧現，但舊有 TOD 設定僅能以「離峰時制（週期 60 秒）」因應，導致綠燈秒數不足以紓解車流，造成路口延滯與回堵。

二、AI 模式導入效益

導入主動式 AI 號誌調整模式後，系統透過 Q-learning 演算法與動態門檻機制，成功解決上述問題：

(一) 適宜的時制切換：從時制轉換圖可見，AI 系統在偵測到平日的突發車流時，主動介入並將時制切換為適合高流量的計畫，有效緩解平日的異常壅塞。

(二) 提升綠燈使用率：在車流稀少的週末時段，系統自動維持或切換回較短週期之時制，避免無謂的紅燈停等。

(三) 量化成果：經綜合比對事前與事後數據，本系統能有效因應車流變化並對應出合適時制。統計顯示，本案成果有效提升綠燈使用效率及縮短交通壅塞時間達 13.4%。此數據證實 AI 模式在處理非預期性車流變化上，較傳統定時號誌具有顯著之優勢。

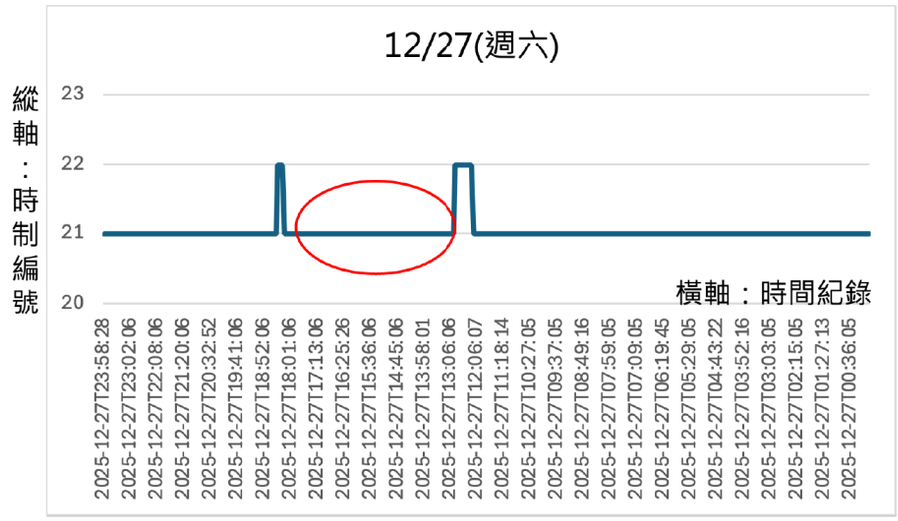


圖 6.3.6 本模式於週六因應流量變化之時制轉換說明圖

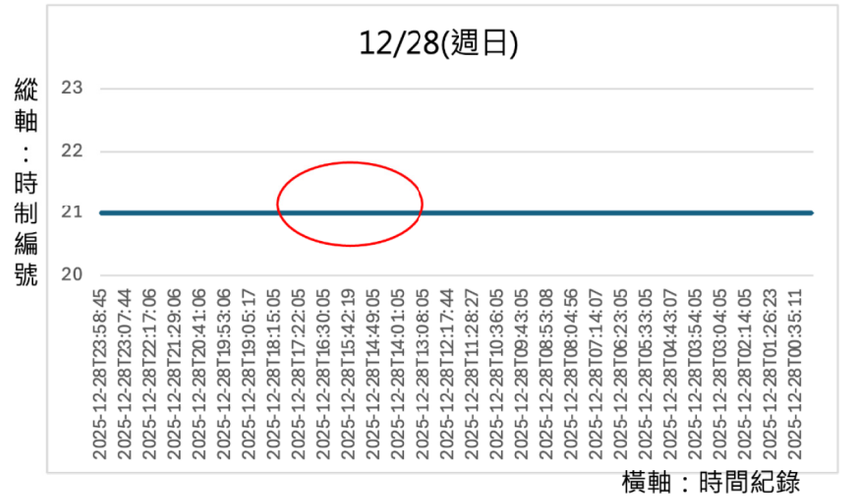


圖 6.3.7 本模式於週日因應流量變化之時制轉換說明圖

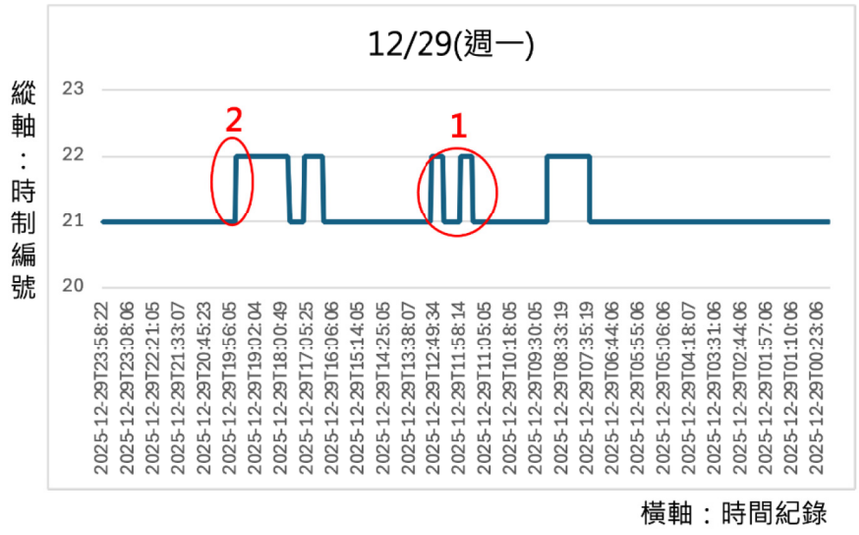


圖 6.3.8 本模式於週一因應流量變化之時制轉換說明圖

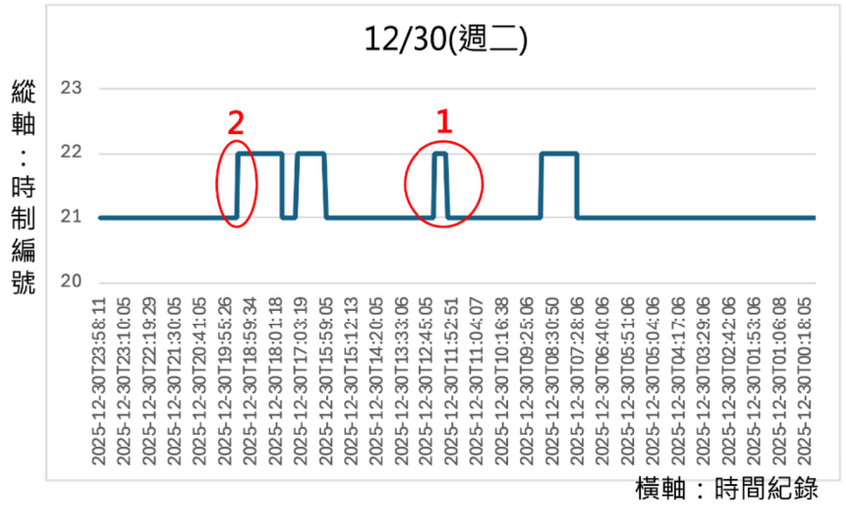


圖 6.3.9 本模式於週二因應流量變化之時制轉換說明圖

6.4 成效評估檢討

本計畫於臺中市西屯區「福康路與福順路口」導入「主動式 AI 號誌時制檢測及自動化調整模式」，經由為期兩個月（含基準期與評估期）之嚴謹實測與數據比對，茲就成效結果、未來推廣潛力及限制進行綜合檢討與分析。

6.4.1 成效評估結果

綜合 6.3 節之量化數據分析，本計畫成功驗證以 AI 即時偵測用來解決具不穩定車流路口的可行性，具體評估結果說明如下：

一、解決時制供需失衡：實測數據顯示，福康路口之車流具有高度隨機性，平日偶發性尖峰與假日離峰需求落差大。AI 系統成功在偵測到流量標準差超過閾值時，主動切換至對應之長週期(75 秒)或短週(60 秒)計畫，有效解決過去「尖峰時段秒數不足(回堵)」與「離峰時段綠燈空放(浪費)」之雙重問題。

二、量化效益顯著：經由事前(基準期)與事後(評估期)之嚴格比對，在排除特殊極端天候影響後，該路口之「平均交通壅塞時間(停等延滯)」降低 13.4%，經估算每小時可以節省 6.3 公升的燃油消耗(一年約 55,188 公升)，並可減少 138 公克的碳排放量(一年約 1,208.9 公斤)。此數據證實動態時制調整策略在混合車流環境下，較定時號誌具有更佳的運作績效。

三、學習型演算法之驗證：本案所採用之 Q-learning 機制，在實作期間展現決策優化能力。系統日誌顯示，隨著運作時間增加，系統對於「異常車流」的判讀誤報率逐漸降低，時制切換的時機點(Timing)更趨精準，驗證模式庫具備自我修正與演進之特性。

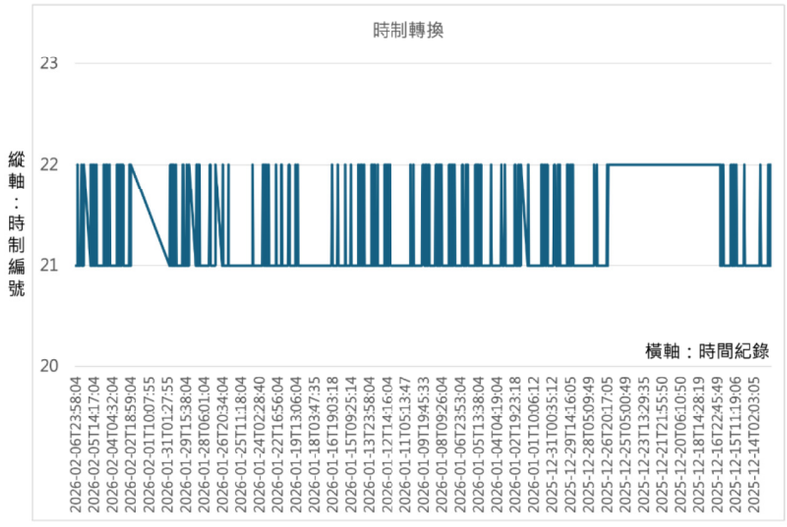


圖 6.4.10 本模式於兩個月驗證期間之因應流量變化之時制轉換說明圖

6.4.2推廣潛力與應用探討

鑑於本計畫在臺中市福康路/福順路之測試經驗，系統具備高度的可複製性與擴散價值，未來推廣潛力分析如下：

一、適用於高變異性路口：對於周邊設有大型醫院、商場、學校或展演中心之鄰近路口，因其車流常受活動或特定事件影響而劇烈波動，最適合導入此系統以取代 TOD 時制。

二、路網級擴充應用：目前的實作僅針對「單點」路口進行優化。未來可將此技術延伸至「線(幹道)」或「面(區域)」的控制，透過上下游路口 AI 資訊的串聯，實現「動態綠燈廊帶」，進一步提升整體路網之紓解效率。

雖然本系統經過初步測試獲得不錯之成效，惟大規模推廣至其他場域時，仍需考量以下限制條件與挑戰：

一、硬體建置成本與門檻：本系統高度依賴高解析度 AI 攝影機與具備邊緣運算能力之硬體，且號誌控制器需支援新式通訊協定(如 5F10/5F18 指令)。對於老舊設備較多之縣市或路口，初期需投入較高之基礎設施汰換成本。

二、演算法之學習期

Q-learning 演算法需要累積一定時間的歷史數據與獎勵回饋才能達到最佳決策狀態。新場域導入初期（約 1~2 週）可能會經歷一段學習調校期，期間之績效可能不穩定，需預留人工監控人力。

而針對強化學習（RL）算法於新路口導入時所需之 1-2 週磨合期，本計畫提出以下兩點優化建議與防護措施：

(一) 縮短磨合期之策略

1. 遷移學習 (Transfer Learning)：建議後續導入單位可將鄰近且幾何特性相似之既有模型參數作為初始化權重，以減少 AI 從零開始探索的時間。
2. 歷史策略庫引導 (Warm-up)：系統上線初期可先採用「規則導向 (Rule-based)」搭配「AI 預測」之混合模式，讓 AI 在既有優良時制之框架內進行微調。

(二) 系統安全防護機制

1. 增量限制邏輯： AI 產出之號誌秒數變動應設有步階限制（例如每週期增

減不超過 5 秒），避免時制劇烈跳動影響行車安全。

2. 心跳偵測與自動回退：系統設有硬體監測功能，一旦偵測到通訊中斷或 AI 運算異常，將立即切換回原本之固定時制或預設安全模式，確保路口號誌運作絕不中斷，以降低管理機關在法律責任上的風險。

三、環境因素對 AI 辨識之干擾：雖然目前影像辨識技術已相當成熟，但在極端天候(如強降雨、濃霧或夜間無路燈照明之環境下)，AI 偵測準確率仍可能下降，進而影響時制判斷。

四、維運管理持續性：AI 偵測區域(ROI)若因強風導致攝影機位移，或因路面標線重繪而改變，皆需重新校正參數。推廣後需建立專責之維護團隊，定期檢視 AI 準確度，方能維持系統之長期效益。

第七章 模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊撰寫

本計畫歷經多年研發與場域驗證，已發展出多項較成熟且具備實務價值之智慧交通模式庫與知識庫。為確保這些技術成果不因計畫結束而停滯，並能具備系統性、標準化、可操作與可擴散之特性，建立一套統一的技術移轉與說明規範至關重要。本章旨在系統性說明《建置與擴散指引手冊》之撰寫內涵與架構安排。本章將於 7.1 節先針對本計畫發展較成熟之六大核心模式庫進行功能與技術內涵的總結摘要，確立各模式之應用價值與技術邊界，作為後續編寫手冊之基礎素材；接著於 7.2 節詳細闡述指引手冊的標準化撰寫架構，從前言、功能簡介、系統建置、落地整合到權利義務分析，逐一規範各章節之撰寫重點。透過此一結構化的引導，期能有效銜接政策需求與各縣市實務應用，降低技術導入門檻，加速智慧運輸系統之落地與擴散。

7.1 智慧交通模式庫功能與技術內涵摘要

在編寫標準化的指引手冊之前，必須先對本計畫所發展之各類模式庫進行核心功能與技術特性的盤點。本節選定具備擴散潛力之六大模式庫，包含緊急車輛優先號誌、大型活動交通分析、主動式 AI 號誌、交通速率預測、綠燈使用率分析及數位雙生平台，進行技術摘要。以下內容將分別闡述摘要各模式之痛點、技術與效益，此摘要不僅是對歷年技術成果的收斂，更是後續撰寫各該模式《建置與擴散指引手冊》時，定義功能規格與應用邊界的關鍵依據。

一、緊急車輛優先通行號誌控制模式之建置與實務指引

(一) 核心功能描述與系統架構

緊急車輛優先號誌系統由三個主要功能模組構成：通訊與接收模組、優先號誌演算模組及控制策略執行模組。通訊與接收模組的核心職責是穩定、持續地從緊急車輛端獲取即時點位與優先請求訊息（SRM），並將這些資料傳送至演算模組。值得注意的是，該模組具備拒絕機制，在現有優先請求執行中會拒絕新的 SRM 請求，且僅在定時控制模式下運作，以確保號誌切換的邏輯正確性。優先號誌演算模組依據預設的控制邏輯（如綠燈延長、紅燈截斷等）進行運算，並產出對應的控制指令。控制策略執行模組則負責將這些運算結果，透過 API 介面與既有交通管理系統（如臺中市 T-TOPIS）串接，並下載至現場號誌控制器，由控制器最終切換燈號 。整體系統架構展現路側端（RSU）、車輛端（OBU）與中心端（TMC）的高度協同，如表 7.1-1 所示

之硬體功能規劃。

表 7.1-1 緊急車輛優先通行號誌控制系統硬體資源需求

設備端	硬體組件	功能描述
現場路側端	RSU (C-V2X)、5G 通訊模組、號誌控制器 (TC)	廣播路口地圖 (MAP) 與燈態 (SPaT) 資訊，接收車端優先請求 (SRM) 並轉發至中心。
中心管理端	優先號誌平台 (雲端或實體伺服器)	執行優先邏輯演算，根據當前燈態與車輛位置下達控制指令，並回傳狀態訊息 (SSM)。
緊急車輛端	導航車機、車載通訊單元 (OBU)、5G 模組	自動計算預計抵達路口時間 (ETA)，組建並發送優先號誌請求訊息 (SRM)。

資料來源：本計畫彙整

(二) 模式摘要：痛點、技術與效益

緊急車輛優先通行系統解決緊急救援中的多項核心痛點，包括車輛受困於交通壅塞時的延誤，以及紅燈強行通過時面臨的高事故風險與潛在二次傷害。核心技術基礎建立在 5G 高頻寬與低延遲通訊之上，結合 C-V2X 車路協同技術，使路口地圖與號誌狀態能即時與車端同步。透過精準的演算模型，系統能在不縮短黃燈與全紅時間的前提下，自動執行綠燈延長（Green Extension）、紅燈截斷（Red Truncation）、時相插入（Phase Insertion）或插入綠燈（Red Interruption）等策略。預期的應用效益首先是縮短救援時間，根據實證數據，優先號誌能顯著提升救援效率，確保病患能在黃金救援時間內送抵醫院。其次是提升路口安全性，透過系統化的清道與開道，大幅降低緊急車輛與橫向車流發生碰撞的可能性。最後，該模式透過補償競爭時相綠燈的方法，有效降低實施優先權對一般大眾交通的負面衝擊。

二、大型活動交通影響分析模式之建置與實務指引

(一) 核心功能描述與四大分析模組

本系統構建一套端對端的智慧化服務方案，其總體功能在於提供決策導向、在地化與彈性化的事前預估結果。系統核心由四大預估模組構成：基礎單元網格人流熱點預估、路段速率預估、軌道場站接駁車需求預估，以及停車需求預估。這些模組以「在地化建模」為核心設計，旨在充分反映不同活動會場周邊交通組成與環境之差異。基礎單元網格人流預估模組以網格為單位，分析往返活動會場的分時人次，協助掌握人潮分布與流向特性。路段速率預估模組則透過交通量指派模型，對場域周邊公路路網進行分時路段速率預估，標示出警示路段以供疏導人力配置。接駁車需求預估模組與停車需求預估模組則分別針對公共運輸運能與個人交通工具的停車引導提供具體的量化數據。系統架構如表 7.1-2 所述。

表 7.1-2 大型活動交通影響分析模式四大核心模組功能表

核心模組	輸入數據基礎	運算流程關鍵	輸出預估成果
人流熱點預估	手機信令(CVP)、IoT 感測器、行政區網格資料	歷史旅次分布預處理、AI 旅次增長率預測、網格起訖 (O-D) 分析	分時往返活動會場人次、人潮來源去向排名
路段速率預估	交通分區車旅次(PCU)、公路路網屬性、BPR 函數參數	交通分區劃分、路徑庫產出、交通量靜態指派(Static Assignment)	各路段分時行駛速率、壅塞路段警示
接駁車需求預估	網格人流推估結果、軌道場站環域範圍、大眾運輸分擔率	軌道場站吸引量計算、人旅次轉換接駁需求	各軌道場站分時往返會場之接駁車量能需求

資料來源：本計畫彙整

(二) 模式摘要：痛點、技術與效益

大型活動交通分析模式解決「突發性巨量需求」對城市管理的嚴峻挑戰，包括活動期間路網癱瘓、接駁車班次不足導致人潮滯留，以及違規停車對區域交通造成的二次干擾。核心技術基礎融合手機信令（CVP）大數據分析、機器學習人流模型、交通量指派演算法，以及 BPR 旅行成本函數 。透過將基礎單元網格人流轉換為交通分區的小客車當量（PCU），系統能模擬出真實的車流動態。預期應用效益包含：第一，精準化決策支持，交通管理單位能依據預估結果提前佈署警察人力並優化號誌時制；第二，資源配置最佳化，合理分配接駁車輛數量，避免資源浪費或運輸缺口；第三，提升民眾參與體驗，透過預先發布的引導資訊與停車導引，減少用路人的尋位時間與路徑不確定性。

三、主動式 AI 號誌設計模式之建置與實務指引

(一) 核心功能描述與運作層級

主動式 AI 號誌系統由三個核心層級模組構成：資料蒐集層、分析決策層與控制執行層。資料蒐集層負責從雷達、影像辨識或 RSU 獲取流量、速率與佔有率，並具備資料品質檢核機制 。分析決策層則是系統的「大腦」，負責異常車流偵測，並結合 AI 演算法（如強化學習之 Q-learning）從策略庫中選擇最佳化時制方案。控制執行層負責與實體號誌控制器雙向通訊。其功能包括自動化下載時制計畫、監控執行狀態，並具備失效自動回復機制，確保通訊異常時能回歸 TOD 預設模式以保障安全。系統運作流程是一個典型的閉環控制，其邏輯運作如模式摘要：痛點、技術與效益

主動式 AI 號誌模式解決傳統定時控制反應遲緩的痛點，特別是針對突發交通

事故、違停回堵或短期活動湧入等無法預知的路況變化。核心技術基礎建立在強化學習的 Q-learning 演算法之上，結合微觀交通模擬軟體（如 SUMO）預建的多情境策略庫。此外，透過 5G 通訊與邊緣運算技術，系統能實現低延遲的即時反應。預期的應用效益包括顯著降低路口的平均停等延滯時間（延滯改善率），提升綠燈利用率，並透過「自學習」機制使系統隨運行時間增長而具備更好的適應力。在管理層面，該模式降低交通單位需頻繁人工調校號誌的行政成本，實現全天候、自動化的路口最佳化治理。

表 7.1-3 所示。

(二) 模式摘要：痛點、技術與效益

主動式 AI 號誌模式解決傳統定時控制反應遲緩的痛點，特別是針對突發交通事故、違停回堵或短期活動湧入等無法預知的路況變化。核心技術基礎建立在強化學習的 Q-learning 演算法之上，結合微觀交通模擬軟體（如 SUMO）預建的多情境策略庫。此外，透過 5G 通訊與邊緣運算技術，系統能實現低延遲的即時反應。預期的應用效益包括顯著降低路口的平均停等延滯時間（延滯改善率），提升綠燈利用率，並透過「自學習」機制使系統隨運行時間增長而具備更好的適應力。在管理層面，該模式降低交通單位需頻繁人工調校號誌的行政成本，實現全天候、自動化的路口最佳化治理。

表 7.1-3 主動式 AI 號誌系統分析決策與執行邏輯

處理階段	核心演算法/技術	處理邏輯描述	預期輸出
感知與判定	動態門檻法、統計分析	比對即時流量與歷史基準(平日/假日)，偏離達特定標準差即標記異常。	異常事件觸發訊號、流量特徵向量
AI 決策優化	強化學習 (Q-learning)、策略庫檢索	根據當前狀態 (State) 選擇報酬 (Reward) 最高之時制 Action，Reward 為延滯減少量。	目標時制計畫編號、具體秒數參數
模擬與學習	Synchro/SUMO 模擬、Q-Table 更新	針對不同異常等級預建策略庫，並依現地執行成效自動更新 Q-Table 權重。	持續優化之決策模型、效能日報

資料來源：本計畫彙整

四、交通速率預測系統模式之建置與實務指引

(一) 核心功能描述與預測模型演算法

本系統構建一套端對端的智慧化服務方案，其核心功能為「高精度多步預測」。系統能全自動地完成數據清洗、特徵工程、模型預測及結果儲存。其獨特之處在於採

用「一路段一模型」的客製化架構，為每一個獨立路段建立專屬的機器學習模型，以達到最佳精度。在預測技術上，系統採用 Stacking 集成模型與 MultiOutputRegressor 封裝器，能一次性產出未來 30 分鐘內、每 5 分鐘為間隔的連續預測值。模型訓練模組利用 Optuna 框架進行自動化超參數搜尋（貝葉斯優化），從 XGBoost、LightGBM、神經網路等基模型中篩選最優組合。資料處理則依賴 TimescaleDB 時序資料庫，支援巨量資料的高效能查詢與分析。預測執行流程如模式摘要：痛點、技術與效益

交通速率預測系統解決傳統路況資訊僅能呈現「現在」而無法預知「未來」的痛點，填補資料缺失導致的分析斷層。核心技術基礎包括 Stacking 集成學習、大規模時序資料處理（TimescaleDB）以及 MLOps 自動化維運 。透過多維度的特徵工程，系統能捕捉交通流的週期性與短期震盪規律。預期應用效益的部分，在公共部門，能提升旅行時間發布的準確度，並提供交控中心進行預測性號誌調整；在民間應用，導航地圖可整合此預測數據，提供具備預見性的智慧繞行建議。此外，該模式提供「API 服務購買」與「自行開發」兩種模式，能顯著降低地方政府導入新技術的成本與風險。

表 7.1-4 所示。

(二) 模式摘要：痛點、技術與效益

交通速率預測系統解決傳統路況資訊僅能呈現「現在」而無法預知「未來」的痛點，填補資料缺失導致的分析斷層。核心技術基礎包括 Stacking 集成學習、大規模時序資料處理（TimescaleDB）以及 MLOps 自動化維運 。透過多維度的特徵工程，系統能捕捉交通流的週期性與短期震盪規律。預期應用效益的部分，在公共部門，能提升旅行時間發布的準確度，並提供交控中心進行預測性號誌調整；在民間應用，導航地圖可整合此預測數據，提供具備預見性的智慧繞行建議。此外，該模式提供「API 服務購買」與「自行開發」兩種模式，能顯著降低地方政府導入新技術的成本與風險。

表 7.1-4 交通速率預測系統核心模組運作流程

核心模組	技術實作細節	數據處理特徵	功能產出
資料蒐集模組	RESTful API 呼叫、XML 解析、Crontab 排程	獲取路段 ID、時間戳、平均速率。	儲存於 PostgreSQL 的原始資料。
資料預處理模組	階層式補值 (週週期/鄰近值)、加權平均聚合	生成延遲特徵 (Lag)、週期特徵 (Seasonal)、時段 One-Hot 特徵。	結構完整、特徵豐富的工程資料集。

核心模組	技術實作細節	數據處理特徵	功能產出
模型訓練模組	Optuna 自動化參數優化、Stacking 集成、MultiOutputRegressor	基模型遍歷 (樹模型、線性模型、神經網路)、Meta Learner 整合。	序列化之專屬模型檔案 (.pkl)。
多進程預測處理	Python multiprocessing、直接多步預測策略	每 5 分鐘執行一次，整合最新資料與歷史快取，實現並行運算。	未來 30 分鐘連續 6 個時間點的速率值。

資料來源：本計畫彙整

五、路口綠燈使用率分析系統模式之建置與實務指引

(一) 核心功能描述與 AI 影像處理架構

(二) 本系統整合 AI 影像辨識、多目標追蹤與行為分析技術。核心功能包括自動化資料擷取、綠燈使用率即時計算、歷史趨勢統計分析，以及標準化 API 介接。系統可透過現場 AI-CCTV 的即時串流，自動辨識車輛並判定其通過停止線的時點。系統採用非同步協程（asyncio）架構，確保多路 RTSP 影像在高流量下仍能維持即時運算。AI 辨識端結合 YOLOX 物件偵測與 ByteTrack 追蹤技術，產出包含車輛 ID、方向與時間戳的原始事件。綠燈使用率計算公式建立在「車流量換算綠燈使用」與「該方向綠燈總時長」的比值基礎上，如模式摘要：痛點、技術與效益

綠燈使用率系統解決傳統交通管理中，號誌調整過度依賴人工經驗且缺乏量化指標的痛點。核心技術基礎包括 AI CCTV 影像分析、多目標追蹤、ReID 跨鏡頭比對，以及高效能的非同步處理架構 。透過這些技術，系統能將「影像」轉化為「數字」，實現路口效能的自動化巡檢。預期應用效益包括能作為提升號誌配比的科學性參考，減少尖峰時段的綠燈閒置與空等時間，進而提高整體路網的服務水準。在智慧治理層面，該系統可與數位雙生平台整合，以 3D 視覺化方式呈現使用率百分比，提供交控中心更直觀的決策依據，優化交通資源的空間分配。

表 7.1-5 所示之處理模組。

(三) 模式摘要：痛點、技術與效益

綠燈使用率系統解決傳統交通管理中，號誌調整過度依賴人工經驗且缺乏量化指標的痛點。核心技術基礎包括 AI CCTV 影像分析、多目標追蹤、ReID 跨鏡頭比對，以及高效能的非同步處理架構 。透過這些技術，系統能將「影像」轉化為「數字」，實現路口效能的自動化巡檢。預期應用效益包括能作為提升號誌配比的科學性參考，減少尖峰時段的綠燈閒置與空等時間，進而提高整體路網的服務水準。在智慧治理層

面，該系統可與數位雙生平台整合，以 3D 視覺化方式呈現使用率百分比，提供交控中心更直觀的決策依據，優化交通資源的空間分配。

表 7.1-5 路口綠燈使用率分析系統核心處理模組設計

功能模組	核心技術應用	關鍵處理邏輯	功能輸出成果
資料蒐集模組	RTSP、影格佇列 (Frame Queue)	接收 H.264/H.265 影像串流，管理非同步佇列，降低 GPU 負載。	穩定、時標完整的連續影格資料。
資料預處理模組	影格標準化、ROI 遮罩、影格抽取	根據 YAML 設定檔定義停止線與方向，過濾非必要區域影像。	適合 AI 推論的標準化格式影像。
AI 推論模組	YOLOX (偵測)、ByteTrack (追蹤)、ReID (比對)	辨識物件、建立跨時間 ID 一致性、解決車輛遮擋問題。	具 ID 與方向標記的軌跡資訊。
綠燈使用率計算	PCU 轉換、15 分鐘聚合、usage 演算	結合號誌狀態與通過車流，計算 Usage = (Green_Used / Green_Total) * 100%。	各方向即時綠燈使用率、統計摘要。
API 服務模組	.NET 6 Web API、RESTful JSON	支援查詢不同時間窗的統計結果，支援與數位雙生平台介接。	路口 ID、方向、使用率、通過車輛數等 JSON 數據。

資料來源：本計畫彙整

六、交通數位雙生平台模式之建置與實務指引

(一) 核心功能描述與視覺化引擎技術

(二) 交通數位雙生系統提供一套端對端的智慧化視覺化方案。核心功能包含 3D 即時視覺化、時序資料回放、高度客製化與彈性擴散整合。系統採用 Cesium 3D 地球引擎，具備高效能的向量渲染與地形影像整合能力。系統具備獨特的「時序資料回放能力」，透過 TemporalManagementService 管理不同時間點的資料快照，實現「時光機」功能，讓使用者能回溯過去路況或檢視未來預測。在 3D 渲染上，系統根據速率設定顏色分級（綠/黃/橙/紅），並支援路段資訊點擊彈窗、道路高亮及平滑視角切換。系統功能組成如模式摘要：痛點、技術與效益

數位雙生平台模式解決傳統交通監控畫面零碎、缺乏整體空間感與歷史對照能力的痛點。核心技術基礎包括 Cesium 3D 地球引擎、Vue 3 + TypeScript 現代前端架構，以及複雜的時序資料管理策略。透過整合 OSM 與 GVP 大數據，平台能重現真實世界的交通脈動。預期應用效益，在決策端能提升管理人員對路網全局的掌握能力，針對壅塞熱點進行即時調度；在模擬端，能事前評估大型活動對交通的衝擊，制定完善

的管制計畫；在社會端，該平台可作為智慧城市儀表板，將交通數據與其他公共數據結合，強化城市韌性與治理透明度。

表 7.1-6 所示。

(三) 模式摘要：痛點、技術與效益

數位雙生平台模式解決傳統交通監控畫面零碎、缺乏整體空間感與歷史對照能力的痛點。核心技術基礎包括 Cesium 3D 地球引擎、Vue 3 + TypeScript 現代前端架構，以及複雜的時序資料管理策略。透過整合 OSM 與 GVP 大數據，平台能重現真實世界的交通脈動。預期應用效益，在決策端能提升管理人員對路網全局的掌握能力，針對壅塞熱點進行即時調度；在模擬端，能事前評估大型活動對交通的衝擊，制定完善的管制計畫；在社會端，該平台可作為智慧城市儀表板，將交通數據與其他公共數據結合，強化城市韌性與治理透明度。

表 7.1-6 交通數位雙生系統核心功能層級與組件

功能層級	核心組件/服務	技術描述	展示與應用成果
數據基礎層	GvpBatch/Predict ApiService、TrafficDataService	整合多源 API(即時、預測、歷史)，解析 JSON 轉換為標準化 ProcessedTrafficData。	高品質、多維度的整合資料流。
時序管理層	TemporalManagementService、localStorage 快取	儲存多時間點資料快照，支援分類(歷史/當前/預測)，提供時序導航。	交通狀態「時光機」回放功能。
3D 渲染層	Cesium 引擎、PolylineCollection	整合 OSM 道路資料，執行 Cartesian3 座標轉換，根據壅塞分級動態渲染顏色。	高擬真 3D 都市交通路網地圖。
互動控制層	PredictTimeSlider (Vue 3 元件)	提供時間軸滑桿、播放/暫停控制、路段點擊彈窗、高亮顯示。	直觀、易操作的互動式儀表板。
服務介接層	RESTful API、SSO 整合	提供標準化 JSON 輸出，支援單一登入與權限控管(RBAC)。	跨系統共享的數位雙生展示能力。

資料來源：本計畫彙整

7.2 建置與擴散指引手冊標準化撰寫架構與內容規範

為讓不同屬性的智慧交通模式庫在技術移轉與推廣過程中，擁有一致性的溝通語言與操作標準，本節擬定一套通用的《建置與擴散指引手冊》撰寫架構。此架構將作為

未來各項模式編寫手冊時的「公版」與「規範」。本節將依據「階層式架構」邏輯，詳細說明如表 7.2-1 六大核心章節（前言、功能簡介、功能建置、整合落地、擴散機制、權利義務）的撰寫重點與深度要求。透過標準化的章節安排，旨在確保未來產出之手冊能同時滿足技術人員的建置需求、決策者的管理需求，以及採購人員的規格需求，從而實現技術成果的有效擴散與永續應用。

表 7.2-1 為本計畫針對建置與擴散指引手冊撰寫內容所提之階層式架構，以下將針對架構中的每項內容說明撰寫方向。

表 7.2-1 建置與擴散指引手冊撰寫內容階層式架構

《模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊》
│
├── 一、前言
│　　├── (一) 編寫目的
│　　├── (二) 適用對象與範圍
│　　└── (三) 相關背景依據
│
├── 二、功能簡介
│　　├── (一) 模式庫名稱與功能說明
│　　└── (二) 適用場域與應用情境
│
├── 三、功能建置說明
│　　├── (一) 系統架構概述
│　　├── (二) 軟體設計／演算法說明
│　　├── (三) 資料來源與需求規格
│　　├── (四) 軟硬體資源需求說明
│　　├── (五) 核心功能或模型構建流程說明
│　　├── (六) 功能驗證與效果評估方法
│　　└── (七) 常見問題與風險因應
│
├── 四、整合與落地應用作法
│　　├── (一) 與交通管理單位既有資訊系統之整合方式
│　　└── (二) 系統維運建議
│
├── 五、模式庫擴散機制研擬

```
│    ├── (一) 擴散方式分類說明
│    └── (二) 擴散所需軟硬體資源
│         ├── 自行開發模式
│         └── API 服務購買模式
│
└── 六、權利與義務分析
    ├── (一) 自行開發模式下各方權利義務
    ├── (二) 購買 API 服務模式下各方權利義務
    └── (三) 法規遵循與個資保護注意事項
```

資料來源：本計畫彙整

一、前言

本計畫針對智慧交通模式庫與知識庫成果，分別編製具體、實用、可操作之《建置與擴散指引手冊》。為使後續成果文件具備系統性、標準化、可落地推廣與政策對接功能，爰於本章節說明指引手冊之編撰目的、適用對象及背景政策脈絡，相關指引手冊內容可作為計畫成果後續應用推廣之基礎。

(一) 編寫目的

智慧交通發展已進入強調系統整合、資料賦能與跨域應用之階段，惟各縣市交通管理單位在導入新興技術、模式庫或知識庫時，普遍面臨缺乏標準作業流程（SOP）、整合介接規範與維運推廣機制等困境，導致技術應用效果受限，甚至出現推動落差。

本計畫規劃針對各類智慧交通模式庫與知識庫，依其功能特性、技術架構與實際應用需求，統一編製《建置與擴散指引手冊》，其主要目的包括：

1. 明確說明各模式庫與知識庫之功能定位、應用範圍與技術內涵，協助使用單位快速理解成果核心價值。
2. 系統化整理各項模式庫與知識庫從無到有之完整建置流程，包含資料需求、系統規格、功能設計、驗證方法等，提供標準化操作依據。
3. 詳細規劃各項成果與既有交通管理系統之整合介接機制，強化成果落地應用與系統相容性。
4. 研提具體之擴散推廣作法，區分自行開發與 API 服務購買兩類模式，協助各縣市依自身條件彈性選擇推動模式。
5. 明確界定不同推動模式下之權利義務與法規遵循要求，降低各方合作風險，確保成果應用之合法性與持續性。

(二) 適用對象與適用範圍

本手冊之適用對象涵蓋智慧交通推動相關之各級單位、系統整合業者與技術服務提供者，例如：縣市政府交通管理單位、中央主管機關或政策推動單位、系統整合與軟體開發業者、學術與研究機構等。適用範圍則涵蓋本計畫過去所開發且經驗證後較具未來實用性及代表性之模式庫，例如：交通預測模式、綠燈使用率影像辨識模式、交通影響分析模式、優先號誌控制、數位雙生。各模式庫與知識庫，無論屬於資料分析、預測演算、即時控制、模擬展示或其他功能類型，均適用本手冊編撰架構，並將依功能特性，調整細節內容，確保整體文件之適用性與完整性。

(三) 相關背景依據

本手冊編製係基於本計畫多年期之研究成果，累積多項模式庫與知識庫開發與應用經驗，包含交通預測、影像辨識、交通影響分析模式、優先號誌控制與數位雙生等，已具備實質場域驗證成效，惟相關成果缺乏系統化建置、整合與擴散指引，影響後續推廣效益。因此本計畫將透過本手冊之統一規劃與撰製，系統化落實模式庫與知識庫建置、整合與擴散工作，作為智慧交通發展推廣之重要工具。

二、功能簡介

本章節為各模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊之基礎性說明部分，目的在於協助使用單位快速掌握成果之功能定位、核心價值及實際應用情境，作為後續深入理解建置流程、整合方式與推廣機制之前置資訊。為確保手冊內容具體、清晰且具備場域應用導向，未來各模式庫與知識庫之指引手冊，將依以下結構與內容深度，完整說明功能簡介。

(一) 模式庫名稱與功能說明

本項內容將明確揭示各模式庫或知識庫之正式名稱、技術內涵、核心功能，協助不同背景之使用者快速理解成果特性，避免因技術名稱或概念模糊，影響應用推廣意願與實務操作效率。具體說明重點規劃如下：

1. 正式名稱：依據本計畫成果，統一規範各模式庫或知識庫之正式名稱，避免用詞混淆，例如：「交通速率預測模式」、「綠燈使用率影像辨識模式」、「數位雙生模擬展示模式」等。
2. 功能定位：簡要說明模式庫或知識庫於智慧交通管理體系中所扮演之角色，包含：解決的交通管理痛點或需求、提升的系統功能或決策效率。
3. 技術內涵：依據功能特性，說明成果所採用之主要技術方法、演算架構或系統整

合特點。

藉由本項內容，確保各使用單位可在短時間內，掌握模式庫或知識庫之整體輪廓與核心價值，降低導入初期理解門檻，提升推廣意願。

(二) 適用場域與應用情境

本項內容將聚焦於說明模式庫或知識庫之適用對象、場域限制與典型應用案例，協助使用單位評估是否具備導入條件，並提供實務應用參考。具體說明重點規劃如下：

1. 適用場域類型：依功能特性，明確列舉適用之交通環境或應用對象，例如：都市主要幹道、快速道路或高速公路；都市重要交岔路口或特定監控熱區；高流量或高壅塞潛勢之特定路段；活動、特殊事件交通管制區域；整體智慧城市交通管理平台，或其他。
2. 場域限制條件：如有，說明模式庫或知識庫導入之前置條件或技術限制，例如：需搭配特定感測設備（如車輛偵測器、攝影機）；需具備穩定資料來源（如即時交通資料、歷史資料庫）；需結合既有交通控制設施（如號誌控制系統）；特定場域環境不適用情形（如地形遮蔽、設備覆蓋不足），或其他。
3. 典型應用情境：透過情境化說明，具體呈現模式庫或知識庫之實際應用方式與操作流程，例如：日常交通監控輔助（即時預測、警示推播）；節慶疏運決策支援（提前預測壅塞、模擬應變策略）；緊急事件處置輔助（事故即時偵測、路況模擬推演），或其他。

三、功能建置說明

本章節為各模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊之核心內容，旨在系統性說明各成果從概念到實體系統的完整建置過程，包含系統架構、軟硬體資源、資料規格、技術設計、功能實現流程及驗證方法，確保各使用單位依手冊內容，即可有效完成模式庫或知識庫之複製建置或功能導入。各模式庫與知識庫指引手冊，將依以下結構與說明層次，完整呈現建置細節。

(一) 系統架構概述

1. 以文字搭配系統架構圖，完整說明各模式庫或知識庫之系統整體組成、模組配置與資料流動邏輯。
2. 架構說明包含例如核心模組、輔助模組及外部系統整合方式，明確界定各模組功能分工與資料交換介面。

3. 若模式庫屬於資料分析、預測模型類型，系統架構中應補充資料蒐集、前處理、模型推論、結果輸出等技術流程。說明各階段資料在系統中的轉換與傳遞方式。

4. 若模式庫屬於模擬展示、控制策略類型，應說明模擬引擎運作邏輯、控制介面設計、視覺化展示流程。

(二) 軟體設計／演算法說明

1. 各模式庫或知識庫之軟體設計，將針對整體架構設計概念、程式語言選用、系統邏輯與開發框架進行完整說明，協助技術團隊或後續維運單位清楚掌握系統開發邏輯與技術基礎。

2. 若系統涉及演算法或模型，將詳細說明所採用之演算法邏輯、模型架構設計與技術選型依據，並強調其在解決交通管理問題、提升預測準確度或強化系統即時反應能力等面向之技術優勢與創新性。

3. 若模式庫屬於模擬或系統整合類型，則將著重說明各模組之邏輯設計、資料串接機制與功能互動方式，確保系統具備高度整合性、穩定性與擴充性。

(三) 資料來源與需求規格

各模式庫或知識庫之正常運作，仰賴穩定、正確且完整之資料來源與明確規格要求，故本項內容將系統性整理建置與運作所需之資料類型、來源、格式規範與品質要求，作為系統建置與資料串接之依據。

資料來源部分，將依據功能特性區分即時資料、歷史資料與外部資料三大類型，詳細說明各類資料之取得方式、資料格式、更新頻率與傳輸機制：

1. 即時資料（如 VD、CVP、GVP、影像串流、感測資料等）之格式、頻率與更新機制等。

2. 歷史資料（如交通紀錄、天氣資料等）之格式、時間範圍與資料完整性要求、儲存方式等。

3. 外部資料（如地理資訊、道路路網圖等）之格式規範、取得管道、更新頻率等。

(四) 軟硬體資源需求說明

確保各模式庫或知識庫可穩定運作，將詳細列舉建置與運作所需之軟硬體資源規格。

1. 軟體需求

(1) 詳細列舉系統建置與運作所需之軟體環境、開發工具、套件模組與授權條件。

(2) 說明作業系統版本、程式語言、必要套件、資料庫環境、雲端平台需求(如有)。

2. 硬體需求

(1) 依功能特性說明伺服器規格（CPU 核心數、記憶體容量、儲存空間）、網路頻寬與設備環境需求。

(2) 若涉及大量資料演算法運算、影像處理或即時推論，需額外說明 GPU 或邊緣運算設備需求。

(3) 若模式庫需結合現地設備，如攝影機、偵測器、感測裝置等，亦將詳細列明各項設備之功能、規格、數量需求與安裝建議，確保系統整體建置符合功能運作需求。

(五) 核心功能或模型構建流程說明

本項內容將系統性說明各模式庫或知識庫自資料蒐集、模組開發、功能整合至實體系統建置之完整流程，協助使用單位清晰掌握各階段之技術重點與操作步驟。針對不同功能特性，將彈性調整說明內容。

1. 若屬於資料分析或預測模型類型，將說明資料蒐集、清理與前處理流程，模型訓練、測試、優化與部署步驟。

2. 若模式庫屬於系統模組整合或控制策略類型，則將說明功能模組開發、功能測試、系統整合方式與現地設備串接機制，確保整體系統之功能完整性與穩定性。

3. 若屬於模擬展示類型，將補充說明模擬環境建置、視覺化展示規劃或控制邏輯實現流程，說明系統如何結合虛實場域，提供即時互動或模擬推演功能。

以上整體說明內容將搭配流程圖或示意圖，協助使用單位清楚理解建置邏輯與操作流程。

(六) 功能驗證與效果評估方法

為確保系統建置完成後，各項功能可穩定運作且達到預期效益，將說明完整之功能驗證與效果評估方法。

1. 若系統涉及演算法或模型，將提供準確度、誤差指標、運算效能等評估方式，協助使用單位檢視模型表現是否符合功能需求。

2. 若屬系統整合、控制策略或模擬展示類型，則將說明功能操作測試、系統互動性檢核、資料串接穩定性檢查或模擬結果比對方式，確保整體系統具備穩定性、互動性與正確性。

驗證流程將搭配測試資料來源、操作步驟與評估標準，說明各階段驗證條件與合格判定機制，協助使用單位有效檢驗系統建置成果，降低實際導入後之操作風險。

(七) 常見問題與風險因應

整理模式庫或知識庫建置與應用過程中，常見之技術、系統或操作問題。提出具體風險預警、因應對策與排除方式，例如：資料品質不穩定或缺漏問題、模型效能下降或系統運作異常、系統整合不順或操作介面問題...等。

針對上述問題，將提供具體技術建議或操作指引，例如透過資料品質監控、模型定期重訓、系統版本控管、設備定期檢查或操作介面優化設計等方式，協助使用單位快速排除問題、降低故障風險，確保整體系統可長期穩定運作並發揮應有功能效益。

四、整合與落地應用作法

各模式庫或知識庫雖具備完整的技術功能與系統設計，但若未能有效整合至交通管理單位既有資訊系統，或缺乏具體之落地應用機制，將難以發揮其應有效益，甚至造成資源浪費與管理困擾。因此，未來各模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊中，將針對實際整合與落地應用面向，提出具體、可行且具操作性的規劃說明，協助使用單位順利完成功能導入，並確保後續運作之穩定性與持續性。

(一) 與交通管理單位既有資訊系統之整合方式

說明模式庫或知識庫如何透過API、資料庫交換或即時串接等方式，將預測結果、控制指令或模擬資訊，整合至既有系統中。若涉及影像資料、即時預測或模擬展示等功能，亦將說明系統如何結合交通管理單位之資訊牆、視覺化平台或行動應用程式，提供操作人員即時掌握系統結果、發現潛在異常或做出管理決策。

(二) 系統維運建議

維運建議內容，將包含資料來源監控、系統功能檢測、模型效能追蹤、設備保養檢查、異常即時通報與版本更新管理等面向。針對資料品質，將建議設置自動化資料監控模組，定期檢測資料完整性、正確性與即時性，發現異常時可即時通報相關人員處理。若系統涉及預測模型或資料分析功能，亦將建議建立模型效能定期檢測與重訓機制，透過檢視模型準確度、誤差變化等指標，確保預測結果之可靠性與實用性。對於系統設備，如伺服器、感測器、攝影機等硬體設施，則將建議安排定期巡檢、保養與異常排除程序，降低硬體故障風險。

此外，為避免系統功能老化或安全性下降，將建議建立版本控管與更新流程，針對系統功能優化、資料格式調整或安全性漏洞，定期進行系統升級，確保模式庫或知

識庫可長期穩定運作，並因應環境變化持續優化。

五、模式庫擴散機制研擬

智慧交通模式庫與知識庫之推動，除需考量技術開發與場域整合外，後續之跨縣市擴散機制，更為實現整體政策效益、縮短各地建置時程與提升應用一致性的關鍵。考量各縣市交通環境、系統基礎與資源條件存在差異，未來各模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊中，將完整規劃可行且具彈性的擴散機制，協助各單位依據實際需求與能力，選擇適合之推動模式，並據以規劃資源配置與作業流程，確保模式庫或知識庫之推廣具備高效率、低門檻與高可持續性。

(一) 擴散方式分類說明

為因應不同縣市之組織規模、技術能力與預算條件，模式庫與知識庫之擴散方式，將區分為「自行開發模式」與「API 服務購買模式」兩大類型，並依不同模式，提出具體操作方式與資源建議。

採用「自行開發模式」者，將依據指引手冊提供之完整技術文件、系統規格與開發流程，自行完成模式庫或知識庫之建置、整合與測試，適用於具備自主研發能力、具中長期維運規劃之縣市或機關。透過此模式，縣市可針對在地交通環境、資料特性或政策需求，進行功能調整或優化，強化模式庫或知識庫之實務適用性與效益。

若縣市不具備完整開發能力或面臨人力、預算限制，亦可選擇「API 服務購買模式」，由技術提供單位透過雲端 API 方式，提供模式庫或知識庫所需之資料處理、預測分析或模擬結果，縣市僅需依規範格式完成資料傳輸與結果串接，即可快速取得功能服務，降低建置門檻與技術負擔，適用於需快速導入、以成效為導向之場域推廣需求。

(二) 擴散所需軟硬體資源

考量未來各縣市導入模式庫或知識庫時，實際所需之軟、硬體資源與人力專業條件，將依不同擴散模式，於指引手冊中提供完整且具體之資源配置建議，協助使用單位據此評估推動所需投入，降低系統建置不確定性，提升擴散效率與導入成效。

1. 自行開發模式

若縣市選擇自行開發模式，表示具備一定自主建置與維運能力，所需之軟硬體資源，原則上與模式庫或知識庫之標準建置需求相同。因此，指引手冊中「擴散所需軟硬體資源」之(1)軟體需求與(2)硬體需求，將直接參考前述「三、功能建置說明」之(四)軟硬體資源需求說明內容。此外，針對(3)人力專業需求，則屬擴散階段

之額外關鍵考量，未來指引手冊將於本段落補充完整說明，具體內容包含：

(1) 必須配置之人員類型與專業背景，例如資料科學、軟體開發、系統整合、系統操作維運等。

(2) 各類人力需求之建議人數投入，協助縣市合理規劃人力配置。

(3) 針對常見人力不足或專業缺口，提出外部技術協力或合作機制建議，降低人力風險。

2. API 服務購買模式

若縣市選擇 API 服務購買模式，雖無須負擔完整系統建置工作，但為確保功能可順利接入既有資訊系統，仍需具備一定之軟硬體資源與人力配置。因此，指引手冊中將針對本模式，額外撰寫(1)軟體需求、(2)硬體需求與(3)人力專業需求之完整內容，協助縣市掌握必要準備條件。具體撰寫方向包含：

(1) 軟體需求部分，說明縣市端所需具備之資料交換、API 串接與系統整合功能軟體環境，包含作業系統、程式語言支援性、資料安全模組等基本需求。

(2) 硬體需求部分，說明資料交換與結果展示所需之伺服器、網路設備、顯示介面等基本硬體條件，並視功能特性補充必要之設備配置建議。

(3) 人力專業需求部分，說明縣市端需安排之基本資料處理、系統整合與操作維護人員，協助完成資料上傳、結果接收、系統操作與日常維護等工作，同時建議搭配基礎教育訓練，確保使用單位具備基本操作與管理能力。

六、權利與義務分析

為確保模式庫與知識庫於各縣市擴散應用過程中，相關技術、資料、系統與服務之使用規範明確，並兼顧開發單位、服務提供單位與使用單位間之權利義務平衡，未來各模式庫與知識庫建置與擴散指引手冊，將針對不同擴散模式，分別提出明確具操作性的權利義務框架，協助各單位妥善界定責任分工，降低合作爭議風險。

(一) 自行開發模式下各方權利義務

選擇自行開發模式之縣市，需具備完整系統自主建置、維運與管理能力，相關技術成果與資料資源，原則上歸屬於自行開發單位，惟仍須遵循既有法規與合作框架進行應用。指引手冊中將針對以下面向，提出具體權利義務說明：

1. 系統建置完成後，軟體原始碼、模型成果、資料處理模組與整體系統架構，原則上歸屬於縣市政府或其授權單位，縣市具備自主修改、擴充與應用之權利，並負

責後續之功能維運、資料更新與安全管理。

2. 開發過程中，如涉及中央主管機關或計畫團隊提供之技術文件、教育訓練或技術協助，使用單位應遵循相關使用規範，並不得未經授權將技術轉授或商業化，維護原始技術提供單位之智慧財產權。
3. 資料使用部分，縣市應確保蒐集、處理與應用過程符合個人資料保護法、智慧交通資料管理規範等相關法規要求，避免資料外洩、濫用或不當揭露。

透過上述規範，兼顧系統自主性與資料安全性，協助縣市妥善運用模式庫與知識庫，同時保障原始技術來源單位與合作夥伴之合法權益。

(二) 購買 API 服務模式下各方權利義務

若縣市選擇透過 API 服務購買模式導入模式庫或知識庫功能，雖可有效降低建置門檻與技術負擔，惟亦涉及服務內容、資料交換、使用範圍與權責分工等重要議題，指引手冊將於本段落完整釐清各方權利義務，避免合作爭議。

1. 技術提供單位應負責維護 API 服務之穩定性、功能完整性與資料安全性，並依約定內容提供必要之功能服務、技術支援與系統升級。縣市端則享有依約定格式傳輸資料、接收結果與應用服務之權利，惟不得擅自破解、反編譯或濫用 API 內容。
2. 資料交換過程中，雙方應共同遵循資料安全機制與隱私保護規範，避免敏感資料外洩或未經授權之第三方存取。若服務內容涉及個人資料，雙方應簽訂資料處理或委外協議，明確界定資料使用範圍與保護責任。
3. API 服務期間內，技術提供單位應定期提供服務品質報告，包含系統可用率、故障紀錄與維護情形，協助縣市掌握服務狀態。若因技術提供單位過失，導致系統無法正常運作或資料遺失，應負起相應賠償或補救責任。

整體而言，透過明確之權利義務框架，保障縣市取得穩定、可靠之服務，同時維護技術提供單位之商業利益與技術自主性，促進雙方長期穩定合作。

(三) 法規遵循與個資保護注意事項

不論採用何種擴散模式，資料安全與法規遵循皆為模式庫與知識庫推廣過程中不可忽視之關鍵環節。為避免資料濫用、隱私侵害或法律糾紛，指引手冊將針對相關法規要求，提出具體注意事項，協助各單位妥善規劃資料管理與使用流程。

首先，針對個人資料保護部分，所有涉及資料蒐集、處理、分析與應用之流程，

皆須遵循個人資料保護法相關規定，避免透過模式庫或知識庫，蒐集、揭露或濫用足以辨識個人身分之資料，並應於系統設計階段，納入資料匿名化、加密處理與權限控管機制，降低個資外洩風險。其次，若資料來源涉及道路監控影像、車牌資訊或其他具隱私敏感性之資料，使用單位應另行檢視相關法規要求，並視實際情況，辦理必要之資料授權、公告或告知作業，確保資料蒐集與使用具備合法性與透明性。此外，模式庫或知識庫之系統建置、資料交換與功能服務，亦須符合資訊安全管理規範，包含資料加密、防駭機制、存取紀錄與系統弱點掃描等，強化整體系統安全性與穩定性。

透過完整法規遵循與資料安全機制，確保模式庫與知識庫擴散應用過程中，兼顧資料價值發揮與個人隱私保護，降低法律風險，強化社會信任與政策推動正當性。

第八章 其他計畫成果

本章茲彙整其他計畫相關成果如後，包含計畫執行期間所辦理之相關成果推廣活動之內容，以及計畫相關內容之運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會等學術投稿內容，最後則將本計畫執行期間相關活動大事記進行臚列彙整。

8.1 各項成果發表推廣活動

一、計畫執行成效評估作業—示範城市座談研討會

(一) 會議資訊與議程

1. 時間：114 年 10 月 22 日（星期三）下午 3 時
2. 地點：臺中林皇宮 1 樓好事廳(臺中市西屯區臺灣大道 3 段 33 號)
3. 邀請對象：臺中市政府交通局葉昭甫局長、臺中市政府交通局相關同仁
4. 會議議程如下。

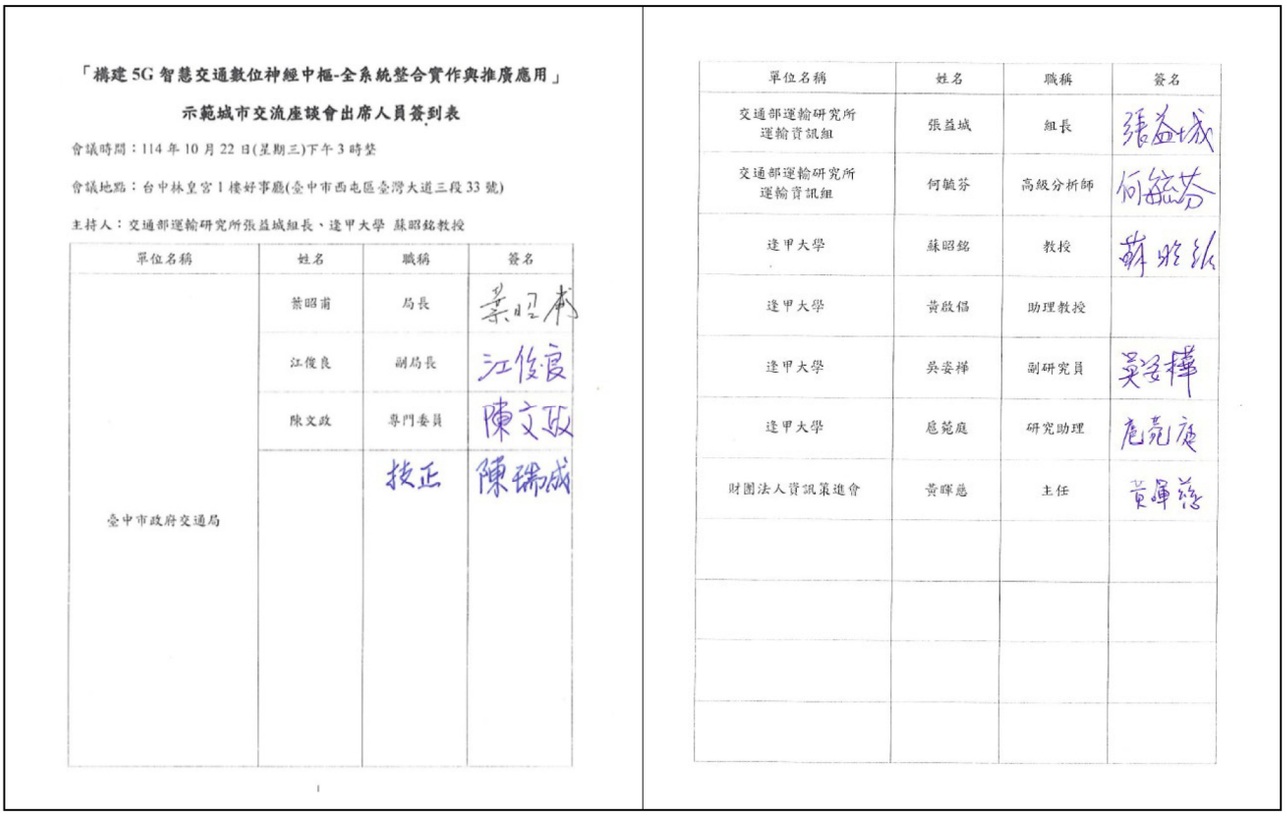
時間	議程
15:00~15:30	報到
15:30~15:40	主辦單位致詞
15:40 - 16:10	智慧交通數位神經中樞模式研發與知識庫應用成果-臺中示範作為之落地推動項目研商
	主講人：逢甲大學建設學院 蘇院長昭銘
16:10 - 17:00	綜合討論
	主持人： 交通部運輸研究所 張組長益城 逢甲大學建設學院 蘇院長昭銘

(二) 活動現場照片






(三) 活動參與人員簽到表



「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」

示範城市交流座談會出席人員簽到表

會議時間：114 年 10 月 22 日(星期三)下午 3 時整

會議地點：台中林皇宮 1 樓好事廳(臺中市西屯區臺灣大道三段 33 號)

主持人：交通部運輸研究所張益城組長、逢甲大學 蘇昭銘教授

單位名稱	姓名	職稱	簽名
臺中市政府交通局	葉昭甫	局長	葉昭甫
	江俊良	副局長	江俊良
	陳文政	專門委員	陳文政
		技正	陳瑞成

單位名稱	姓名	職稱	簽名
交通部運輸研究所運輸資訊組	張益城	組長	張益城
交通部運輸研究所運輸資訊組	何毓芬	高級分析師	何毓芬
逢甲大學	蘇昭銘	教授	蘇昭銘
逢甲大學	黃啟偏	助理教授	
逢甲大學	吳姿樺	副研究員	吳姿樺
逢甲大學	應苑庭	研究助理	應苑庭
財團法人資訊策進會	黃暉惠	主任	黃暉惠

二、「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」-交通首長意見交流座談會

(一) 會議資訊與議程

1. 時間：115 年 1 月 23 日（星期五）上午 10 時
2. 地點：臺北凱薩大飯店 4 樓北京廳(臺北市中正區忠孝西路 1 段 38 號)
3. 邀請對象：六都交通局局長
4. 會議議程如下。

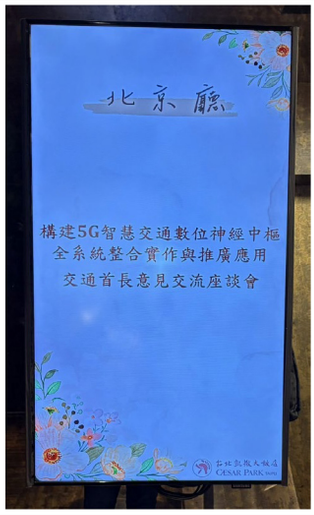
時間	議程
09:30 - 10:00	報到
10:00 - 10:10	主辦單位致詞
10:10 - 10:30	計畫成果報告 1.計畫背景與發展脈絡 2.運研所在 AI 技術研發中的關鍵角色 3.既有智慧交通示範案例與研究成果之延續應用 4.運研所與六都未來的合作建議
10:30 - 12:00	議題討論
12:00 - 13:30	會後餐敘

(二) 活動現場照片

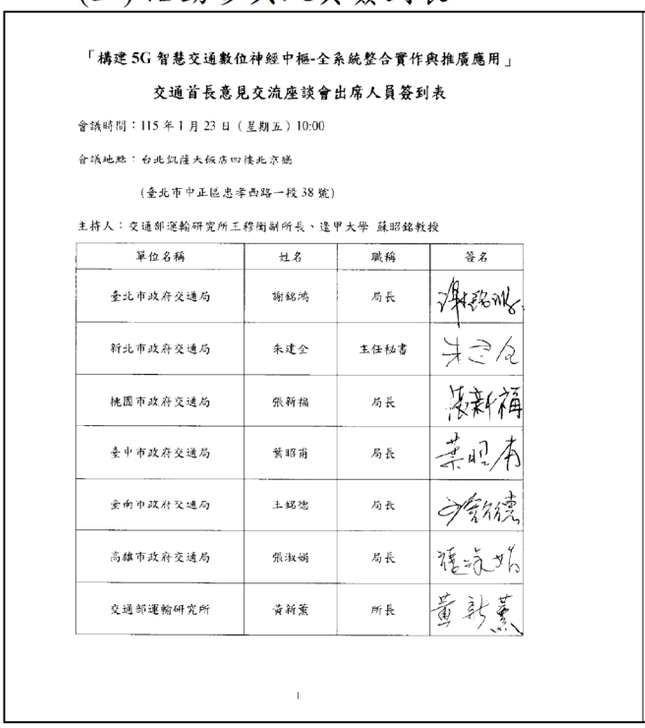

構建5G智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用
交通首長意見交流座談會




構建5G智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用
六都首長座談會會議議程
時間
議程
主持（講）人
09:30 - 10:00
報到
10:00 - 10:10
主辦單位致詞
交通部運輸研究所
王瑞彬 副所長
10:10 - 10:30
「構建5G智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」計畫成果報告
一、計畫背景與發展概述
二、運研所在AI技術研發中的關鍵角色
三、既有智慧交通示範案例與研究成果之延續應用
四、運研所與六都未來的合作建議
逢甲大學建設學院
蘇裕玲 院長
10:30 - 12:00
綜合討論與意見交流
12:00 - 13:30
意見餐敘
CESAR PARK


北京廳
構建5G智慧交通數位神經中樞
全系統整合實作與推廣應用
交通首長意見交流座談會
CESAR PARK

(三) 活動參與人員簽到表



「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」

交通首長意見交流座談會出席人員簽到表

會議時間：115 年 1 月 23 日（星期五）10:00

會議地點：台北凱達大飯店四樓北京廳

（臺北市中正區忠孝西路一段 38 號）

主持人：交通部運輸研究所王穆衡副所長、逢甲大學 蘇昭銘教授

單位名稱	姓名	職稱	簽名
臺北市政府交通局	謝銘鴻	局長	
新北市政府交通局	朱建全	主任秘書	
桃園市政府交通局	張新福	局長	
臺中市政府交通局	葉昭甫	局長	
臺南市政府交通局	王銘德	局長	
高雄市政府交通局	張淑娟	局長	
交通部運輸研究所	黃新基	所長	



單位名稱	姓名	職稱	簽名
交通部運輸研究所	王穆衡	副所長	
交通部運輸研究所運輸資訊組	張益誠	組長	
交通部運輸研究所運輸資訊組	何敏芬	高級分析師	
逢甲大學	蘇昭銘	教授	
逢甲大學	吳姿樺	副研究員	
逢甲大學	陳怡君	副研究員	
逢甲大學	應乾庭	研究助理	
台北市政府交通局	王育武	科長	

三、「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」-成果交流座談會

(一) 會議資訊與議程

1. 時間：115 年 2 月 12 日（星期四）上午 9 時 20 分
2. 地點：交通部運輸研究所 5 樓會議室（臺北市敦化北路 240 號）
3. 邀請對象：中央及地方政府交通單位以及相關公/學/協會
4. 會議議程如下。

時　間	議　程
09:20~09:40	報　到
09:40~09:50	主辦單位致詞
09:50-10:40	**構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用-「從建置到運作」** 一、 計畫背景說明 二、 111-113 年示範城市建置成果與應用成效回顧 三、 既有交管系統與智慧交通成果整合之實務議題 四、 成果納入日常交管作業之操作流程與導入方式 五、 後續推動與常態化運作之方向說明
	主講人：逢甲大學建設學院 蘇院長昭銘
10:40-12:00	**綜合討論** 一、 智慧交通成果納入日常交管運作之關鍵條件與實務作法 二、 跨城市推動智慧交通系統之整合模式與持續運作機制
	主持人： 交通部運輸研究所 王副所長穆衡 逢甲大學建設學院 蘇院長昭銘

(二) 活動現場照片





(三) 活動參與人員簽到表（會議採實體+線上，參與人數約 30 餘人）

「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」

成果交流座談會出席人員簽到表

會議時間：115 年 2 月 12 日（星期四）上午 9:40

會議地點：交通部運輸研究所 5 樓會議室(臺北市敦化北路 240 號)

主持人：交通部運輸研究所王穆衡副所長、逢甲大學 蘇昭銘教授

單位名稱	姓名	職稱	簽名
交通部運輸研究所	王穆衡	副所長	
交通部運輸研究所	張益誠	組長	
交通部運輸研究所	何毓芬	高級分析師	
交通部高速公路局	林雅津	幫工程司	
交通部高速公路局北區養護工程分局	簡克任	副工程司	
交通部高速公路局北區養護工程分局	白伊彤	工程師	
交通部高速公路局北區養護工程分局	吳摩晟	副主任	
交通部高速公路局北區養護工程分局	黃士軒	幫工程司	

1

單位名稱	姓名	職稱	簽名
交通部高速公路局中區養護工程分局	許桂華	交通工程師	
交通部高速公路局中區養護工程分局	張恩芸	副工程司	
交通部高速公路局埔林交控中心	李興志	副工程司	
新北市政府交通局	彭學震	技士	
臺北市政府交通局	陳宗慶	股長	
臺北市停車管理工程處	劉瑞麟	處長	
臺中市政府交通局	陳瑞成	技正	
彰化縣政府交通處	劉芸辰	技士	
臺南市政府交通局	蕭志穎	技士	視訊 ✓
臺南市政府交通局	蕭嵐傑	科員	視訊 ✓
臺南市政府交通局	陳孚妤	技士	視訊 ✓

2

單位名稱	姓名	職稱	簽名
臺南市政府交通局	王盈惠	技士	視訊
高雄市政府交通局	顏傑	技士	
WSP 美商科進楷誠	吳瑄妘	專案經理	
WSP 美商科進楷誠	王琦琪	總監	
睿星科技股份有限公司	黃銘崇	總經理	
遠傳電信股份有限公司	張正誼	資深工程師	
台灣安迅士網絡通訊股份有限公司	呂家儀	業務經理	
逢甲大學運輸與物流學系	蘇昭銘	教授	
逢甲大學智慧運輸與物流創新中心	吳姿樺	副研究員	
逢甲大學智慧運輸與物流創新中心	陳怡君	副研究員	
逢甲大學智慧運輸與物流創新中心	葛晏庭	研究助理	

3

單位名稱	姓名	職稱	簽名
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	何曉晴	規劃師	
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	呂丞翊	副規劃師	
力學股份有限公司	李明潔	專案助理	
台灣世曦工程顧問股份有限公司	李妍巍	正工程師	
財團法人資訊工業策進會軟體技術研究院	黃暉恩	主任	
財團法人資訊工業策進會軟體技術研究院	楊兔順	資深工程師	

4

四、計畫成果宣傳影片

本計畫規劃並製作完成 1 部成果宣傳影片，作為智慧交通數位神經中樞系統之整體成果展示與對外說明工具，主要對象為地方政府交通管理與決策單位。影片以交通治理「事前準備」為核心概念，透過情境式敘事方式，說明人流、車流及運輸量能在不同時段與情境下所形成之潛在風險，並回應現行交通管理於資訊分散與決策時效限制下，難以僅憑經驗即時因應之實務問題，具體呈現交通治理由被動應變轉向事前預防之治理思維與政策價值。

影片內容進一步結合實際系統畫面，完整呈現本計畫所建置之智慧交通平台在「事前部署、即時監控、預判決策」三階段決策流程中的應用成果，包括人流熱點預估、路段速率變化與壅塞風險預測、號誌效率診斷，以及運輸量能與接駁需求推估等功能。透過即時資料整合與預測分析成果之視覺化呈現，說明系統如何支援交通管制、人力配置與資源調度等事前規劃作業，具體展現本計畫成果於交通風險管理與決策支援層面的實務可行性與整體治理效益。

五、計畫成果相關海報

本計畫規劃並完成計畫成果宣傳海報，作為智慧交通數位神經中樞系統於大型活動與高人流情境下之治理理念與應用情境說明工具，主要對象為地方政府交通管理與決策單位，海報以交通治理「事前準備」為核心概念，透過大型活動期間人流集中與交通衝擊之視覺化情境呈現，說明傳統交通管理過度仰賴即時反應與經驗判斷所面臨之治理限制，進而突顯導入事前風險辨識與整合決策思維之必要性與政策意涵。

海報內容著重呈現本計畫以 5G 與智慧化技術構建交通數位神經中樞之整體架構與治理模式，透過簡化之流程圖像與關鍵治理指標，說明智慧交通系統如何支援管理單位於大型活動前進行整體交通策略規劃與資源部署，協助交通治理由被動應變轉向事前預防，並作為本計畫成果於政策溝通、跨單位說明與推廣應用層面之重要視覺化成果。

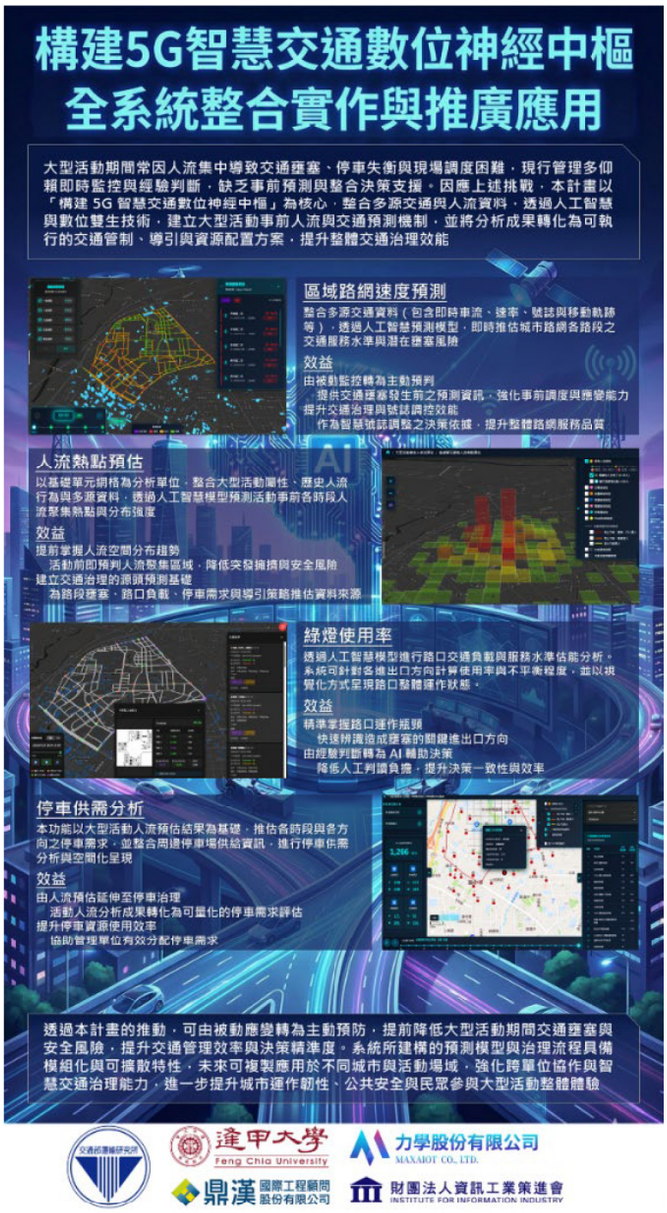


圖 8.1.1 計畫相關成果海報

8.2 計畫成果投稿

本計畫相關成果學術投稿共計 4 篇，投稿論文題目、投稿目標、審查結果分別臚列如下：

一、題目：結合 C-V2X 與中心端邏輯之緊急車輛「發車端」優先號誌控制實作與驗證-以臺中市水湳地區為例

(一) 投稿目標：中華民國運輸學會 2025 年會暨學術論文國際研討會

(二) 審查結果：通過並接受發表



圖 8.2.1 「結合 C-V2X 與中心端邏輯之緊急車輛「發車端」優先號誌控制實作與驗證-以臺中市水湳地區為例」投稿證明

二、題目：Developing a Resource-Oriented Signal Decision Support Platform Based on Green Light Utilization Rate From Algorithm Models to Visualization Applications

(一) 投稿目標：2026 Gangneung ITS World Congress

(二) 審查結果：已投稿，審查中

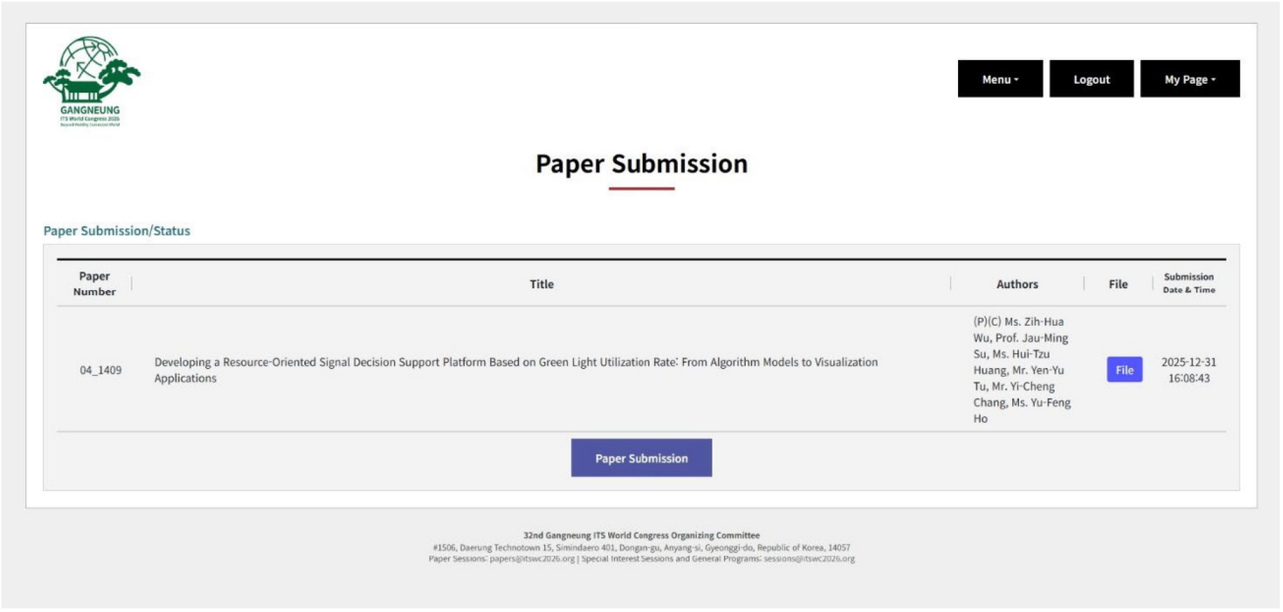


圖 8.2.2 「Developing a Resource-Oriented Signal Decision Support Platform Based on Green Light Utilization Rate From Algorithm Models to Visualization Applications」投稿證明

三、題目：Integration and Application of a Digital Twin for Traffic Management of Large-Scale Events

(一) 投稿目標：2026 Gangneung ITS World Congress

(二) 審查結果：已投稿，審查中



圖 8.2.3 「Integration and Application of a Digital Twin for Traffic Management of Large-Scale Events」投稿證明

四、題目：AI-Based Estimation of New Year's Eve Human Mobility and Traffic Flow

(一) 投稿目標：2026 Gangneung ITS World Congress

(二) 審查結果：已投稿，審查中

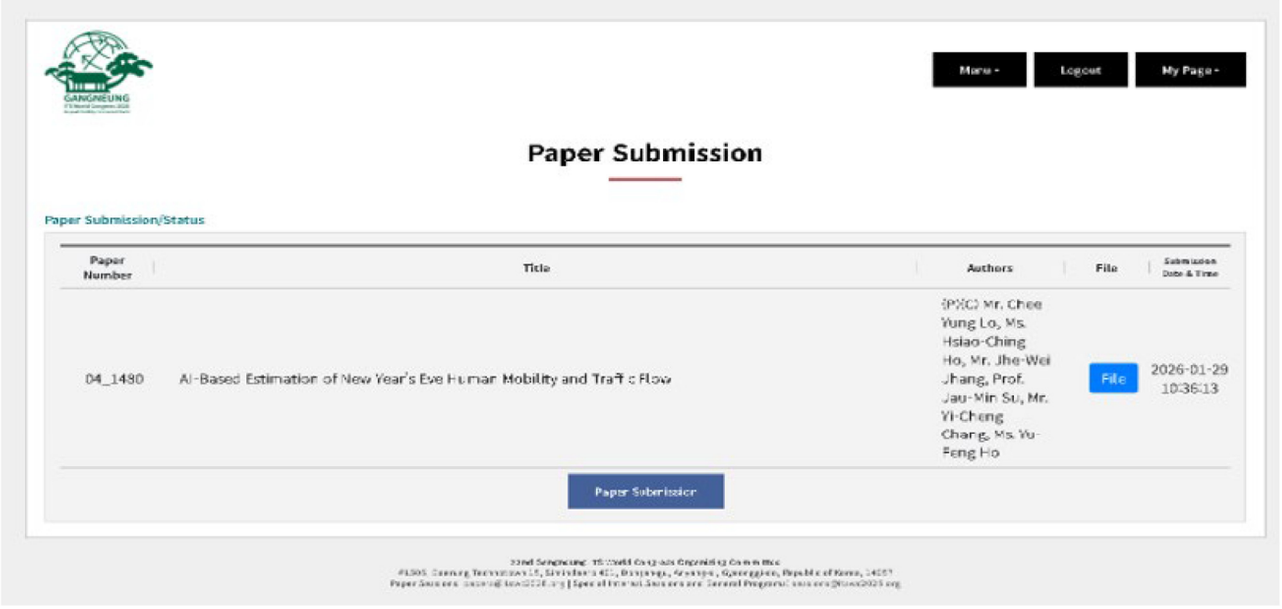


圖 8.2.4 「AI-Based Estimation of New Year's Eve Human Mobility and Traffic Flow」投稿證明

8.3 計畫相關活動大事記

茲就本計畫執行過程中，計畫相關活動大事記彙整如表 8.3-1 所示，相關活動共計 13 場次。

表 8.3-1 計畫執行活動大事記

項次	辦理時間	計畫相關活動大事記
1	114/9/11	第一次工作會議
2	114/10/2	第二次工作會議
3	114/10/22	舉辦「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」-計畫執行成效評估作業-示範城市座談研討會
4	114/10/23	第三次工作會議
5	114/11/12	第四次工作會議
6	114/12/03	第五次工作會議
7	114/12/12	提送研究主題與重點三、預期完成的工作項目之(四)、智慧交通數位神經中樞系統執行成效評估作業之辦理 1 場座談研討會之相關證明文件
8	114/12/24	第六次工作會議
9	115/01/14	第七次工作會議
10	115/01/23	舉辦「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」-交通首長意見交流座談會
11	115/02/05	第八次工作會議
12	115/02/12	舉辦「構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用」-成果發表會
13	115/02/25	交付本案期末報告
14	115/03/17-20	計畫成果參與 2026 智慧城市展暨 2050 淨零城市展

資料來源：本計畫彙整

第九章 結論與建議

本計畫歷經多年期的深耕至本期(第四期，亦為最後一期)，從早期的概念驗證(PoC)發展至本期的全系統整合與服務實作，成功構建具備感知、傳導、思考與反應能力的「智慧交通數位神經中樞」。本章將綜整本計畫之關鍵結論，並針對我國未來智慧交通之發展提出具體建議，期能作為後續政策推動與技術擴散之參考。

9.1 結論

本計畫之執行成果，不僅驗證新興通訊與人工智慧技術導入交通治理體系之可行性，亦在系統架構完整性、治理應用涵蓋面向及制度化推動條件等層面，建立具體且可複製之實務經驗。整體而言，本計畫已由概念驗證階段，推進至可實際支援交通管理決策與應變操作之整合系統，其主要結論歸納如下。

一、建立以仿生邏輯為核心之交通數位神經中樞運作架構

本計畫於第一期，成功將生物神經系統之感知、傳導、判斷與反射等運作邏輯，轉譯為具體且可落地之智慧交通治理架構。系統整合 GVP 與 CVP 交通狀態資料、AI CCTV 影像辨識作為感知層，透過 5G C-V2X 低延遲通訊作為資訊傳導機制，結合雲端 AI 預測模型進行中長時序推論，並由邊緣端號誌控制與即時應變模組執行快速反應，形成完整之「感知—分析—決策—回饋」閉環治理流程。相較於傳統以人工監控與事後調度為主之交通管理模式，本架構可有效整合分散資料來源，降低資訊斷裂與反應延遲問題，使交通治理由被動監測逐步轉向具備預警能力與即時調整彈性的主動管理模式，並奠定後續多元應用模式整合之基礎。

二、驗證 5G C-V2X 技術於即時交通治理情境之應用效益

透過本計畫第二、三期之實地整合與測試，證實 5G C-V2X 車聯網技術在高即時性交通治理情境中具備明確效益，特別是在緊急應變與大型活動管理等對時效與穩定性要求較高之應用場域。

在緊急車輛優先通行應用中，系統可即時接收緊急車輛位置與行進狀態，並透過路側設備與號誌控制邏輯進行即時通行策略調整，實現跨路口之優先通行機制。實測結果顯示，緊急車輛於路口之延滯時間顯著下降，整體行程時間平均縮短約三成，顯示該技術於提升救援效率與行車安全方面具實質貢獻。

三、模式庫精進達成「系統化、可部署、可維運」

本期在模式庫精進面向，呈現由「模型可用」提升為「服務可用」的轉變，核心在於自動化、標準化與維運化：

(一) 交通速率預測模式

形成端對端、多步預測之可部署服務鏈，系統可全自動完成資料清洗、特徵工程、模型預測與結果儲存，並採「一路段一模型」以提升在地化精度；以 Stacking 集成與 MultiOutputRegressor 一次輸出未來 30 分鐘（每 5 分鐘一點）的多步連續預測值，並以 Optuna（貝葉斯優化）自動化搜尋基模型組合；配合 TimescaleDB 等時序資料庫支援巨量資料查詢與分析，並以排程/多進程方式每 5 分鐘更新產出，形成穩定的即時預測服務。此外，預測流程被拆解為可複用的模組（蒐集、補值與特徵化、訓練、並行預測等），使其具備可移植性與 MLOps 導向的可維運特性。

(二) 路口綠燈使用率分析模式

以 AI 影像事件→指標化診斷→API 輸出，支援治理 KPI 化。系統以 AI CCTV 即時串流為資料源，透過 YOLOX 偵測與 ByteTrack 追蹤產生事件資料，再以「車流量換算綠燈使用」與「該方向綠燈總時長」之比值形成綠燈使用率指標，並以非同步協程架構支援多路 RTSP 在高流量情境下的即時計算與標準化 API 介接。

(三) 大型活動交通影響分析模式

以「四大預估模組」建立事前決策支援的量化底座。系統以決策導向、在地化、彈性化為目標，整合四大模組：網格人流熱點預估、路段速率預估、軌道場站接駁需求預估、停車需求預估；分別對應「人潮分布與流向」、「周邊路網壅塞警示」、「公共運輸量能配置」、「停車引導與分流」等治理需求，讓大型活動不再僅依經驗推估，而能以量化結果支援事前部署。

四、知識庫建置強化可用性

本期大型活動疏導應變知識庫，並非獨立於模式庫之外的靜態文件，而是承接模式庫輸出（人流熱點、道路速率、路口流容比、停車需求等），以「分析步驟＋規劃原則＋圖資化呈現」協助規劃人員將預估結果轉譯為分時交通維持與疏導措施。例如停車供需分析知識庫明確指出需先掌握來向需求、規劃備援停車場、避免核心區域遊蕩車流，並提供供給檢核流程與選址支援資訊，使知識庫在實務上可直接用於方案設計與溝通。

五、全系統整合落實同平台協同運作

智慧交通數位神經中樞之全系統整合，採模組化架構設計，五大模組分別負責：資料蒐集與整合、時序資料管理、3D 視覺化渲染、時間控制介面與 API 服務，並以明確

資料流串接，兼顧跨資料源整合與後續擴充彈性。前端技術亦以現代化框架（Vue 3 + TypeScript）與 3D 視覺化引擎建構互動介面，並透過狀態管理機制確保跨模組資料一致性與操作流暢性，支援「看得懂、用得上」的路網層級決策操作。系統整合後，交通速率預測可於數位雙生介面即時映射並以顏色分級呈現壅塞狀態，協助管理人員快速辨識瓶頸與預警判斷，體現由「資料」走向「決策」的落地價值。

本計畫數位雙生系統主要成果具體為「異質資料流之即時映射」，系統模組化設計將 AI 模式推論與 Cesium 3D 視覺化引擎深度結合。包含：

(一) 跨模組一致性：透過 Vue 3 + TypeScript 狀態管理，確保速率預測資料在 3D 場景中呈現之顏色分級與數據連動反應時間小於 1 秒。

(二) 大規模運算支撐：系統經壓力測試證實，在同時介接千個預測路段時，CPU 與記憶體使用率維持於 60% 以下之安全穩定區間 ，證明平台具備支撐大型都會區級別之運作能量。

六、標準化 API 使成果易於被採用

若各項模式產出之結果僅停留於資料庫或封閉伺服器，價值無法擴散；因此服務輸出端的精進重點在於「介面的標準化」與「視覺化應用」，以符合國際通用之 RESTful API，採 HTTP/HTTPS 與 JSON 格式，取代 CSV 交換或直接讀庫等傳統模式，降低跨縣市/跨系統介接門檻。此一設計使地方政府交控中心或第三方系統可更一致地存取與整合預測成果，為後續推廣與採購規格化奠定基礎。

本計畫將相關模組所產出之預測結果轉化為「服務化資產 (SaaS)」。全面遵循國際通用之 RESTful API 規範，並提供完整之 Swagger 說明文件，定義 RoadID 空間索引與 JSON 資料 Schema。且 API 服務模組經實測具備每分鐘 600 次請求 (600 RPM) 之處理能力，並支援 HTTPS/TLS 加密傳輸與 API Key 認證，確保資料交換之安全性與穩定性。此標準化設計使地方政府僅需進行輕量級介接即可獲取各功能模組所產出之結果，大幅降低系統移植成本與 IT 維運門檻。

七、落地驗證顯示 AI 控制可改善固定時制之「供需失衡」與「應變不足」

本期選定臺中市西屯區「福康路與福順路口」導入「主動式 AI 號誌時制檢測及自動化調整模式」，並以交通工程標準之「事前—事後比較研究法」進行驗證，評估期（事後）為 115/1/7 至 115/2/6，基準期（事前）為 114/12/7 至 115/1/6。基準期現況顯示：離峰平均路口停等延滯為 10.2 秒、尖峰為 18.6 秒，且固定 TOD 二時相（尖峰 75 秒、離峰 60 秒）成為後續比對基準。長期監測亦指出：週末存在「無效綠燈」（車流未達尖峰

仍強制尖峰時制）與平日突發尖峰「應變不足」（仍以離峰週期因應）兩大問題；導入 AI 後透過動態門檻與 Q-learning 決策，能在突發車流時主動切換適宜時制、在車流稀少時回到較短週期以提升效率，顯示 AI 閉環控制於高隨機車流路口具可行性。此外，模式在偵測到流量標準差超過閾值時，能切換長週期或短週期計畫以同時回應「尖峰秒數不足」與「離峰綠燈空放」雙重問題，展現穩定運作與治理效益。

八、建構制度化文件

除技術實作外，本計畫亦同步完成多項模式庫、應用知識庫與擴散指引手冊之整理，將技術成果轉化為可供不同縣市與單位參考之制度化工具。透過明確界定功能架構、資料需求、系統介接方式與權利義務關係，有助於降低後續導入門檻，並提升成果在跨場域推廣時之可行性與一致性。此一作法亦使本計畫成果不侷限於單一示範場域，而具備轉移、擴充與長期維運之條件，為後續智慧交通治理體系的持續發展奠定基礎。

9.2 建議

一、已建立可移植的資料標準與介接規範，後續建議可逐步建立跨縣市具彈性且可延展之資料標準架構

本計畫已驗證透過 RESTful API 與結構化資料格式，可有效支援多系統間之即時介接與應用整合。惟不同縣市在資料來源、欄位定義與更新頻率上仍存在差異，後續推廣建議逐步建立具彈性且可延展之資料標準架構，明確界定核心必要欄位、時間與空間索引方式，以及資料品質基本要求。透過制度化之資料與介接規範，有助於降低各地導入智慧交通相關系統時的整合負擔，並提升系統成果在跨場域移植時的一致性與可用性。

為縮短系統遷移至其他縣市之開發週期，本計畫已初步產出「智慧交通核心資料標準 (IT-CDM)」與六套建置指引手冊 。後續推廣應以此成果為基礎，深化下列機制：

(一) 沿用本案定義之核心欄位：未來縣市導入時，應強制要求資料源（如 VD, GVP, CCTV）對接至本計畫產出之標準欄位，包含 RoadID (LRS 空間索引)、ISO 8601 時間戳記及分級速率指標。

(二) 推廣標準化介接工具包：運用本案已開發之 Swagger API 說明文件 ，提供地方政府「開箱即用」的介接規格，取代過去一對一開發的客製化介面，實現「一次研發、全台通用」之效益。

(三) 建立資料品質驗證門檻：參考本計畫手冊中定義之「資料完整率監控機制」，建

立制度化之資料品質考核標準。透過標準化之資料與介接規範，預計可降低各地導入系統時 50% 以上之整合負擔，顯著提升跨場域移植之一致性與可用性。

二、建議後續應以 MLOps 思維推進「模型生命週期治理」，將在地化模型從專案變成常態服務

本計畫所建置之交通速率預測與人流推估模型，已由單次實驗性模型發展為可定期更新與服務化輸出之系統。惟在實務推動上，隨著模型數量與應用場景增加，模型訓練、更新與效能監控的管理需求亦同步提高。建議後續推動單位可逐步導入模型生命週期治理（Model Lifecycle Management）概念，將資料更新、模型再訓練、效能檢核與版本管理納入標準作業流程，使 AI 模型能長期穩定支援交通管理決策，而非僅作為短期專案成果。

三、建議後續應以「指標導向」為核心之號誌與路口管理應用層級

本計畫已透過 AI 影像分析與綠燈使用率指標，驗證以數據化指標輔助號誌調整之可行性，並顯示其有助於改善傳統固定時制在高變動交通情境下的適應不足問題。後續推動建議可由單一路口示範，逐步擴展至路口群組或幹道走廊層級，並結合多項運作指標（如延滯、排隊長度、使用效率等），建立更具整體性之路口管理與策略評估機制，使號誌控制由經驗調整走向以量化指標支撐的治理模式。

四、建議應將大型活動交通管理模式制度化，作為事前規劃與跨單位協作工具

本計畫所發展之大型活動交通影響分析模式，已透過人流、車流、接駁與停車等多面向預估，提供具體量化依據以支援事前部署與策略研擬。建議後續可將此類分析流程制度化，作為大型活動申請與交通配套規劃之輔助工具之一。同時，透過知識庫形式將分析結果對應至實務措施（如人力配置、交通管制、接駁規劃），有助於降低跨單位溝通成本，並提升大型活動交通治理決策的一致性與可預期性。

五、建議持續強化數位雙生平台之時間推演與決策支援功能

本期全系統採五大模組架構（資料整合、時序管理、3D 渲染、時間控制、API 服務），並強調模組化以利擴充。建議後續推廣時，進一步把「時間軸操作（回放/推演）」與「多情境對比」做成標準功能，讓管理單位能在同一介面完成，以提升數位雙生平台從展示走向決策支援的實際效益。

(一) 事前推演（不同策略下的人流/車流/需求差異）

(二) 事中監控（即時狀態與預警）

(三) 事後復盤（回放與指標檢討）

六、建議後續可依「手冊公版」為核心，建立擴散採購與合作的標準作業機制

本期已提出手冊公版與六大章節規範，並強調需同時滿足技術、管理與採購需求。建議後續推廣可採「三段式」擴散機制：

(一) 準備段：依手冊明確盤點縣市既有資料、設備、人力與系統介接能力

(二) 導入段：以 API 標準與模組化部署完成最小可行系統（MVP），先跑通資料—預測—介面

(三) 深化段：再擴充大型活動、號誌 AI 或更多模式庫，並完成權利義務與維運責任分工。

透過明確界定技術責任、維運分工與權利義務關係，有助於降低推廣過程中的不確定性，並確保智慧交通相關系統能在專案結束後持續發揮實質效益。

七、建議後續應建立智慧交通技術建置指引手冊之產官學實務檢核機制

本計畫雖已針對 6 項模式庫與知識庫初步完成建置指引手冊，但考量智慧交通技術更迭迅速且各縣市硬體環境不一，建議未來相關單位如有類似建立指引手冊以利進行系統移轉或擴散應用時，應採納以下機制以確保該手冊之實用性：

(一) 導入實務回饋程序：建議後續執行機關在進行相關模式的指引手冊研擬時，可邀請預計採用之公部門(如各縣市交通局)或系統開發商協助針對手冊內容進行「操作性試閱」，確保技術文件之語言能跨越學術與實務之隔閡。

(二) 滾動式修正機制：針對手冊中之「功能建置說明」與「介接規格」，應依據實務落地時遇到的障礙（如通訊協定差異或圖資版本更新）進行滾動式增修，使手冊維持「開箱即用」之參考價值，降低後續廠商開發之門檻。

(三) 建立標準化規格檢核表：建議未來在推動類似之 5G 智慧交通計畫時，將「實務檢核機制」納入手冊產製之標準流程，由需求方（政府）與執行方（廠商）共同確認內容無誤後再行定稿，以提升產學銜接之深度。

參考文獻

[1] Smart Columbus. (n.d.). Smart Columbus Operating System. Retrieved July 10, 2025, from https://smartcolumbus.com/projects/smart-columbus-operating-system.

[2] Takayanagi, Y., & Kawabe, S. (2024, September). Advanced traffic signal control methods by using network camera. Paper presented at the 30th ITS World Congress, Dubai, UAE.

[3] 高雄市政府交通局，112-113 年度高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用計畫委託專業服務案，民國 113 年。

[4] Transport for London. (2024, June 4). TfL and Yunex successfully complete world-leading upgrade to London's traffic signal system. Transport for London. https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2024/june/tfl-and-yunex-successfully-complete-world-leading-upgrade-to-london-s-traffic-signal-system

[5] Traffic Technology Today. (2024, June 5). TfL completes signal optimisation upgrade with Yunex Traffic. https://www.traffictechnologytoday.com/news/intersections/transport-for-london-completes-signal-optimisation-upgrade-with-yunex-traffic.html

[6] Cow-Shed. (2024, March). Using artificial intelligence to improve transport in London. https://www.cow-shed.com/blog/using-artificial-intelligence-to-improve-transport-in-london

[7] Digital Twin Hub. (2024, May). Transport Digital Twin Vision and Roadmap to 2035. https://digitaltwinhub.co.uk/transport-digital-twin-vision-and-roadmap-to-2035

[8] Gemeente Amsterdam. (2019). Smart Mobility Programme 2019–2025. AI4Cities. Retrieved July 10, 2025, from https://ai4cities.eu/fileadmin/user_upload/Images/Cities/Amsterdam/190717_Programma_Smart_Mobility_2019-2025_ENGv1.pdf

[9] Land Transport Authority & ASTAR Institute for Infocomm Research. (2018, September). Cooperative and Unified Smart Traffic System (CRUISE) [Project brief]. ASTAR. Retrieved July 10, 2025, from https://www.a-star.edu.sg/docs/librariesprovider10/default-document-library/fw-new-infosheets/manufacturing-trade-and-connectivity/cooperative-and-unified-smart-traffic-system.pdf

[10] Daegu Metropolitan City Transportation Bureau. (2025, January 9). Daegu Metropolitan City protects pedestrian safety with artificial intelligence technology. Smart City Portal, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Retrieved July 10, 2025, from https://smartcity.go.kr/en/2025/01/09/%EB%8C%80%EA%B5%AC%EA%B4%91%EC%97%AD%EC%8B%9C-%EC%9D%B8%EA%B3%B5%EC%A7%80%EB%8A%A5-%EA%B8%B0%EC%88%A0%EB%A1%9C-%EB%B3%B4%ED%96%89%EC%9E%90-%EC%95%88%EC%A0%84-%EC%A7%80%ED%82%A8%EB%8B%A4/

[11] MTR LAB(民 113 年 4 月 9 日)。智能虛擬服務大使：應用 AI 技術提升顧客體驗。取自 https://www.mtrlab.com.hk/zh/news/663b3e072c4c8b31c11dd474/

[12] Seoul Metropolitan Government, “Seoul Metro Expands AI Translation Services Available in 13 Languages to 11 Stations” MAR. 18, 2024. Available at: https://english.seoul.go.kr/seoul-metro-expands-ai-translation-services-available-in-13-languages-to-11-stations/

[13] 張博閎(民 113 年 8 月 22 日)。AI 站務員「小捷」即日起至 9 月底在「台北捷運中山站」為大家服務！日享傳媒。取自 https://sunrisesharing.tw/life/article/444

[14] 臺北大眾捷運股份有限公司(民 112 年 2 月 22 日)。智能客服、立即克服！11/1 起臺北捷運文字智能客服上線試營運。取自 https://www.metro.taipei/News_Content.aspx?n=30CCEFD2A45592BF&sms=72544237BBE4C5F6&s=B52AE1EF2E754CB7

[15] Allganize, “Tokyo Metro has adopted Allganize's generative AI and LLM solutions for customer-facing AI-equipped chatbots and customer service center operations!” APR. 16, 2025. Available at https://www.allganize.ai/en/blog/tokyo-metro-has-adopted-allganizes-generative-ai-and-llm-solutions-for-customer-facing-ai-equipped-chatbots-and-customer-service-center-operations

[16] Travel And Tour World (民 114 年 3 月 16 日)。 新加坡航空整合 Agentforce 和 Einstein AI ，提供更聰明的乘客協助。取自 https://www.travclandtourworld.tw/ncws/articlc/singaporc-airlincs-intcgratcs-agentforce-and-einstein-ai-for-smarter-passenger-assistance/

[17] 中時新聞網(民 114 年 1 月 12 日)。高雄智慧交通再升級 交通旅運更便利。取自 https://www.chinatimes.com/realtimenews/20250122000027-260421?chdtv

[18] 吉雄世(民 113 年 11 月 20 日)。高雄智慧城市再創高峰，勇奪四項國際大獎！視傳媒新聞。取自 https://www.nvns.net/news_view.php?new_sn=68747&new_csn=1467

[19] 臺北大眾捷運股份有限公司(民 112 年 12 月 1 日)。再傳捷報！北捷自主研發「Metro TIMES 捷運人流資訊管理系統」 繼北市市長盃黑客松競賽奪冠 再獲「傑出交通運輸計畫獎」。取自 https://www.metro.taipei/News_Content.aspx?n=30CCEFD2A45592BF&sms=72544237BBE4C5F6&s=3C06D5F73D9377D0#:~:text=%E3%80%8CMetro%20TIMES%E3%80%8D%E6%98%AF%E5%8C%97%E6%8D%B7,%E8%BD%89%E6%8F%9B%E7%82%BA%E8%BB%8A%E5%BB%82%E6%93%81%E6%93%A0%E5%BA%A6%E3%80%82

[20] Transport for London, "New generation of iBus set to enhance bus travel in London" MAR. 04, 2024. Available at: https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2024/march/new-generation-of-ibus-set-to-enhance-bus-travel-in-london

[21] Cambridge Systematics, "A Pilot to Enhance Real-time Bus Predictions for Metro Transit"

SEP. 19, 2019. Available at: https://camsys.com/blog/a-pilot-to-enhance-real-time-bus-predictions-for-metro-transit

[22] Kok Yufeng, "Downtown Line to trial AI that can adjust train timings based on demand" NOV. 02, 2022. Available at: https://www.straitstimes.com/singapore/transport/downtown-line-to-trial-ai-that-can-adjust-train-timings-based-on-demand

[23] 深圳市交通運輸局(民 113 年 1 月 4 日)。深圳公交智能調度系統地方標準發布實施。取自 https://jtys.sz.gov.cn/ydmh/jtzx/tpxw_2061/content/post_11085871.html

[24] 黃婉婷(民 110 年 12 月 9 日)。北捷安全升級 導入 7 大系統偵測。中國時報。取自 https://www.chinatimes.com/newspapers/20211209000597-260107?chdtv

[25] 臺北市公共運輸處(民 114 年 3 月 28 日)。臺北市公車安全再提升 全數設置 ADAS 先進駕駛輔助系統 主動式車門安全系統於 115 年安裝完成 114 年至少達 80%。取自 https://pto.gov.taipei/News_Content.aspx?n=D065CCB1467288C8&sms=72544237BBE4C5F6&s=AF22CCE4A9079BB9

[26] 臺北市政府秘書處媒體事務組(民 114 年 3 月 28 日)。「人本交通」結合 AI 技術改善交通 蔣萬安：鼓勵同仁與各縣市經驗交流。取自 https://www.gov.taipei/News_Content.aspx?n=2044902FC839D045&sms=72544237BBE4C5F6&s=54945E51035F003A

[27] 台灣大哥大(民 113 年 6 月 12 日)。台灣大哥大打造全台第一個 5G 智慧軌道應用整合平台 5G 專網導入高雄輕軌 提升 50%工作效率 AI 偵測軌道異物精準度達 90%。取自 https://corp.taiwanmobile.com/press-release/news/press_20240612_185248.html

[28] Inspenet, “They present a robot with artificial intelligence for railway inspections” DEC. 12, 2023. Available at https://inspenet.com/en/noticias/robot-with-ai-for-railway-inspections/

[29] Lee Nian Tjoe, "SBS Transit taps AI to boost bus maintenance and road safety" NOV. 07, 2024. Available at: https://www.straitstimes.com/singapore/transport/sbs-transit-taps-ai-to-boost-bus-maintenance-and-road-safety

[30] 臺北大眾捷運股份有限公司(民 114 年 3 月 7 日)。捷運軌道檢測邁向智慧新時代！營運列車同步檢視軌道 預防性檢修營運安全有保障。取自 https://www.metro.taipei/News_Content.aspx?n=30CCEFD2A45592BF&sms=72544237BBE4C5F6&s=75B12D12B604CF3C

[31] Smart Columbus, "Putting Safety Management Plan into Practice: Smart Columbus’Response to Linden LEAP Self-driving Shuttle Incident" JUN. 21, 2025. Available at: https://smartcolumbus.com/playbook-asset/connected-electric-autonomous-self-driving-shuttle-incidentvehicles/smart-columbus-response-to-linden-leap-

[32] 韓星網(民 112 年 12 月 10 日)。世界首例！韓國首爾「無人駕駛巴士」深夜上路，

2024 年上半年開始收費運行。yahoo 新聞。取自 https://hk.news.yahoo.com/%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%A6%96%E4%BE%8B-%E9%9F%93%E5%9C%8B%E9%A6%96%E7%88%BE-%E7%84%A1%E4%BA%BA%E9%A7%95%E9%A7%9B%E5%B7%B4%E5%A3%AB-%E6%B7%B1%E5%A4%9C%E4%B8%8A%E8%B7%AF-2024%E5%B9%B4%E4%B8%8A%E5%8D%8A%E5%B9%B4%E9%96%8B%E5%A7%8B%E6%94%B6%E8%B2%BB%E9%81%8B%E8%A1%8C-112300476.html

[33] 經濟部產業技術司 A+企業創新專案辦公室(民 114 年 2 月 13 日)。無人載具科技實證運行補助計畫。取自 https://service.moea.gov.tw/EE514/tw/aiip/378.html

[34] 尹雲芳(民 111 年 12 月 20 日)。SMRT 所有地下地鐵站明年底采用智能冷氣系統。聯合早報。取自 https://www.zaobao.com.sg/realtime/singapore/story20221220-1345318

[35] HK SMART CITY, "SMART MOBILITY". Available at: https://www.smartcity.gov.hk/mobility.html#10

[36] Agency for Science, Technology and Research (A*STAR), "Cooperative and Unified Smart Traffic System (CRUISE)". Available at: https://www.a-star.edu.sg/enterprise/our-stories/connectivity-trade-logistics/cooperative-and-unified-smart-traffic-system-(cruise)

[37] Smart City Korea, "Daegu Metropolitan City Protects Pedestrian Safety with Artificial Intelligence Technology" JAN. 1, 2025. Available at: https://smartcity.go.kr/en/2025/01/09/%EB%8C%80%EA%B5%AC%EA%B4%91%EC%97%AD%EC%8B%9C-%EC%9D%B8%EA%B3%B5%EC%A7%80%EB%8A%A5-%EA%B8%B0%EC%88%A0%EB%A1%9C-%EB%B3%B4%ED%96%89%EC%9E%90-%EC%95%88%EC%A0%84-%EC%A7%80%ED%82%A8%EB%8B%A4/

[38] Smart Columbus, "Connected Vehicle Environment". Available at: https://smartcolumbus.com/projects/connected-vehicle-environment

[39] 江蘇省公安廳(民 114 年 1 月 16 日)。蘇州公安加快人工智能在交管領域的探索應用。取自 https://gat.jiangsu.gov.cn/art/2025/1/16/art_6372_11472359.html

[40] 臺北市政府交通局(民 113 年 12 月 20 日)。北市智慧交通成果獲交通部及中華智慧運輸協會肯定。取自 https://www.dot.gov.taipei/News_Content.aspx?n=D739A9F6B5C0AB95&s=555C127071B696EB#:~:text=%E6%AD%A4%E6%AC%A1%E7%8D%B2%E7%89%B9%E5%84%AA,%E5%BB%BA%E5%9C%8B%E9%AB%98%E6%9E%B6%E5%AE%8C%E6%88%90%E5%BB%BA%E7%BD%AE%E3%80%82

[41] 交通部運輸研究所(民 114 年 3 月 14 日)。無人機結合 AI 影像分析，診斷道路交通衝突。取自 https://www.iot.gov.tw/zh_tw/proclamation/news/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%B5%90%E5%90%88AI%E5%BD%B1%E5%83%8F%E5%88%86%E6%9E%90-

%E8%A8%BA%E6%96%B7%E9%81%93%E8%B7%AF%E4%BA%A4%E9%80%9A%E8%A1%9D%E7%AA%81-74890213

[42] Mobility Innovators, "LTA Singapore installed AI-powered Transit Bus Surveillance Solution" MAR. 20, 2021. Available at: https://mobility-innovators.com/lta-singapore-installed-ai-powered-transit-bus-surveillance-solution/

[43] Seoul Transport Operation & Information Service, "Introduction of TOPIS". Available at: https://topis.seoul.go.kr/openEngIntro.do

[44] 臺北智慧城市專案辦公室(民 112 年 8 月 11 日)。交工處 AI 都市即時交通車流及速率預測計畫。取自 https://smartcity.taipei/News_Content.aspx?n=6986545C4A2C217F&sms=A5A97EC540EAA0BA&s=2123A0FC261FDCA9

[45] Korea Herald, " Startup develops food delivery robot" MAR. 15, 2018. Available at: https://en.topdaily.kr/articles/2164

[46] Park Jae-hyuk, "Delivery robots set to become ubiquitous in Korea" MAY. 20, 2024. Available at: https://www.koreatimes.co.kr/business/tech-science/20240520/delivery-robots-set-to-become-ubiquitous-in-korea

[47] 日經中文網(民 107 年 12 月 19 日)。京東打造「無人配送大軍」。取自 https://zh.cn.nikkei.com/china/ccompany/33483-2018-12-19-10-24-29.html

[48] 富途牛牛(民 110 年 5 月 25 日)。京東物流：獲國內首批無人配送車上路資質。取自 https://news.futunn.com/hk/post/9510193/jd-logistics-acquired-the-first-batch-of-domestic-unmanned-delivery?level=2&data_ticket=1752199706569247

[49] WeRide Inc., "WeRide Robosweepers Enter Marina Bay, Marking Singapore's First Commercial Autonomous Sanitation Project" NOV. 20, 2024. Available at: https://ir.weride.ai/news-releases/news-release-details/weride-robosweepers-enter-marina-bay-marking-singapores-first

[50] 臺北市交通管制工程處(民 112 年 10 月 23 日)。臺北市建置優先號誌助緊急車輛安全快速到達。取自 https://www.dot.gov.taipei/News_Content.aspx?n=D739A9F6B5C0AB95&sms=72544237BBE4C5F6&s=FDF918FEFC89E74F

[51] Health Tech Digital, "NTT DATA develops new AI solutions to detect and combat dementia and cognitive decline" APR. 12, 2024. Available at: https://www.healthtechdigital.com/ntt-data-develops-new-ai-solutions-to-detect-and-combat-dementia-and-cognitive-decline/

[52] Samuel Devaraj, "ComfortDelGro Driving Centre taps AI to help learner motorcyclists ride better" APR. 12, 2023. Available at: https://www.straitstimes.com/singapore/comfortdelgro-driving-centre-taps-ai-to-teach-learners-how-to-ride-motorbikes

[53] BBC News 中文(民 112 年 10 月 23 日)。英國倫敦機場計劃推出「機器人代客泊車」測試項目。取自 https://www.bbc.com/zhongwen/trad/47044131

[54] 臺灣首款 AI 智駕視界座艙系統 加強行車防護 2026 商用導入創造上億產值。取自 https://www.iii.org.tw/zh-TW/news/newsroom/iii-news/e983ed92-7981-4b2e-ba0f-39f9318dad2a

[55] 智慧停車無紙化(AVI)專區。取自 https://tcparking.taichung.gov.tw/ParkWeb/Pages/PublicService/AviTicketQA

[56] 2018 智慧城市展開幕，探索未來城市新風貌(上)。取自 https://www.ithome.com.tw/news/122096

[57] [U-EV] 2022 智慧城市展：臺南市攜手宏碁智通 Acer ITS，導入路邊停車充電樁。取自 https://news.u-car.com.tw/news/article/69791

[58] 高市持續擴建智慧停車格 7 月 1 日起正式上線。取自 https://www.ntdtv.com.tw/b5/20240624/video/393018.html?%E9%AB%98%E5%B8%82%E6%8C%81%E7%BA%8C%E6%93%B4%E5%BB%BA%E6%99%BA%E6%85%A7%E5%81%9C%E8%BB%8A%E6%A0%BC%207%E6%9C%881%E6%97%A5%E8%B5%B7%E6%AD%A3%E5%BC%8F%E4%B8%8A%E7%B7%9A%20%20%20

[59] Smart City Korea, "[Best Solution] Autonomous Mobile Parking Robot" DEC. 13, 2024. Available at: https://smartcity.go.kr/en/2024/12/13/%ec%9e%90%ec%9c%a8%ec%a3%bc%ed%96%89%ec%a3%bc%ec%b0%a8%eb%a1%9c%eb%b4%87/

[60] 比爾・蓋茲（1999）。《數位神經系統：與思想等速的企業》(樂為良，譯)。商周出版。

[61] Lewis, C. D.,.“Industrial and Business Forecasting Method” , London, Butterworth Scientific Publishers, 1982.

[62] Grieves, Michael. (2015). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication.

[63] Batty, M. (2018). Digital twins. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 45(5), 817-820.

[64] Nag, D., Brandel-Tanis, F., Pramestri, Z. A., Pitera, K., & Frøyen, Y. K. (2025). Exploring digital twins for transport planning: a review. European Transport Research Review, 17(1), 15.

[65] Abouelrous, A., Bliek, L., & Zhang, Y. (2023). Digital twin applications in urban logistics: an overview. Urban, Planning and Transport Research, 11(1), 2216768.

[66] Belfadel, A., IIörl, S., Tapia, R. J., Politaki, D., Kureshi, I., Tavasszy, L., & Puchinger, J. (2023). A conceptual digital twin framework for city logistics. Computers, Environment and Urban Systems, 103, 101989.

[67] Gutierrez-Franco, E., Mejia-Argueta, C., & Rabelo, L. (2021). Data-driven methodology to support long-lasting logistics and decision making for urban last-mile operations. Sustainability, 13(11), 6230.

[68] Amrani, A., Arezki, H., Lellouche, D., Gazeau, V., Fillol, C., Allali, O., & Lacroix, T. (2020, August). Architecture of a public transport supervision system using hybridization models based on real and predictive data. In 2020 23rd Euromicro Conference on Digital System Design (DSD) (pp. 440-446). IEEE.

[69] Deng, S., Zhong, J., Chen, S., & He, Z. (2021, July). Digital twin modeling for demand responsive transit. In 2021 IEEE 1st international conference on digital twins and parallel intelligence (DTPI) (pp. 410-413). IEEE.

[70] Campolo, C., Genovese, G., Molinaro, A., & Pizzimenti, B. (2020, September). Digital twins at the edge to track mobility for MaaS applications. In 2020 IEEE/ACM 24th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT) (pp. 1-6). IEEE.

[71] Bellini, P., Bilotta, S., Collini, E., Fanfani, M., & Nesi, P. (2023, September). Mobility and transport data for city digital twin modeling and exploitation. In 2023 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) (pp. 1-7). IEEE.

[72] Anda, C., Medina, S. A. O., & Axhausen, K. W. (2021). Synthesising digital twin travellers: Individual travel demand from aggregated mobile phone data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 128, 103118.

[73] Dirnfeld, R., De Donato, L., Flammini, F., Azari, M. S., & Vittorini, V. (2022, September). Railway digital twins and artificial intelligence: Challenges and design guidelines. In European Dependable Computing Conference (pp. 102-113). Cham: Springer International Publishing.

[74] Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Pellicer, E., & Porras, H. (2021). BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design. Automation in Construction, 131, 103911.

[75] Gao, Y., Qian, S., Li, Z., Wang, P., Wang, F., & He, Q. (2021, July). Digital twin and its application in transportation infrastructure. In 2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI) (pp. 298-301). IEEE.

[76] Feng, H., Lv, H., & Lv, Z. (2023). Resilience towarded digital twins to improve the adaptability of transportation systems. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 173, 103686.

[77] Hu, C., Fan, W., Zeng, E., Hang, Z., Wang, F., Qi, L., & Bhuiyan, M. Z. A. (2021). Digital twin-assisted real-time traffic data prediction method for 5G-enabled internet of vehicles. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18(4), 2811-2819.

[78] Chen, X., Hou, M., Tang, T., Kaur, A., & Xia, F. (2021, December). Digital twin mobility

profiling: A spatio-temporal graph learning approach. In 2021 IEEE 23rd Int Conf on High Performance Computing & Communications; 7th Int Conf on Data Science & Systems; 19th Int Conf on Smart City; 7th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys) (pp. 1178-1187). IEEE.

[79] Du, H., Leng, S., He, J., & Zhou, L. (2021, November). Digital twin based trajectory prediction for platoons of connected intelligent vehicles. In 2021 IEEE 29th International Conference on Network Protocols (ICNP) (pp. 1-6). IEEE.

[80] Chen, X., Kang, E., Shiraishi, S., Preciado, V. M., & Jiang, Z. (2018, October). Digital behavioral twins for safe connected cars. In Proceedings of the 21th ACM/IEEE international conference on model driven engineering languages and systems (pp. 144-153).

[81] Fu, H., Zhao, T., Chen, Y., Yao, Y., & Leng, J. (2023). Framework and operation of digital twin smart freeway. IET Intelligent Transport Systems, 17(3), 620-633.

[82] Chen, X., Min, X., Li, N., Cao, W., Xiao, S., Du, G., & Zhang, P. (2021). Dynamic safety measurement-control technology for intelligent connected vehicles based on digital twin system. Vibroengineering Procedia, 37, 78-85.

[83] Ahn, C., Ham, Y., Kim, J., & Kim, J. (2020). A digital twin city model for age-friendly communities: Capturing environmental distress from multimodal sensory data.

[84] Aschwanden, G. D., Wullschleger, T., Müller, H., & Schmitt, G. (2012). Agent based evaluation of dynamic city models: A combination of human decision processes and an emission model for transportation based on acceleration and instantaneous speed. Automation in Construction, 22, 81-89.

[85] Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: enabling technologies, challenges and open research. IEEE access, 8, 108952-108971.

[86] 「中臺區域整體運輸規劃系列研究」,交通部運輸研究所出版品,民國 111 年 12 月。

[87] 交通部統計處,「111 年民眾日常使用運具狀況調查摘要分析」,民國 112 年 4 月。

[88] 交通部統計處,「111 年自用小客車使用狀況調查報告」,民國 112 年 10 月。

[89] 交通部統計處,「111 年機車使用狀況調查報告」,民國 112 年 10 月。

[90] Yen, J.Y. (1970). An algorithm for finding shortest routes from all source nodes to a given destination in general networks. Quarterly of Applied Mathematics, 27, 526-530.

附件、交通部運輸研究所合作研究計畫
期末審查意見處理情形表

計畫名稱：構建 5G 智慧交通數位神經中樞-全系統整合實作與推廣應用

執行廠商：逢甲大學

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
一、淡江大學 陶治中教授		
1.「數位神經中樞」與既有TMC/ATC、eTraM等系統的邊界與關係是什麼？未來營運時，誰是主系統、誰是輔助決策模組？請補充說明。	既有系統(如 TMC/ATC、eTraM)定位為「執行與控制層」，負責路側設備管理與基礎設施之指令下達；「數位神經中樞」則定位為「智慧與決策層」，利用數位雙生技術融合跨域資料(如GVP/CVP/CCTV)與 AI 預測分析，兩者為「數據回饋」與「決策輸出」的關係。既有系統提供基礎交通數據給神經中樞進行模擬預測，而神經中樞產出的優化策略(如號誌優化建議、應變預案)則回傳給既有系統執行。 未來營運時，既有系統(TMC/eTraM)為「主系統(執行端)」，負責實質的交通控管與法律責任主體；「數位神經中樞」則定位為「輔助決策模組(智庫端)」，提供科學化的量測指標(如GLUR)與預測數據，協助管理人員進行精準決策。 相關說明文字補充於第三章第 3.1 節以及第五章第 5.1 節。	同意
2. AI 模型(尤其是 Q-leaning 號誌控制、Stacking 多輸出預測)若遇到模型飄移(Model Drift)或資料品質劣化時，貴團隊的降級機制與風險控管流程具體為何？誰可以下「停止使用 AI 建議」的決策？請補充說明。	感謝委員寶貴建議。系統建議需具備自動化資料品質監測，每日掃描原始資料完整率。針對 Stacking 預測模式，系統設有效能回饋迴圈，自動比對預測值與實測值之 MAE、R^2 等指標。若誤差偏離達門檻值(如> 20%)，系統將自動觸發告警並通知維運人員執行模型再訓練。Q-learning 號誌控制則建議設有「安全邊界層」確保 AI 決策不違反最小綠燈等限制。若發生	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	通訊中斷或系統異常，路側控制器之「看門狗(Watchdog)」功能將自動接管，使號誌強制回歸傳統之 TOD(定時控制)模式，以確保交通安全。	
3.報告中使用相當多種 AI 模型與資料庫，未來在實務導入時，對於地方政府技術團隊而言是否過於複雜？有沒有做過「模處化精簡」或「最小可行模組(MVP)」的規劃？	本計畫考量地方政府維運負擔，核心 AI 模型採 API 服務化設計。管理者可透過「購買服務 API」之方式取得預測資訊與決策建議。	同意
4.3D 可視化平台(Cesium+Vue3)的必要性與價值是什麼？若地方只想要 dashboard+API，而不建 3D，是否仍能完整使用決策功能？	3D 可視化（Cesium）的核心價值在於「空間語境之整合」。在處理大型活動或複雜路網時，3D 平台能將 GVP(速率)、CVP(人流)與路口靜態幾何結構(坡度、建物遮蔽)整合於單一坐標系，提供管理人員直觀的空間感知能力，協助判斷壅塞對周邊環境的影響。 本計畫採「架構分層」設計，核心決策邏輯(如速率預測、GLUR 分析、應變策略建議)皆運行於後端 API 與 AI 模型層，3D 介面僅為其中一種「展示形式」，若地方政府僅導入 Dashboard 與 API，決策功能依然完整。	同意
5.系統在高附載情境(多路口、多場域、頻繁 API 呼叫)下的效能測試結果與瓶頸為何？目前建議的硬體規模與雲端資源配置是如何估算出來的？請補充說明。	本計畫已針對大規模路網進行壓力測試。以交通速率預測模式為例，在同時處理 1,500 多個路段(RoadID)的情境下，系統可於 3 分鐘內完成全數路段之未來 30 分鐘速率預測。硬體規模係採「單位算力耗用」進行推估，依據上述實測數據(1500 路段/3 分鐘)，換算出單一路段所需之平均 CPU 時間與記憶體空間，以計畫預計涵蓋之路網規模，另額外預留 20% 安全邊界，作為雲端主機規格配置之參採依據。	同意
6.Before/After Study 所使用的比較期間與控制變數(季節、事件、疫情等)如何處理？貴團隊如何避免「偶發事件」或「交通需求本身變	本計畫之 AI 模型與系統在實作階段已納入多種高度變動之情境，系統在運作時即已動態面對並處理「交通需求劇增」與「偶發性壅塞」之真實挑	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
化」造成的假象改善？請補充說明。	戰，並非僅在理想環境下運行。對於偶發事故，系統則透過監控紀錄自動進行數據標註與過濾，確保評估樣本之純淨。	
7. 目前示範城市實際採納的 AI 建議比例大概是多少？有沒有紀錄「AI 建議但人工駁回」的案例與原因，並據此調查模型或規則？請補充說明。	本系統之定位為「決策支援監測系統」，系統輸出之「建議」係基於客觀實測數據之指標告警(如綠燈使用率不足、路段平均速率低下)，提供交管人員執行決策參採，於計畫執行期間並未產生實際採納之作為。	敬悉
8. 在實務端，交管單位是否已經把這套系統納入日常運作 SOP？例如班表、輪值、事件通報與回報流程，有沒有相對應的變更與教育訓練紀錄？	本計畫所建置之數位雙生平台主要係進行技術實證示範(Proof of Concept, POC)，旨在展示 5G 智慧交通技術與 AI 預測模型在大型活動情境下的整合應用能力，現階段尚未移交予特定交管單位進行日常維運。	敬悉
9. 對於號誌策略(TOD vs AI/Q-learning)，地方單位是否有長期維運能力？當交通結構或土地使用改變時，誰來負責重新訓練與調校？請補充說明。	本計畫採用 API 服務化架構，地方單位定位為「使用者」與「決策者」，僅需透過圖形化介面操作及判讀告警，不需具備後端 AI 模型開發或程式維護能力，因此具備高度長期維運可行性。當交通結構(如新路開通)或土地使用(如大型商場進駐)發生重大改變時，模型之重新訓練與參數調校建議應由「技術服務廠商」處理。	同意
10. 若其他縣市要導入，貴團隊能否提供一份清楚的「導入路線圖」；從 PoC、示範、擴大場域到日常營運，每一階段需要多久、多少預算、人力、與本所及研發單位互動方式？	依據本計畫產生之數位雙生建置指引手冊，技術門檻區分為「自行建置開發」與「服務介接整合」兩種模式，供地方政府依資源狀況選擇，數位雙生系統導入各階段之互動窗口以研發單位提供技術 API、運研所提供政策指導為核心。	同意
11. 對於 AI 模型、軟體平台、資料庫 schema 等智慧財產權，未來「擴散到其他縣市」時的授權模式是什	本計畫研究成果之智慧財產權屬運研所所有，其成果多採「政府擁有」或「授權政府無償使用」模式，以利推廣。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
麼？是開源、政府持有、還是研發機構保有？請補充說明。		
12.在資安與個資方面，系統已經做了哪些設計？若要擴散到更多縣市，是否需要通過特定的資料檢測或符合某些政府資安框架？請補充說明。	本計畫於數位雙生系統建立標準化資料傳輸安全規範。在跨單位資料交換過程中，全程採用 TLS 加密傳輸，並實施嚴格的存取控制機制（如 API Key 驗證與 IP 白名單），確保資料免於未經授權的存取，並定期進行安全性檢測。若擴散應用涉及個人資料，建議應依循《個人資料保護法》與行政院規範，與介接單位額外簽訂「資料處理或委外協議」。此協議將明確界定資料使用範圍、保存期限及法律責任，確保合規性。	同意
13.地方政府若沒有足夠 IT 團隊，是否有建議的「營運模式」？例如由中央統一雲端平台提供服務、或由專業廠商代管？該如何避免各縣市自行重複建置？	針對 IT 資源較少之縣市，建議可採「中央/區域雲端平台服務(SaaS)」模式；此外，本計畫相關模式所產生之結果係透過「標準化數據 Schema」與「統一 API 介面規範」建立共通標準。透過「一次研發、多元應用」之公版架構，可確保跨縣市資料之互通性，避免各地方政府從零開始開發所造成之資源浪費。	同意
14.公告要求「導入生成式 AI 製作海報及影片」，貴團隊實際使用了哪些工具？產出的成果目前如何使用(網站、活動、社群)？能否展示範例並說明 AI 的貢獻差異？請補充說明。	本計畫於成果影像生成採用 Midjourney 與 DALL-E 3 產出高品質交通情境示意圖；影片製作利用 Runway 與 Pika 進行動態場景輔助建模；語音配音則使用 ElevenLabs 產出自然專業的 AI 旁白。	同意
15.貴團隊投出去的國際研討會論文，在審查意見或國際社群交流過程中，有收到什麼關鍵建議，未來會如何回饋到系統優化與政策建議？請補充說明。	本計畫目前已撰寫多篇學術論文並投稿，目前各篇論文均處於評審階段。若審查通過後，即可於國際研討會場合與其他國專家進交流，交流經驗能夠納入未來新計畫中做為執行參考。	敬悉
16.就 GRB 指標來看，本計畫最具代表性的 3~5 項實際績效是什麼？	本計畫之實際績效包含：1.學術與技術擴散(完成並投稿 4 篇論文)、2.示範	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(例如：幾篇 SCI/國際會議、幾場大型研討會、幾個落地應用場域、幾個具體改善的 KPI)。	場域整合實作(建置「水湳經貿園區 5G 數位雙生示範場域」，整合 5G 傳輸、CCTV、GVP 及 3D 視覺化平台，作為國內智慧交通數位轉型之標竿案例)、3.完成知識資產與導引手冊(產出「系統建置指引手冊」可提供各縣市推動參考)。	
17.若以「智慧交通數位神經中樞」作為長期中程計畫的核心，貴團隊認為接下來 3~5 年最重要的延伸研究或實作方向是什麼？(例如：全國級平台、更多模式庫、標準化 API 與資料模型等)。	本計畫建議未來國內發展應聚焦於「標準化」、「跨域化」與「預測化」三大維度，以本計畫產出之建置指引為核心，推動跨縣市之共通資料模型，應可減低地方政府投入所需資源。	敬悉
二、國立陽明交通大學 邱裕鈞教授		
1. 建議在回顧國內、國際 AI 應用案例時，不應僅止於介紹，應進一步針對其功能、應用對象(如針對人、車或安全的管理）及所使用的 AI 工具進行細部比較。藉此對照本計畫之研發成果，確認目前在國際上是處於領先前沿或是追趕地位。	本計畫已進一步針對其功能、應用對象(如針對人、車或安全的管理)及所使用的 AI 工具進行細部比較，修改如表 2.4-1 各國智慧交通應用案例彙整所示。	同意
2. 本期計畫使用資策會的 GVP 資料為基礎做相關應用，但 GVP 核心為速率資料而非交通量，此特性是否會成為未來號控模式發展的限制或界定條件，建議予以說明。此外，建議於報告中補充資策會 GVP 資料之準確度。	本計畫之 GVP 資料僅係用於「交通速率預測模式」，旨在預估未來路段之行車速率。至於涉及號誌時制優化參考之「路口綠燈使用率分析模式」，其所需交通量資料係透過 CCTV 影像辨識即時取得，非使用 GVP 資料。 本計畫所建立之交通速率預測模式具備資料來源中立性，相關說明已補充於報告書 4.1.3 節。	同意
3. 報告書第 4 章圖 4.1.2 建議提高圖片解析度以利閱讀細節。另建議說明圖中「交通即時資料」係指為何？例如 VD、EVP、GVP 或其他？	已更新圖片解析度。另圖中之「交通即時資料」係指本計畫發展之交通速率預測模式所需之輸入數據源，本計畫主要係使用 GVP 資料，然其運作並不侷限於單一來源。	同意
4. 在速率預測模式中，時間維度已明確定義為預測未來 30 分鐘(六個時	本計畫速率預測模式之基本空間單位為「路段(Road Segment)」，於系統中	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
階)，但「空間維度」的長度單位建議於報告中補充說明。	以唯一之 RoadID 作為識別與預測對象。本期計畫之預測範例係採用 OpenStreetMap(OSM)之路網拓樸進行路段切割，作為模型訓練與成果展現之基礎。本計畫之預測模式不侷限於特定之路網切割方式，未來若導入不同之道路空間圖資(如高精地圖或其他圖資系統)，只要維持「一組 ID 對應一特定路段」之原則，皆可納入本模式之預測範疇。	
5. 目前計畫是否僅針對速率進行預測？是否有針對流量進行預測？請補充說明。	本計畫所發展之預測模式本質為「時間序列預測模式」，其核心演算法具備處理異質交通參數之泛用性。於前期計畫中，本模式已針對多種時間序列資料進行實證，驗證其預測能力不僅限於速率，亦包含高速公路車流量、高速公路速率，以及公共運輸站點之客流量等應用場景。	敬悉
6. 最佳化指標採用「綠燈使用率」，建議說明該指標之具體量測與計算方式(例如是否將預測變數丟入車流模擬軟體計算得出)。	綠燈使用率(GLUR)係用以量化號誌資源供需平衡之指標，定義為「實際通行需求」與「理論供給容量」之比值。利用路側 AI CCTV 即時影像，透過 YOLOX 物件偵測與 ByteTrack 軌跡追蹤技術，於路口停止線劃設虛擬偵測區(ROI)，自動統計各行進方向在綠燈期間實際跨越停止線之車輛數(PCU)。如 4.2.4 節以靜態時制計畫為基礎之綠燈使用率推估模式。	同意
7. 建議補充說明目前大型活動相關系統模式是偏向用於「事前管制規劃」或「實質即時監控」應用。	本計畫發展之「大型活動交通影響分析模式」主要針對「事前推估」，旨在活動舉辦前產出分時人流、接駁及停車需求，以供擬定交維計畫之參據。另於「數位雙生平台」則可發揮即時監控功能，於活動期間整合 GVP 速率與 CCTV 影像實況，將「實況」與「事前預估」進行比對，以協助管理人員	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	掌握執行落差並進行即時調整。	
8. 本計畫所使用的 CVP 資料是否已將運具進一步劃分(如步行、開車、機車、大眾運輸)？此 CVP 資料如何應用於推估大型活動的人、車流動需求？	本計畫所使用的 CVP 資料主要為反映「人旅次」的全域流動，原始資料本身並不具備直接辨識運具(如步行、開車等)的功能。相關說明文字補充於 4.3.1 節文字中。另為彌補信令資料缺乏運具資訊之侷限，本計畫採取「外部參數融合推估」方式，參考交通部及歷年大型活動(如臺灣燈會)之運具使用調查比率作為模型參數，將 CVP 總人旅次進行拆分。	同意
9. 建議補充本計畫的數位雙生是否有納入策略分析之功能。	本計畫之數位雙生平台已建構「監測－分析－策略」路徑，具備策略分析功能：例如系統透過「路口綠燈使用率(GLUR)」分析模組，自動偵測各路口資源不平衡狀態並產出告警清單。此外 4.4 節所建置之「大型活動交通疏導應變知識庫」亦包含接駁車班次調整建議、周邊道路實施管制策略、指揮人員調度等策略建議。	敬悉
三、國立臺北大學 莊東穎教授		
1. 報告中提到系統整合了 GVP、CVP、VD 及 AI 影像辨識等多源數據，在處理這類跨時空尺度的數據時系統如何克服不同資料源之間的更新頻率不一以及空間所以精度差異，確保在數位雙生平台上展現一致且無縫的交通流資訊？	本系統採功能模組獨立設計，不同指標對應特定資料源(如 GVP 供速率預測、CVP 供人流分析、AI 影像供 GLUR 分析等)。各模組依其特性獨立運行，未有產生異質資料源在同一指標計算時的衝突與精度差異。	敬悉
2. 在 AI 號誌控制部分，提及採用強化學習(Reinforcement Learning)自動調整時制，請問在實際道路場域中，如何避免模型在探索階段產生不合理的號誌組合。	針對 AI 模型可能產生之不合理號誌組合(如參數異常、運算超時或建議值超出安全門檻)，系統設有「看門狗(Watchdog)」監控。一旦偵測到不合理指令，系統將自動截斷 AI 介入並維持既有之 TOD(定時控制)計畫，確保交通運行不受影響。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
3. 在福康路-福順路口的實驗中，系統採用 Q-learning 強化學習演算法進行動態時制調整，當交通模式因長期土地使用變更或季節性因素發生「模型飄移」時，系統的自動化重訓機制如何設定觸發門檻？請補充說明。	系統設有動態模式比對機制，若當下監測之車流量分布無法與資料庫中既有之優化時制計畫配對(No Match)，為確保交通安全，系統將拒絕執行任何 AI 變動，強制維持既有之穩定 TOD 計畫。針對此類非預期流量情境，系統會自動將該時段之原始數據(流量、轉向、延滯)完整記錄，回傳至後端執行「學習」，經 AI 訓練產出之最適時制方案，在通過模擬驗證後會寫入資料庫以供系統自動檢索並觸發該對應時制。	敬悉
4. 緊急車輛優先通行可減少 30%旅行時間成效，在高車流量的路網情境下，系統如何精確計算紅燈截斷與綠燈延長策略。	本系統透過 GPS 即時追蹤緊急車輛(EV)之位置與預估到達時間(ETA)。當偵測到 EV 進入優先通訊範圍，系統會根據路口飽和度動態計算「最佳補償秒數」。在高流量情境下，計算邏輯優先遵循「行人清道安全第一」與「最短綠燈限制」，在此框架下最大化 EV 之通行權益。	同意
5. 考量 5G 網路不穩定或瞬間斷線風險，系統應具備完善容錯與降級(Fail-safe)機制，確保號誌運作不致發生混亂。	系統在啟動 AI 號誌控制前，會先執行「連線品質預檢」。若 5G 網路之延遲(Latency)或丟包率(Packet Loss)未達預設標準，系統將判定為「通訊疑慮」，直接拒絕啟動 AI 模式，維持既有之 TOD 計畫。若在 AI 控制過程中發生網路波動，系統之 Watchdog 將斷連並恢復 TOD 模式。	同意
6. 未來是否建立具彈性且可延展性的資料標準架構，明確界定核心必要欄位及時空索引方式以降低系統移植至其他場域時的整合負擔。	本計畫針於建置指引手冊中，已初步制定各類功能之「核心必要欄位」(如：路段 ID、時間戳記、車流速率等)，以確保不同場域之基礎資料皆能以統一格式匯入。	敬悉
7. 報告提到為期兩個月的成效評估，然而交通環境具有高度變動性，請問系統是否具備自動再訓練機制。	針對「主動式 AI 號誌」，系統導入採用 Q-learning 強化學習演算法。此類方法本身具備「獎勵機制」，會根據號誌調整後的效果(如排隊長度是否縮	敬悉

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	短或綠燈使用率情況)即時反饋並修正決策庫，實現系統自適應進化。	
四、國立中央大學 吳健生教授		
1. 計畫團隊具備豐富實作經驗與場域驗證成果，建議於文獻回顧總結部分，更積極展現團隊的具體成就，明確點出本案與國際發展趨勢的差異化與領先優勢。	本計畫已彙整相關具體成就並明確點出本案與國際發展趨勢的差異化與領先優勢，相關文字補充說明於報告書第二章。	同意
2. 各地大型活動情境各異，例如以桃園過去大型活動為例，較屬於分散式場域，而水滴跨年活動則屬於集中式場域，建議可於報告書具體定義本計畫開發之大型活動相關分析模式之適用情境。	本計畫係以水滴經貿園區為實證對象，其環境特性屬於「集中式場域」。本模式之預估邏輯(如停車需求、綠燈使用率)主要針對此類特性之「核心區壓力排解」進行優化，至於分散式場域仍可參採使用底層組件(如速率預測)進行實證。	同意
3. 關於報告書中福康-福順路口實作案例，提到傳統 TOD(定時控制)會造成綠燈浪費的寫法，用詞應修改得更為嚴謹。不能武斷地認為所有傳統 TOD 都會造成浪費，因為不見得每個路口使用傳統 TOD 都不適合，有些路口仍然是適用的。	感謝委員指正。本計畫亦認同 TOD 為目前交通控制主流且有效之手段，尤其在交通量穩定且具高度重複性之路口，TOD 具備極佳之穩定性與維運優勢。已將報告書 6.3.2 節相關用詞予以修正，以確保學術與實務描述之嚴謹性。	同意
4. 承上，建議清楚說明本計畫實作案例中，流率變動觸發 AI 介入及退場的門檻條件(例如流量變化超過多少才介入，恢復到何種程度才退場)，以避免流量不斷變化造成號誌週期頻繁切換，最終導致路網時制破碎化。	本計畫之系統採「動態偏差門檻法」。當 AI CCTV 偵測到之即時流量或綠燈使用率(GLUR)偏離歷史規律(歷史平均值之 1.5 倍標準差)，且該狀態持續達預設時間窗(如連續 2 個週期)，系統方認定為「非規律性波動」並啟動 AI 優化模式。當即時流量恢復至歷史基準線之 1.0 倍標準差範圍內，或 AI 模式運作效益與既有 TOD 差異極小時，系統將啟動退場程序，於次一完整時制時段切換點回復至穩定 TOD 模式。	同意
5. 縣市政府後續若要參考本計畫開發的模式成果進行建置，不能只考量該模式所帶來的交通績效，計畫	本計畫於建置指引手冊中分別以「自行建置」與「服務介接」兩種模式說明預算結構。針對外部數據亦詳列採購	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
也必須協助地方政府考量長期推動的維運成本。例如，基礎資料（如 CVP 資料）的來源、AI 算力、專業人力的培訓與維持等。這些長期維運的評估都應一併納入說明與考量，才能真正提升地方政府落實推動的可行性。	來源建議及預估經費級距；對於基礎設施則建議採既有設備數位化升級方式以節省成本。系統採模組化設計，可彈性部署於雲端平台(減少硬體購置成本)或本地伺服器，此外善用指引手冊亦可降低技術轉移門檻與人才維持成本。	
五、交通部交通科技及資訊司 李霞簡任技正		
1. 有關於緊急車輛優先通行案例，建議可補充臺南與高雄。	緊急車輛優先通行為本系列計畫前期之核心工項，並已於前期計畫中於臺中水湳完成實作與場域驗證，相關案例亦已彙整於前期計畫報告書。	敬悉
2. 報告書第二章 P.24，「高齡友善設計」的實際應用方式可進一步補充說明。	有關高齡者行為模擬與友善號誌設計之具體應用情境，已補充說明於第 2.3 節。	同意
3. 有關於 AI 客服的應用，國內已有許多導入應用，表 2.4.2 中數量統計僅列「1」是否為誤植。	表 2.4-2 之數值並非代表該國之應用「數量」，而是採二元分類呈現(已於該表下方補充註解說明)。其中「1」表示該國家或地區已經具備該項應用實績，「0」則表示本研究未蒐集到或目前尚無顯著案例。	同意
4. 報告書 P.65，報告書內文「…架構下，首度提出以 AI 影像辨識技術取代…」，應修正相關用詞。	已將「首度提出」修正為「規劃導入」，並將「取代傳統線圈」修正為「作為傳統路側感測設備之替代或優化方案」。	同意
5. 結論與建議的內容，建議可以本案的具體成果再進行深化，例如 P.222 的第五、六點。	已於第九章第 9.1 節內容加以深化，並強化關於系統性能指標與標準化文件之具體描述。	同意
6. 報告書建議的第一點是擴散重點，本案已有一定產出成果，可強化相關內容說明。	已於第九章第 9.2 節納入本計畫產出之標準化文件與技術規範作為實證基礎，強化擴散應用之具體作法。	同意
7. 有關指引手冊部分，建議內容可再優化，包括如： (1) 應明確定義各模組的「Input」與「Output」（例如應具體寫出 Input 需要「速率資料」），並明	(1) 本計畫已於各項建置指引手冊中，針對各核心模組之輸入(Input)與輸出(Output)資料項、欄位格式及時空顆粒度進行明確定義。例如：交通速率預測系統資料規格之輸	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
訂時空顆粒度與更新頻率的需求條件。 (2)相關模式有採用路段識別碼，其定義應補充說明。 (3)緊急車輛優先通行號誌控制的邏輯有多種方法，手冊的說明不應侷限於將資料回傳中心運算。 (4)考量本案大量使用 AI 技術，建議於權利義務與注意事項章節中，納入《AI 基本法》相關規範、風險評估管理措施及 AI 使用規範。	入為原始交通數據：路段識別碼(id)、日期時間(tdate)、平均速率(avgspeed)、方向(direction)；例如大型活動分析模式之輸入為起點/迄點網格、旅次發生時間、旅次量。 (2)本計畫所採用之「路段識別碼(RoadID)」，係指使用唯一識別道路物理區段或特定偵測器位置之字串編碼。其設計目的在於確保不同來源之交通數據(如 GVP 速率、VD 流量)能在統一的空間基礎上進行對齊與融合。在 API 介接規格中，RoadID 作為核心查詢參數(如 roadId)，確保外部應用程式能精確擷取特定空間單元之預測與分析結果。 (3)緊急車輛優先通行為本系列計畫前期之核心工項，並已於前期計畫於臺中水湳完成實作與場域驗證，爰本期主要係將水湳實證所採用之技術彙整成建置指引手冊。另針對其他施作位置所使用之不同號控邏輯作法，已彙整國內實作 EVP 技術於前期計畫報告。 (4)相關權利義務章節已進行細部修正，明確界定各階段之角色分工；另針對涉及 AI 之功能模組建置指引手冊，亦已補充相關注意事項。	
六、交通部高速公路局 彭煥儒副局長		
1. 肯定研究團隊的努力，研究團隊進行多年期研究，從規劃與技術探討，針對縣市政府交通痛點建立模式庫與知識庫供參考，並持續優化與落地驗證，應對縣市政府有一定的幫助。	感謝委員肯定。	敬悉

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2. 報告書 2.3 節，數位雙生要建置所需經費可能較高，尤其是將實體物件以數位形式複製，並且需要將相關資訊連結與視覺化呈現，複雜度及建置成本高。從表 2.4-2 來看所蒐集的國外案例亦僅有英國及荷蘭有導入應用。	針對數位雙生建置成本較高之疑慮，本計畫提出輕量化擴散方案，以供後續導入時參考。例如本計畫提供標準化 API，使各縣市不需自行開發 AI 模型或建構複雜後端，僅需透過網頁前端套件即可呈現預測結果，大幅降低初期投入成本與硬體門檻。	同意
3. 報告書第 5.5 節有探討數位雙生相關議題，最後第 9 章的建議中也提及提升數位雙生決策支援的實際效益，是否可說明或分析數位雙生的其他應用功能，有無數位雙生的差異，以利要決策時有足夠的資訊可以判斷。此外考量本案已歸類為 DS-B (Digital Shadow-B)，附錄三《數位雙生建置與擴散》指引結合 3D 圖台之必要性再請研議。	相較於傳統 2D 交控系統，數位雙生具備「時空連動」與「情境推演」能力。在有數位雙生之架構下，管理人員可直觀辨識立體空間中之視線死角、建築物遮蔽與車流交織之空間關係，對於事故預判與路口微觀設計具備更高決策精度。本計畫雖處於 DS-B 階段(資料由物理往數位端單向流動並呈現)，但 3D 圖台除可供視覺展示，更整合 AI CCTV、GVP、CVP 等異質空間數據之「統一空間座標索引」。若無 3D 圖台，異質資料將回歸點狀呈現，難以達成路網層級之協同決策。至於成本疑慮，本計畫係採用內政部或地方政府之「公版圖資」作為 3D 建模基礎，已節省高額建模費用，符合 DS-B 階段之成本效益。	同意
4. 報告書第 4.3.1 節以及第 4.3.2 節，將手機信令 (CVP-Cellular-Based Vehicle Probe) 人旅次分布轉換為以交通分區為單位的車旅次分布，在以 AI 辨動態交通指派模式，以推估路段交通量，並透過 BPR 轉換為分時段速率。 上述資料與 GVP(GPS-based Vehicle Probe) 資料進行比對，達 1.39%準確度；人流較難有實際數值可以確認正確性，但車速部分是否可以利用實際的 VD 進行比對以提升說服力；因為 GVP 的路段	敬悉。本計畫開發之所有功能模式(如速率預測、大型活動分析)皆採「標準化輸入介面」設計。系統可介接多種感測源，包括 VD (點偵測)、GVP (線偵測) 及 EVP(動態偵測)。本計畫以 GVP 作為實作範例，係考量該示範區缺乏 VD 資料，GVP 可提供較高之空間涵蓋率，然系統邏輯完全可支援將輸入源切換為 VD，對於具備完善 VD 佈署之縣市，即可使用 VD 產出之流量與速率資料進行運算。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
車速率也是利用推估所得，至少有一項數值利用較真正的設施偵測所得(實際 VD)比較似較為合理。		
5. 報告書第 7 章， (1) 同一個功能可能有許多橫向單位有此需求，例如緊急車輛優先通行號誌控制模式，當緊急事件發生時，即使是同一縣市都可能涉及警察單位、消防單位、醫療單位等，這些單位都會用到此功能。 (2) 附錄四、《緊急車輛優先通行號誌控制》建置與擴散指引手冊中，僅考量執行緊急任務的消防車與救護車，建議未來可納入警車、工程救險車以擴大成效。 (3) 報告書第 7 章，針對多單位共用同一個模組功能，是否有規劃整合應用方式。基本上前述多個單位可能無法由交通單位整合調度，甚至設施的建置與維護等，都可能要由不同單位進行建置與維護，此外在運作上是否有特殊設計與考量，使橫向單位在使用某一個功能模組時能更有效率。	同一縣市內警察、消防、醫療等單位皆可能有 EVP 之需求，因此本期產出之附錄四《指引手冊》係將前期實測成功之經驗制度化，以利全國推廣。未來縣市政府若需擴大適用對象（如警車、工程救險車），本系統架構實具延展性，可於資料輸入端增加車種類別定義，即可納入既有控制邏輯中。為避免多單位操作導致號誌衝突，系統採「中心端統一調處」機制，警察或消防單位僅需發送「優先請求」，由系統依據路網現況執行控制邏輯，不涉及多單位交叉控制。此架構確保號誌設施之建置與維護職責仍集中於交通單位，以降低橫向溝通成本並提升維運效率。	同意
6. 報告書附錄 1-1 手冊， (1) 附錄 1-5 說明高速公路：精準旅行時間預測、事故衝擊範圍與時間預測、連續假期交通疏導，但國道已有旅行時間預測，且經驗證 MAPE 效果不錯，本案是否有預估 MAPE 值。 (2) 高公局目前旅行時間預測包括未來日（100 日）/每週二更新上架、短時間（2 小時內）/每 5 分鐘更新 1 次；建議研究單位針對	(1) 本計畫針對速率預測採多指標驗證，包含 MAPE、MAE、R2 與 RMSE。有關委員提及之 MAPE 經本計畫實測結果已達優良等級。需說明的是，MAPE 在交通流極低或資料缺失(分母為 0)時具計算侷限性，故本計畫輔以 RMSE 與 MAE 以確保全時段之穩健性。 (2) 本計畫係採納 Lewis(1982)提出之 MAPE 評判標準，並將其納入「建	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
以上各評估指標，提供一個標準，作為日後各單位遵循依據。如：MAPE_ Lewis 於 71 年提出之平均絕對百分比誤差(MAPE)判斷預測績效，當 MAPE 小於 10 為高精準的預測、介於 10~20 為優良的預測、20~50 為合理的預測、大於 50 為不準確的預測。 (3) 新路段或道路開通，模型須配合重新訓練；定期(例如每月)進行績效評估，預測誤差大，進行模型改善或重新訓練模型；針對運作中的調校機制應有考量。	置指引手冊」中。另需補充說明，高公局之 100 日未來日預測屬「長期趨勢預測」，本計畫則聚焦「短時間(30 分鐘內)動態預測」，兩者本質不同，本模式更著重於突發事件或流量波動之即時反應。 (3) 本系統採「一路段一專屬模型」策略，針對新開路段，系統設有快速建模程序；針對運作中路段，目前規劃建議每季(3 個月)應定期重訓模型，並可依維運需求縮短至每月一次，以確保模型能捕捉最新之路網特性與用路行為變化。	
7. 報告書附錄之指引手冊，建議可以將前期的重要成果視需要納入；例如交通速率預測系統其所需的交通特性資料與取得方式有哪些，可以適度納入，以提供應用單位參考；並讓應用單位視需要建置所需的路側設施。	本計畫撰寫之指引手冊係採「資料中立(Data-Agnostic)」架構，核心設計在於：只要管理單位能提供符合標準格式之交通參數（流量、速率、佔有率），模型即可觸發運作。此舉係為確保系統能適配不同縣市之異質設備環境。	敬悉
七、臺中市政府交通局 黃莉雯科長		
1. 本報告內容完整且周延，涵蓋十二項核心技術，並於附錄提供六大類型之建置與擴散指引手冊，能清楚呈現交通主管機關、採購人員、系統開發者及研究單位等不同層面的需求，有助於各界深入理解核心運作原理與執行方式，並依需求等級編列硬體經費。但對地方政府未來在採購建置時，須同步編列系統軟體開發相關費用；目前手冊僅以開發期程（例如：6～12 個月）作為估算基準，建議手冊可進一步提供廠商投入開發的「人月」量化值，或是後續維運費用，這些為財主單位關切，納入後以利地方政府採購人員經費編列時更為精確與合理。	本計畫瑜報告內容中已將導入方式區分為「API 服務介接模式」與「系統自行建置模式」兩種不同經費結構： 1.API 服務模式：此模式下，地方政府不需支付龐大軟體開發費，經費編列重點在於「API 訂閱/維運年費」，已於手冊中補充相關預估基準。 2.自行建置模式：針對需高度在地化整合之數位雙生平台，本計畫建議可由單位自行開發，並已於附錄明確列出開發所需之專業人力組成分工與建議之「人月數」量化值。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
2. 在大型活動交通影響分析模式方面，本計畫操作採運輸規劃四階段流程(旅次發生、旅次分布、運具選擇、交通量指派)，並以過去兩年跨年當日之 CVP 數據作為各分區旅次分布之依據，另透過捷運運量成長趨勢推估 2026 年之旅次量，進而推導活動期間之分時道路速率、分時接駁車需求及分時停車需求。整體分析流程具系統性與邏輯性，將可作為未來大型活動主辦單位於撰寫交通維持計畫時之參考方法，亦可作為政府規範撰寫者需達到之嚴謹度標準。透過此類系統化分析，有助於提升大型活動交通維持事前規劃之精確度與可行性。	感謝委員肯定。	敬悉
3. 在路口綠燈使用分析模式方面： (1) 本計畫採用「綠燈使用率(GLUR)＝實際通過車輛數／預估最大通過車輛數」作為評估指標，報告書建議當 GLUR 值低於 40%時，即屬偏低且需進一步檢討。惟仍建議報告書進一步說明，該指標是否適用於雙向流量皆偏低之路口情境。由於在低流量情況下，實際通過路口之車輛數相對較少，可能導致 GLUR 值偏低而影響判讀，另也可能受限時制計畫中，為了考量橫向道路基本綠燈時間及最大容許綠燈帶秒數而有落差 (2) 就交通流數據，以每 15 分鐘為切割呈現，相較於號誌紓解效能的週期，是否還可以再調整。	GLUR 指標之核心目的在於辨識「資源冗餘」。在雙向流量皆偏低之情境下，GLUR 確實會呈現低值，此時指標之意義不在於「效率低落」，而是反映該路口具備「縮短週期」或「釋放秒數給行人/其他時相」之潛力。系統已規劃加入「最小流量過濾機制」，當流量低於基準值時，將併同參考「路口飽和度」進行綜合判讀，避免誤判。系統在診斷時亦會將「最小綠燈時間」與「續進綠燈帶(Green Band)」設定為強制約束條件。GLUR 低於 40%僅作為系統建議之「診斷觸發點」，最終調整仍需遵循交通工程規範之底線安全與協調要求，系統設計可彈性進行調整門檻值。 本計畫採用 15 分鐘為切割呈現，係考量 5G 影像辨識數據穩定性，實務上可視管理需求調整時間間隔。	同意
4. 交通場站區分以高鐵臺中站、臺中火車站、臺中港及臺中機場 4 項，	本計畫所發展之「軌道場站接駁需求預估模組」，其設計初衷即為運具中立	敬悉

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
依照目前臺中運輸路網，可否新增捷運場站。	之架構，實際使用時可同時適用於鐵路、高鐵及捷運。	
5. 建議補充說明備援車輛數以基本車輛數 20%計算的估算依據。	本計畫參考國內公共汽車客運業與接駁車營運實務，通常採 15%~20%之車輛備援率(Spare Ratio)，以確保在狀況時仍能維持班次服務。相關內容已補充於報告書 4.4.3 節。	同意
6. 大型活動交通影響分析模式，報告書提到可用 IoT 感測器覆蓋單元作為手機信令替代資料來源。謹請教，目前業界是否已有具體 IoT 感測方法或技術可供採用？若有，建議報告書進一步說明其種類與適用性，以利地方政府評估投入設備作為替代 CVP 資料來源，長期蒐集數據。	本計畫所提之「人流熱點預估模組」具備彈性介接能力，除手機信令(CVP)外，亦支援 Wi-Fi/藍芽探針(Scanner)、AI 影像辨識(CCTV)及微波/雷達(Radar)等多種 IoT 感測數據作為替代或補充來源。對於欲長期蒐集數據之地方政府，本計畫建議採「動態混合感測」策略，即以少量 IoT 定點設施作為「地面真值(Ground Truth)」校核，並配合 CVP 進行大範圍趨勢分析，以達成成本與效益之最佳平衡。	敬悉
7. 目前臺中大型節慶活動已在水湳經貿園區示範成型，並透過攔截圈方式，採用大眾運輸為主及人行通道的交通模式。 (1) 後續該場域同時有會展中心、綠美圖及超巨蛋，可能同區域內有多場活動同時主辦及同一天內有不同時間序列，建議後續該模組可以朝同區域內多元活動序列方式擴充。 (2) 建議後續可以擴充場域內人流移動方向性及區域性，間接可提升加入緊急災害應變疏運模式。	本計畫開發之人流熱點分析模組，其核心架構係以「網格時序資料」為基礎，具備多源數據疊加之能力。未來當區域內有多場活動同時進行時，僅需將不同場域之預期旅次分布(O-D)匯入模式，系統即可自動進行時空加總，產出複合型交通衝擊評估。 關於人流移動之方向性，本模式目前已透過 O-D 矩陣掌握起迄流向。針對緊急災害應變，建議於未來發展方向可進一步結合數位雙生平台之 3D 空間導引功能，將靜態的流量預估轉化為動態的疏散路徑模擬。	敬悉
8. 在交通預測模式方面，本計畫採用資策會的 GVP 資料，可提供較為精準的車流移動數據。惟仍請教，若機關欲採用 GVP 資料，其單位面積之使用費用約為多少？若因經費限制無法大範圍導入，是否可	本計畫係提供「交通資料加值應用」，透過 API 服務將處理後的預測結果提供給應用單位，而非直接轉售或提供 GVP 原始資料。技術上，系統架構可支援介接 Google Maps Distance Matrix	敬悉

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
考慮以Google Maps路況資訊作為替代資料來源？並進一步請教該替代方案若應用在本計畫的可行性與其可能面臨之限制。	API 取得旅行時間，並轉換為路段速率。對於經費受限或資料覆蓋不足之區域，Google Maps 亦可作為「輕量化」之備援或替代來源之一。	
9. 關於緊急車輛優先通行號誌控制，目前採用路側端要設置感應設備方式，建議可以新增大於一台車輛，於路口相遇的優先序列，另因方案為路側端要設置感應設備，考量政府單位經費有限，建議未來可以納入其他替代方案。	本系統於上一期計畫建置實證完成，其號誌控制演算法已具備優先權矩陣配置能力。當路口同時出現多台緊急車輛請求時，系統可依據預設之「任務階層」(如救護車>消防車)或「先進先出」原則進行動態排序，確保最緊急之任務優先獲得綠燈補償。	同意
10.有關於起點網格交通分區採用 1 公里為面積計算基準之依據為何？	本計畫採用之手機信令資料(CVP)原始尺度雖為 250 公尺網格，但為符合個資保護法之「去識別化」要求，在進行跨區旅次分析時，需將樣本聚合至較大之空間單元，因此採用 1 公里(即 4x4 個 250m 網格)作為計算基準，以有效避免追蹤到單一用戶之精確點位，確保數據合規性。	同意
八、交通部公路局		
1. 肯定本期計畫成功導入 CVP 資料，並將範圍由小範圍監控擴大至水湳整體路網。考量連續假期疏運或上下班尖峰時段，車流不僅侷限於市區道路，亦頻繁涉及跨縣市之長距離移動，建議未來其他研究能將跨城際的長途旅次納入分析範疇。	感謝委員肯定。相關建議已納入計畫後續發展參採。	敬悉
2. 從實務運作的角度分享，公路局目前也有將 CVP 資料納入流量監控中，但主要仍定位為「輔助性質」。實務上絕大多數的流量資料仍是仰賴路側的 VD（車輛偵測器）設備，只有在 VD 設備無法涵蓋（如設備建置密度較低之省道路段）或是 VD 斷線無法傳輸資料的情況	感謝分享實務運作經驗。本計畫亦認同 VD 設備產出之「地面真值 (Ground Truth)」具備不可替代的物理精確度，是交通控制最核心的基準。本計畫於實作過程使用 CVP 資料亦主要係解決 VD 設備佈建不均的問題。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
下，才會將 CVP 資料加進來作為替代與輔助。		
九、高雄市政府交通局		
1. 對於路網交通預測應用於實務決策的實際成效仍有疑慮，實務單位不敢直接將預測結果鏈接至相關的交通策略即時調整以避免民怨，因擔心準確性不足以支撐後續相關決策，建議團隊進一步說明計畫預測模式的準確率。	本計畫開發之預測模式經大規模路網驗證，其 MAPE(平均絕對百分比誤差)常態維持在 10%~15%之間(依據 Lewis[1982]標準屬於「優良」至「高精準」級別)。針對實證場域(如水湳區域)，與 GVP 比對之準確度高達 98.61%，與現地 VD 設備資料比對亦相近。	敬悉
2. 以高雄為例，十大易壅塞路口多集中於交流道周邊，尖峰時刻常因匝道容量不足導致回堵一公里以上。此過飽和狀態下，相關的策略往往失效，最終仍須依賴警力手動介入。此外，即便實施替代道路疏導措施，多數民眾仍寧願在原地停等而不願繞道。單靠智慧號控難以徹底解決此類真實困境，未來仍需中央與地方進一步合作探討實質解方。	感謝分享實務經驗。在「過飽和」狀態下，單靠號誌優化之邊際效益確實會遞減。智慧交通定位應為「管理工具」而非「容量創造者」，期能透過數據輔助將混亂的壅塞轉化為可控的排隊，有關各項疏導措施仍須由相關單位進一步討論協調。	敬悉
十、交通部交通科技及資訊司(書面意見)		
1. CVP 資料是否能夠區分行人、乘客、駕駛？	手機信令(CVP)追蹤之標的為「啟動中之行動裝置」，在物理層面上無法直接識別持有者為駕駛、乘客或行人。本計畫透過兩大機制排除非車流資料：(1) 速度閾值過濾：系統自動排除移動速度低於時速 15~20 公里之樣本；(2) 空間對齊過濾：僅採納移動路徑與「道路中心線」高度重合之資料。	同意
2. 資料蒐集與整合部分，是否能夠詳細說明資料來源以及資料完整性。除了 GVP 資料以外，是否能夠使用其他資料(如 VD、ETC)做為資料來源？資料欄位與資料頻率的	本系統定位為「資料中立」之運算框架。除目前實作採用之 GVP 外，系統亦可支援介接 VD、ETC、CVP 及 AI CCTV 等多元數據源。系統建構自動化 ETL 預處理流程，透過「極端值過濾」與「階層式補值策略」(優先參考	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
最低限度有何限制，以確保資料來源的多元性？	前 7、14、21、28 日歷史同期值)確保時序資料之完整性與物理合理性。	
3. 預測結果產生以後，該如何查核預測結果的準確程度？	本系統在進行「即時預測」的同時，會同步持續地蒐集來自路側設備(如 VD)或大數據(如 GVP)之「即時真實速率」。系統同時具備預測庫與真實觀測庫，可自動將「歷史預測值」與對應時點之「真實蒐集數據」進行配對分析。透過此機制，管理人員可隨時調閱過去任意時段的預估與實測對比曲線，並即時產出準確度分析。	同意
4. 交通引導與管制規劃輔助功能提供的路線建議，是由後台軟體自動運算生成還是預先設計的？搬到其他場域的時候是否需要經過在地化調適？	系統所提供的路線建議並非預先設定的固定路徑，而是透過後台演算法動態運算生成的結果，其核心機制包含： ●動態交通指派：系統會將預估的活動旅次量(O-D 資料)投入路網，模擬車流在不同時間序列下的移動行為。演算法會根據各路段的即時容量與剩餘空間，自動計算出總旅行時間最短或系統最優的引導路徑。 ●即時路況權重調整：後台依據預測速率與交通量，當原定路徑出現過飽和或壅塞預警時，演算法會動態調整該路段的「旅行成本(Cost)」，自動生成改道建議或替代路徑。 ●策略約束介入：雖然路線是自動生成，但管理單位可以預先設定「物理約束條件」(例如：特定路段禁止大型接駁車進入、單行道限制等)，AI 會在這些約束範圍內進行最優路徑之搜尋。 ●當系統搬移至新場域時，必須經過在地化調適，無法直接套用。調適項目主要有：新場域之 GIS 路網圖資、交通分區劃設、交通特性參數調校、重新介接場域內的多元資料並進行真值驗證	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
十一、交通部高速公路局(書面意見)		
1. 本計畫書(P.136、P.155、P.163)對於數位雙生(Digital Twin)之定位強調以「交通管理決策評估」及「經濟實惠技術」為發展重點，而非盲目追求3D模型之擬真度或全自動化系統，此理念與本局既有「交控雲平台」之設計初衷相符。目前本局交控雲平台已能於對應時空背景下，提供操作人員即時交通資訊與管理決策支援，搭配分區路況圖及現場CCTV即時監控事件發展，目前暫無提升至3D圖資平台之迫切需求。	感謝分享寶貴實務經驗。	敬悉
2. 考量本案已歸類為 DS-B(Digital Shadow-B)，附錄三《數位雙生建置與擴散》指引結合3D圖台之必要性再請研議。	本計畫雖處於DS-B階段(資料由物理往數位端單向流動並呈現)，但3D圖台除可供視覺展示，更整合AI CCTV、GVP、CVP等異質空間數據之「統一空間座標索引」。若無3D圖台，異質資料將回歸點狀呈現，難以達成路網層級之協同決策。至於成本疑慮，本計畫係採用內政部或地方政府之「公版圖資」作為3D建模基礎，已節省高額建模費用，符合 DS-B 階段之成本效益。	同意
3. 有關示範場域代表性與外推性評估，本計畫以「臺中水湳地區」大型活動情境作為示範案例，具實務驗證價值。惟建議可進一步討論：(1)是否適用於一般都市交通管理情境；(2)是否可套用於不同交通型態城市；(3)不同規模活動或城市之調整方式。以提升本研究成果跨城市推廣之可行性與代表性。	(1) 一般情境之向下相容：大型活動模式實為一般交通管理之「壓力測試版」。本計畫開發之速率預測與路網負載模組，在無活動之日常情境下，即轉化為「常態尖峰監控模式」，具備普適性。 (2) 異質城市之參數調適：針對不同交通型態(如：大眾運輸導向之臺北、機車導向之臺南)，模式提供 BPR 旅行成本函數參數及運具分配權重之調校機制，以因應不同城市的駕駛行為與運具偏好。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	(3) 活動規模之彈性縮放：系統採「模組化編制」，小至地區性市集、大至國際博覽會，僅需調整「O-D 需求總量」與「影響範圍網格」之設定即可產出評估結果。	
4. P.66 「(四)，使數據能直接轉化為決策建議。」排版請確認。	感謝指正，已修正排版問題。	
5. 附錄 4-3 倒數第二段「如錯誤！找不到參照來源」排版請確認。	感謝指正，已修正排版問題。	
6. 附錄四、《緊急車輛優先通行號誌控制》建置與擴散指引手冊中，僅考量執行緊急任務的消防車與救護車，建議未來可納入警車、工程救險車以擴大成效。	未來縣市政府若需擴大適用對象（如警車、工程救險車），本系統架構實具延展性，可於資料輸入端增加車種類別定義，即可納入既有控制邏輯中。	同意
十二、臺北市政府交通局(書面意見)		
1. 有關綠燈使用率(GLUR)－實際通過車輛數／預估最大通過車輛數之計算邏輯，因本期計畫於路口綠燈使用率分析已有「精進優化」之作法，惟目前相關分析似乎主要著重於車輛通行效率，對於行人需求之考量相對較少。建議未來若有進一步擴充時，可評估透過偵測機制辨識高齡者或輪椅使用者等民眾之通行情形，例如當行人尚未完成穿越路口時，系統可考慮具備發送「延長行人綠燈」指令之能力。如此除可兼顧綠燈使用效率外，亦有助於提升弱勢用路人之通行安全。	本計畫所提出之 GLUR 指標，其功能性主要定位於「路口績效評估與資源浪費診斷」，透過 AI 技術量化路口綠燈時間的有效利用程度(GLUR)，並不會直接介接號誌控制器發送控制指令。	敬悉
2. 針對「主動式 AI 號誌」與「緊急車輛優先」功能，需特別紀錄在惡劣天氣或通訊斷點下的容錯表現，確保系統在 5G 延遲或感測器失效時，具備自動切換回靜態時制或基本交管模式的保護機制，本案監測 2 個月期間是否曾遭遇前述天氣不佳或通訊中斷事件？對功能運作造成影響及應變措施為何？如	在本計畫為期兩個月的現地監測期間，系統通訊與感測設備運作穩定，並未遭遇導致功能失效之惡劣天氣或 5G 通訊中斷事件。本系統設計初衷即考量「安全第一」之原則，當發生通訊中斷等異常，系統將啟動「Watchdog 監控機制」，主動切斷雲端控制授權，讓路口控制器即刻回歸既有之 TOD	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
無，是否可預擬類似情境並提供應變方案建議。	運作，確保交通流不因系統異常而中斷或衝突。	
十三、臺南市政府交通局(書面意見)		
1. 因本研究提到可在既有硬體上運作，想請教確認系統架構是否包含即時交通模擬，或主要仍以資料分析與預測服務為主？	本系統架構並非採用傳統耗費巨量運算資源之「交通微觀模擬演算法」(如 VISSIM 或 Aimsun)，而是以「大數據即時分析與 AI 預測服務」為核心。這也是系統能於各縣市既有硬體環境下穩定運作之主因。相較於模擬系統需進行繁瑣的參數校標與高強度的物理運算，本計畫之預測模式係透過 API 形式提供加值服務，對地端硬體負擔極小，有利於各機關快速導入與推廣。	同意
2. 請教本案智慧交通數位神經中樞系統所應用之核心功能模組，未來若依不同城市之條件進行彈性選配與調整後，縣市政府是否需要再定期進行重新訓練或調整？	本系統之 AI 核心模組係以 API 服務(SaaS)形式提供。這代表模型的主體運算、邏輯更新與「重新訓練」均由服務提供端在後端統一處理，地方政府僅需透過網路介接服務，無需具備開發或訓練模型之專業人力。服務提供端會定期監控各城市之預測精確度，當偵測到環境特徵改變(如新路網開通)導致模型效能下降時，會由後台主動進行模型重訓與演算法優化。	敬悉
3. 本案系統每 5 分鐘更新並推演 30 分鐘交通狀態，另想請教推演模型是否有考慮交通網路之間的互相影響，以及在資料缺漏或突發事件情境下，對於大型活動之預測準確度大約如何？	針對資料缺漏情境，系統內建自動化補值模組。若即時資料中斷，系統將啟動「階層式補值策略」，優先參考該路段前 7、14、21 日之歷史同期數據，並結合鄰近路段之空間內插進行填補，確保預測不因數據缺漏而中斷。	同意
十四、本所運輸科技及資訊組(書面意見)		
1. 報告書第 4.1 節，標題應為「交通速率預測模式」，另外有關該模式發展歷程中有使用到模式、模型、系統、API 等用語，最後研擬的指引手冊為「交通速率預測系統」，似乎容易閱讀混淆，建請再釐清相關內容。	為避免閱讀混淆，已於第 4.1 節開頭增加「術語定義說明」，明確界定：核心演算法為「模型(Model)」、運算邏輯為「模式(Algorithm Pattern)」、資料介接為「API」、最終完整之應用工具並將其撰寫為建置指引手冊為「系統(System)」。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2. 報告書第五章，針對本計畫於水湳跨年活動的整合實作經驗，就大型事件(例如活動或疏運)的智慧交通管理，除需要的工具或模式庫/知識庫，建議應另外撰擬 SOP(事前事中事後)，以利提供各單位參採。	本計畫已根據水湳跨年活動的成功整合經驗，於報告書第 5.5.4 節說明未來相關「智慧化大型活動交通管理 SOP」建立，包含以下階段之功能： (1) 事前(模擬與部署)：包含數位雙生情境模擬、AI 模式預訓練、路側 5G 設備檢校。 (2) 事中(監控與控制)：包含即時流量動態偵測、AI 號誌自動化建議/介入邏輯、跨單位資訊共享機制。 (3) 事後(評估與精進)：包含疏運績效量化分析(KPI)、模式庫參數回饋與校正。	同意
3. 報告書第 5.5.2 節討論有關「Usable DT」之轉型，由高擬真建模轉向「地理空間底圖＋資料驅動」，建議補充說明此轉型如何具體提升「跨單位協作」的效率。例如，在水湳跨年大型活動管理中，輕量化圖資是否降低交控中心多機監控時的系統負擔？	關於「Usable DT」轉型提升跨單位協作效率之說明，已於報告書第 5.5.2 節補充相關說明： (1) 系統負載降低：採用輕量化圖資(LOD1-2 策略)後，大幅降低交控中心多機同時監控時的顯示延遲，確保在跨年晚會等高流量期間，系統操作仍能保持流暢。 (2) 跨平台協作：輕量化架構可供執勤人員透過移動設備(平板/手機)即可進入數位雙生平台，達成「前端現場」與「後端指揮中心」之即時資訊同步，解決過往高擬真建模僅能於高階工作站執行的限制。	同意
4. 報告書第 6.4.2 節，報告中提及 Q-learning 演算法於新場域導入時，需經歷約 1~2 週的學習調校期，期間之績效可能不穩定。雖然此種狀況尚屬合理，不過就實務運作可行性考量，應考量是否可利用「遷移學習」或「預建歷史策略庫」或其他方式來縮短此磨合期？另外亦應建議各單位於新場域應用時需設定相關安全防護機制，避免路	針對 Q-learning 演算法之不穩定性與安全防護，已於報告書第 6.4.2 節補充說明相關文字： (1) 縮短磨合期：可評估導入「遷移學習(Transfer Learning)」技術，利用既有場域之預訓練權重作為初始化參數，或導入「歷史策略庫(Rule-based Warm-up)」協助 AI 在上線初期即有合理的決策範圍。	同意

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
口號控在此模式尚不穩定之情況下進行時制轉換。	(2) 安全防護機制：於系統建議轉換時，增設「增量限制」與「衝突監測」機制。若 AI 產出之時制變動量超過安全門檻，系統將自動回退（Fallback）至原固定時制，確保在模式穩定前，不會對交通安全造成衝擊。	
5. 報告書附錄所撰寫之 6 項模式庫或知識庫之建置指引手冊，內容涵蓋適用對象與範圍、功能簡介、系統功能建置說明以及整合與落地應用作法等內容，因內容與後續移轉應用相關，建議可請公私部門(如交通局或系統廠商)協助檢視確認內容是否有疑義之處，並依回饋意見增修手冊內容。	本計畫所撰擬之 6 項模式庫/知識庫指引手冊已完成內部技術校對，為確保未來擴散應用時能更貼近使用者需求，已於報告書第 9.2 節增列「建立智慧交通技術手冊之產官學實務檢核機制」相關說明。	敬悉
6. 有關報告內文錯別字、語意不清、段落編排等部分請於會後洽本所運資組，至於編排格式則請依本所出版品印製規範修正。	遵照辦理。	敬悉
十五、主席結論		
1. 本計畫受限於計畫核定時間較晚，實質執行期程僅約七個月，感謝研究團隊在極有限的時間內將計畫緊急成立並整合前期成果。同時也感謝各地方政府（如臺中市交通局）全程參與及提供實務需求回饋，使計畫不侷限於純學術研究，而能貼近實務考量。	感謝主席肯定。	敬悉
2. 研究成果不應僅是一本放在架上的報告書，運研所必須具備「資產管理」與「智慧財產（IP）」的思維，將發展出的智慧資產發揮最大效益。為利於後續擴散與國際交流，建議將目前過於冗長難記的計畫名稱，精簡命名為「交通網路數位分析與控制管理模式」（Traffic network digital analysis and control	敬悉。	敬悉。後續如有執行相關計畫將納入參採。

審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
management model），以利建立具體辨識度。		
3. 應釐清外界對「AI 預測必須達到絕對精準」的迷思；AI 的核心價值在於不怕失敗且能不間斷地自我學習與修正。系統的初始預測只要具備科學基礎與合理數據支撐即足夠，重點在於系統能與實體路網設備（如 VD）介接，於下達決策後持續接收現場數據，進行滾動式（如每 5 至 10 分鐘）的動態比對與修正，才是動態交通管理的實際運作型態。	敬悉。	敬悉
4. 未來在推廣時，必須向各界清楚說明系統運作的「資料前提」，亦即需要轉換成何種標準的資料格式（Data structure）系統才能運作。若地方政府缺乏基礎資料來源，系統即無法保證運作之成效；應務實地向使用者傳達合理的期待，避免讓外界對預測系統產生過度完美的錯誤期待。	遵照辦理。已於建置指引手冊中說明。	敬悉
5. 本次期末審查報告內容經審視尚符合期末成果要求，經徵詢審查委員意見，期末報告審查原則通過，有關審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請逢甲大學整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並納入報告之修正。	遵照辦理。	敬悉
6. 請逢甲大學後續依本所出版品印製相關規定撰寫報告，並於 115 年 3 月 27 日前提送期末報告修正定稿。	遵照辦理。	敬悉