

113-072-3531
MOTC-IOT-112-SBB004

以無人機探勘人車流動資訊之
應用情境規劃與先導測試
(3/3)-斜交及多岔路口



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 10 月

113-072-3531
MOTC-IOT-112-SBB004

以無人機探勘人車流動資訊之 應用情境規劃與先導測試 (3/3)-斜交及多岔路口

著者：溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、
葉祖宏、黃明正、歐惠晴

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 10 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導
測試. (3/3) : 斜交及多岔路口 / 溫基信, 王宏
生, 黃家耀, 胡守任, 蘇志文, 葉祖宏, 黃明正,
歐惠晴著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研
究所, 民 113.10

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-628-0(平裝)

1. CST: 交通管理 2. CST: 交通安全 3. CST: 遙控
飛機

557

113015782

以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(3/3)- 斜交及多岔路口

著 者：溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、葉祖宏、黃明正、
歐惠晴

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 113 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 75 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：420 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：400002 臺中市區中山路 6 號·電話：(04)2226-0330

GPN：1011301425 ISBN：978-986-531-628-0(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(3/3)-斜交及多岔路口			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-531-628-0 (平裝)	政府出版品統一編號 1011301425	運輸研究所出版品編號 113-072-3531	計畫編號 112-SBB004
本所主辦單位：運輸安全組 主管：葉祖宏 計畫主持人：葉祖宏 研究人員：黃明正、歐惠晴 聯絡電話：02-2349-6857 傳真號碼：02-2545-0429	合作研究單位：訊力科技股份有限公司 計畫主持人：溫基信 研究人員：王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文 地址：新北市中和區中正路 738 號 13 樓之 5 聯絡電話：(02)82262008 ext. 1261 傳真號碼：(02)81924158		研究期間 自 112 年 3 月 至 112 年 12 月
關鍵詞：無人機、深度學習、機會左轉進階分析、人車衝突			
<p>摘要：</p> <p>本計畫為 3 年期(110-112 年)計畫之第 3 年期，除延續前期研究發展交通衝突分析工具之成果，辦理分年先導測試計畫外，亦持續優化路口交通衝突分析技術並驗證軟體適用性，且透過易肇事地點分析，與地方政府合作進行推廣應用。</p> <p>本年度與公路局、桃園市政府交通局及臺南市政府交通局合作辦理「機會左轉進階分析」、「人車衝突」兩項先導測試計畫共 14 處路口，並與宜蘭縣、桃園市及雲林縣合作分析 4 處易肇事路口。本計畫曾於 110 年度研究案就左轉車與對向直行車之衝突行為，進行「機會左轉」之探討，而本年度之「機會左轉進階分析」先導測試計畫部分係針對左轉車與對向直行車以外之互動行為及其延伸出之其他次要衝突進行探討，其中包含左轉車輛停等導致上游車流變換車道之同向直行擦撞、對向直行車輛減速導致與其上游之同向直行追撞、兩車同時左轉導致之同向左轉擦撞；「人車衝突」係指車輛與穿越道路中之行人所發生之衝突，以判斷轉彎車輛未慢速通過行穿線、車輛接觸行穿線時角度及轉彎車輛未禮讓行人等項目。易肇事路口分析則為持續優化交通衝突分析項目及程序，以提供應用分析工具之參考。</p> <p>本計畫亦持續優化相關分析技術，包含改善偵測模型預測角度之穩定度，大幅減少大客車等較長車輛偵測框的角度誤差；針對旋轉框特性改善 SORT 追蹤機制，減少斜向稠密車輛間因偵測框重疊所引起之追蹤問題；交通衝突分析軟體除針對先導測試計畫開發相關分析功能外，並提升整體分析結果的準確性、易讀性及多元資訊，針對號誌與時相升級、分析軟體功能分類及百分比資訊顯示，提升使用者操作之流暢度。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
113 年 10 月	358	420	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。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Application Scenarios and Pilot Run of Vehicle and Pedestrian Traffic Flow Information Using UAV Aerial Videography (3/3) – Multi-leg Intersections			
ISBN (OR ISSN) ISBN 978-986-531-628-0 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011301425	IOT SERIAL NUMBER 113-072-3531	PROJECT NUMBER 112-SBB004
DIVISION: Safety Division DIVISION DIRECTOR: Tsu-Hurng Yeh PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsu-Hurng Yeh PROJECT STAFF: Ming-Cheng Huang, Hui-Ching Ou PHONE: 886-2-2349-6857 FAX: 886-2-2545-0429			PROJECT PERIOD FROM March 2023 TO December 2023
RESEARCH AGENCY: C-LINK Technology Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chi-Sin Wen PROJECT STAFF: Hong-Sheng Wang, Ka Io Wong, Shou-Ren Hu, Chih-Wen Su ADDRESS: 13 FL-5, No. 738, Zhongzheng Rd., Zhonghe Dist., New Taipei City 235, Taiwan R.O.C. PHONE: 886-2-82262008ext. 1261 FAX: 886-2-81924158			
KEY WORDS: UAV, Deep Learning, Advanced Analysis of Opportunity Left Turn Conflict, Pedestrian-Vehicle Conflicts			
<p>ABSTRACT:</p> <p>This research is the third year of a 3-year (2021 – 2023) project. In addition to building on the results of previous research and developing traffic conflict analysis tools, conducting annual pilot tests to verify the maturity and limitations of relevant technologies, the project collaborated with local governments to promote their application through analysis of accident-prone locations.</p> <p>This year, the project collaborated with Highway Bureau of MOTC, Department of Transportation of Taoyuan City Government, and Bureau of Transportation of Tainan City Government to conduct two pilot tests on advanced analysis of opportunity left-turn conflicts and pedestrian-vehicle conflicts at 14 intersections. The project also analyzed four high-risk intersections located at Yilan County, Taoyuan City and Yunlin County.</p> <p>The advanced analysis of opportunity for left turn analysis included conflicts such as same-direction straight-through collisions caused by lane changes when left-turning vehicles stop, rear-end collisions from oncoming vehicles decelerating, and left-turn collisions from simultaneous turns. Pedestrian-vehicle conflict analysis focused on incidents involving vehicles and crossing pedestrians, assessing turning vehicles' angle at pedestrian crossings and yielding behavior.</p> <p>Additionally, the project also continued to optimize relevant analysis technologies, improving detection model stability and reducing angle errors for long vehicles. Enhancements to the SORT tracking mechanism reduced tracking issues. The project also upgraded the traffic conflict analysis software, improved accuracy, readability, and functionality of the user interface.</p>			
DATE OF PUBLICATION October 2024	NUMBER OF PAGES 358	PRICE 420	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究範圍	3
1.3 研究內容與工作項目	3
1.4 研究流程	5
第二章 文獻回顧	7
2.1 人車流動影像分析技術	7
2.1.1 影像穩定化處理	7
2.1.2 針對空拍影像之偵測技術	10
2.1.3 多物件間追蹤技術	21
2.1.4 小結	22
2.2 交通衝突技術	23
2.2.1 機會左轉衝突	23
2.2.2 人車衝突	26
2.2.3 交通衝突之相關研究	29
2.2.4 小結	33
2.3 空拍影像應用於交通技術	33
2.4 前 4 期研究之成果回顧	36
第三章 無人機空拍影像	41

3.1	無人機機型及作業流程說明	41
3.1.1	112 年路口空拍無人機介紹	41
3.1.2	無人機實地空拍作業流程	43
3.1.2.1	無人機現場作業	45
3.1.2.2	路口資料彙整	52
3.1.3	路口空拍活動申請狀況	53
3.2	空拍實際辦理現況	55
3.3	無人機資安議題	60
第四章	改善影像辨識	63
4.1	改善偵測模型預測角度之穩定度	64
4.2	針對旋轉框特性改善 SORT 追蹤機制	68
4.3	持續提升行人偵測率	71
4.4	小結	72
第五章	優化交通衝突軟體	73
5.1	優化本軟體操作介面及相關輸出結果	73
5.1.1	行人時相表資訊轉換	73
5.1.2	號誌與時相功能升級	75
5.1.3	分析軟體功能分類	76
5.1.4	輸出資料增加百分比資訊	78
5.1.5	擴增多岔路口分析功能	84
5.2	研提推廣應用模式	89

第六章 先導測試計畫	93
6.1 課題背景	94
6.1.1 機會左轉(進階分析).....	94
6.1.2 人車衝突.....	96
6.2 分析方法	97
6.2.1 機會左轉(進階分析).....	97
6.2.2 人車衝突.....	106
6.3 篩選實驗場域.....	112
6.3.1 合作機關及路口篩選.....	112
6.3.2 路口概況.....	112
6.4 分析結果	116
6.4.1 機會左轉(進階分析).....	116
6.4.2 人車衝突.....	136
6.5 小結	172
第七章 易肇事路口分析	175
7.1 分析項目	175
7.2 案例一：桃園市桃園區民生路復興路口	178
7.2.1 基本資料.....	178
7.2.2 分析項目	182
7.2.3 問題探討.....	189
7.2.4 問題整理及改善建議.....	194

7.3	案例二：雲林縣斗六市中山路龍潭路口	197
7.3.1	基本資料.....	197
7.3.2	分析項目	198
7.3.3	問題探討.....	205
7.3.4	問題整理及改善建議.....	207
7.4	案例三：桃園市桃園區三民路二段民生路口	208
7.4.1	基本資料.....	208
7.4.2	分析項目	212
7.4.3	問題探討.....	219
7.4.4	問題整理及改善建議.....	222
7.5	案例四：宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口	224
7.5.1	基本資料.....	224
7.5.2	分析項目	227
7.5.3	問題探討.....	232
7.5.4	問題整理及改善建議.....	234
第八章	結論與建議	237
8.1	結論	237
8.2	建議	244
參考文獻	249
附錄 A.	今(112)年計畫工作項目執行狀況一覽表	263
附錄 B.	112 年度無人機規格	265

附錄 C.	無人機空拍程序說明	267
附錄 D.	成果說明暨教育訓練	277
附錄 E.	成果說明暨教育訓練成效分析	283
附錄 F.	期中審查意見處理情形表	287
附錄 G.	期末審查意見處理情形表	307
附錄 H.	111 年度計畫期末審查意見規劃於本(112)年度工作 項目	325

圖目錄

圖 1.4-1 本計畫流程圖	5
圖 2.1-1 影像對齊之流程示意圖	8
圖 2.1-2 首張空拍影像圖	9
圖 2.1-3 第 5 分鐘空拍影像圖	9
圖 2.1-4 經對齊之第 5 分鐘空拍影像圖	9
圖 2.1-5 (A)OPENCV 中的角度、寬與高；(B)以長邊為寬、短邊為高； (C)加上前端資訊	12
圖 2.1-6 PASCAL 架構 GPU 下的偵測表現比較	14
圖 2.1-7 YOLOV3-CSPNET 效能圖	14
圖 2.1-8 訓練的幾個路口場景	15
圖 2.1-9 部分 DOTA1.0 上的偵測結果	18
圖 2.1-10 YOLOV8 官方實驗比較圖	19
圖 2.2-1 機會左轉之進階分析情境圖示	25
圖 2.3-1 使用 DATAFROMSKY 分析交通應用流程圖	34
圖 3.1-1 市售小型無人機 AUTEL EVO II PRO 示意圖	42
圖 3.1-2 市售小型無人機 AUTEL EVO II PRO 之 120 公尺高拍攝範圍圖	42
圖 3.1-3 市售小型無人機 AUTEL EVO II PRO 之 75 公尺高拍攝範圍圖	43
圖 3.1-4 市售小型無人機 AUTEL EVO II PRO 之 60 公尺高拍攝範圍圖	43
圖 3.1-5 無人機實地空拍作業流程	44
圖 3.1-6 起飛地點設置	47

圖 3.1-7 無人機攝影預設條件	48
圖 3.1-8 無人機畫面設定示意圖	49
圖 3.1-9 無人機起飛前對時	49
圖 3.1-10 無人機控制顯示器畫面圖	50
圖 3.1-11 無人機降落時再次對時	50
圖 3.1-12 路口重點資訊記錄	51
圖 3.1-13 無人機拍攝現場紀錄表	53
圖 3.2-1 路口拍攝現場作業概況(易肇事路口)	56
圖 3.2-2 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-1)	56
圖 3.2-3 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-2)	57
圖 3.2-4 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-3)	57
圖 3.2-5 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-4)	58
圖 3.3-1 民航局無人機資安需求處理原則 (112 年 6 月 19 日民航局公 告).....	61
圖 3.3-2 政府採購標案先行方向 (112 年 6 月 30 日公共工程委員會公 告).....	62
圖 4.1-1 (左上)原始 IoU、(右上)DIoU、(左下)GIoU、(右下)CIoU 四 種方法的偵測結果.....	68
圖 4.2-1 斜向車輛並行時會產生外接正框交集(藍色為小客車之正框範 圍；綠色為機車之正框範圍)	69
圖 4.2-2 機車停等區相隔 40 秒的偵測追蹤結果	70
圖 5.1-1 行人穿越道編碼設計示意圖	74
圖 5.1-2 行人時相表設計示意圖	74
圖 5.1-3 六燈號時相表設定示意圖	75

圖 5.1-4 機會左轉統計表	76
圖 5.1-5 穿越衝突統計表	76
圖 5.1-6 基本功能示意圖	77
圖 5.1-7 進階功能示意圖	77
圖 5.1-8 設定功能之基本設定示意圖	77
圖 5.1-9 路口車速與數量分布圖(各車種在不同時速下對於全車種之佔 比).....	79
圖 5.1-10 衝突事件按車種統計圖	79
圖 5.1-11 衝突事件按 TTC 統計圖.....	80
圖 5.1-12 衝突事件按 PET 統計	80
圖 5.1-13 機會左轉分析統計表	81
圖 5.1-14 穿越衝突分析統計表	81
圖 5.1-15 右轉衝突分析統計表	81
圖 5.1-16 路口轉向交通量表(透過百分比計算前，含 PCU 資訊).....	82
圖 5.1-17 路口轉向交通量表(根據橫軸小計計算)	83
圖 5.1-18 路口轉向交通量表(根據縱軸小計計算)	84
圖 5.1-19 多岔路口之五岔路口示意-宜蘭縣宜蘭市中山路_神農路_舊 城南路.....	85
圖 5.1-20 衝突事件表(選單擴充 E 路口).....	85
圖 5.1-21 衝突熱點	86
圖 5.1-22 車流量調查	87
圖 5.1-23 車流特性	88
圖 5.1-24 路口軌跡	88
圖 5.1-25 速度熱區圖	89

圖 5.1-26 減速度熱區圖	89
圖 6.1-1 機會左轉之進階分析情境圖示	96
圖 6.2-1 機會左轉：具風險之駕駛及用路行為之分析項目圖示	101
圖 6.2-2 機會左轉：具風險之駕駛及用路行為之分析項目圖示(續)	102
圖 6.2-3 機會左轉：違規駕駛行為之分析項目圖示	104
圖 6.2-4 機會左轉：交通衝突之分析項目圖示	106
圖 6.2-5 人車衝突：具風險之駕駛及用路行為之分析項目圖示	108
圖 6.2-6 人車衝突：違規行為之分析圖示	109
圖 6.2-7 人車衝突：交通衝突圖示	111
圖 6.4-1 臺南市西港區中山路(台 19 線)文化路進學街之路口底圖及部 分判斷線設定	116
圖 6.4-2 專案 352 B 方向第三號誌週期左轉車與直行車軌跡圖	117
圖 6.4-3 臺南市佳里區佳東路(台 19 線)進學路口之路口底圖及部分判 斷線設定	120
圖 6.4-4 臺南市玉井區中山路(台 3 線、台 20 線)中華路(台 20 線)之 路口底圖及部分判斷線設定	123
圖 6.4-5 臺南市新化區忠孝路(台 20 線)、中正路之路口底圖及部分 判斷線設定	126
圖 6.4-6 臺南市善化區中正路(台 19 甲線)大成路光復路之路口底圖及 部分判斷線設定	128
圖 6.4-7 桃園市中壢區中山東路四段龍東路之路口底圖及部分判斷線 設定	131
圖 6.4-8 桃園市中壢區中山東路四段龍東路口之兩車同時左轉示意圖	133

圖 6.4-9 桃園市桃園區民光東路春日路(台 4 線)之路口底圖及部分判斷線設定.....	134
圖 6.4-10 臺南市新市區中山路中華路口之枕木紋行人穿越道線設定.....	137
圖 6.4-11 臺南市新市區中山路中華路口之行人軌跡.....	138
圖 6.4-12 臺南市新市區中山路中華路口之轉彎車流軌跡.....	138
圖 6.4-13 臺南市新市區中山路中華路口之角度分佈圖.....	139
圖 6.4-14 臺南市新營區長榮路二段三興街口之枕木紋行人穿越道線設定.....	143
圖 6.4-15 臺南市新營區長榮路二段三興街口之行人軌跡.....	143
圖 6.4-16 臺南市新營區長榮路二段三興街口之轉彎車流軌跡.....	144
圖 6.4-17 臺南市新營區長榮路二段三興街口之角度分佈.....	145
圖 6.4-18 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之枕木紋行人穿越道線設定.....	148
圖 6.4-19 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之行人軌跡.....	149
圖 6.4-20 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之轉彎車流軌跡.....	149
圖 6.4-21 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之角度分佈圖.....	150
圖 6.4-22 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之枕木紋行人穿越道線設定.....	153
圖 6.4-23 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之行人軌跡.....	154
圖 6.4-24 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之轉彎車流軌跡.....	154
圖 6.4-25 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之角度分佈圖.....	155
圖 6.4-26 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之枕木紋行人穿越道線設定.....	158

圖 6.4-27 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之行人軌跡.....	159
圖 6.4-28 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之轉彎車流軌跡.....	159
圖 6.4-29 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之角度分佈圖.....	160
圖 6.4-30 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之枕木紋行人穿越道線 設定.....	163
圖 6.4-31 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之行人軌跡.....	164
圖 6.4-32 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之轉彎車流軌跡.....	164
圖 6.4-33 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之角度分佈圖.....	165
圖 6.4-34 桃園市桃園區中山路三民路口之枕木紋行人穿越道線設定	167
圖 6.4-35 桃園市桃園區中山路三民路口之行人軌跡.....	168
圖 6.4-36 桃園市桃園區中山路三民路口之轉彎車流軌跡.....	168
圖 6.4-37 桃園市桃園區中山路三民路口之角度分佈圖.....	169
圖 7.2-1 桃園市桃園區民生路復興路口之空拍圖(上方為北).....	179
圖 7.2-2 桃園市桃園區民生路復興路口之平均小時轉向交通量.....	180
圖 7.2-3 桃園市桃園區民生路復興路之號誌時制表.....	180
圖 7.2-4 公路局提供之「桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善 規劃」簡報之碰撞構圖分析.....	181
圖 7.2-5 公路局提供之「桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善 規劃」簡報之改善方案.....	182
圖 7.2-6 桃園市桃園區民生路復興路口之衝突點密集區域.....	183
圖 7.2-7 桃園市桃園區民生路復興路口之車流軌跡圖.....	184
圖 7.2-8 桃園市桃園區民生路復興路口之超速分佈.....	185
圖 7.2-9 桃園市桃園區民生路復興路口之流量表(單一架次影片)....	185

圖 7.2-10 桃園市桃園區民生路復興路口之機會左轉衝突分析結果	186
圖 7.2-11 桃園市桃園區民生路復興路口之穿越衝突分析結果	187
圖 7.2-12 桃園市桃園區民生路復興路口之 A 方向右轉衝突分析結果	188
圖 7.2-13 桃園市桃園區民生路復興路口之 C 方向右轉衝突分析結果	188
圖 7.2-14 桃園市桃園區民生路復興路口之對向穿越左轉衝突(時相 一、時相二).....	189
圖 7.2-15 桃園市桃園區民生路復興路口之對向穿越左轉衝突(時相三)	190
圖 7.2-16 桃園市桃園區民生路復興路口之右轉大客車與左轉汽車軌跡	191
圖 7.2-17 桃園市桃園區民生路復興路口之 B 方向速度熱區圖	191
圖 7.2-18 桃園市桃園區民生路復興路口之左轉軌跡圖	192
圖 7.2-19 桃園市桃園區民生路復興路口之機慢車左轉待轉區線問題	192
圖 7.2-20 桃園市桃園區民生路復興路口之加油站進入動線問題	193
圖 7.2-21 桃園市桃園區民生路復興路口之加油站離去動線問題	193
圖 7.2-22 桃園市桃園區民生路復興路口之改善方案	196
圖 7.3-1 雲林縣中山路龍潭路口之空拍圖	197
圖 7.3-2 雲林縣中山路龍潭路口之號誌時制表	198
圖 7.3-3 雲林縣中山路龍潭路口之衝突熱點圖	199
圖 7.3-4 雲林縣中山路龍潭路口之車流軌跡	200
圖 7.3-5 雲林縣中山路龍潭路口之超速分布圖	201

圖 7.3-6 雲林縣中山路龍潭路口之車速與數量分布圖	201
圖 7.3-7 雲林縣中山路龍潭路口之 A、C 方向機車左轉軌跡圖	202
圖 7.3-8 雲林縣中山路龍潭路口之路口標線及空間使用議題	203
圖 7.3-9 雲林縣中山路龍潭路口之機會左轉衝突分析結果	204
圖 7.3-10 雲林縣中山路龍潭路口之路口穿越衝突分析圖表	204
圖 7.3-11 雲林縣中山路龍潭路口之兩側機車棚出入口	205
圖 7.3-12 雲林縣中山路龍潭路口之進出 D 方向軌跡圖	205
圖 7.3-13 雲林縣中山路龍潭路口之 B-D 方向行車動線示意圖	206
圖 7.3-14 雲林縣中山路龍潭路口之 B-D 方向軌跡與流量圖表	207
圖 7.4-1 桃園市桃園區三民路二段民生路口之空拍圖(上方為北).....	209
圖 7.4-2 桃園市桃園區三民路二段民生路口之平均小時轉向交通量	210
圖 7.4-3 桃園市桃園區三民路二段民生路口之號誌時制表.....	210
圖 7.4-4 公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口 改善規劃」簡報之碰撞構圖分析.....	211
圖 7.4-5 公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口 改善規劃」簡報之改善方案.....	211
圖 7.4-6 公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口 改善規劃」簡報之改善方案.....	212
圖 7.4-7 桃園市桃園區三民路二段民生路口之衝突點密集區域.....	213
圖 7.4-8 桃園市桃園區三民路二段民生路口之車流軌跡圖.....	214
圖 7.4-9 桃園市桃園區三民路二段民生路口之超速分佈.....	215
圖 7.4-10 桃園市桃園區三民路二段民生路口之機會左轉衝突分析結果	216
圖 7.4-11 桃園市桃園區三民路二段民生路口之穿越衝突分析結果..	217

圖 7.4-12 桃園市桃園區三民路二段民生路口之 A 方向右轉衝突分析 結果.....	218
圖 7.4-13 桃園市桃園區三民路二段民生路口之 C 方向右轉衝突分析 結果.....	218
圖 7.4-14 桃園市桃園區三民路二段民生路口之對向穿越左轉衝突之問 題(時相一、二、三、五).....	219
圖 7.4-15 桃園市桃園區三民路二段民生路口之對向穿越左轉衝突之問 題(時相四).....	220
圖 7.4-16 桃園市桃園區三民路二段民生路口之公六街車輛違規行駛	221
圖 7.4-17 桃園市桃園區三民路二段民生路口之機慢車左轉待轉區線動 線設計不佳.....	222
圖 7.4-18 桃園市桃園區三民路二段民生路口之改善方案.....	224
圖 7.5-1 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口空拍圖.....	226
圖 7.5-2 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之號誌時制表.....	226
圖 7.5-3 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之平均小時轉向交通 量.....	227
圖 7.5-4 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之衝突熱點圖.....	228
圖 7.5-5 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之車流軌跡.....	229
圖 7.5-6 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之超速分布圖.....	230
圖 7.5-7 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之車速與數量分布圖	230
圖 7.5-8 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之機會左轉衝突分析 結果.....	231

圖 7.5-9 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之路口穿越衝突分析 圖表	232
圖 7.5-10 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之機會左轉衝突影片 截圖與車輛軌跡	233
圖 7.5-11 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口時相一 A 方向車輛 軌跡	234
圖 7.5-12 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之改善建議	235
圖 8.1-1 路口空拍無人機擇選評估條件說明	237
圖 8.1-2 無人機比較圖	238
圖 8.1-3 本所 107-112 年各年度拍攝路口總數	240
圖 8.1-4 本所 107-112 年各縣市拍攝路口總數	240
圖 8.1-5 交通衝突軟體架構圖	243
圖 8.2-1 將路段區域重組成偵測用影像	245
圖 8.2-2 自動化發展示意圖	247

表 目 錄

表 2.1-1 各類別的訓練及測試數量	16
表 2.1-2 ORIENTED YOLOV4 與其他選轉框方法比較表	17
表 2.1-3 YOLO 系列在 COCO2017 資料集上的最佳偵測結果比較.....	20
表 2.1-4 YOLOV7 與過往方法比較表.....	21
表 2.2-1 交通安全應用情境說明	26
表 2.2-2 人車事故分類數量	28
表 2.2-3 行人全行為指標定義	28
表 2.3-1 無人機交通應用列表	34
表 2.3-2 無人機可行之未來應用	35
表 2.4-1 108 年至 111 年研究之成果列表	37
表 3.1-1 無人機空拍地點飛行可行性評估表	46
表 3.1-2 無人機飛行及攝影機最佳參數設定表	48
表 3.1-3 路口空拍活動申請表	54
表 3.2-1 拍攝路口總表	58
表 4.1-1 測試資料庫	65
表 4.1-2 四種計算預測框與實際框疊合率方式的偵測表現.....	67
表 6.2-1 機會左轉：具風險之駕駛及用路行為之分析項目	98
表 6.2-2 機會左轉：違規行為之分析項目	103
表 6.2-3 機會左轉：交通衝突	105
表 6.2-4 人車衝突：具風險行為之分析項目	107
表 6.2-5 人車衝突：違規行為分析項目	108
表 6.2-6 人車衝突：交通衝突	110

表 6.3-1 先導測試計畫之實驗路口	113
表 6.4-1 臺南市西港區中山路(台 19 線)文化路進學街路口之分析統計表	118
表 6.4-2 臺南市佳里區佳東路(台 19 線)進學路口之分析統計表	121
表 6.4-3 臺南市玉井區中山路(台 3 線、台 20 線)中華路(台 20 線)路口之分析統計表	124
表 6.4-4 臺南市新化區忠孝路(台 20 線)中正路口之分析統計表	127
表 6.4-5 臺南市善化區中正路(台 19 甲線)大成路光復路口之分析統計表	129
表 6.4-6 桃園市中壢區中山東路四段龍東路口之分析統計表	132
表 6.4-7 桃園市桃園區民光東路春日路(台 4 線)路口之分析統計表	135
表 6.4-8 臺南市新市區中山路中華路口基本資訊	137
表 6.4-9 臺南市新市區中山路中華路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度	139
表 6.4-10 臺南市新市區中山路中華路口之分析統計表	141
表 6.4-11 臺南市新營區長榮路二段三興街口基本資訊	142
表 6.4-12 臺南市新營區長榮路二段三興街口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度	144
表 6.4-13 臺南市新營區長榮路二段三興街口之分析統計表	147
表 6.4-14 臺南市仁德區中山路中正路二段路口基本資訊	148
表 6.4-15 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度	150
表 6.4-16 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之分析統計表	152
表 6.4-17 臺南市仁德區中山路文華路三段路口基本資訊	153

表 6.4-18 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之車輛通過枕木紋行人 穿越道線時角度	155
表 6.4-19 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之分析統計表	157
表 6.4-20 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口基本資訊	158
表 6.4-21 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之車輛通過枕木紋行人 穿越道線時角度	160
表 6.4-22 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之分析統計表	162
表 6.4-23 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口基本資訊	163
表 6.4-24 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之車輛通過枕木紋行人 穿越道線時角度	165
表 6.4-25 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之分析統計表	166
表 6.4-26 桃園市桃園區中山路三民路口基本資訊	167
表 6.4-27 桃園市桃園區中山路三民路口之車輛通過枕木紋行人穿越道 線時角度	169
表 6.4-28 桃園市桃園區中山路三民路口之分析統計表	171
表 7.1-1 分析項目及功能說明	176
表 7.2-1 桃園市桃園區民生路復興路口之幾何特性表	179
表 7.2-2 問題整理與改善建議表(桃園市桃園區民生路復興路口)	194
表 7.3-1 雲林縣中山路龍潭路口之幾何特性表	198
表 7.3-2 問題整理與改善建議表(雲林縣斗六市中山路龍潭路口)	208
表 7.4-1 桃園市桃園區三民路二段民生路口之幾何特性表	209
表 7.4-2 問題整理與改善建議表(桃園市桃園區三民路二段民生路口)	222
表 7.5-1 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之幾何特性表	225

第一章 緒論

1.1 研究緣起

近年來，臺灣交通事故頻繁發生，造成許多交通傷亡等問題，並引起國內外媒體就臺灣的交通問題進行專題報導。因此，如何快速有效率釐清交通安全問題起因，並提供各道路管理機關相關交通安全分析及改善依據，已是非常重要之研究方向。

傳統的交通事故分析方法係透過統計 1 至 3 年之肇事資料，邀請交通專家學者至事故現場進行會勘，討論並釐清交通事故成因後，訂定改善方案。前述做法為實務上已運作成熟之交通改善手法，然而對於都會區交通流量日趨增加、事故發生頻繁及其發生原因複雜等情況下，道路管理機關較難在短時間內有效率地改善潛在或複雜之交通衝突問題，且既有事故測量方法係透過人工方式於現場進行量測，其可能衍生量測誤差，或受限於處理時間及人力因素僅能蒐集部分現場資訊，較為可惜。另前揭交通改善方法，主要是在事故發生後，依據相關資料進行分析再辦理改善；其改善時程較長，且無法於事故發生前就各路口狀況進行相關交通工程改善，以避免事故之發生。

為加速交通安全改善之時程，以因應日趨複雜之交通事故及細部分析問題等需求下，本系列研究採用無人機空拍道路人車流動影像，以無死角、無變形之垂直正拍影像取得車輛準確位置，再透過人工智慧深度學習技術偵測人車位置，自動產出人車流動軌跡資料，並結合交通領域知識來呈現相關數據化資料(含車種、車速、衝突點等重要交通特性資訊)。本計畫透過與實務交通單位合作，系統性進行 5 大應用情境之先導測試計畫，以驗證此交通衝突分析工具之可行性及限制，並開發相關分析模組以利道路管理機關進行分析、找出衝突成因及預先進行改善，有助於減少交通事故之發生。本系列研究過去相關計畫辦理情形如下：

107 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」計畫，以無人機拍攝高事故風險地點尖峰時段的人車流動影像，透過深度學習之影像偵測與追蹤技術，計算車輛位置、軌跡、車種、車流量、車速等資料，並撰寫程式計算碰撞時間(TTC)、後侵佔時間(PET)

等交通衝突指標，開發一套高事故風險地點診斷分析工具。107 年研究之小客車平均分類正確率約為 99.4%、貨車約為 62.2%、大客車為 100%，三車種之平均車速誤差為 1.384km/h。過小物件因特徵點不足(如行人、自行車與機車)，而未能有效分類或追蹤。

108 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」計畫，在 107 年研究的基礎上增加大型車取樣數，使用 YOLOv3 深度學習技術改善行人、自行車、機車的物件偵測，並應用 SORT 追蹤技術，同時導入美國聯邦公路局開發之 SSAM 衝突分析模組，確保 TTC 與 PET 等交通衝突指標計算結果正確性，依據國內的車流情況及衝突類型，開發一套交通衝突分析軟體，並選定 5 處高事故風險的交岔路口進行範例分析。另外，108 年研究之行人、自行車、機車之查準率(即精準度；對於某一類預測結果，預測正確所占的比例)皆有 95%以上水準，查全率(即召回率；對於某一類預測結果，正確找出該類結果所占的比例)則分別為 80.9%、55.9%、93.5%，改善 107 年研究之人車辨識與追蹤品質。

109 年「路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較」計畫，除了採用改善版 SCRDet 的偵測結果以強化車輛偵測範圍準確性，小物件偵測採用 1024x1024 為輸入的 YOLOv4 模型，綜整適合人車流動空拍影像的交通應用情境，提出適合分析的基本應用情境(7 項)及進階應用情境(6 項)。

110 年「以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(1/3)-建立分年測試計畫」透過召開專家座談會，盤點先導測試計畫相關議題，並於當年執行 2 項先導測試計畫(機會左轉、路口穿越衝突)，另分析 4 處易肇事路口，導入單一偵測模組 Oriented YOLOv4；分析軟體進行 2 項先導測試計畫開發功能，並改善軟體使用者介面等工作。

111 年「以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(2/3)-非號誌化路口」，交通衝突分析包含執行 2 項先導測試計畫(右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突)，以及分析 4 處易肇事路口；影像分析精進則採用 GPU 加速空拍影片穩定化處理時間，並研究與探討提升行人查全率、自行車分類、車輛偵測框偏斜等問題；分析軟體進行 2 項先導測試計畫開發功能、優化軌跡/車速繪製功能、衝突熱區影像

疊合、衝突影片回放功能升級、兩段式左轉判斷機制導入等工作。

1.2 研究範圍

本計畫技術範圍屬跨領域技術之開發、整合、測試及落地應用，分析對象聚焦於路口範圍之交通衝突；分析資料來源使用無人機進行高空懸停路口進行長時間人車流攝影；影像分析採 AI 影像辨識與追蹤技術並搭配所需之影像處理等技術；交通應用採交通衝突分析，並規劃國內常見風險情境之先導測試計畫，與實務交通單位合作進行易肇事路口分析與先導測試計畫之規劃與分析，進行軟體開發、介接、整合、測試及使用者介面優化，期望透過此系列研究案發展一套路口交通衝突分析工具，提供道路管理機關規劃及改善相關人員運用，以進行有效率且精確之交通衝突分析。

1.3 研究內容與工作項目

本計畫的工作內容，主要分為以下工作項目：

一、無人機空拍影像

- (一) 無人機資料蒐集(場域選定、保險、申請、飛行)。
- (二) 針對不同之先導測試計畫規劃可行之無人機飛行趟次、時段及總時長。
- (三) 無人機之資安檢測議題探討。

二、改善影像辨識與追蹤技術

- (一) 行人精準度提升。
- (二) 旋轉框偏斜修正。

三、優化分析軟體

- (一) 開發 112 年先導測試計畫交通衝突分析軟體功能(機會左轉進階分析、人車衝突)。
- (二) 衝突分析軟體與號誌時相測試與整合。
- (三) 擴增號誌時相燈號圖示於軟體連動顯示(至多到六燈)。
- (四) 支援分析軟體產出數據資料或圖表匯出。

四、交通領域

- (一) 擬訂「機會左轉(進階分析)」、「人車衝突」分析方法。
- (二) 分析「機會左轉(進階分析)」、「人車衝突」應用情境。
- (三) 進行 4 處易肇事路口之交通衝突分析。
- (四) 歸納歷年先導測試計畫經驗,研提通案性測試分析方法。
- (五) 研提無人機探勘道路交通流動資訊之交通安全應用情境清單。

五、其它工作

- (一) 文獻回顧。
- (二) 修訂分析軟體操作手冊及無人機空拍流程。
- (三) 完成 111 年度計畫期末審查意見規劃於本(112)年度工作項目。
- (四) 期中報告提送與審查。
- (五) 期末報告提送與審查。
- (六) 針對計畫重要成果,製作海報及影片電子檔(預計進行彙整 3 年成果,影片時長 5~6 分鐘,另剪 1 分鐘及 3 分鐘版本)。
- (七) 辦理成果說明會及教育訓練。
- (八) 投稿 1 篇至國內外期刊、學術研討會或本所運輸計劃季刊。
- (九) 綜整摘要說明 110~112 年各年度階段性成果。

1.4 研究流程

本計畫流程主要分為四大部分：(1)空拍影像資料蒐集、(2)影像處理技術、(3)交通衝突分析軟體、(4)交通分析。透過與實務交通機關溝通以選出欲分析路口，採用無人機進行路口空拍影像資料蒐集，將蒐集之影像進行物件軌跡資料產出，再輸入交通衝突分析軟體進行相關軌跡運算後，產出交通分析所需之情境與圖表統計結果，供交通分析使用者進行所需之特定交通衝突分析。整體研究流程如圖 1.4-1 所示，並詳述各部分內容如下：

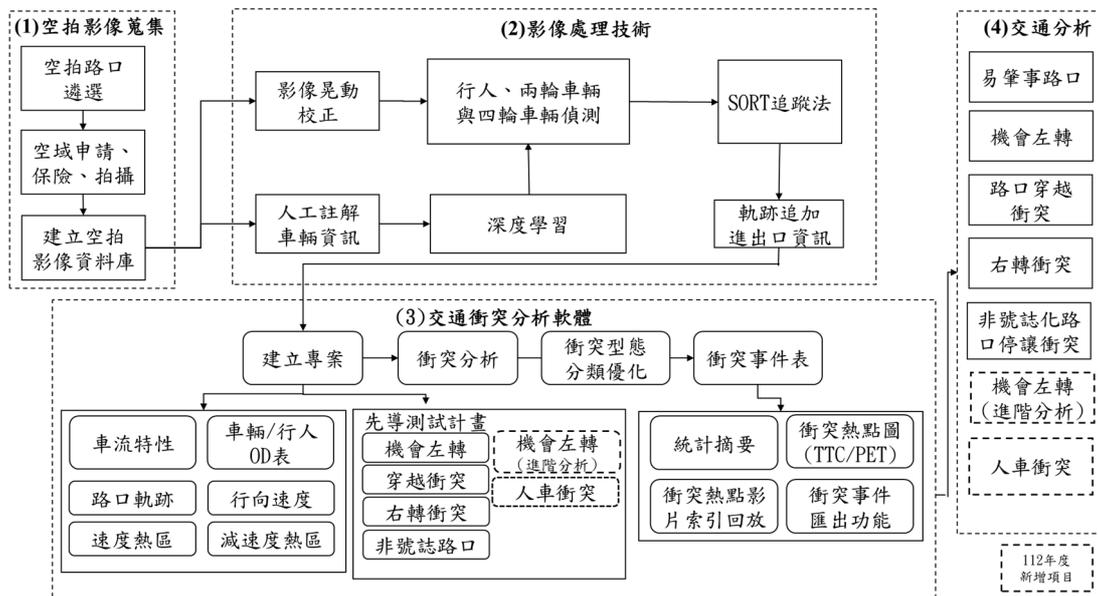


圖 1.4-1 本計畫流程圖

一、空拍影像資料蒐集：

本計畫選定 4 處易肇事路口與 2 項先導測試實驗計畫所需路口，蒐集高解析空拍影像，做為系統開發、測試、與分析之影像資料來源。飛行任務前，除須完成無人機註冊、檢驗作業、飛手取得民航局發給之操作證、完成飛航活動申請外，針對禁限航區路口亦須完成申請核可，並遵循本所安全作業程序說明，且提供相關申請資料送本所確認。

二、影像處理技術：

無人機空拍影像些許畫面晃動即可能影響影像辨識精準度，因此本計畫首先將空拍影像進行晃動校正，然後透過單一深度學習模型進

行逐張畫面物件偵測，逐張偵測物件再透過影像處理進行追蹤產出偵測物件軌跡資料。除此之外，在空拍影像資料庫中事先蒐集之大量影像，則會透過人工註解影像中的車輛位置，取出外觀特徵與車種資訊，並結合深度學習產生車輛分類器，依此分類器對影像中之車輛進行分類以辨識車種，並同時偵測車輛位置。之後，利用物件追蹤技術產生車輛軌跡資訊，並根據預先劃定的路口進出線段及各軌跡行經的線段，增加其進出口口之行車方向資訊。

三、交通衝突分析軟體：

經由影像處理及追蹤技術所得到之路口物件流動軌跡，進行交通衝突分析。分析軟體首先讀取路口影片、路口底圖及軌跡檔，軟體會自動將軌跡檔案換算為所需呈現之數據，即可得到完整交通衝突事件結果，除提供基本功能如車流特性(路口車速分布圖)、車輛轉向量調查表、路口軌跡、速度熱區圖、減速度熱區圖、衝突事件表、衝突熱點圖等，亦開發先導測試計畫研究所需之分析模組及使用者操作介面。

四、交通衝突應用與分析：

本計畫與道路管理機關合作，討論具體之相關交通需求，使用交通衝突分析軟體進行易肇事路口分析，以及 112 年所提出 2 項先導測試計畫情境，並綜整先導測試計畫交通衝突之判斷原則，以供後續實務交通單位分析此類交通衝突之參考。

第二章 文獻回顧

2.1 人車流動影像分析技術

2.1.1 影像穩定化處理

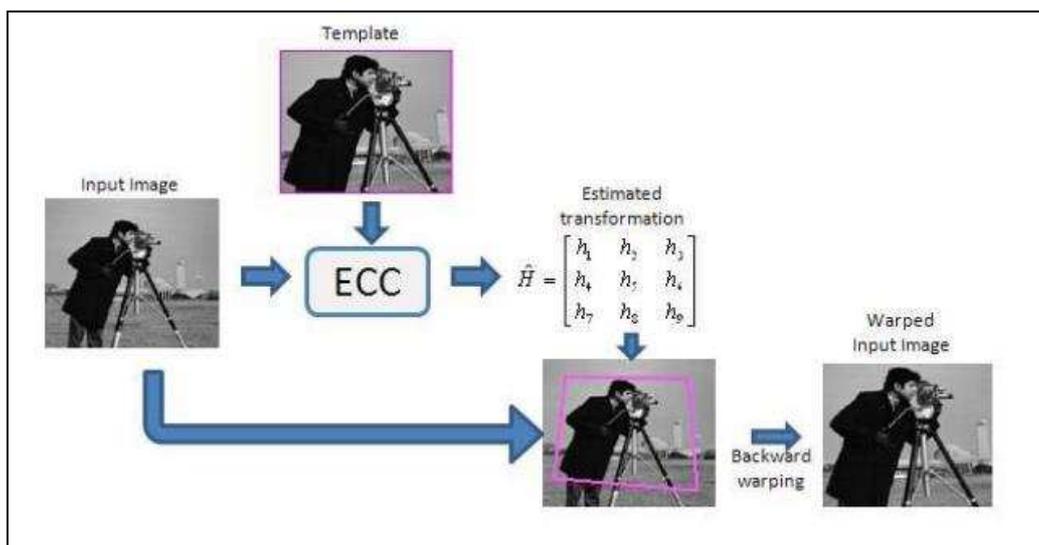
在利用空拍影像進行交通車流分析之前，由於無人機本身會受到強風影響，導致影像中的街道位置因機身晃動而偏移，因此須先針對影像進行對齊校準(image alignment)使整部影片內容穩定化，以確保所有影片中的道路、車輛物件皆維持在同一個平面座標系統。

在 107 年度的前期計畫初期，本計畫嘗試採用基於特徵點的影像對齊校準方式，如利用 Bay 等人(2006)提出的 SURF(Speeded-Up Robust Features)來進行特徵點比對，再根據配對好的特徵點相對位置關係，找出轉換矩陣並進行平面轉換。然而特徵點往往並非均勻地分佈在影像上，特別是道路影像包含了大片灰色均一的道路區域，這使得特徵點轉而集中在路邊高度不一的建築，甚至是移動車輛上。這導致了特徵點在空間分布上容易集中在局部特定區域，甚至因為高度差形成多個非路面的主要屋頂平面，這些都導致了轉換矩陣難以估測，無法有效而精準地對齊空拍影像。

有鑒於此，107 年度的前期計畫最終了採用西元 2008 年由 Evangelidis 與 Psarakis(2008)所提出的 ECC (Enhanced Correlation Coefficient)影像對齊技術，並沿用至今。ECC 影像對齊技術透過找尋輸入影像與樣板影像間最大的相關係數，決定出一個 3×3 的轉換矩陣，讓輸入影像中的所有點都能透過這個轉換矩陣，投影到與樣板影像一致的平面座標系統，如圖 2.1-1 所示。相對於一般透過局部影像特徵點比對的影像對齊策略，ECC 影像對齊技術更著重在整體畫面對齊前後的一致性，避免因局部特徵點分布不均或大量離群值(outlier)發生而錯估了轉換矩陣，且對光影變化有著很好的容忍性。根據本計畫實際使用經驗來說，此方法可以獲得可靠且十分穩定一致的空拍影片，且在 OpenCV 函式庫上有對應函式可供方便調用。ECC 影像對齊演算法可分為以下數個步驟：

- 一、讀取彩色影像 (包含目標影像及其他影像)。
- 二、轉換彩色影像為灰階影像。

- 三、選擇一運動估測模型(motion model)。
- 四、配置記憶體空間貯存轉換矩陣。
- 五、使用 ECC 相關係數法進行轉換矩陣估計，反覆迭代直到滿足設定之終止條件。
- 六、將其他影像以估測所得之轉換矩陣進行影像對齊。



資料來源：G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis (2008)

圖 2.1-1 影像對齊之流程示意圖

圖 2.1-2 至圖 2.1-4 為利用 ECC 影像對齊技術以空拍影像中首張影像為樣板之對齊結果。由圖中可明顯發現空拍機所拍攝之首張影像(圖 2.1-2)，在 5 分鐘後有了明顯的位置改變(圖 2.1-3)。原本首張影像中大致水平的橫向道路，在 5 分鐘後產生了明顯的順時針方向傾斜。但在經過影像對齊處理之後(圖 2.1-4)，橫向道路重新旋轉回到水平的位置，影像邊緣的黑色區域則是屬於旋轉前的原影像外區域，因此缺乏實際影像內容資訊。在經過影像對齊處理後，後續的影像資料才能在同一個平面座標系統進行分析處理，減少車輛軌跡因無人機晃動位移而產生顯著誤差。



圖 2.1-2 首張空拍影像圖

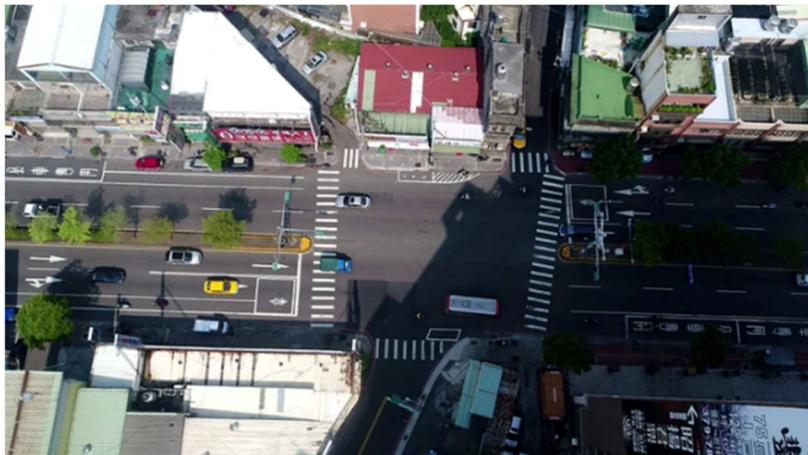


圖 2.1-3 第 5 分鐘空拍影像圖

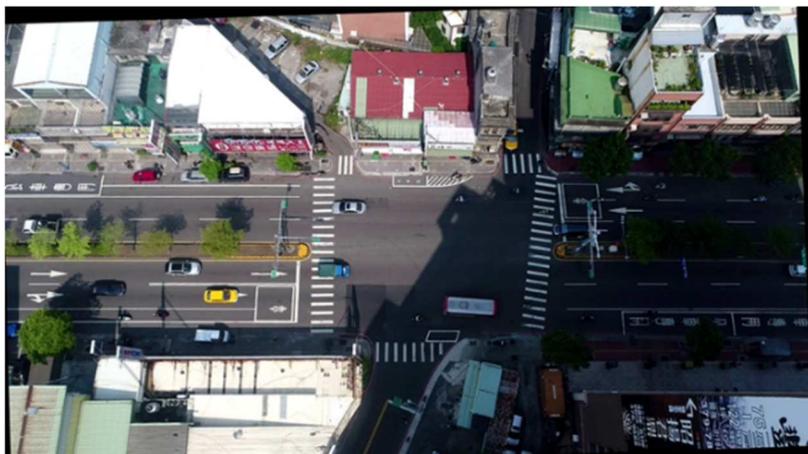


圖 2.1-4 經對齊之第 5 分鐘空拍影像圖

由於影片穩定化過程中，每張畫面的對齊都需反覆計算 ECC 相關係數，對轉換矩陣參數進行迭代，因此頗為耗時。特別是隨著畫面增大，計算時間上也會快速增長。為此，本計畫在 111 年期計畫中，引入了 GPU 版本的 ECC 穩定化處理與及最佳化的參數設定，相對於

原本的 CPU 處理時間，大幅縮短至原處理時間的 1/3 以下。

2.1.2 針對空拍影像之偵測技術

一、影像偵測技術發展

在一般的物體檢測任務中，以物體之上、下、左、右邊界所形成的矩形正框已經被廣泛用於指示物體的位置。無論是採用先預測大量物體位置，再對每個預測位置進行篩選、分類、位置校正的兩階段偵測器，如 Faster RCNN (S. Ren, K. He, R. Girshick, & J. Sun, 2017) 等；抑或是捨棄早期的物體位置預測，直接在畫面上均勻配置一定數量的偵測框，找出局部上最可能是物體的位置與分類，並篩選掉信心度不足者，如 YOLO (J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, & A. Farhadi, 2016) 等單一階段偵測器。儘管在早期，單階段檢測器的準確性基本上低於兩階段檢測器，但單階段架構容易達到更高的檢測速度，因而在實際應用層面上受到更大的關注與發展，最終獲得了不輸給兩階段檢測器的準確度，而在速度上更是遙遙領先。

為了獲得物體的位置和方向，同時消除背景干擾，研究人員提出了許多基於兩階段和一階段模型的方向性物體檢測器(Oriented object detector)。早期的方向性檢測器是基於兩階段方案，如 RRPN (J. Ma et al., 2018) 直接在 Faster RCNN 的區域候選網路(region proposal network, RPN)中加入角度參數，使候選的矩形框本身產生方向性。然後，通過旋轉感興趣區域(Rotated Region of Interest, RROI)，將任意方向的感興趣區域內容轉換為固定大小的特徵圖，以檢測畫面中的可旋轉矩型物體。在 R2CNN 中，Y. Jiang 等人(2017)提到，矩形框在旋轉 90 度和 -90 度時，角度差異最大但外形完全一致，這樣的矛盾可能會給網路學習帶來困難。因此，他們採用順時針方向的頭兩個角的座標(按 OpenCV 函式庫中定義的矩形框四個角之順序)和矩形框的高度來表示一個傾斜的矩形(x_1, y_1, x_2, y_2, h)。為了照顧長寬比較大的物體，他們還用不同的比例大小(7x7、11x3、3x11)進行 ROI 池化。為了彌補原本物體檢測器中角度資訊的不足，同時也學習了矩形正框與實際可旋轉矩形間的矩陣轉換變數。

近年來，方向性物體檢測器主要被應用於航空照片。由於航拍場

景中物體大小/方向的巨大變化和背景的複雜性，許多兩階段物體檢測器集中在更深層次的特徵提取和關注機制上。為了更好地整合不同尺度的特徵，R-DFPN (X. Yang et al., 2018)提出了密集特徵金字塔網路(Dense Feature Pyramid Network, DFPN)來提高特徵的使用率。ICN(S. M. Azimi, E. Vig, R. Bahmanyar, M. Körner, & P. Reinartz, 2018)結合了圖像級聯網路(image cascade network、特徵金字塔網路(feature pyramid network)和可變形概念網路(deformable inception network)等多個模組，在檢測定向物體方面取得了令人滿意的性能。SCRDet (X. Yang et al., 2019)在RPN之前增加了不同的注意模組，以更好地處理小物體和雜亂的導向物體。

除了上述的兩階段方案外，也有些單階段的方向性物體檢測器是基於較低的計算成本和記憶體要求而開發。例如，R-DFPN中角度訓練的難度，啟發了SAR (J. Lu, T. Li, J. Ma, Z. Li, & H. Jia, 2020)將一些旋轉角度參數從迴歸任務轉換為分類任務，以避免0度與360度的角度不連續問題。CSL(X. Yang & J. Yan, 2020)則進一步使用圓形平滑標籤(circular smooth label)技術，進一步對角度分類進行處理以獲得更穩健的預測結果，避免角度不連續的邊界問題。與兩階段檢測器不同，單階段檢測器無法預選出感興趣區域來進行池化或校正來減少特徵錯位的影響。R3Det(X. Yang, Q. Liu, J. Yan, A. Li, Z. Zhang, & G. Yu, 2021)通過重建特徵圖和使用更深的網路主幹，來提取更豐富的特徵來實現特徵對齊。RSDet(W. Qian, X. Yang, S. Peng, Y. Guo, & J. Yan, 2021)直接迴歸矩形框的四個角座標，並設計了新的旋轉損失函數，以避免角度迴歸過程遇到的不連續問題。

不管是兩階段還是單階段的方向物體檢測器，主要有三種不同的方法來賦予邊界盒方向：

- (一) 基於中心座標、寬、高與角度的5參數迴歸。
- (二) 基於四個角的8參數迴歸。
- (三) 基於角度分類。

基於5參數迴歸的方法通常是增加一個額外的參數 θ 來迴歸邊界框的角度。 θ 的範圍通常定義為 $[0^\circ, 90^\circ)$ 或 $[0^\circ, 180^\circ)$ 。OpenCV對旋轉矩形的角度表示法是以四個角中最下方角 (x', y') 做參考，將 $y=y'$ 做為 0° 之水平線。沿逆時鐘方向遇到的第一個邊即為寬(width)、與其

垂直者為高(height)；而第一個邊與水平線所成之夾角，即為旋轉矩形的角度 θ ，其範圍固定會落在 $[0^\circ, 90^\circ)$ ，如圖 2.1-5 (a) 所示。在此情況下，5 參數中的角度不僅每 90° 就會遭遇一次不連續，且同一矩形會隨其旋轉角度不同產生不同的寬與高之定義。為此，有些方法會將長邊定義為寬、短邊定義為高，來避免寬高混用的情況，甚至再進一步根據水平線遇到的第一個邊來調整角度，若為短邊則增加 90° 以期所成角度永遠為水平線與長邊之夾角，得到更大的角度連續範圍 $[0^\circ, 180^\circ)$ ，如圖 2.1-5 (b) 所示。然而這依然會在每 180° 時遭遇不連續之情況。由於車輛本身皆有頭尾之分，因此本計畫以車頭所在之邊的中心點做為矩形前端，將矩形前端與中心間連線，配合水平線所成之夾角做為角度，得到完整的 360° 角度範圍，並用 $u = \cos\theta$ 與 $v = \sin\theta$ 將不連續的一維角度數值，轉換成半徑為 1 的二維極座標 (u, v) ，以 6 參數取代 5 參數來避免實際鄰近角度的不連續性，如圖 2.1-5 (c) 所示。

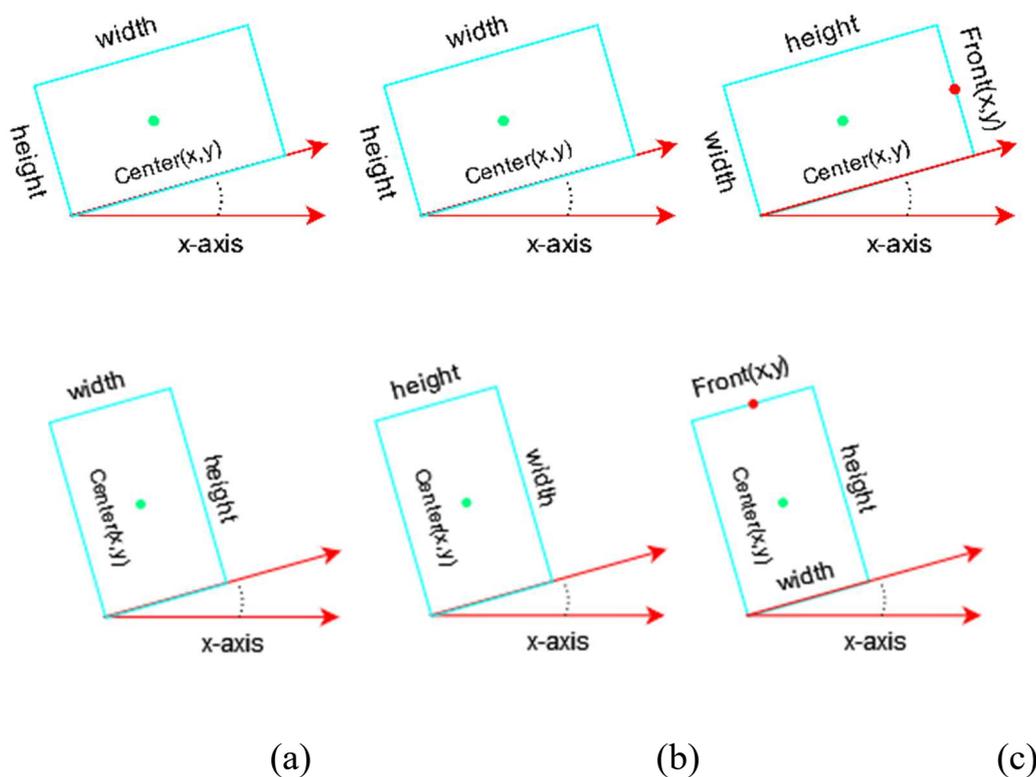


圖 2.1-5 (a)OpenCV 中的角度、寬與高；(b)以長邊為寬、短邊為高；(c)加上前端資訊

在基於 8 個參數的迴歸方法中(S. M. Azimi et al., 2018; Y. Xu et al., 2021; M. Liao, B. Shi, & X. Bai, 2018; M. Liao, Z. Zhu, B. Shi, G. S. Xia,

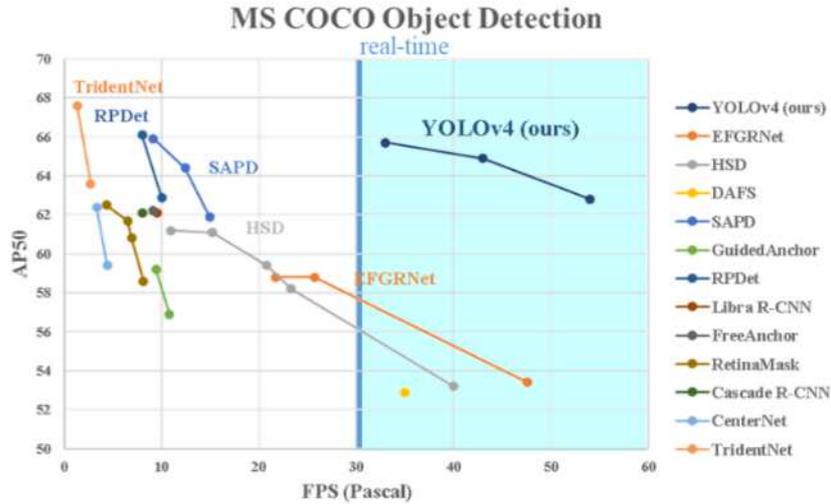
& X. Bai, 2018; W. Qian, X. Yang, S. Peng, Y. Guo, & J. Yan, 2021)，是直接對四邊形的四個角的座標進行迴歸。但由於四個角點在不同旋轉角度下難以達到一致的排序，邊界不連續的問題仍然存在；另一方面，迴歸出的四個角並不保證皆為直角，因此若用於表示車輛位置亦容易因形狀不受限，而產生出嚴重偏差。

最後，基於角度分類的方法(X. Yang et al., 2020; X. Yang, J. Yan, & T. He, 2022)主要是將角度從原本的迴歸任務轉移為分類任務。雖然這在根本上確實避免了邊界問題。然而，角度離散化引起了天生的精度限制，同時也增加了導入新的超函數所引起的網路調整困難。

在交通分析或航行分析中，車輛前端資訊可以讓車輛在靜止間亦得知其方向，有助於了解其是否可能違反行駛方向等問題，因此在前期的計畫中，本計畫提出適用於車輛的 6 參數迴歸模型，更進一步避免角度不連續的問題。為了實現高性能的物體檢測，本計畫基於由國內發展出的 YOLOv4 架構，開發新的車輛偵測技術來生成具有方向性，可以更好地擬合空拍影像中車輛位置的可旋轉矩形框。

二、YOLO 影像偵測技術發展

YOLOv4 架構是由 Alexey Bochkovskiy 與我國中央研究院資訊科學所所長廖弘源，以及其博士後研究學者王建堯所共同發表，可說是國內學者在深度學習領域的一項重大貢獻。新的 YOLOv4 主要是透過對近幾年來大量發展的偵測架構進行了全盤性的分析與測試，作者將各種架構與技巧區分為在訓練中提升準確度，但不會犧牲速度的贈品包(Bag of Freebies, BoF)，與在偵測中犧牲部分速度以提升準確度的特惠包(Bag of Specials, BoS)兩大類。透過大量的方法組合與測試驗證，取出在速度與效能上最具競爭力的組合結果。此外，作者也測試了 YOLOv4 在不同世代 GPU 架構下的表現，即使是以目前市面上消費級的單 GPU 產品(如 Pascal 架構下的 Nvidia GTX 1080ti)，都能達到 30fps 的即時處理要求，並達成了在同等速度下有著最佳準確度，以及同等準確度下有著最佳速度的表現，如圖 2.1-6 所示。

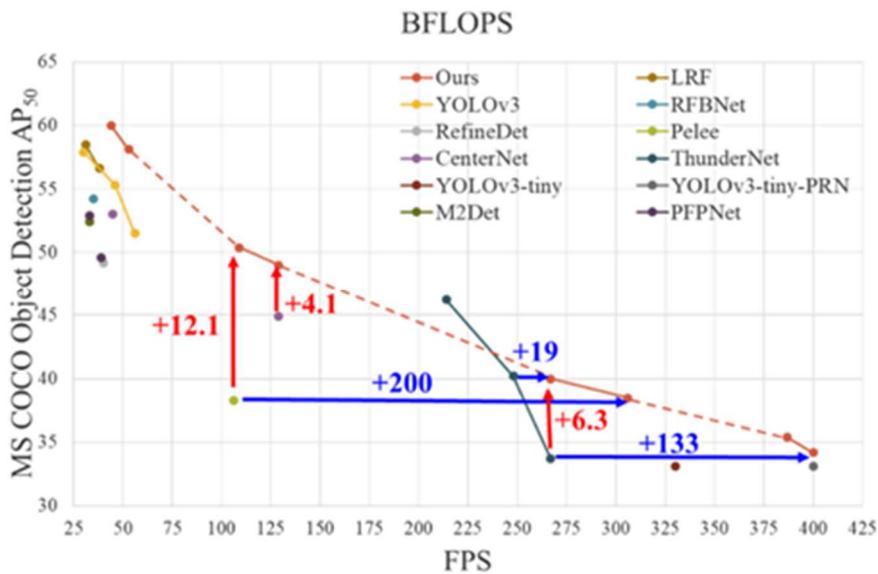


資料來源：A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao (2020)

註：AP50代表偵測重疊率在50%以上的平均查準率(Average Precision)

圖 2.1-6 Pascal架構GPU下的偵測表現比較

108年本計畫採用的是當時最新最有效的YOLOv3-CSPnet版本，在同等偵測速度下，此版本較原始YOLOv3版本AP50約可高出5~7個百分點(圖 2.1-7)；而YOLOv4較原始YOLOv3版本AP則可高出近7~10個以上百分點。



資料來源：C.Y. Wang et al. (2020)

圖 2.1-7 YOLOv3-CSPnet效能圖

回顧前期計畫中，本計畫最終提出了 Oriented YOLOv4 (T. H. Lin

& C. W. Su 2022), 並針對解析度為 1920×1080 的空拍影像進行訓練、偵測等測試。訓練樣本使用了無人機搭載高解析度攝影機, 在 29 個不同的路口進行空拍錄製。由於可旋轉框的人工標註成本巨大, 因此本計畫利用前期訓練資料產生初步偵測模型, 透過該模型從數十部路口影片偵測結果中, 透過人工挑選出 723 張錯誤情況較明顯的路口空拍照片進行二次訓練, 並再挑選 200 張空拍影像做為測試。部份路口場景如圖 2.1-8 所示, 訓練與測試資料中各類別的車種數量資訊如表 2.1-1。



圖 2.1-8 訓練的幾個路口場景

表 2.1-1 各類別的訓練及測試數量

	訓練資料	測試資料
行人	4061	1823
自行車	467	331
機車	26314	9661
小客車	14924	4958
貨車	2035	850
大客車	605	171
聯結車頭	153	110
聯結車身	151	111
總物件數	48710	18015
總影像數	723	200

此外，本計畫也將 Oriented YOLOv4 與其它目前主要的旋轉框偵測方法進行了比較，選擇了世界上最大規模的 DOTA1.0 做為比較的資料庫，如圖 2.1-9。DOTA1.0 包含了 2806 張來自不同感測器和平臺的圖像。圖像的大小從大約 800×800 到 4000×4000 不等。完全注釋的 DOTA 圖像包括 188,282 個物體，每個實例由一個任意的四邊形所框選，並分為 15 個類別：飛機(PL)、棒球場(BD)、橋樑(BR)、田徑場(GTF)、小型車輛(SV)、大型車輛(LV)、船舶(SH)、網球場(TC)、籃球場(BC)、儲槽(ST)、足球場(SBF)、路口圓環(RA)、港口(HA)、游泳池(SP)、直升機(HC)。依 DOTA1.0 測試標準，隨機選擇一半的原始圖像做為訓練集，1/6 做為驗證集，1/3 做為測試集。原始圖像裁剪成 1024×1024 的區塊，重疊位移設置為 512。最後，得到了 29,457 個影像區塊用於訓練過程。實驗結果如表 2.1-2 所示，紅字為 mAP 最高者。本計畫所開發的 Oriented YOLOv4(即 Method 欄位為 Ours 者)採用的骨幹網路為 CSPDarknet53，在特徵擷取能力上大約接近 ResNet101，較遜於 ResNet152。由於設計上針對了車輛的方向性，因此對於首尾難以區分的橋樑、田徑場等表現普遍較差，但在首尾方向

性明顯且大致能被矩形包覆的物體上表現突出，如大型車輛、小型車輛、船舶等，均取得最佳表現。在一般情況下，由於 YOLOv4 本身的高效率特性，速度為其它方法的兩倍快，雖然表 2.1-2 許多方法未列實際的每秒處理幀數(Frame Per Second, FPS)，但根據其架構與在其它骨幹網路、硬體上之表現推估，幾乎都在 10 fps 到不足 1 fps 之間。若採用測試期擴增(test time argumentation)條件(即 Method 欄位位為 Ours(tta)者)，則會合併原偵測結果與將影像水平翻轉之偵測結果，在車輛偵測上可再進一步獲得提升。

整體來說，由於 YOLOv4 本身的高效率架構，相對於兩階段偵測架構方法(即表 2.1-2 中前半段的 R²CNN、RRPN、...、CenterMapOBB)有著明顯的偵測速度優勢；即便是相對於一階段偵測架構(即表 2.1-2 中後半段的 Cascade-FF、BBAVrctor、...、CSL)，YOLOv4 也是有著更高效的架構，而基於 YOLOv4 的 Oriented YOLOv4 在偵測上自然也保有了原本的高速偵測、硬體加速需求小、架構彈性大易於適應不同需求(如在 1920×1920 等大尺寸影像上偵測)。在具有頭部結構的大小車輛(LV、SV)、船隻(SH)等交通工具的偵測準確度上，更是領先現今絕大多數的其他方法。

表 2.1-2 Oriented YOLOv4與其他選轉框方法比較表

Method	backbone	PL	SV	LV	SH	HC	BD	BR	GTF	TC	BC	ST	SBF	RA	HA	SP	mAP	FPS
R ² CNN	ResNet101	80.94	59.92	50.91	55.81	48.22	65.67	35.34	67.44	90.67	66.92	72.39	55.06	52.23	55.14	53.35	60.67	
RRPN	ResNet101	88.52	51.85	56.19	57.25	53.58	71.20	31.66	59.30	90.81	72.84	67.38	56.69	52.84	53.08	51.94	61.01	
RoI-Transformer	ResNet101	88.64	68.81	73.68	83.59	47.67	78.52	43.44	75.92	90.74	77.27	81.46	58.39	53.54	62.83	58.93	69.56	5.90
SCRDet	ResNet101	89.98	68.36	60.32	72.41	65.21	80.65	52.09	68.36	90.85	87.94	86.86	65.02	66.68	66.25	68.24	72.61	
MFIAR-Net	ResNet152	89.62	70.13	67.64	77.81	62.11	84.03	52.41	70.30	90.85	85.40	86.22	63.21	64.14	68.31	70.21	73.49	
Gliding Vertex	ResNet101	89.64	73.01	73.14	86.82	57.32	85.00	52.26	77.34	90.74	79.02	86.81	59.55	70.91	72.94	70.86	75.02	10.00
Mask OBB	ResNeXt101	89.56	76.52	74.16	85.63	63.32	85.95	54.21	72.90	89.85	83.81	86.48	54.89	69.64	73.94	69.06	75.33	6.20
FFA	ResNet101	90.10	71.00	79.90	83.50	63.70	82.70	54.20	75.20	90.70	83.90	84.60	61.20	68.00	70.70	76.00	75.70	
APE	ResNeXt101	89.96	74.01	77.16	79.45	65.55	83.62	53.42	76.03	90.83	87.15	84.51	67.72	60.33	74.61	71.84	75.75	
CenterMap OBB	ResNet101	89.83	77.66	78.32	87.19	66.06	84.41	54.60	70.25	90.66	84.89	85.27	56.46	69.23	74.13	71.56	76.03	6.30
Cascade-FF	ResNet152	89.90	68.20	75.20	75.60	50.10	80.40	51.70	77.40	90.80	78.80	84.40	62.30	64.60	57.70	69.40	71.80	
BBAVectors	ResNet101	88.35	78.43	78.98	87.94	55.70	79.96	50.69	62.18	90.85	83.58	84.35	54.13	60.24	65.22	64.28	72.32	
SARD	ResNet101	89.93	68.41	61.18	66.00	68.03	84.11	54.19	72.04	90.82	87.79	86.59	65.65	64.04	66.68	68.84	72.95	
GLS-Net	ResNet101	88.65	73.30	72.16	84.68	60.42	77.40	51.20	71.03	90.87	80.43	85.38	58.33	62.27	67.58	70.69	72.96	
DRN	Hourglass104	89.71	76.22	74.43	85.84	58.48	82.34	47.22	64.10	90.57	86.18	84.89	57.65	61.93	69.30	69.63	73.23	
FADet	ResNet101	90.21	73.18	68.27	79.56	64.86	79.58	45.49	76.41	90.83	83.40	84.68	53.40	65.42	74.17	69.69	73.28	
SAR	ResNet101	90.89	68.07	72.31	81.24	63.48	82.67	49.75	69.90	90.27	88.19	82.43	62.08	66.43	66.20	68.34	73.48	15.53
R ² Det	ResNet152	89.49	70.92	78.66	78.21	67.17	81.17	50.53	66.10	90.81	85.26	84.23	61.81	63.77	68.16	69.83	73.74	
RSDet	ResNet152	90.10	70.20	78.70	73.6	63.70	82.00	53.80	68.50	91.20	87.10	84.70	64.30	68.20	66.10	69.30	74.10	
GCL	ResNet152	89.70	78.98	74.78	85.86	68.91	83.34	55.44	67.31	90.82	85.56	85.33	65.56	61.52	72.30	78.11	76.23	
CSL	ResNet152	90.13	77.32	72.98	85.94	70.08	84.43	54.57	68.13	90.74	85.95	86.36	63.42	65.82	74.06	73.67	76.24	
Ours	CSPDarknet53	87.63	78.66	77.99	88.68	59.20	80.60	43.65	56.12	90.85	78.13	86.78	44.32	59.34	68.13	71.50	71.44	35.70
Ours(tta)	CSPDarknet53	88.94	79.37	83.84	88.65	59.78	82.19	43.22	60.15	90.83	83.52	87.37	51.30	66.27	72.52	70.46	73.89	20.40

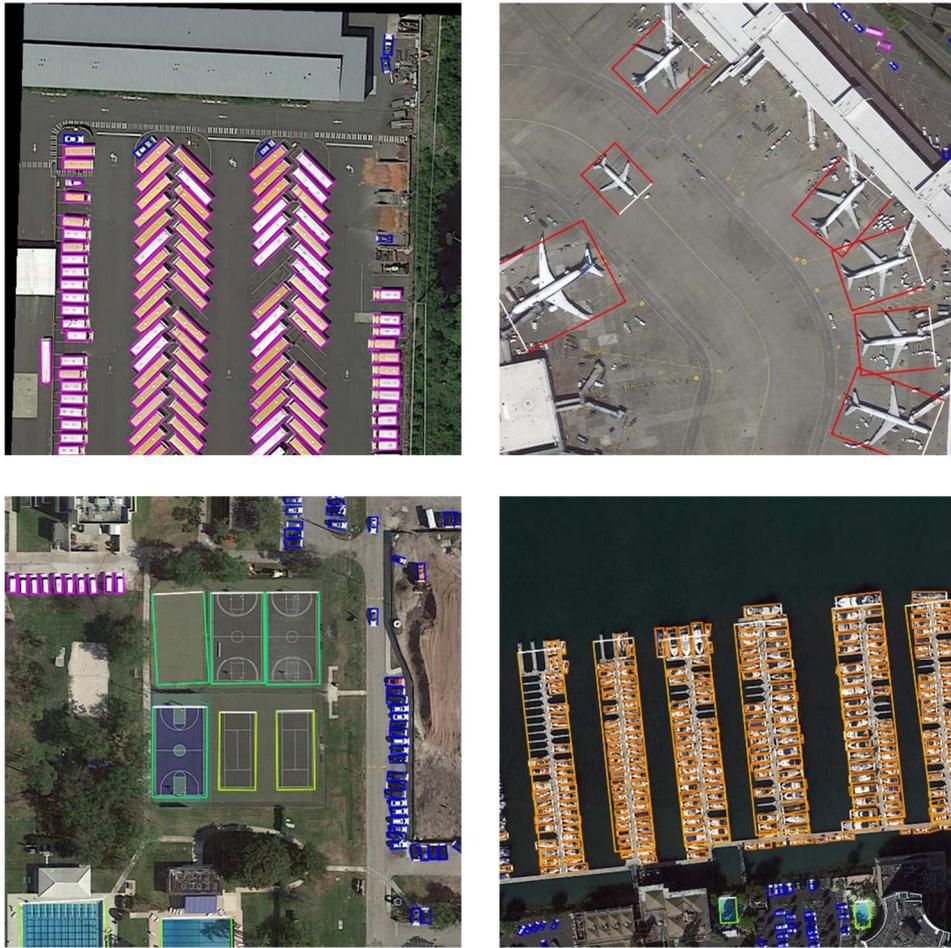


圖 2.1-9 部分DOTA1.0上的偵測結果

就在 YOLOv4 出現的兩個月後，美國新創公司 Ultralytics 發表了 YOLOv5 (C. Li et al, 2022)。然而 YOLOv5 在發表的同時，也帶來了大量是否應該繼承 YOLO 名號的爭議。相對於 YOLOv4 曾取得 YOLO 原作者 Joe Redmon 對名稱使用上的同意，YOLOv5 除了未向原作者取得同意外，在發表 YOLOv5 專案的同時亦未發表對應的論文文獻，且在方法上受到延續了 YOLOv4 方法但創新度不足、實驗數據不夠明確等質疑。另一方面，Ultralytics 過去有著在 Pytorch 平台上實現 YOLOv3 的成績。由於 Pytorch 有著更成熟的開發生態，在軟硬體支援上更為簡單，部署也更加容易，加上 Ultralytics 對 YOLOv5 專案的積極維護，因此 YOLOv5 相對也有著更完整的工具支援，與及更好上手的開發環境，因此受到不少軟體開發者的喜愛，但由於官方未提供正式的論文或競賽實驗數據，因此也缺乏研究上的客觀比較數據。

111 年 6 月，中國美團視覺智能部基於 RepVGG 架構(X. Ding et

al, 2021)設計了可重參數化的網路，以 YOLOv6 的名號出現。YOLOv4 作者群原本也打算在同時提出他們的新方法，但因稍晚一步而只好將其架構名稱改為 YOLOv7 (C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H.-Y. M. Liao, 2022)，並於隨後 7 月發表，這使得 YOLOv6 與 YOLOv7 在一個月內先後問世。兩者在速度上都達了極致，但相較下 YOLOv7 仍略勝一籌。

YOLOv8 是 Ultralytics 公司繼 YOLOv5 後，於今(112)年初推出的物件偵測模型。與其他 YOLO 系列一樣，它沿用了前幾代增加的技術/技巧，並同 YOLOv5 般在技術選項與功能上有著更豐富的支援。整體而言，由中研院王建堯博士等人所開發的 YOLOv4 與 YOLOv7 傾向於開發新技術以提升偵測效果；Ultralytics 公司開發的 YOLOv5 與 YOLOv8 傾向於優化過程來提升實務上訓練結果的可靠性。從圖 2.1-9 官方提供的實驗結果來看，YOLOv8 的 mAP 表現不高於 YOLOv7 表現 2%；但從今(112)年 4 月的一篇文獻回顧論文中(Juan R. Terven and Diana M. Cordova-Esparaza, 2023)，YOLOv7 則有著較 YOLOv8 更好的偵測效果，如表 2.1-2 所示。另一方面，本計畫針對計畫目前蒐集的小型空拍行人資料庫，初步比較 YOLOv5、YOLOv7 與 YOLOv8 的表現，但由於 YOLOv7 與 YOLOv8 的開發較晚，模型樣式與解析度支援不如 YOLOv5 豐富完整，目前表現最好的反而是擁有較多特徵層，並支援 1920×1920 解析度的 YOLOv5-16 架構。YOLOv5-16、YOLOv7-E6E、YOLOv8-X 三者的 AP 分別為 0.781、0.751、0.724。

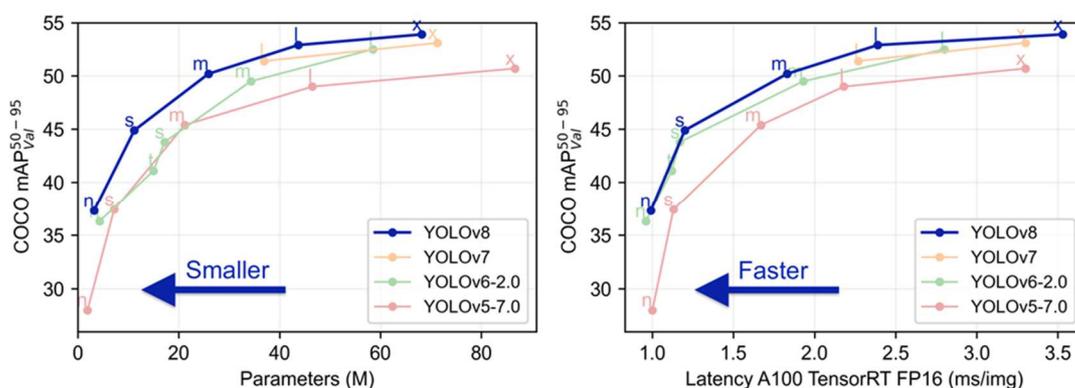


圖 2.1-10 YOLOv8官方實驗比較圖

表 2.1-3 YOLO系列在COCO2017資料集上的最佳偵測結果比較

Version	Date	Anchor	Framework	Backbone	AP (%)
YOLO	2015	No	Darknet	Darknet24	63.4
YOLOv2	2016	Yes	Darknet	Darknet24	63.4
YOLOv3	2018	Yes	Darknet	Darknet53	36.2
YOLOv4	2020	Yes	Darknet	CSPDarknet53	43.5
YOLOv5	2020	Yes	Pytorch	Modified CSP v7	55.8
PP-YOLO	2020	Yes	PaddlePaddle	ResNet50-vd	45.9
Scaled-YOLOv4	2021	Yes	Pytorch	CSPDarknet	56.0
PP-YOLOv2	2021	Yes	PaddlePaddle	ResNet101-vd	50.3
YOLOR	2021	Yes	Pytorch	CSPDarknet	55.4
YOLOX	2021	No	Pytorch	Modified CSP v5	51.2
PP-YOLOE	2022	No	PaddlePaddle	CSPRepResNet	54.7
YOLOv6	2022	No	Pytorch	EfficientRep	52.5
YOLOv7	2022	No	Pytorch	RepConvN	56.8
DAMO-YOLO	2022	No	Pytorch	MAE-NAS	50.0
YOLOv8	2023	No	Pytorch	YOLO v8	53.9

然而，即使 YOLOv7 在速度上比 YOLOv4 進步了兩倍，在效果上的差異並不十分顯著。從表 2.1-4 可見，在小物件(小於 32×32 像素面積)的 AP(Average Precision)表現上，也就是 AP_s 欄位，YOLOv7 較 YOLOv4-CSP 僅高出 1%；即便是表中表現最好、模型比標準 YOLOv7 大上 4 倍、浮點運算量大上 8 倍的 YOLOR-D6，比 YOLOv4-CSP 高出 8% 的表現，其 AP 也僅達 42.4%，遠不如 YOLOv4-CSP 對中型物件(像素面積介於 32×32 與 96×96 間，約為小客車或貨車尺寸)的偵測表現 55.6%。

表 2.1-4 YOLOv7與過往方法比較表

Model	#Param.	FLOPs	Size	AP ^{val}	AP ^{val} ₅₀	AP ^{val} ₇₅	AP ^{val} _S	AP ^{val} _M	AP ^{val} _L
YOLOv4 [3]	64.4M	142.8G	640	49.7%	68.2%	54.3%	32.9%	54.8%	63.7%
YOLOR-u5 (r6.1) [81]	46.5M	109.1G	640	50.2%	68.7%	54.6%	33.2%	55.5%	63.7%
YOLOv4-CSP [79]	52.9M	120.4G	640	50.3%	68.6%	54.9%	34.2%	55.6%	65.1%
YOLOR-CSP [81]	52.9M	120.4G	640	50.8%	69.5%	55.3%	33.7%	56.0%	65.4%
YOLOv7	36.9M	104.7G	640	51.2%	69.7%	55.5%	35.2%	56.0%	66.7%
improvement	-43%	-15%	-	+0.4	+0.2	+0.2	+1.5	=	+1.3
YOLOR-CSP-X [81]	96.9M	226.8G	640	52.7%	71.3%	57.4%	36.3%	57.5%	68.3%
YOLOv7-X	71.3M	189.9G	640	52.9%	71.1%	57.5%	36.9%	57.7%	68.6%
improvement	-36%	-19%	-	+0.2	-0.2	+0.1	+0.6	+0.2	+0.3
YOLOv4-tiny [79]	6.1	6.9	416	24.9%	42.1%	25.7%	8.7%	28.4%	39.2%
YOLOv7-tiny	6.2	5.8	416	35.2%	52.8%	37.3%	15.7%	38.0%	53.4%
improvement	+2%	-19%	-	+10.3	+10.7	+11.6	+7.0	+9.6	+14.2
YOLOv4-tiny-3l [79]	8.7	5.2	320	30.8%	47.3%	32.2%	10.9%	31.9%	51.5%
YOLOv7-tiny	6.2	3.5	320	30.8%	47.3%	32.2%	10.0%	31.9%	52.2%
improvement	-39%	-49%	-	=	=	=	-0.9	=	+0.7
YOLOR-E6 [81]	115.8M	683.2G	1280	55.7%	73.2%	60.7%	40.1%	60.4%	69.2%
YOLOv7-E6	97.2M	515.2G	1280	55.9%	73.5%	61.1%	40.6%	60.3%	70.0%
improvement	-19%	-33%	-	+0.2	+0.3	+0.4	+0.5	-0.1	+0.8
YOLOR-D6 [81]	151.7M	935.6G	1280	56.1%	73.9%	61.2%	42.4%	60.5%	69.9%
YOLOv7-D6	154.7M	806.8G	1280	56.3%	73.8%	61.4%	41.3%	60.6%	70.1%
YOLOv7-E6E	151.7M	843.2G	1280	56.8%	74.4%	62.1%	40.8%	62.1%	70.6%
improvement	=	-11%	-	+0.7	+0.5	+0.9	-1.6	+1.6	+0.7

2.1.3 多物件間追蹤技術

近年來由於物體偵測技術的可靠度大幅提升，許多基於偵測位置的追蹤技術(tracking by detection)應運而生，例如由 Bewley 等人(2016)所提出之 SORT 演算法即為其中經典方法之一。此方法透過卡曼濾波器將追蹤中多個目標對象，透過線性速度的假設來預測後續位置，並與透過 YOLO 等方法產生之偵測結果進行匹配。在多目標間的匹配問題上，則採用了俗稱匈牙利演算法(H. W. Kuhn, 1955)的匹配策略，以偵測目標 D 與追蹤預測目標 T 間的外接框重疊程度(IoU, Intersection over Union)為基準，計算整體上最低的匹配損失。若追蹤預測目標 T 超過一定幀數尋找不到適合匹配(預設為 IOU > 0.3)之偵測目標對象，則停止其後續追蹤。另一方面，由於偵測結果並不是百分之百可靠，因此對於無法匹配任何預測目標之新偵測結果，在對其建立新的追蹤目標後，需連續成功追蹤(找到適合匹配之偵測結果)數次，才會將其視為可靠的新出現物體。

SORT 演算法特點在計算快速的同時，也達到了多物體追蹤的頂級表現，較大的缺點主要發生於遮蔽嚴重時，帶來的追蹤對象編號改變問題。西元 2017 年一個基於 SORT 的新追蹤方法 Deep SORT(N.

Wojke, A. Bewley & D. Paulus, 2017)被提出，以改善前述問題。Deep SORT 主要特點在於加入了深度學習，對行人外觀資訊進行了訓練，做為額外資訊以改善偵測與追蹤對象在遮蔽發生時的匹配效果。然而，Deep SORT 基本上都是根據一般監視系統下的行人進行訓練，目前並無針對空拍畫面下車輛進行大規模訓練的 Deep SORT 模型，且該訓練主要是為了在遮蔽嚴重、缺少物體資訊的前提下的行人可能移動模式，如行人框的大小變化(走近走遠)與位移等；而空拍影像不會有遮蔽或尺寸變化等問題，因此 Deep SORT 對本計畫之情境幫助不大。

SORT 應用在幾無遮蔽發生的空拍影像上，仍是個效率與準確度表現極佳的多物體追蹤方法。儘管近年追蹤技術有逐步朝結合深度學習物件偵測的方向走，但實務上反而失去了可模組化的優勢，為避免系統在偵測上無法與時俱進時，只能整個系統打掉重新開發的窘境，目前建議仍採追蹤與偵測獨立模組的方式運行。

追蹤技術除了用於產生車輛軌跡外，也有助於改善車輛偵測階段的分類錯誤。透過對軌跡上各時間點的車輛分類結果進行投票，有助於修正偵測階段的個別分類錯誤。例如在偵測階段中，少數自行車誤分類為機車的情況，仍舊可以透過大多數的正確自行車分類結果，依靠多數決投票機制決定出正確的軌跡分類，將全程軌跡統一認定為自行車軌跡。另一方面，由於目前 SORT 演算法都是基於一般正框間之交聯比(IoU)，來決定追蹤標的在時間上的繼承關係，進而形成軌跡。由於在斜向道路上容易偵測出的車輛旋轉框，需先虛胖為外接正框才能接著進行比對追蹤的問題。在本期計畫中將就此一問題進行解決。

2.1.4 小結

根據前述的文獻回顧，本計畫已基於 YOLOv4 開發出適用於空拍下的兩輪與四輪車輛偵測技術 Oriented YOLOv4。每部車輛在經過視訊穩定化處理，並透過 SORT 對車輛位置進行追蹤後，產生車輛軌跡。然而，隨著斜向道路場景的增加，Oriented YOLOv4 對大客車等較長車輛容易產生角度偏差；SORT 基於正框交聯比的錯誤追蹤也變得較容易發生。本期計畫希望透過解決這兩個缺失，來進一步提升車輛軌跡在不同場景下的穩定度與準確性。

2.2 交通衝突技術

交通衝突技術的背景、原理、交通衝突指標等文獻回顧已於去(110~111)年度之報告書說明，本節將針對本(112)年之先導測試計畫應用情境議題進行回顧。

2.2.1 機會左轉衝突

「路口機會左轉」(opportunity for left turn) 泛指在沒有保護左轉時相的路口車輛進行左轉之行為，會與對向直行車流產生衝突。根據曾平毅等人(2008)之討論，衝突左轉是號誌化路口控制之重要議題，如左轉車流量大且道路幾何條件許可下，通常會設置左彎專用車道或配合保護左轉時相；但當對向直行之車流量較大，無法設置保護時相，卻有允許左轉的情況下，則會產生衝突左轉之情境，左轉車流必須利用對向車流之行車間距(Gap)而進行左轉通過路口。機會左轉會產生車道容量及路口安全之議題，若左轉車流量無法有效紓解時，等候左轉之車輛恐回堵至路口上游，若路口間之距離不足則會導致車道容量不足之狀況；在利用對向車流之行車間距進行左轉時，機會左轉之車輛也容易與對向直行車輛發生衝突(曾平毅等人,2008;黃衣淳,2020)。除了左轉車輛與對向直行車輛發生衝突以外，新聞上也常看見關於機會左轉事件所衍生的交通事故或紛爭，包含因為左轉車在路口區域停等尋找時機左轉，造成內線車道的空間被占用，使得後方欲直行之車輛受到左轉車占用內線影響而被迫變換車道至外側車道，並與外側車道之上游車輛產生衝突，如有偏心左轉設計及左轉專用號誌，應可降低此情境之發生頻率。左轉車輛如欲強行左轉，可能迫使對向直行車減速讓道，使得對向直行車與其上游的車輛因為急減速而產生衝突；另外還有因為同時有多台左轉車共用同一個對向直行車之行車間距，導致多台左轉車同時發生左轉行為，導致左轉車彼此產生側撞的風險衝突。

本計畫於 110 年時盤點路口常見問題，機會左轉事件為最主要的類型之一。機會左轉情境為當左轉車輛於未設有左轉保護時相的路口進行左轉時，與對向直行車所發生之衝突，該情境為國內最常見的路口肇事型態。盤點的討論過程中，亦有專家學者提出機會左轉情境會因路口的車道配置及車輛行為，而延伸出其他的次要衝突。後續將左

轉車與對向直行車之行為歸類為機會左轉之基本分析，左轉車與對向直行車以外之互動行為及其延伸出其他的次要衝突歸類為機會左轉之進階分析。

本計畫已於 110 年第一年期已完成機會左轉情境的基本分析，分析項目包含：

一、具風險之駕駛及用路行為：

指一輛車在行駛過程中進行具高風險之駕駛行為，但並未明顯違反交通規則，包括 4 項：先行左轉(搶先左轉)、燈號轉換期間左轉(搶黃燈)、左轉車未到達路口中央處左轉(過彎「切西瓜」)、清道時間結束後仍無法通過路口。

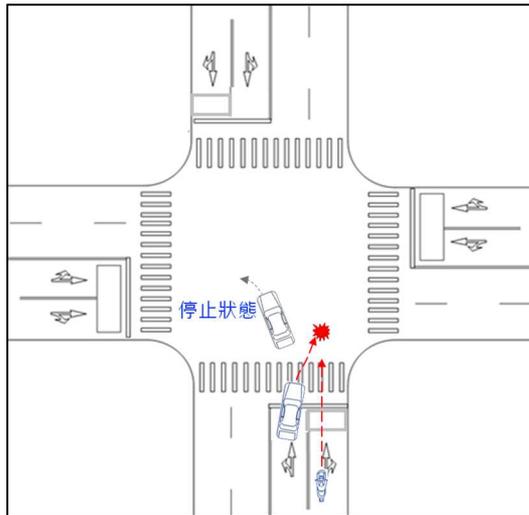
二、違規行為：

指一輛車在行駛過程中進行之駕駛行為，已明顯違反交通規則，包括 6 項：闖紅燈、紅燈跨越停止線、超速(法規速限)、超速(速限寬容值)、外側車道左轉(左轉未依規定)、機車於兩段式左轉路口直接左轉。

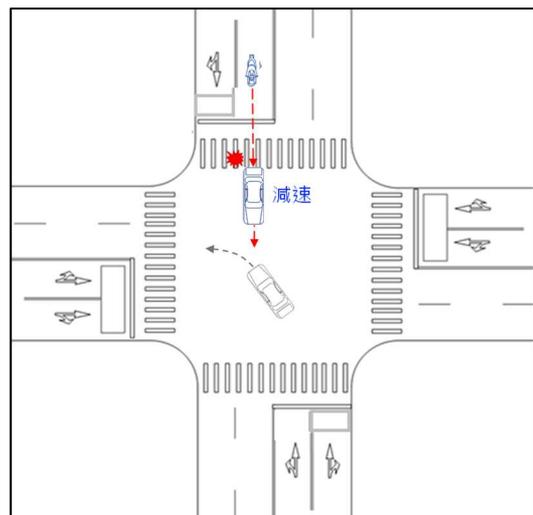
三、交通衝突：

指左轉車輛與對向直行車輛所產生之交通衝突，共 1 項：左轉衝突(強行左轉)。

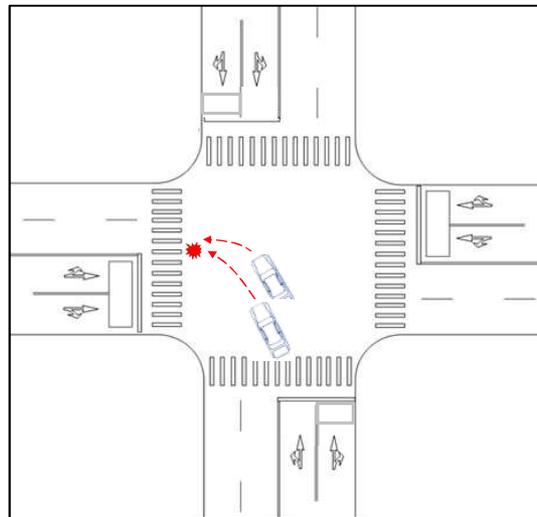
本 (112)年期將對機會左轉所延伸的次要衝突進行分析，包含 3 種情況 (a) 次要衝突 1：左轉車輛於路口停等導致上游車流變換車道之同向直行擦撞；(b) 次要衝突 2：對向直行車輛減速導致與其上游之同向直行追撞；(c) 次要衝突 3：兩車同時左轉導致之同向左轉擦撞。各個情況之示意圖如圖 2.2-1 所示，問題描述、對應肇事型態及可能肇因整理於表 2.2-1。本計畫將針對以上 3 種情況，設計相關的具風險之駕駛及用路行為、違規行為、交通衝突等分析項目，詳見 6.2.1 節。



(a) 次要衝突 1



(b) 次要衝突 2



(c) 次要衝突 3

圖 2.2-1 機會左轉之進階分析情境圖示

表 2.2-1 交通安全應用情境說明

交通安全應用情境	問題描述	對應肇事型態 ¹	可能肇因 ²
機會左轉 (基本分析)	沒有保護左轉時相情況下，左轉車與對向直行車之衝突問題	左轉穿越側撞	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未依規定讓車 2. 未注意車前狀況 3. 違反特定標誌(線)禁制 4. 左轉彎未依規定
機會左轉 (進階分析)	<p>「機會左轉」延伸的次要衝突：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 左轉車輛停等導致其上游車流變換車道產生衝突 ● 直行車輛減速導致其上游產生衝突 ● 兩車同時左轉產生之衝突 	<p>對應之衝突</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 同向直行擦撞 ● 同向直行追撞 ● 同向左轉擦撞 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 變換車道或方向不當 2. 未保持行車安全距離 3. 爭(搶)道行駛 4. 左轉彎未依規定 5. 未注意車前狀況

註：¹ 對應肇事型態：參考混合車流路口道路與交通工程設計範例之附錄 A 各肇事型態-交通安全工程改善設計範例。

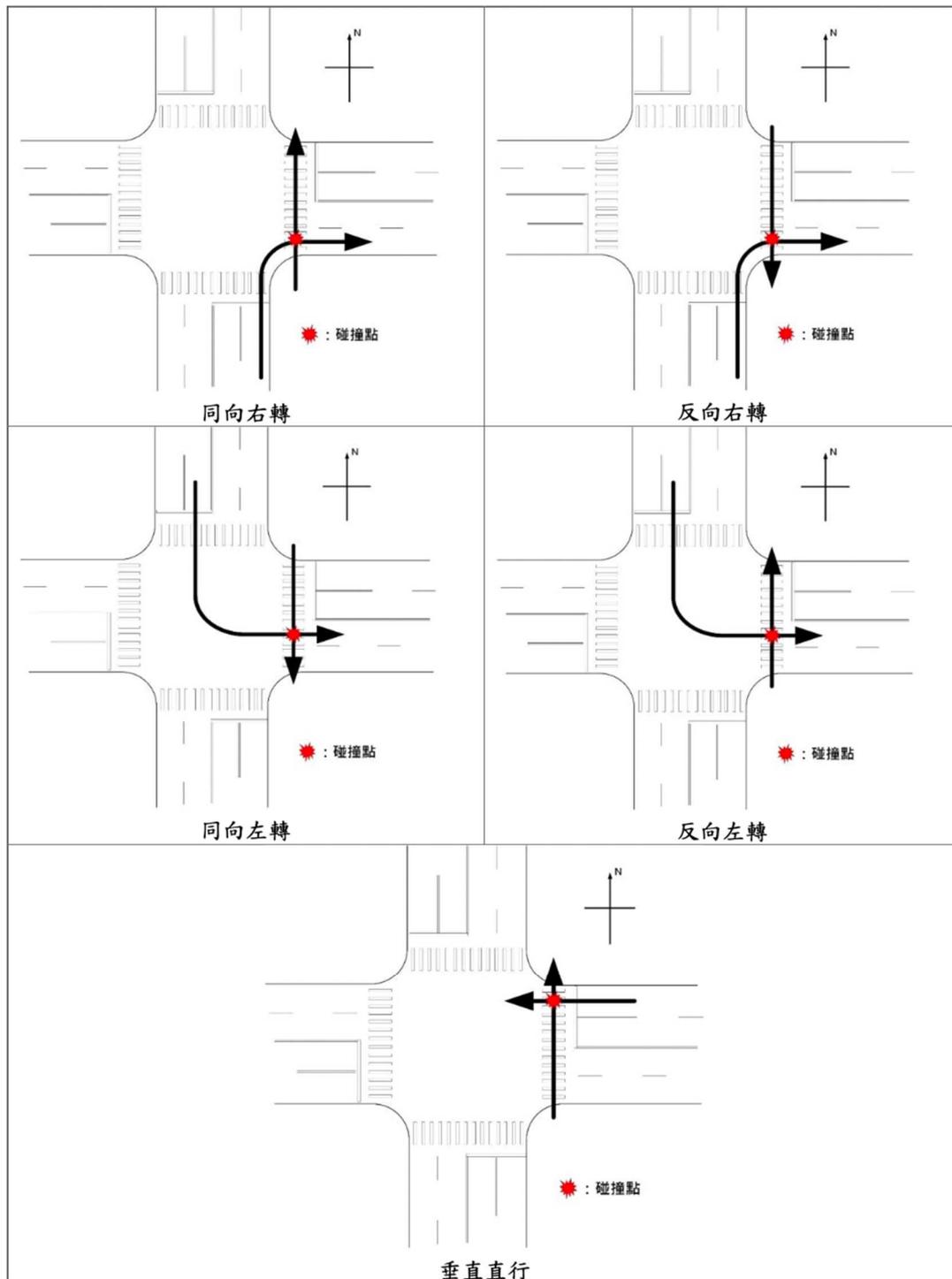
² 可能肇因：參考道安資訊查詢網之可能肇事原因。

2.2.2 人車衝突

「人車衝突」指車輛與穿越道路中之行人所發生之衝突。隨著我國高齡化社會到來以及提升路口行人安全，車輛與行人之事故為國內所重視的議題之一，故先期計畫(110 年)將人車衝突情境納入人車流動資訊分析的應用情境中，並在本期(112 年)進行研究與分析。

根據 107 年「市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊」案(內政部營建署，2020)針對人行設施發展安全評估方法與準則，做為路口交通工程設計與改善的參考依據。當中將人車碰撞事故依據車行向與人車相對位置細分成 5 類：同向右轉、反向右轉、同向左轉、反向左轉、垂直直行，其中同向係指車輛在轉彎前的行向與行人同方向，反向則係車輛在轉彎前的行向與行人反方向，如圖 2.2-2 所示。該研究採用 50 個路口的行人事故進行分析，結果如表 2.2-2 所示，

發現同向的轉彎人車事故最多，可能係因視線遮蔽影響；反向的轉彎人車事故可能係因車輛未禮讓行人，進而導致事故發生；人車相對方向為垂直的事故可能是有一方違規或是時相、車速等原因。此分類可用做為本計畫對人車衝突事件分類之參考。



資料來源：107 年「市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊」案

圖 2.2-2 人車事故型態示意圖

表 2.2-2 人車事故分類數量

人車相對方向	車行向					
	右轉	左轉	迴轉	直行 (路口外)	直行 (路口內)	未知
同向	102	101	1	1	3	0
反向	44	45	7	1	0	0
垂直	1	1	0	50	99	0
未知	4	1	0	9	11	9

資料來源：107 年「市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊」案

該研究亦以影像資料進行微觀分析，透過車輛與行人之軌跡，探討庇護島、枕木紋行人穿越道線及路口轉角半徑的設計對於用路人之影響，並針對 4 種安全效果，提出 8 個指標，包括車輛接觸行穿線時角度、進入行穿線前車速、車輛通過分散度、車輛提早左轉比率、車輛壓到人行道比率、車輛未禮讓行人比率、行穿線未遵行比率、行人號誌違規率，用做安全效果的評估，探討改善行人設施事前事後之影響，行為指標定義如表 2.2-3 所示。

表 2.2-3 行人全行為指標定義

安全效果	指標	指標對象	定義	正向安全效果
行人可見度提升	車輛接觸行穿線時角度	車輛	車輛接觸行穿線時，車身與行穿線的夾角	增加角度
車速降低	進入行穿線前車速	車輛	抵達行穿線前兩秒平均速度	降低車速
人車分離	車輛通過分散度	車輛	該週期中，車輛抵達行穿線時，與路緣距離的標準差	降低分散度
	車輛提早左轉比率	車輛	該週期中，車輛尚未通過行穿線與分隔島中心線延伸交點即進行左轉的比率	降低比率
	車輛壓到人行道比率	車輛	該週期中，所有右轉車輛壓到人行道車輛的比率	降低比率
規範遵循	車輛未禮讓行人比率	車輛	該週期中，車輛抵達行穿線時 10 m 內有行人的車輛數中，3 m 內有行人的車輛數。	降低比率
	行穿線未遵行比率	行人	該週期中，路口內所有行人時點中未行走在行穿線上的時點比率	降低比率
	行人號誌違規率	行人	該週期中，路口內所有行人時點行人紅燈時仍在路口內的時點比率	降低比率

資料來源：107 年「市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊」案

本計畫在設計人車衝突應用情境之分析項目時，將參考上述之衝突類型及分析指標，做為判斷車輛是否有遵守交通安全規則之依據。

2.2.3 交通衝突之相關研究

本系列研究透過蒐集車流軌跡，分析多種情境下之交通衝突，發掘路口潛在問題，協助道路管理機關提早進行路口交通安全分析及改善，然而不同情境下適用之交通衝突指標與定義安全之門檻值需進行文獻探討。此外，除了以衝突分析發現潛在問題外，訂定合適之改善方案亦十分重要，故本計畫也針對交通衝突的分析方法及如何應用分析結果產生交通改善方案進行回顧。以下針對兩個議題分別探討。

一、人車衝突指標之門檻值訂定

在先期(110~111)年度之研究主要探討車輛間互動情形造成的安全議題，使用碰撞時間(Time To Collision, TTC)及後侵占時間(Post Encroachment Time, PET)做為評估之指標。然而人車間的互動情形相較車輛與車輛間的情形有所差異，如將傳統用於評估車輛衝突的指標在套用在人車衝突的情境中，不一定完全適合使用，需要加以調整或修正，且評估指標的選擇與衡量風險的門檻值亦可能不相同。過往文獻針對人車流軌跡資料的評估指標已有相關的探討，包括路口攝影機、無人機空拍影像、光達偵測器等資料獲取方式，亦指出使用 TTC 與 PET 指標進行評估有高估或低估的可能，因此提出修正或創新之評估指標。故本計畫於此節針對人車衝突評估指標之相關文獻進行回顧，說明適合使用於人車衝突之評估指標與衡量衝突風險之門檻值，做為後續建立分析項目與定義風險門檻值之參考依據。

在國外的文獻中，針對人車衝突已發展出眾多之指標以彌補或包含與車輛間衝突的行為差異，Chen 等人(2017) 使用無人機拍攝北京一號誌化路口之影像，逐幀偵測道路使用者之軌跡，再以卡爾曼濾波(Kalman filtering)平滑軌跡資料以減少測量誤差，以探討行人與車輛之衝突。關於評估人車衝突的指標，Chen 等人(2017)指出，後侵占時間(PET)僅考慮道路使用者與潛在衝突點交會之時刻，易於測量，但無法反映人車交會整體過程中的安全，因此 PET 做為指標有其侷限性；而碰撞時間(TTC)定義為「兩道路使用者保持當前速度與軌跡繼續行駛，距離碰撞前所剩餘的時間」，因此 TTC 易於觀察車輛間因後車速度大於前車的追尾衝突；然而，在人車衝突事件中，行人與車輛的軌跡通常不沿同一方向前進，若是車輛與行人之預測軌跡並不存在

同時重疊，TTC 在此情況下將難以偵測。此研究使用相對碰撞時間(Relative Time to Collision, RTTC)，其定義為「車輛或行人保持當前速度的情況下，兩者到達潛在碰撞點之時間差」，計算方式為：「車輛與潛在衝突點的距離除以車輛速度」，與「行人與潛在衝突點的距離除以速度」兩者相減之值。RTTC 克服了人車交會行為中，人與車輛不一定能觀察到 TTC，但兩者抵達潛在衝突點時間相近的狀況。此研究中，若兩道路使用者之 PET 或最小 RTTC 小於 3 秒，此研究便將其定義為衝突事件。最後，研究結果表明，行人於行穿線外之交通衝突風險較高、轉彎處之右轉車輛的風險行為相對較高。

Zhang 等人(2020) 使用 GRU(Gated Recurrent Unit)類神經網絡模型進行人車衝突事件預測，並指出單一指標並不足以完全反映真實情況的全貌。此研究使用兩號誌化路口之 CCTV 取得車輛軌跡資料，以後侵占時間(Post Encroachment Time, PET)、最小碰撞時間(Time To Collision, TTC)為分析指標，並且使用極值理論來選擇最佳閾值，以 Block Maxima 方法配適 GEV 分配(Generalized Extreme Value distribution)、Peak over Threshold 方法配適 GP 分配(Generalized Pareto distribution)，並建議 PET 閾值設定為 6 秒、TTC 閾值設定為 3 秒時，探討兩個模型配適度最佳。此研究將人車衝突事件按嚴重程度分為三個等級：當衝突事件之 PET 小於 6 秒且 TTC 小於 3 秒時，會被定義為嚴重衝突；PET 或 TTC 其一小於閾值時為輕微衝突；兩者皆無小於閾值，則為安全。分析結果顯示 GRU 模型對行人事件的準確率達 0.878，AUC(曲線下面積)達 0.865。

Kathuria 與 Vedagiri(2020)透過架設攝影機於印度的四個無號誌化路口，獲取影像擷取之軌跡資料，以半自動化的安全分析方法進行評估，分析異質車流情境下不同類型的車種與行人間的互動行為，並根據連續型的衝突指標建立兩種模式區分用路人行為，經過模式分析後，將人車互動行為事件依照不同嚴重程度分類為安全事件、溫和事件與衝突事件。在人車衝突的指標選擇上，Kathuria 與 Vedagiri(2020)指出碰撞時間(TTC)、間距時間(Gap Time)、後侵占時間(PET)三項指標最常用於評估車輛間衝突及人車衝突，而事故時間(TA)及速度也常用於人車衝突上，但 TA 為一連串 TTC 中用路人進行閃避動作的時間點，屬於離散之數值，故僅使用速度、TTC、GT 及 PET 做為指標，速度用來將事件分類為兩種模式，而用 TTC、GT 及 PET 評估人車衝

突事件的危險程度。該研究將行人受衝突區域而改變的路徑與其理想通過路口的路徑相減之值定義為最大橫向偏移量(LD)，並使用 85 百分位做為模式篩選標準，大於此標準的事件將納入模式做後續的衝突分析。模式一為行人或車輛有閃避行為的事件，模式二為兩者皆無閃避行為的事件，針對兩種模式使用輸入向量機(IVM)方法，以 TTC 與 PET 評估指標做為屬性資料，對 1486 個事件進行 4 層的交叉驗證，將事件分類為安全事件、溫和事件與衝突事件。經過分類後在模式一中 TTC 對分類的影響大於 PET，故以 TTC 為指標。當 TTC 大於 2.5 秒時被分類為安全事件；介於 1.2 秒到 2.5 秒屬於溫和事件；小於 1.2 秒則為衝突事件。另外在模式二中 TTC 與 PET 的影響程度類似，故合併兩者做為指標。當 TTC 大於 2.3 秒且 PET 大於 2.6 秒被分類為安全事件；TTC 小於 1.3 秒且 PET 小於 1 秒則為衝突事件；剩餘事件則歸類於溫和事件。所得結果可發現兩個模式獲得之安全指標門檻值相差不大，顯示即使在沒有採取閃避行為的人車互動行為中，仍會導致衝突事件的產生。

Amini 等人(2022)針對非號誌管控之道路環境進行研究，如道路中段行穿線區域與人車共用道路之區域，此二者皆需要用路人間穩定的互動以確保安全。該研究建立一個衝突風險評估的羅吉特模型預測人車互動事件為衝突或非衝突，使用碰撞時間(TTC)做為衝突事件的篩選條件，僅考慮小於 3 秒 TTC 的事件，再導入三個安全指標估計車輛在採取閃避行為後的空間接近程度、時間接近程度與速度：(1)最小距離(Minimum Future Relative Distance, MD)用以衡量用路人彼此距離的接近程度，並用來辨別新的碰撞點或計算距離接近度；(2)最小距離時間(Time to Minimum Distance, TMD)做為補充方法以描述用路人到達最短距離前的時間間距，能夠反映出用路人的速度變化；(3)衝突速度(Conflicting Speed, CS)表示當閃避行為發生且處在最小距離時對應衝突雙方中較大的用路人速度，用以填補速度基礎之指標在考量多種閃避行為下正確預測衝突的嚴重程度。根據過往研究，TTC 低於 1.5 秒之事件視為嚴重衝突，故將 TMD 小於 1.5 秒之事件視為嚴重衝突；當 MD 小於車種大小加上半個行人身體，即為嚴重衝突；而 CS 小於 1 公尺每秒時，表示車輛的煞停距離較短，可不視為衝突事件。綜上所述，將 CS 大於 1 公尺每秒且 MD 與 TMD 皆小於門檻的事件設定為重點事件。在指標門檻值的預測上，文中使用路口點法(Intersection point method)、P-tile 方法、最大組間變異法(Maximum

between-class variance method)及最小交叉熵法找出最佳之門檻值，並使用 F-score 做為衡量不同方法求得之最佳值。結果顯示 P-tile 方法在汽車與兩、三輪車輛間的 F-score 值皆大於其他三種方法，透過此方法能較精準預測非號誌管控之道路環境下的人車衝突事件。

綜上國外文獻所述，在評估人車衝突的指標上，仍多採用碰撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)，但需修改指標算法(如 RTTC)或引入其他車輛行為指標輔助判別的過程，提升評估安全的有效性。

二、交通衝突分析應用與改善方案

以下針對交通衝突分析及替代指標評估方法之應用與研究議題進行回顧。

Arun 等人(2021)對於交通安全代理指標進行系統性文獻回顧，提出一安全代理指標之概念框架，並將碰撞與衝突的關聯分類為四個面向：在統計關係上將衝突做為(1)解釋變數、(2)曝光量；在因果關係上將衝突視為(3)碰撞的替代事件、(4)碰撞的前兆。在估計安全代理指標之閾值的方法上，Arun 等人(2021)也統整了六種常見做法：(1)相關性方法；(2)基於統計分配之方法；(3)最佳化法；(4)分類法；(5)時間序列分析；(6)極值估計。綜上所述，安全代理指標(如 TTC 或 PET 等)已有需多過往文獻中將其應用於安全評估，其閾值亦會因為使用情境及估計方式有所不同。

事故資料應用於安全分析時，需要蒐集較長時間的資料，而若以年平均日交通量(Annual Average Daily Traffic, AADT)做為曝光量，無法代表一日內不同時間的交通流量變化。因此，Essa 與 Sayed (2018)使用影像資料分析號誌化路口追尾衝突，其分析單位為每個號誌週期，以 TTC 小於 1.5 秒做為衝突閾值，其研究結果顯示：大部分追尾衝突發生在一開始轉換紅燈與綠燈時、發生於接近停止線處；較長的車隊、較大的衝擊波及較低的車隊比例，會增加追尾衝突的發生次數。

Mishra 等人(2022)使用影像產生車流軌跡並分析交通衝突以提升路口交通安全及績效，該研究將衝突類型分為六種人車衝突(左轉車與近端行人衝突、左轉車與遠端行人端衝突、右轉車與近端行人衝突、右轉車與遠端行人衝突、直行車與近端行人衝突、直行車與遠端行人衝突)以及車與車衝突(機會左轉衝突、迴轉與對向直行衝突、右轉與直行匯入衝突、迴轉與左轉跟車衝突、車道變換與直行車衝突、跟車

衝突等)，將路口資料輸入後，得出衝突熱點與熱時之熱力圖，並估算通過流量，以此評估兩個路口的安全與績效，最後根據分析結果實施改善措施，包含改變時相順序或秒數、增加行人早開、增加行人保護時相。在實施改善措施後以相同方式進行路口安全與績效的評估，結果顯示其改善措施在第一個路口的上午並無改善，但對於下午時段有效，而在第二個路口的結果為減少了人車間的衝突，提升的行人在路口的安全。

2.2.4 小結

綜合以上之文獻回顧，今(112)年度將針對機會左轉與人車衝突做為情境選擇，考量各種不同的研究有其不同的研究目的而採用不同的指標與方法，本計畫參考過去研究最常用之交通衝突指標 PET 與 TTC，運用於本計畫之分析中，其分析項目將於後續第六章說明。

2.3 空拍影像應用於交通技術

使用無人機技術之應用持續增加，常見應用已由傳統的軍事需求如軍事監測、進攻行動、事件探勘、量測應用等轉為為非軍事用途之民用任務，如基礎設施監測、搜索救援行動、空拍記錄與需求性資料蒐集等需求，而無人機於交通應用中可協助安全改善或緩解壅塞等營運優化目的。Andrew S. Alden、Cristian Druta 與 Hyoshin John Park(2022)提及美國 50 個州中現已有 36 個州(72%)目前正使用無人機技術於交通應用，針對 9 項無人機交通應用透過問卷調查美國交通單位使用狀態，如表 2.3-1，顯示往後採用無人機於交通應用之趨勢。除此 9 項交通應用外，尚含其他交通應用服務，如控制評估(Control assessment)、交通流量(Traffic counts)、交通維運(Traffic maintenance)、匝道儀控評估(Ramp metering assessment)、特殊事件交通觀測(Special event traffic monitoring)、壅塞觀察(Queue observation)、即時交通影像(Live streaming traffic video)、圓環評估(Roundabout assessment)等，其中交通流量評估中亦針對潛在衝突區域進行事後衝突點分析，採用商業軟體 DataFromSky(DFS)進行密度、速度、軌跡、衝突點分析，請參考圖 2.3-1。

表 2.3-1 無人機交通應用列表

無人機應用	過去使用 (數量)	當前使用 (數量)	未來使用 (數量)	調查總數
交通特性 (車種、速度、數量等)	31%(4)	31%(4)	46%(6)	14
道路危險評估 (坑洞、天候、落石等)	23%(3)	62%(8)	31%(4)	15
緊急事件派遣	15%(2)	54%(7)	31%(4)	13
繫留無人機	0%(0)	8%(1)	54%(7)	8
汙染物偵測	0%(0)	0%(0)	0%(0)	0
自駕車服務協助	0%(0)	23%(3)	8%(1)	4
臨時性 Ad-Hoc 無線通訊 網路	0%(0)	0%(0)	23%(3)	3
道路危險緊急通報 (視覺警告駕駛員)	0%(0)	0%(0)	15%(2)	2
違規與交通意外停車通 報(卡車坡道停車)	0%(0)	8%(1)	8%(1)	2

Aerial Video Analysis Process

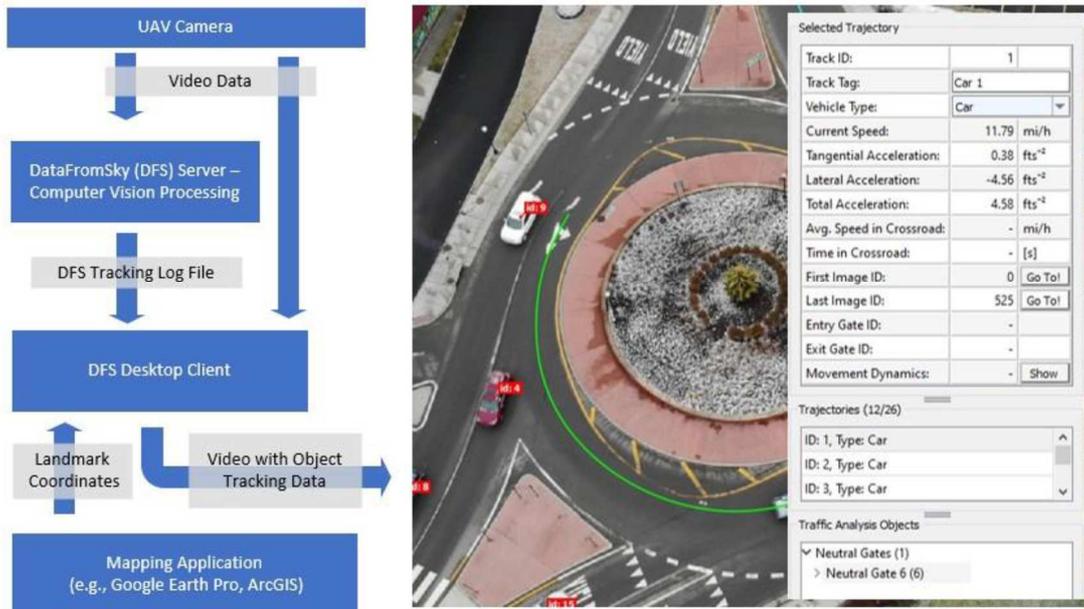


圖 2.3-1 使用DataFromSky分析交通應用流程圖

整理 Andrew 等人(2022)提及結論如下：

- 一、無人機技術目前正在被廣泛採用並迅速增加各種應用，隨著無人機技術的發展和法規的成熟，支援交通需求的無人機交通應用之範圍和規模，預計將顯著增長並變得更加主流。同時須將無人機使用納入標準作業流程，以確保安全、效率及符合法規規範。
- 二、無人機之交通車流分析可快速有效地蒐集車輛數量、分類、車速、衝突點、軌跡等交通流量數據，已大大超越傳統蒐集技術，並且更加適用於短期性、關鍵性、靈活性之交通需求。
- 三、無人機交通應用普遍問題需再被克服，如飛行時間短、天候不佳無法飛行(風、雨、夜間)、多樣化影像對 AI 視覺分析之影響。另一方面，隨著無人機軟硬體之技術提升，可自動規劃飛行航線，於遠端進行無人機的視距外操控，以加大影像數據蒐集的範圍。
- 四、無人機交通應用之服務可為交通資料提供(Video Data of Traffic)、潛在與已觀察到之車輛衝突分析(Potential and Observed Vehicle Conflicts)、基礎設施錯用(Misuse of Infrastructure)、違反交通控制(Violation of Controls)等服務。
- 五、無人機未來可能之應用將邁向更多元化落地服務，整理於表 2.3-2。

表 2.3-2 無人機可行之未來應用

類別	應用	描述
基礎建設補強	Ad Hoc 無線通訊網路	臨時性部署通訊網路，允許在無基地台通訊網路的情況下進行通信網絡建立
	道路緊急通報	部署無人機系統使用可視覺化影像將道路上的緊急情況提示駕駛員注意
	臨時性/緊急性號誌燈	於號誌燈失效或是臨時性需要號誌路口，提供無人機可視覺化號誌資訊
駕駛者輔助	自動駕駛輔助	提供駕駛者車輛當前位置之前數英里的地方協助資料，供自動駕駛車輛進行路線規劃

類別	應用	描述
	壅塞改道或特定車輛改道	擁塞期間車輛改道或特定車種(如大卡車)改道於受限制的道路
	停車場監視	優化停車場使用率
道路監測	路面監測	使用專門裝備的路面評估技術
	坑洞偵測	坑洞造成的交通影響
	動物移動偵測	動物偵測避免動物與車輛碰撞
	天候偵測	使用非視覺或視覺監測道路環境的天候狀況(如洪水、山體滑坡、大風)
	污染物偵測	使用無人機跟蹤污染物的應用
交通監測	流量特徵分析	監控經常性/非經常性之壅塞、道路施工、匯入等行為進行分析
	交岔路口分析	追蹤路口轉向流量
	速度分析	速度統計與測量
	惡劣天氣行為分析	監測惡劣天氣期間的交通模型
	量測接受間距	估計駕駛員在交岔路口接受間隙，以供容量分析使用
	危險物料運輸	進行危險識別和制定事故期間的安全措施
	疏散管理	極端氣候下進行疏散行為之交通觀測
	車道合併	車道合併駕駛行為監測
	特定車種管理	監控特定車種(大貨車)是否駕駛於外車車道等規定區域車道
事故監測	交通事故管理	即時性交通事故使用無人機提供交通資訊，協助快速恢復交通運輸能力
	第一線人員現場狀態獲知	急救人員取得無人機快速到達現場資訊，進行所需之派遣部屬
	碰撞地點資料蒐集	協助現場執法人員快速完成現場調查與事故清理

2.4 前 4 期研究之成果回顧

彙整本所 108 年至 111 年研究之成果，整理交通衝突分析軟體比較表，請參考表 2.4-1(上述的引用年會往後移 1 年，是因出版品為結案後隔年出版)。

表 2.4-1 108年至111年研究之成果列表

技術	項次	108年研究成果	109年研究成果	110年研究成果	111年研究成果
無人機空拍路口交通技術	最適拍攝參數	<ol style="list-style-type: none"> 1. 限航區拍攝方式 2. 號誌時相拍攝及對時 3. 使用無人機機型 DJI P4P 飛行高度 75 公尺，空拍範圍約 105x62 公尺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無人機適用機型比較 2. 整理無人機飛行作業程序 3. 使用兩款無人機機型進行拍攝，分別為 DJI P4P 飛行高度 75 公尺，空拍範圍約 105x62 公尺，以及 Parrot ANAFI 飛行高度 80 公尺，空拍範圍約 135x75 公尺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 訂定無人機空拍可行性評估條件 2. 修訂無人機現場空拍作業流程，新增比例尺量測及號誌側拍記錄，以利估算比例尺及號誌時相校正 3. 使用無人機機型 Parrot ANAFI，飛行高度 75 公尺，空拍範圍約 103x55 公尺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提升無人機空拍高度至 120m，擴大拍攝範圍並涵蓋路口停止線上游 60 公尺 2. 提高影像解析度至 4K 3. 使用無人機機型 Autel EVO II Pro，飛行高度 120 公尺，空拍範圍約 157x88 公尺
影像車流分析技術	四輪以上車種	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用 Mask R-CNN + region tracking 深度學習架構 2. 小客車、大客車之查全率與查準率 (Recall & Precision) 達 99% 3. 貨車查全率與查準率分別達 99% 與 91.8% 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用改良版 SCRDet 深度學習架構 2. 實驗驗證改良版 SCRDet 能更好的擬合正確的車體範圍，AP₅₀ 提升約 2%，AP₇₅ 提升約 5~6% 	針對空拍車輛開發單階段偵測器 Oriented YOLOv4，降低原本二階段偵測器對硬體運算的需求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 透過參數最佳化並引進 GPU 計算，大幅加速空拍影片穩定化效率 2. 針對大型車矩形框容易引發角度問題，提出基於影像後處理的校正改善辦法

技術	項次	108 年研究成果	109 年研究成果	110 年研究成果	111 年研究成果
	行人、自行車、機車	<ol style="list-style-type: none"> 採用 YOLOv3 + SORT 行人、自行車、機車之查準率皆達 95% 以上；查全率分別達 80.9%、55.9%、93.5% 	<ol style="list-style-type: none"> 採用 YOLOv4 + SORT YOLOv4 可達到運算效率更高，前期採用以 512x512 為輸入的 YOLOv3 模型，本期增加為 1024x1024 輸入的影像尺寸 	同樣透過單階段偵測器 Oriented YOLOv4 進行偵測。增加車頭方向資訊並改成輸出可旋轉之矩形框	<ol style="list-style-type: none"> 針對行人偵測進行增加解析度、引進動態特徵等試驗，但偵測結果並無顯著進步，目前的 YOLO v7 等主流架構亦無法有效進一步明顯提升偵測率。 針對自行車因訓練數少而可能導致偵測階段誤分類為機車問題，透過軌跡追蹤階段中的車種投票就可有效修正前述占少數的誤分類問題
交通衝突分析技術	衝突指標或分析工具	<ol style="list-style-type: none"> SSAM V3.0 開源程式 TTC、PET 等衝突指標資訊 	TTC/PET 衝突指標計算方法同 108 年	新增機會左轉衝突及穿越衝突分析工具	新增右轉衝突及非號誌化路口停讓衝突分析工具
	國內車流情境	經測試可分析汽機車混合車流衝突分析、路口車速分布分析、內輪差模擬分析	分流指向線效益評估、分流指向線圖、車輛橫向分布圖等	先導測試計畫規劃與分析，包含機會左轉及穿越衝突分析	先導測試計畫規劃與分析，包含右轉衝突及非號誌化路口停讓衝突之分析

技術	項次	108 年研究成果	109 年研究成果	110 年研究成果	111 年研究成果
	使用者篩選功能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 嚴重程度 2. 衝突類型 (Conflict types) 3. 車種、車流方向 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 衝突型態分類優化 2. 衝突事件進階過濾功能 	機車兩段式左轉衝突分類修正	新增機車兩段式左轉判斷線
	分析結果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 衝突事件表 2. 統計摘要 3. 衝突熱點圖、斑點圖 4. 影片展示 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 點選衝突點以回放影片 2. 交通量分析 (轉向量) 3. 車流特性計算與統計 4. 車流軌跡繪製功能 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 車速熱區繪製功能 2. 可透過視覺化圖表檢視機會左轉、穿越衝突潛在風險 3. 車流軌跡繪製功能升級,可依時間/車種/出入口等條件輸出 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 專案權限管理, 便於專案分享與應用擴散 2. 可透過視覺化圖表檢視右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突潛在風險 3. 軌跡/車速繪製提供快速鍵, 加速條件篩選及強化視覺效果 4. 衝突熱區影像疊合 5. 衝突影片所引回放功能升級

第三章 無人機空拍影像

本章首先於 3.1 節說明無人機作業流程及機型，包含 3.1.1 節 112 年路口空拍無人機介紹、3.1.2 節無人機實地空拍作業流程、3.1.3 節路口空拍活動申請狀況，於 3.2 節說明路口空拍實際辦理現況，於 3.3 節說明無人機資安議題。

3.1 無人機機型及作業流程說明

3.1.1 112 年路口空拍無人機介紹

本(112)年度仍採用前年度已使用之美國無人機 Autel EVO II Pro 進行拍攝，其主要優勢為盤旋飛行時間 35 分鐘(影像拍攝可達 25 分鐘)、抗風達 8 級風，以下為該無人機詳細介紹：

Autel Robotics 於西元 2014 年成立於美國，西元 2015 年靠著 EVO 系列躋身進入無人機市場。西元 2020 年隨著 EVO II 系列的問世，以及成熟的平台，無論是消費市場還是行業規格，Autel 系列無人機也在企業間漸漸成為不容忽視的一大品牌。Autel Robotics 旗下的主力無人機系列 EVO II Series 於西元 2020 年問世，有著不輸現在市面上無人機市場的操作界面以及飛行效能。其鏡頭模組也是跨領域等級，無論是在娛樂航拍或是在行業應用，Autel EVO II 系列都能在對應的領域獲得一席之地。

Autel EVO II 的外觀為亮眼的橘色機身及具摺疊式設計，並有 8 級抗風能力。在機身前、後、左、右與上、下方都各有 2 個視覺傳感器，而且機底更有超音波感應器，具備 360 度全方位避障能力，不怕飛行時意外撞到障礙物，讓使用者可以安心操作無人機。內建 7,100mAh 的可充電電池，在無風的最佳狀況可提供直飛 40 分鐘與盤旋 35 分鐘的飛行時間。

EVO II 系列根據機種所搭配的酬載，可分二種款式：EVO II、EVO II Pro。本計畫選擇的 EVO II Pro 起飛重量為 1191 克，很適合空中攝影或地圖製作用途，配備 Sony 的 1 英吋 IMX383 感測器，相當於 29mm 鏡頭、6K 解析度、ISO 100~12800，並有可調整景深的

f/2.8~f/11 可變光圈，雖然靜態照片解析度僅達 2,000 萬畫素，但仍可支援列印清晰的大尺寸照片。

EVO II Pro
Perfect for professionals



資料來源：Autel Robotics 官網

圖 3.1-1 市售小型無人機Autel EVO II Pro示意圖

Autel EVO II Pro 因拍攝影像解析度較高，相較於 110 年度採用之 Parrot 可飛行於較高之高度來進行路口影像之拍攝，影像辨識分析效果亦符合本計畫所需。針對路口類型及情境規劃之拍攝高度分別如下：易肇事路口為高度 120 公尺 (157m*88m)，先導測試路口之機會左轉(進階)路口為高度 120 公尺(157m*88m)、人車衝突路口為高度 75 公尺 (95m*58m)、若為限航區則為高度 60 公尺(77m*44m)。不同高度之拍攝範圍圖請參考圖 3.1-2、圖 3.1-3 及圖 3.1-4。



圖 3.1-2 市售小型無人機Autel EVO II Pro之120公尺高拍攝範圍圖



圖 3.1-3 市售小型無人機Autel EVO II Pro之75公尺高拍攝範圍圖



圖 3.1-4 市售小型無人機 Autel EVO II Pro 之 60 公尺高拍攝範圍圖

3.1.2 無人機實地空拍作業流程

依據本所 107 年至 111 年研究成果及本期實際執行情形進行調整，無人機實地空拍作業流程可分為「無人機現場作業」及「路口資料彙整」。「無人機現場作業」包含拍攝前須先進行無人機作

業可行性評估 (路口幾何、空拍飛行條件)、選定起降場地、飛行前檢查、飛行參數設定、起飛前對時、無人機起飛拍攝、無人機降落及對時、飛行後檢查及場地復原，「路口資料彙整」則包含路口資訊記錄、路口影像編碼、路口影像上傳、提供現場紀錄表、比例尺計算及號誌同步計算。無人機實地空拍作業流程如圖 3.1-5。



圖 3.1-5 無人機實地空拍作業流程

以下將透過3.1.2.1 無人機現場作業及3.1.2.2 路口資料彙整一分述各流程之主要工作內容。

3.1.2.1 無人機現場作業

一、無人機作業可行性評估，有以下要素：

本次實驗場域路口以四叉正交路口為主要分析對象，初步篩選分析方式如下：

(一) 以路口幾何條件而言，路口選擇應避免以下情況：

1. 路口上方有天橋、路側行道樹多(因遮蔽光線而造成陰影或空拍影像易受到遮蔽，皆致使影像分析失準)。
2. 快慢分隔、長寬度皆超過 50m 之大型路口(目前無人機機型無法涵蓋大型路口拍攝)。

(二) 需考量空拍條件，路口選擇應避免以下情況：

1. 大樓、天橋、樹木等視線遮蔽。
2. 無足夠起降空間(距路口 3 公尺處應有 5 平方公尺空地)。
3. 大樓訊號遮蔽、高壓電塔等可能造成訊號干擾的問題。
4. 位於禁、限航區(拍攝時需派員進駐塔台，較耗費人力，如涉及限航區，若以不超過規定之飛行高度完成拍攝，則可列入擇選)。

如表 3.1-1 所示進行初步篩選，但擇定地點後仍需進行實際場域測試後確認可行性。

表 3.1-1 無人機空拍地點飛行可行性評估表

評估項目	
A. 飛行區域類型	A1. 禁航區(禁止無人機飛行)
	A2. 限航區(禁止無人機飛行高度超過 60 公尺)
	A3. 可飛行綠區
B. 路口幾何	B1. 大型路口(長寬皆>50 公尺)
	B2. 多岔路口/斜交路口/丁字路口
	B3. 快慢分隔
C. 屏蔽物件	C1. 有天橋屏蔽
	C2. 有樹木屏蔽
	C3. 大樓視線屏蔽
	C4. 無明顯屏蔽物件
D. 起降場地 (距路口 3 公尺處之 5 平方公尺空地)	D1. 無足夠空間
	D2. 有足夠空間但須協調
	D3. 起飛上空電線過多
	D4. 有足夠空間
E. 訊號干擾問題	E1. 大樓訊號遮蔽
	E2. 高壓電塔干擾
	E3. 無明顯干擾

二、選擇起降場地

- (一) 首先選擇空拍機起飛地點為較空曠之處(距路口 3 公尺處應有 5 平方公尺空地)，且不影響行人動線並應於周遭放置警示牌，用以提醒行人注意勿近，如圖 3.1-6。



圖 3.1-6 起飛地點設置

(二) 應避免選擇逆光位置，會造成無人機拍攝畫面陰暗而不易後續影像分析。

三、飛行前檢查

- (一) 需確認路段號誌與時相表是否一致，如在尖峰時段號誌時相會有所調整，且不會一次性轉換完成，所以需要測量 3 次以上，直到循環時間一致後才可開始蒐集影像。
- (二) 進行無人機任務檢查及飛行前 360 度檢查。
- (三) 於民航局系統進行飛航活動前登載。

四、無人機飛行參數設定

依據前期研究結果及本期實際執行情況，表 3.1-2 顯示無人機飛行及攝影機等參數之最佳設定，包括使用中小型無人機、飛行高度可設定 60 公尺至 120 公尺間、風速建議小於 10m/s 以下，錄影解析度以 4K 以上/30fps 為最佳，曝光值則設定為預設值(EV +0.0)，其他設定則使用自動調整功能即可。

參數設定後，路口影像蒐集時亦需考慮影像寬高比例，且採用影像穩定技術，對於拍攝之影像進行校正。為符合影像校正之平面座標系假設，故一般路口拍攝以主要道路為橫向置中，次要道路縱向置中，而非以正北方為拍攝方向，請見圖 3.1-7、圖 3.1-8。

惟本(112)年度路口除符合上述條件外，畫面上方也盡量朝北方進行拍攝，以利直觀進行交通分析。

表 3.1-2 無人機飛行及攝影機最佳參數設定表

無人機	中小型無人機
飛行高度	依拍攝情境類型可設定 60 公尺~120 公尺內 (依照 FOV (Field of View) 66 度，在 120 公尺高度下拍攝長寬範圍約 157*88 公尺)
風速	10 m/s 以下
錄影解析度	4K 以上，30fps
曝光值	EV +0.0
攝影機自動調整功能	包括光圈 F, 快門速度 SS (Shutter Speed), 感光度 ISO 等
畫面設定方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要道路橫向置中、次要道路縱向置中 2. 確認影像對焦 3. 陰天無光影較佳

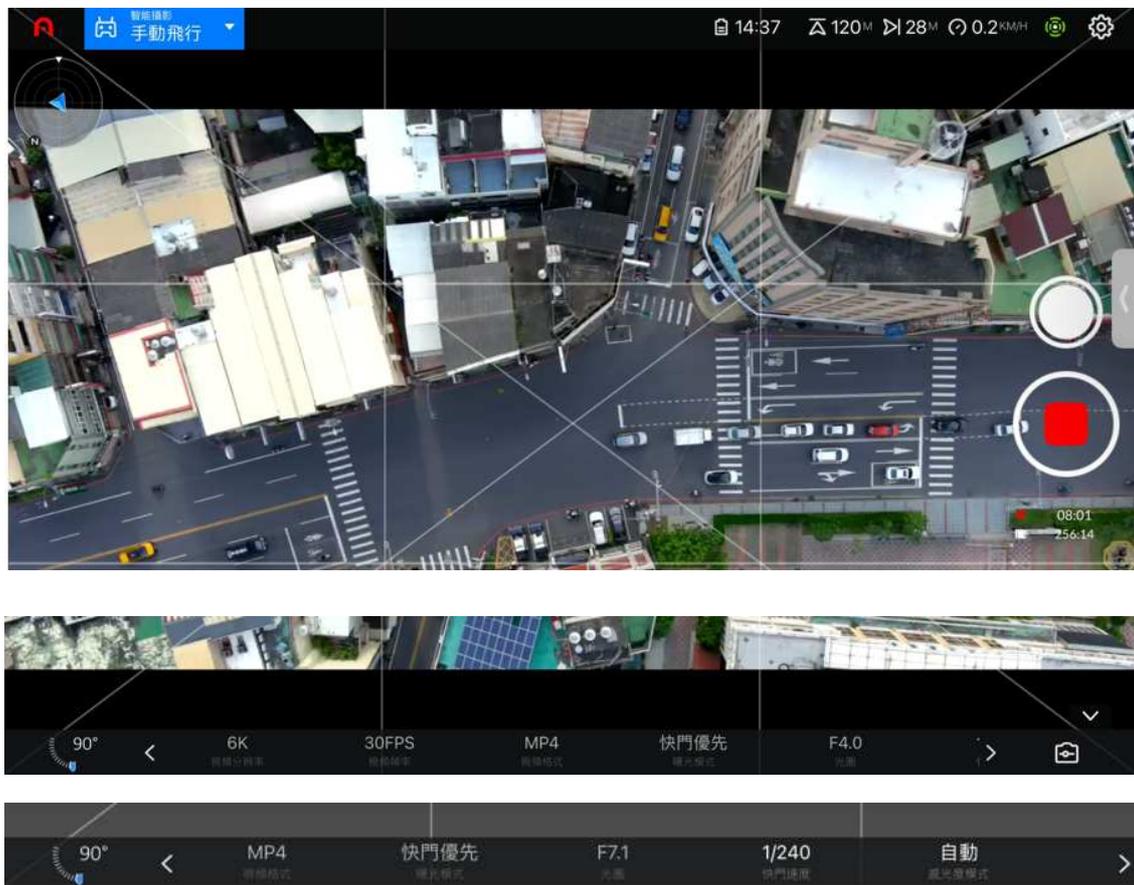


圖 3.1-7 無人機攝影預設條件



圖 3.1-8 無人機畫面設定示意圖

五、起飛前對時

無人機起飛前，無人機鏡頭拍攝「電子鐘」畫面，並開啟錄影模式。



圖 3.1-9 無人機起飛前對時

六、無人機起飛拍攝

- (一)記錄起飛時間及定位。
- (二)確認畫面是否過曝，視情況應調整快門。
- (三)無人機應飛至路口正中央，從控制顯示器可確認是否已達任務高度後，並確認四面道路停等線與畫面邊緣保留 1 至 2 輛小客車距離，皆確認完畢後才開始定位錄影蒐集畫面。畫面請見圖 3.1-10。



圖 3.1-10 無人機控制顯示器畫面圖

(四)為利於號誌時間同步記錄，以攝影機同時側拍並記錄路口燈號變化，且須記錄號誌轉換至少兩次以上，如該路口主要分析行人衝突，則必須將所有方向的行人穿越道號誌錄製兩個周期的影片。

七、無人機降落及對時

(一)無人機降落時再次對時，將無人機鏡頭拍攝「電子鐘」畫面，確認降落時間後再關閉錄影，完成飛行任務，如圖 3.1-11。



圖 3.1-11 無人機降落時再次對時

(二)記錄無人機返航及降落時間。

八、飛行後檢查

進行無人機飛行後 360 度檢查，接著於民航局系統進行飛航活動後登載。

九、場地復原

最後將場地復原，並移除警示標誌。

綜整上述無人機現場作業流程中，之所以於無人機起飛前後，皆須以無人機鏡頭拍攝「電子鐘」畫面，再以攝影機(或手機)側拍號誌燈號週期，且須拍攝號誌轉換兩次以上，如該路口主要分析行人衝突，則必須另外將所有方向的行人穿越道號誌錄製兩個週期的影片。惟全臺各縣市路口之時相表格式尚未一致化，因此本計畫之行人穿越道號誌資訊與行車管制號誌資訊蒐集方式皆須採用人工側拍，並輔以路口時相表，以人工後處理方式逐一輸入時相資訊，並予以計算號誌同步時間，如圖 3.1-12 之說明。



圖 3.1-12 路口重點資訊記錄

3.1.2.2 路口資料彙整

一、路口資訊記錄

- (一)使用測距輪量測枕木紋行人穿越道線(或其他明顯標的物)並記錄長寬，數值用以計算路口比例尺。
- (二)記錄每一路口方向燈號，包括幾顆號誌燈及燈號型態，如紅、黃、綠；紅、黃、左轉、綠；紅、黃、左轉、右轉、直行。
- (三)用攝影機(或手機)進行側拍，畫面中同時包含電子鐘與燈號，且須拍攝號誌轉換兩次以上。若當次拍攝路口是研究人車衝突之情境類型，則須另行拍攝行人穿越道號誌燈兩個周期的影像。(詳見章節 3.1.2.1 無人機現場作業)
- (四)記錄起飛、定位、返航、降落時間。(詳見章節 3.1.2.1 無人機現場作業)

二、完成路口影像蒐集

- (一)依照路口、路段、架次、飛行高度、影片時間、命名路口空拍影片(例如：1110724_基隆市仁一路_愛三路_120m_A 架次)。
- (二)將空拍影片、側拍影片、照片上傳至伺服器統一管理。

三、人工後處理

- (一)提供完整路口資訊紀錄表予管理員以建置專案，紀錄表中應完整包含路口名稱、路口實景圖、空拍時間、情境類別、量測標的物(如枕木紋行人穿越道線)之長寬、路口號誌燈號型態、號誌側拍是否完成、無人機起降時間等，如圖 3.1-13。

無人機拍攝_現場紀錄表																																																																																																
空拍時間： 拍攝時間： 情境類別： 情境編號： 飛手： 量測員： 記錄/校核者：	路口名稱： <div style="border: 1px solid black; height: 150px; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">(路口實景圖)</p> <p style="color: red;">※ Check List：完成請打勾V</p> <p>1 實際量測距離(比例尺)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th><input type="checkbox"/></th> <th>POI</th> <th>距離1(m)</th> <th>距離2(m)</th> <th>備註</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>A</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>B</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>C</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>D</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>E</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 30%;"> <p>2 記錄各路口號誌燈號型態</p> <p><input type="checkbox"/> A路口：●●●↻●↻↻</p> <p><input type="checkbox"/> B路口：●●●↻●↻↻</p> <p><input type="checkbox"/> C路口：●●●↻●↻↻</p> <p><input type="checkbox"/> D路口：●●●↻●↻↻</p> <p><input type="checkbox"/> E路口：●●●↻●↻↻</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>3 無人機飛行</p> <p><input type="checkbox"/> 無人機起飛前對時</p> <p><input type="checkbox"/> 無人機降落後對時</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>4 號誌側拍</p> <p><input type="checkbox"/> 側拍開始對時</p> <p><input type="checkbox"/> 拍攝A路口綠燈變化2個週期</p> <p><input type="checkbox"/> 側拍結束對時</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="writing-mode: vertical-rl;">時 間 錄 表</th> <th>趟次</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>無人機</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>起飛時間</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>定點拍時</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>返航時間</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>結束時間</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div>	<input type="checkbox"/>	POI	距離1(m)	距離2(m)	備註	<input type="checkbox"/>	A				<input type="checkbox"/>	B				<input type="checkbox"/>	C				<input type="checkbox"/>	D				<input type="checkbox"/>	E				<input type="checkbox"/>					時 間 錄 表	趟次	1	2	3	4	5	6	7	8	無人機										起飛時間										定點拍時										返航時間										結束時間									
<input type="checkbox"/>	POI	距離1(m)	距離2(m)	備註																																																																																												
<input type="checkbox"/>	A																																																																																															
<input type="checkbox"/>	B																																																																																															
<input type="checkbox"/>	C																																																																																															
<input type="checkbox"/>	D																																																																																															
<input type="checkbox"/>	E																																																																																															
<input type="checkbox"/>																																																																																																
時 間 錄 表	趟次	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																																							
	無人機																																																																																															
起飛時間																																																																																																
定點拍時																																																																																																
返航時間																																																																																																
結束時間																																																																																																

圖 3.1-13 無人機拍攝現場紀錄表

- (二)計算比例尺，做為後續專案輸入之參數。
- (三)透過號誌側拍影片，進行號誌同步時間計算。

3.1.3 路口空拍活動申請狀況

本(112)年度先導測試路口與易肇事路口空域多數位於可飛行綠

區，僅3處路口涉及限航區，將以不超過規定之飛行高度即可完成拍攝，各路口實際飛航活動申請時程及空域類型如下，請參考表 3.1-3。

表 3.1-3 路口空拍活動申請表

類別	編號	縣市	鄉鎮市區	路口	飛行空域類型
先導測試路口	1	臺南市	玉井區	中山路(台3線、台20線)、中華路(台20線)	可飛行綠區
	2	臺南市	新化區	忠孝路(台20線)、中正路	可飛行綠區
	3	臺南市	西港區	中山路(台19線)、文化路(市道173線)、進學街	可飛行綠區
	4	桃園市	中壢區	中山東路四段、龍東路	可飛行綠區
	5	桃園市	桃園區	民光東路、春日路(台4線)	可飛行綠區
	6	臺南市	佳里區	佳東路(台19線)、進學路	可飛行綠區
	7	臺南市	善化區	中正路(台19甲線)、大成路、光復路	可飛行綠區
	8	臺南市	仁德區	中山路、文華路三段	限航區(飛行60公尺高拍攝)
	9	臺南市	仁德區	中山路、中正路二段	限航區(飛行60公尺高拍攝)
	10	桃園市	中壢區	中華路(台1線)、中園路、忠義路	可飛行綠區
	11	臺南市	新市區	中山路(台1線、台19甲線)、中華路(台19甲線)、仁愛街	可飛行綠區
	12	桃園市	桃園區	中山路(台1線)、三民路三段(台1線、台4線)	可飛行綠區
	13	桃園市	中壢區	高鐵北路一段、青心路	限航區(飛行60公尺高拍攝)
	14	臺南市	新營區	長榮路二段、三興街	可飛行綠區

類別	編號	縣市	鄉鎮市區	路口	飛行空域類型
易肇事路口	1	雲林縣	斗六市	中山路(台3線)、龍潭路、中山路577巷	可飛行綠區
	2	宜蘭縣	宜蘭市	中山路、神農路、舊城南路(台7線)	可飛行綠區
	3	桃園市	桃園區	復興路(台1甲線)、民生路	可飛行綠區
	4	桃園市	桃園區	三民路二段(台1線、台4線)、民生路	可飛行綠區

若申請於禁、限航區飛航活動者，需檢附所在地管理機關同意文件，可於無人機資訊系統圖資取得聯絡資訊後，依據各管理機關規定方式，取得同意證明。包含以發文方式給各主管機關，文中說明飛行目的、時間及路線，取得回函同意；或以電話方式聯繫主管機關，說明飛行目的、時間及路線，並寫成電話記錄做為同意證明；或以 e-mail 方式聯繫主管機關，說明飛行目的、時間及路線，以回信做為同意證明。本年度擇選路口雖有 3 處路口涉及限航區，因以不超過規定之飛行高度完成拍攝，故不須進行上述之同意申請。

3.2 空拍實際辦理現況

於 112 年 6 月 14 日至 112 年 6 月 16 日進行 4 處易肇事路口拍攝，並於 112 年 6 月 16 日順利完成拍攝，如圖 3.2-1。易肇事路口的拍攝時間為依據道安資訊查詢網資訊，為該路口除尖峰時間外之最多肇事熱時；另先導測試路口拍攝時間，皆為上午尖峰時間 07：50 至 08：50 或下午尖峰時間 16：50 至 17：50。

拍攝時間	6/14(三) 15:00-17:00	6/15(四) 10:00-12:00	6/15(四)16:00-18:00	6/16(五)07:00-09:00
路口名稱	宜蘭縣 中山路、神農路、舊城南路	桃園市 台1甲復興路、民生路	雲林縣 中山路、龍潭路、中山路 577巷	桃園市 台1三民路二段、民生路
路口空拍圖				
現場作業概況	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝

圖 3.2-1 路口拍攝現場作業概況(易肇事路口)

另於 112 年 6 月 14 日起陸續進行 14 處先導測試路口拍攝，並於 112 年 7 月 6 日順利完成拍攝，如圖 3.2-2、圖 3.2-3、圖 3.2-4、圖 3.2-5。

拍攝時間	6/14(三) 07:50-08:50	6/19(一) 07:50-08:50	6/19(一)16:50-17:50	6/20(二)07:50-08:50
路口名稱	桃園市中壢區 中華路、中園路	桃園市桃園區 中山路、三民路	桃園市桃園區 民光東路、春日路	桃園市中壢區 中山東路四段、龍東路
路口空拍圖	正交路口 	正交路口 	正交路口 	正交路口
現場作業概況	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝

圖 3.2-2 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-1)

拍攝時間	6/26(一) 16:50-17:50 7/4(二) 07:50-08:50	6/27 (二) 16:50-17:50	6/28(三)07:50-08:50	6/28 (三)16:50-17:50
路口名稱	桃園市中壢區 高鐵北路一段、青心路	臺南市新營區 長榮路二段、三興街	臺南市佳里區 佳東路、進學路	臺南市西港區 台19線、文化路(173線)
路口分析情境	人車衝突 	人車衝突 	機會左轉(進階) 	機會左轉(進階) 
現場作業概況	 • 6/26第二趟飛行遇雨延遲，於7/4補拍完成	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝

圖 3.2-3 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-2)

拍攝時間	6/29(四) 07:50-08:50	6/29 (四) 16:50-17:50	7/4(二)16:50-17:50	7/5 (三)16:50-17:50
路口名稱	臺南市玉井區 中山路、中華路	臺南市善化區 中正路、大成路	臺南市新化區 台20線12k+150、中正路	臺南市仁德區 中山路、中正路二段
路口分析情境	機會左轉(進階) 	機會左轉(進階) 	機會左轉(進階) 	人車衝突 
現場作業概況	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝

圖 3.2-4 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-3)

拍攝時間	7/5(四) 16:50-17:50	7/6(四) 07:50-08:50
路口名稱	臺南市新市區 台1線中山路、中華路	臺南市-仁德區中山路、文華路三段
路口分析情境	人車衝突 	人車衝突 
現場作業概況	 • 順利完成拍攝	 • 順利完成拍攝

圖 3.2-5 路口拍攝現場作業概況(先導測試路口-4)

依據今年度拍攝的所有路口進行表格綜整，列示項目包含縣市名稱、路口名稱、飛行高度、飛行總時長、衝突分析情境及飛行空域類型，如表 3.2-1，

表 3.2-1 拍攝路口總表

類別	編號	縣市	路口	飛行高度(公尺)	總時長(時:分:秒)	衝突分析情境	飛行空域類型
易肇事路口	1	桃園市	桃園區三民路二段(台1線、台4線)_民生路	120	01:10:51	號誌化斜路口	可飛行綠區
	2	桃園市	桃園區復興路(台1甲線)_民生路	120	01:39:17	號誌化斜路口	可飛行綠區
	3	宜蘭縣	宜蘭市中山路_神農路_舊城南路(台7線)	120	01:39:22	號誌多岔路	可飛行綠區

類別	編號	縣市	路口	飛行高度(公尺)	總時長(時:分:秒)	衝突分析情境	飛行空域類型
						口	
	4	雲林縣	斗六市中山路(台 3 線)_龍潭路_中山路 577 巷	120	01:37:27	誌正路口 號化交路口	可飛行綠區
先導測試路口	1	桃園市	中壢區中華路(台 1 線)_中園路_忠義路	75	01:28:09	人車衝突	可飛行綠區
	2	桃園市	中壢區中山東路四段_龍東路	120	01:29:55	機會左轉(進階)	可飛行綠區
	3	桃園市	桃園區民光東路_春日路(台 4 線)	120	01:32:35	機會左轉(進階)	可飛行綠區
	4	桃園市	桃園區中山路(台 1 線)_三民路三段(台 1 線、台 4 線)	75	01:34:40	人車衝突	可飛行綠區
	5	桃園市	中壢區高鐵北路一段_青心路	60	01:22:52	人車衝突	限航區(高鐵禁航區邊緣)
	6	臺南市	新營區長榮路二段_三興街	75	01:34:39	人車衝突	可飛行綠區
	7	臺南市	佳里區佳東路(台 19 線)_進學路	120	01:10:05	機會左轉(進階)	可飛行綠區
	8	臺南市	玉井區中山路(台 3 線、台 20 線)_中華路(台 20 線)	120	01:54:11	機會左轉(進階)	可飛行綠區
	9	臺南市	西港區中山路(台 19 線)_文化路_進學街	120	01:34:39	機會左轉(進階)	可飛行綠區

類別	編號	縣市	路口	飛行高度(公尺)	總時長(時:分:秒)	衝突分析情境	飛行空域類型
	10	臺南市	新化區忠孝路(台 20 線)_中正路	120	01:28:38	機會左轉(進階)	可飛行綠區
	11	臺南市	仁德區中山路_中正路二段	60	01:32:50	人車衝突	限航區
	12	臺南市	新市區中山路(台 1 線、台 19 甲線)_中華路(台 19 甲線)_仁愛街	75	01:32:54	人車衝突	可飛行綠區
	13	臺南市	仁德區中山路_文華路三段	60	01:11:31	人車衝突	限航區
	14	臺南市	善化區中正路(台 19 甲)_大成路_光復路	120	01:07:08	機會左轉(進階)	可飛行綠區

3.3 無人機資安議題

112 年 6 月 19 日參加民航局會議，會中說明無人機一般資安檢測規範將變更於 113 年 7 月正式上路。目前法人單位自行使用中之無人機，若已註冊且在有效期內的無人機不須符合資安檢測規範。若已簽約的政府標案，政府採購須知範本目前對無人機使用僅為不能使用大陸廠牌無人機(除非有額外要求到不能使用陸製零組件，但本案無要求)，故本(112)年度不受影響。未來完成資安檢測的機型會公告在民航局網頁，以供後續採用參考。

	因應國安、資安及飛安新增管理機制		
	現行管理機制	政府採購 (資安檢測先行)	一般規範 113年7月實施資安項目 及費用檢視
無人機	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ≥250g,法人不分重量應註冊 ➢ ≥25Kg飛安檢驗 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 依「投標須知範本」無人機條款附表「無人機資安需求」取得資安檢測合格證明(數位部) 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 進口貨號 ➢ 進口審查及通關許可 ➢ <2Kg商檢(商檢局) ➢ <25Kg飛檢(民航局)
法人許可	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 法人飛航作業(排除操作限制)均應申請法人能力許可 ➢ 飛手應持專業操作證 ➢ 活動應報到報離及保存紀錄 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 如左列現行管理機制 	
場域條件	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 機場四周、禁限航區、其他區域400呎以上須民航局同意 ➢ 400呎以下經地方政府公告區域須經地方政府同意 ➢ 於關鍵設施上空活動應取得管理單位同意 ➢ 飛航活動經民航局/地方政府同意並保險 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 群飛活動應取得「群飛系統資安檢測合格證明」(數位部) 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 群飛活動應取得「群飛系統資安檢測合格證明」(數位部)

圖 3.3-1 民航局無人機資安需求處理原則 (112年6月19日民航局公告)

112年6月30日行政院公共工程委員會公告，修正「投標須知範本」之無人機產品資安檢測等級分類及適用情形如圖 3.3-2，採正面表列方式，未納入者，即不適用資安檢測；又已列入者，另訂有排除適用情形。本計畫若飛行區域為地方政府劃設之紅區則須符合無人機資安檢測評估之初階等級，若飛行地區為綠區則不需符合資安檢測規範，僅須符合民航局飛安規範。

無人機資安檢測需求^(註1)

適用資安檢測等級 ^(註2)	適用情形 ^(註3)	排除適用情形 ^(註4)
一、無人機產品資安測試 中階 等級 ^(註2)	有下列情形之一者： 1. 飛經禁航區、限航區、民航局公告之航空站或飛行場四周或地方政府代中央機關公告之紅區 ^(註3) 2. 無人機重量 25 公斤以上 ^(註3)	經上級機關核轉目的事業主管機關(交通部)及資通安全主管機關(數位發展部)同意免于適用者。 ^(註4)
二、無人機產品資安測試 初階 等級 ^(註2)	飛經地方[直轄市、縣(市)]政府劃設紅區 ^(註3)	有下列情形之一者，免于適用： 1. 無自主導航且無攝影功能。 ^(註4) 2. 經地方政府同意免于適用者。 ^(註4) 3. 紅區所在機關辦理之教育訓練或競賽等低機敏性活動並報經地方政府備查。 ^(註4)
三、無人機產品資安測試 初階 等級及群飛系統資安檢測 ^(註2及註3)	群飛架數 200 架以上且預計群眾人數達 1,000 人以上 ^(註3)	

圖 3.3-2 政府採購標案先行方向 (112年6月30日公共工程委員會公告)

未來機關應視個案實際情形於採購預算編列資安檢測費用。客製化之財物採購，第 1 次型式檢測費用由機關預算支應。若為勞務採購，建議機關依使用架數、使用頻率等因素評估所需檢測費用，預估每款檢測費用為初階等級 8 萬元、中階等級 16 萬、高階等級 32 萬元。

第四章 改善影像辨識

依據第 2.1 節文獻分析結果，本期在車流軌跡抽取上，依舊沿用了基於增強相關係數(Enhanced Correlation Coefficient, ECC)的影像穩定技術，以及本計畫開發的 Oriented YOLOv4 偵測架構與 SORT 物體追蹤技術。雖然 Oriented YOLOv4 的偵測效果已經達到一定水準，但對大客車等長寬比較大之特定車輛，中心點位置雖能準確掌握，但角度容易發生較大幅度偏移，因此在前期需靠期影像後處理對期進行校正。另一方面，雖然本計畫案長期以來採用旋轉框代表車輛範圍，但原始 SORT 追蹤在比對車輛前後幀繼承關係時，採用的是正框的交聯比，這在車輛傾斜並排時，會因兩部車輛正框有所交集，容易發生追蹤車輛編號標籤互換(ID swich)的問題。最後，有鑑於行人偵測的需求日漸增高，本計畫也正逐步加大相關的標註工作，期望透過訓練樣本的大幅增加來提升偵測上的穩定性。

此外，在前期 110 年研究的實驗中，約有 26% 的自行車雖能被系統偵測，但卻會被誤分類為機車。若能校正誤分類的自行車類別，則自行車的查全率可由 63.7% 大幅提升到約 90%。然而，從前期 111 年研究的軌跡資料中，本計畫發現雖然單張的車輛偵測工作上，存在著前述 26% 自行車被誤分類為機車的可能性，但大多數軌跡並未因單張分類錯誤造成軌跡本身的分類錯誤。這是由於軌跡是對連續畫面中的偵測車輛進行追蹤取得，而 SORT 演算法在追蹤過程中只關心位置的連續性，並不會根據車種分類結果來追蹤，因此軌跡的所屬車種是由在每張畫面的車種分類進行投票，以票數最多者來決定。因此，即便自行車在每張畫面有 26% 機率被誤分類為機車，但仍有壓倒性的 63.7% 機率會得到正確的自行車分類結果，這使得絕大多數的自行車軌跡在投票過程中，不會被少數的誤分類結果影響，最終仍正確地被分類為自行車。由於目前並沒有可以有效區分自行車與機車的其他機制，因此本計畫目前決定維持成效已然良好的原投票機制。

綜上所述，因此本期分別針對了以下 3 個前期主要技術問題，提出對應的改善策略與測試：

- 一、大客車等較長車輛的預測框容易有角度偏差；
- 二、斜向車輛容易在追蹤上較容易發生標籤互換問題；

三、行人偵測率偏低。

目前前兩項改善措施已初步完成，第三項行人偵測所需的標註工作亦在持續進行。相關辦理情況分別於 4.1 至 4.3 節說明。

4.1 改善偵測模型預測角度之穩定度

角度預測的準確性與穩定度一直是旋轉物體偵測的首要課題。為了避免角度預測值的不連續性(例如，0 度與 359 度雖然數值相差甚大，但事實上是相鄰角度)，本計畫所提出的 Oriented YOLOv4 架構為了避免單一預測數值無法反映角度週期性重複的問題，提出了改以預測車頭前緣中點二維座標的方式，避免角度不連續造成的迴歸問題。然而，由於卷積神經網路基於 $N \times N$ 矩陣的特徵處理原則，對於細長甚至傾斜的旋轉物體，矩陣內的背景面積往往大於實際物體區域，造成特徵強度的低下且難以在大尺度上形成有效特徵。另一方面，在訓練與偵測階段中，細長旋轉物體的預測框與實際框間之交聯比，只有在角度非常接近時才有明顯的增長趨勢。其結果導致了長寬比大的旋轉物體容易在預測旋轉角度時發生明顯誤差，這也是目前此領域的最大挑戰。

雖然本計畫很難更改卷積神經網路的基本 $N \times N$ 特徵蒐集方式，但在改善因角度差異大而導致的交聯比低下問題上，或許有可以改善的措施。基於前述想法，本計畫針對現今在訓練階段較常用於評估預測框與實際框間疊合度，稱為 GIoU、DIoU、以及 CIoU 的三種主要計算方式：

$$GIoU = IoU - \frac{A_c - U}{A_c}, \quad (1)$$

$$DIoU = IoU - \frac{\rho^2(b, b^{gt})}{c^2}, \quad (2)$$

$$CIoU = DIoU - \alpha \frac{4}{\pi^2} \left(\arctan \frac{w^{gt}}{h^{gt}} - \arctan \frac{w}{h} \right)^2, \quad (3)$$

式(1)的 GIoU 中， A_c 代表預測框與實際框共 8 個角點中，由最上、下、左、右點形成的正框面積， U 代表預測框與實際框所成的聯集區域面積。當預測框與實際框距離越遠， $\frac{A_c - U}{A_c}$ 也會越接近 1 而成為

一個懲罰項，即便兩者沒有任何交集也能依靠這個懲罰項，透過損失函數的梯度變化來”鼓勵”預測框向實際框的位置靠近，進而讓網路權重有效收斂。基於 GIoU 的成功，DIoU 針對位置差異提出了更直接快速的懲罰方式。式(2)中，對於預測框 b 與實際框 b^{gt} ， ρ 為兩者間相隔最遠的角點間距離、 c 為兩者中心點間距離，並以平方項來省略估算兩點間距離所需的根號計算，提供了收斂更加快速的另一選擇。

GIoU 與 DIoU 雖然成功將懲罰項賦予了”位置”距離過遠的預測框，但對於其”形狀”不同並沒有特別的差異對待，有鑑於此，CIoU 在 DIoU 的基礎上，進一步將預測框與偵測框的長寬比差異做了比較。

式(3)中，透過預測框與實際框兩者的寬高比 $\frac{w}{h}$ 與 $\frac{w^{gt}}{h^{gt}}$ ，兩者間的角度差被正規化至 $[0, 1]$ 的範疇，再乘上一動態權重 α 後成為新的懲罰項。

表 4.1 1 是用於測試原始 IoU、GIoU、DIoU、CIoU 四種方法的偵測表現的空拍影像資料集。資料集中的影像來自 20 餘個不同路口，拍攝高度包含 60 公尺至 120 公尺範圍，偵測時解析度皆正規化至 1920×1080 。考量各車種數量是否夠多、具有足夠之代表性，此處實驗僅列舉存在於各影片中的主要車種：小客車、貨車、大客車、機車等四類。

表 4.1-1 測試資料庫

	影像張數	小客車	貨車	大客車	機車	合計
訓練集	1,612	20,623	2,725	975	46,894	71,217
測試集	406	5,116	709	358	12,736	18,919

表 4.1-2 為四種方法的偵測表現，紅字為全車種中單項表現最佳者。整體來說，GIoU 有著普遍最佳的表現。特別是在與偵測框貼合度息息相關的 $AP_{.5:.95}$ 項目，由於此項目是將 IoU 在 0.50, 0.55, 0.60, ..., 0.90, 0.95 以上的 10 個 AP 值進行平均之結果，因此數值越高代表有越多的偵測框滿足較高的 IoU 門檻。表 4.1-2 中，特別值得注意的是表中各方法在偵測大客車上的 $AP_{.5:.95}$ 項目(綠字)，GIoU 以至少 2.6% 的差距優於其他方法，顯示其對大客車等長寬比大之車輛，有著壓制明顯角度誤差的重要貢獻。透過實際的影片觀察，本計畫也確認了採

用 GIoU 能明顯有效地讓大客車的偵測框穩定貼合車身。圖 4.1-1 為四種方法在同一空拍畫面下的偵測結果，可以明顯發現 GIoU 對畫面中央的大客車，能產生更加貼合的偵測框。因此，本計畫將原先損失函數中使用的 IoU 改為 GIoU，以產生更穩定的軌跡結果。表 4.1-2 相關參數的定義說明如下：

- 一、 Precision，代表系統偵測判斷是行人者中的正確行人比例。
- 二、 Recall，代表理想上應偵測出的所有行人中，能被系統偵測出的比例。
- 三、 AP.5 為在偵測框與實際框交聯比在 0.5 以上，所得出的 Average Precision(平均精確度)。用以表示不同閾值參數下，由不同 Precision 與 Recall 所形成的面積，減少因參數不適當造成的不公平比較。
- 四、 AP.5:.95 為在偵測框與實際框交聯比分別在 0.5、0.55、0.6、……、0.95 以上的 10 個 Average Precision 值，再取平均後的代表值。用以表示不同程度的偵測框位置偏差，形成的整體 Average Precision，以進一步考量偵測框位置偏差因素，進行比較。

表 4.1-2 四種計算預測框與實際框疊合率方式的偵測表現

IoU				
類別	Precision	Recall	AP.5	AP.5:.95
小客車	0.955	0.968	0.982	0.697
貨車	0.887	0.907	0.903	0.558
大客車	0.962	0.913	0.967	0.536
機車	0.771	0.764	0.793	0.336
全部	0.894	0.888	0.911	0.532
GIoU				
類別	Precision	Recall	AP.5	AP.5:.95
小客車	0.949	0.967	0.979	0.701
貨車	0.896	0.91	0.905	0.564
大客車	0.965	0.935	0.981	0.567
機車	0.78	0.752	0.788	0.336
全部	0.897	0.891	0.913	0.542
DIoU				
類別	Precision	Recall	AP.5	AP.5:.95
小客車	0.947	0.972	0.981	0.696
貨車	0.888	0.907	0.906	0.565
大客車	0.948	0.916	0.961	0.541
機車	0.774	0.771	0.796	0.337
全部	0.889	0.891	0.911	0.535
CIoU				
類別	Precision	Recall	AP.5	AP.5:.95
小客車	0.892	0.957	0.974	0.691
貨車	0.903	0.863	0.897	0.527
大客車	0.961	0.837	0.958	0.503
機車	0.846	0.695	0.794	0.334
全部	0.901	0.838	0.906	0.514

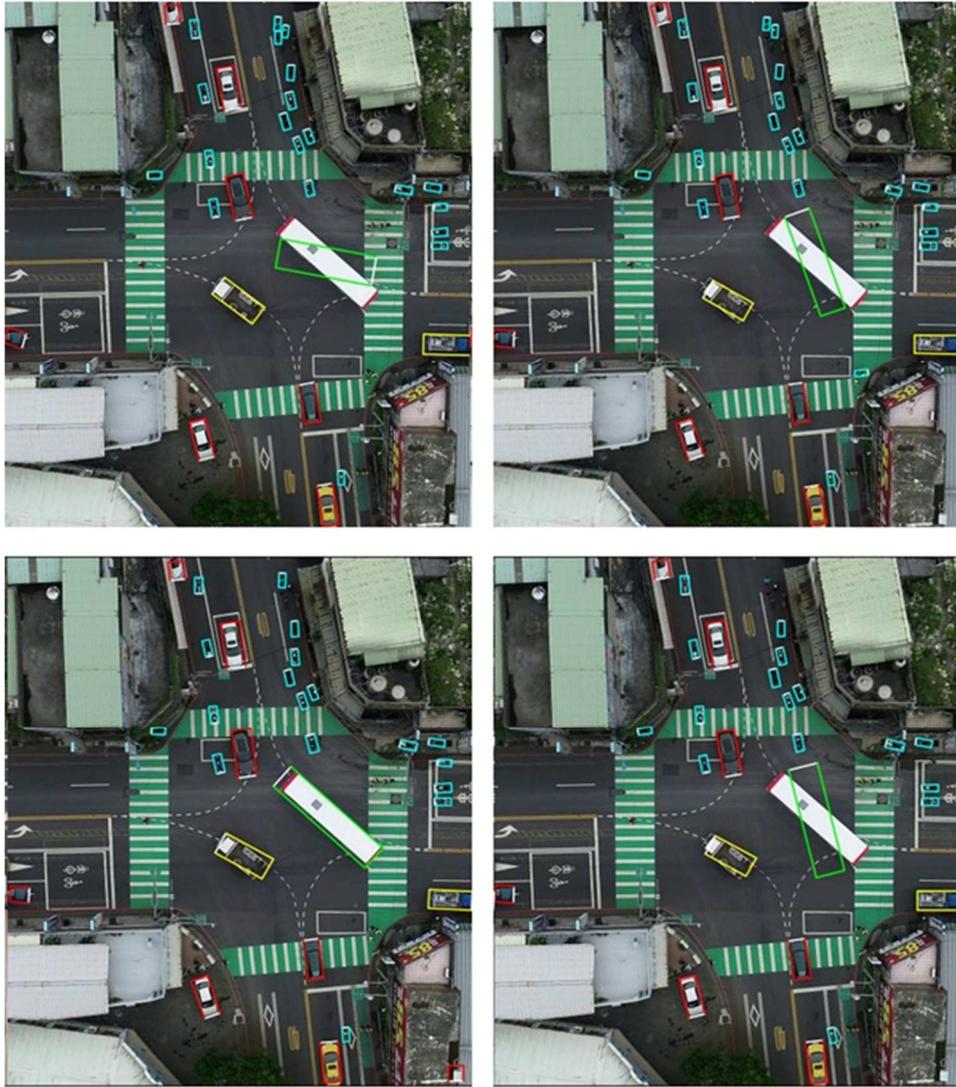


圖 4.1-1 (左上)原始IoU、(右上)DIoU、(左下)GIoU、(右下)CIoU四種方法的偵測結果

由於長寬比越大之物體越容易因微小的角度變化明顯降低交聯比，因此表 4.1-2 數據中的大客車已近似於貨車的車輛貼合度；從後續衝突分析上也發現因車輛位置不貼合所造成的錯誤衝突判斷有了明顯降低。

4.2 針對旋轉框特性改善 SORT 追蹤機制

在車輛追蹤方面，前期計畫主要使用 SORT 追蹤方法來實現多物體追蹤。但隨著空拍影片的路口類型日趨複雜，包含斜向車道、大型的機慢車左轉待轉區線等，使得原始的追蹤方法在面臨這些型態路口

時，容易因為原始 SORT 採用的正框交聯比計算方式，產生追蹤標籤交換的問題。以圖 4.2-1 中個斜向並排的車輛為例，雖然 Oriented YOLOv4 產生之偵測框為貼合車輛之矩形框，但應用於一般多物體追蹤的原始 SORT 方法，主要是利用物體的外接正框來代表物體範圍與特性。以利用路邊監視攝影機追蹤行人為例，SORT 會利用行人外接正框的中心點位置(x, y)、寬(w)、高(h)、與及寬高比(r)等數值來做為內部卡爾曼濾波器(Kalman filter)的狀態值，透過預測下一刻正框狀態值並與偵測出的正框結果進行匹配，當追蹤框與偵測框間之交聯比超過預設閾值，便能決定行人下一刻的位置。

當同樣的 SORT 函式應用在空拍車輛的旋轉框上時，因為一般追蹤物體不具備角度方向性參數，因此原始 SORT 無法直接用於旋轉框，而須改以其外接正框進行前後畫面間的車輛匹配。當車輛進行水平或垂直移動時，旋轉框與其外接正框基本一致，因此不會出現明顯問題；但當畫面中有顯著的斜向車輛並行時，同一畫面中不同車輛的外接框會開始產生交集，特別是面積較小的相鄰機車間，更容易因此產生較高的交聯比。以上情況在車輛失偵時，容易進一步造成追蹤框找不到同車的偵測結果，而對鄰車的偵測正框進行錯誤配對，造成車輛標籤互換等問題。



圖 4.2-1 斜向車輛並行時會產生外接正框交集(藍色為小客車之正框範圍；綠色為機車之正框範圍)

此外，車輛的外接寬高比在車輛轉彎時也容易發生快速的變動，可能降低卡爾曼濾波器追蹤的效果。有鑑於此，本計畫重新改寫了SORT內的追蹤細節，使其更符合空拍影像中的車輛追蹤需求。除了將狀態中的寬高比變數改以角度變數取代，以便形成真正的旋轉矩形框外，交聯比也從原本的正框計算方式，改為適用於旋轉框的計算方式。由於前述的更動需要大量的程式除錯與參數測試，因此過去在效益考量下並未優先進行處理。但隨著拍攝路口樣式的多樣化與複雜化，加上今(112)年生成式預訓練變換模型4的出現(Generative Pre-trained Transformer 4, GPT-4)，大幅提高程式撰寫與驗證的效率與方便性，透過GPT-4的程式撰寫協作功能，始能快速完成此項工作。

相較於前期的軌跡追蹤結果，本期在軌跡完整度上有著明顯的進步。加上前述的車輛偵測改進了旋轉角度的誤差，無論在車輛密集或連續移動的情況下，都有著更穩定的軌跡趨勢。圖4.2-2顯示了機慢車左轉待轉區線中的機車停等40秒前後的外框樣貌，基本上都能完整貼合車體區域。



圖 4.2-2 機車停等區相隔40秒的偵測追蹤結果

此外，本計畫還針對大型車輛與小型車輛分別進行追蹤。由於這大兩類車輛在偵測階段便鮮有彼此誤分類的問題，因此獨立分別進行追蹤有助於避免因區域重疊造成的誤追蹤問題，且減少待匹配物體數量有助於大幅加快追蹤速度。修改後的新追蹤方案約可大幅減少一半的原追蹤時間。

4.3 持續提升行人偵測率

相對於機車隨著訓練樣本的大量加入與支援技術的不斷進步，逐漸達到與一般大型四輪車輛相同的偵測水準，行人由於數量上的劣勢以及人眼辨識困難，在增加訓練資料上相對困難。加上市區道路場景複雜，行人俯視區域與特徵不明顯，進一步限制了針對性的技術方法。為了減輕人工標註負擔，加速訓練資料的擴增，本計畫從過去的空拍影片中，透過人工挑選行人較多的畫面，改用點擊頭部中心的方式生成正方形框，正方形框的邊長則根據影片進行預設，統一標註標準。由於難以從單張空拍影像中辨識行人面朝方向，因此不需要進行正確的旋轉框標註。

在嘗試過將前中後三張空拍灰階影像，疊合成單張影像的 RGB 通道影像等偵測方法不見顯著成效後，本計畫改以單張的灰階底圖影像(background image)取代原 RGB 彩色影像中的藍色頻(blue channel)影像進行訓練。其中，底圖影像來自對穩像後影片進行每分鐘 1 張畫面的取樣，再透過中位數濾波來決定畫面上每個 RGB 像素值，最後將彩色底圖轉為灰階影像。如此，底圖將去除移動過的人車前景，保留道路與路邊停車等背景內容。由於相對於紅色與綠色，人類視覺對藍色較不敏感，道路、燈號、線道、甚至車輛顏色亦少有以藍色為主者，因此本計畫將灰階背景底圖取代訓練影像中的藍色頻部分，希望深度學習能透過底圖分辨出行人等前景的存在。本計畫蒐集了 456 張解析度為 1080×1080 的影像進行訓練，並另外收集 150 張用於測試。相較於一般的 RGB 訓練影像，含有底圖訊息者的查準率(accuracy)從 0.788 降為 0.710；但查全率(recall)從 0.505 上升到 0.757， $AP_{0.3}$ 也從 0.644 上升到 0.751。這表示底圖確實提供了有效的行人前景資訊，進而顯著提升了查全率；但可能也同時帶來了負面的非行人前景資訊，使得查準率有所下降；儘管整體而言，AP 的上升還是代表了利大於弊。

另一方面，本計畫也希望透過蒐集大量且具多樣性的空拍行人資料，了解訓練資料數量是否有助於幫助高維度的網路掌握行人鬆散的特徵分布。本計畫在前述 456 張訓練影像之外，加入了過去註解的 1524 張行人影像進行訓練，由於追加的 1524 張行人影像不包含底圖

資訊，因此本計畫此處僅探討訓練影像數量帶來的影響。本計畫採用了與之前相同的 YOLOv5-16 做為偵測架構。發現無論是查準率、查全率都有明顯的進步，查準率從 0.788 上升到 0.851，增加了 6.3%；查全率從 0.505 上升到 0.691，增加了 18.6%。AP_{0.3} 也從 0.644 上升到 0.781，增加了 13.7%。相較於偵測作法上的改變，單純地增加訓練資料似乎有著更穩定而確實的進步空間。但另一方面，也進一步凸顯了底圖資訊對查全率的進步有著深刻影響，更是影響後續追蹤效果的關鍵。後續本計畫希望能增加更多含有底圖資訊的訓練資料，以進一步驗證其在足量訓練資料下的行人偵測效果。

4.4 小結

本期在影像辨識技術方面，沿用了 Oriented YOLOv4 偵測架構與 SORT 追蹤技術並進行細節改進，在行人偵測方面則基於 YOLOv5-16 架構進行分析，本計畫目前已初步完成下列工作重點：

- 一、改善偵測模型預測角度之穩定度，大幅減少大客車等較長車輛偵測框的角度誤差，整體車輛的角度穩定度亦有明顯提升。
- 二、針對旋轉框特性改善 SORT 追蹤機制，減少斜向稠密車輛間因偵測框重疊所引起之追蹤問題。對大型車與小型車分別進行追蹤，減少約一半的追蹤處理時間。
- 三、針對行人資料持續進行大量的註解，並採用底圖資訊來做為後續優化方向。

第五章 優化交通衝突軟體

5.1 優化本軟體操作介面及相關輸出結果

因應分析及觀測需求，今(112)年針對機會左轉(進階分析)與人車衝突之分析需求，擴充相關功能，包括行人時相表資訊轉換功能。此外，為提升整體分析結果的準確性、易讀性及多元資訊，規劃號誌與時相升級、分析軟體功能分類及百分比資訊顯示等，期可提供更正確的號誌資訊，利於交通分析檢視，並將整體軟體功能根據不同使用情境區分為一般分析功能及進階分析功能，提升使用者操作流程之流暢度。

以下說明今(112)年度規劃之工作項目，包含 5.1.1 節「行人時相表資訊轉換」、5.1.2 節「號誌與時相功能升級」、5.1.3 節「分析軟體功能分類」、5.1.4 節「輸出資料增加百分比資訊」、5.1.5 擴增多岔路口分析功能。

5.1.1 行人時相表資訊轉換

本(112)年度因應【人車衝突】之分析需求，將新增行人時相表設定，提供分析程式行人穿越道燈號轉換資訊參數，為了使用操作及程式運算的一致性，其介面設計參考自車輛之六燈號時相表設定方式，讓使用者依據行人穿越道之燈號來設定時相秒數，提供後續之【人車衝突】分析，並產出相關分析結果。

在行人時相表的設計上，一方面考量行人之行進方向與車輛行進方向不同，另一方面同一路口可能出現兩段或多段之行人穿越道，因此改變原本車輛時相表根據方向編碼(A、B、C、D)之設定，行人時相表修改為以行人穿越道做為編碼依據，並根據此編碼設定燈號之時相，行人時相之編碼設計如圖 5.1-1，以 A 方向為例，A 有兩段行人時相號誌，則編碼為 A1 及 A2，B 方向只有一段行人時相，則編碼為 B1，在使用者介面可以設定一段或兩段時相屬性。另外行人時相搭配燈號號誌為「站立行人」、「行走行人(閃光)」及「行走行人」來設定行人之時相，「站立行人」表示行人不可行走於枕木紋行人穿越道線之紅

色燈號，「行走行人(閃光)」表示請行人加速通過枕木紋行人穿越道線之閃綠色燈號，「行走行人」表示行人可通過枕木紋行人穿越道線之綠色燈號，另外，行人早開或行人早關亦可在行人時相表設定，行人時相表最多可設定6個時相，如圖 5.1-2。

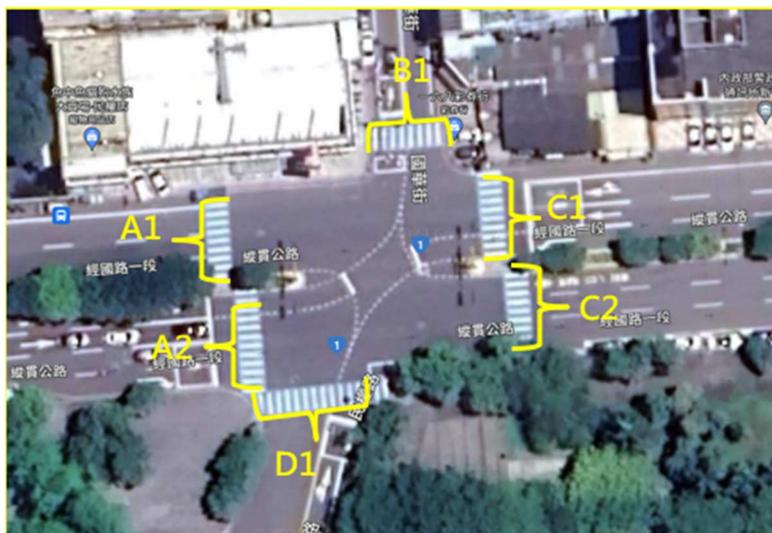


圖 5.1-1 行人穿越道編碼設計示意圖

方向	號誌數量	行人號誌	燈號	時相1	時相2	時相3	時相4	時相5	時相6									
A	□一段 ■兩段	A1	站立行人	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0								
			行走行人(閃光)	□ 0	■ 1	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
			行走行人	□ 0	□ 0	■ 1	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
		A2	站立行人	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0							
			行走行人(閃光)	□ 0	■ 1	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
			行走行人	□ 0	□ 0	■ 1	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
B	■一段 □兩段	B1	站立行人	□ 0	□ 0	■ 1	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0								
		行走行人(閃光)	□ 0	■ 1	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0								
		行走行人	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0								
C	□一段 ■兩段	C1	站立行人	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0								
			行走行人(閃光)	□ 0	■ 1	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
			行走行人	□ 0	□ 0	■ 1	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
		C2	站立行人	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0							
			行走行人(閃光)	□ 0	■ 1	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
			行走行人	□ 0	□ 0	■ 1	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0							
D	■一段 □兩段	D1	站立行人	□ 0	□ 0	■ 1	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0								
		行走行人(閃光)	□ 0	■ 1	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	□ 0								
		行走行人	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0	■ 1	□ 0	□ 0	□ 0								
燈號秒數				43	6	4	58	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
汽車燈號秒數				46	3	4	61	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

圖 5.1-2 行人時相表設計示意圖

5.1.2 號誌與時相功能升級

本計畫分析原先使用之時相表是以五個燈號來表現路口號誌狀況，五個燈號分別為圓型紅燈、圓形黃燈、左轉箭頭綠燈、直行箭頭綠燈及右轉箭頭綠燈，為了更貼近於現實行車路口的燈號使用情境以及符合法規對於燈號的規範，今(112)年將軟體分析之燈號新增「圓形綠燈」，即所有方向可通行之燈號，所有軟體功能也擴充為支援六個燈號的分析能力，新的六燈號時相表如圖 5.1-3，其套用到號誌轉換影片，使之能夠更忠實呈現實際路口的正確燈號，另外【機會左轉】分析統計表如圖 5.1-4 及【穿越衝突】分析統計表如圖 5.1-5 中搶黃燈、闖紅燈、紅燈跨越停止線等判斷能夠根據更精細的號誌類型而得到更精準的分析結果。

時相表設定

時間區間：起 08:00 ~ 迄 09:00 A方向綠燈週期開始時間：0 47 32

進	出	燈號	時相1			時相2			時相3			時相4			時相5			時相6		
A	-	紅燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A	-	黃燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A	B	左轉綠燈	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A	全	圓形綠燈	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A	C	直行綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
A	D	右轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
B	-	紅燈	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
B	-	黃燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
B	C	左轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
B	全	圓形綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
B	D	直行綠燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
B	A	右轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
C	-	紅燈	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	-	黃燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	D	左轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
C	全	圓形綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	A	直行綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
C	B	右轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
D	-	紅燈	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
D	-	黃燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
D	A	左轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
D	全	圓形綠燈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
D	B	直行綠燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
D	C	右轉綠燈	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
燈號秒數			9 秒	3 秒	0 秒	31 秒	3 秒	4 秒	5 秒	3 秒	0 秒	70 秒	3 秒	2 秒	12 秒	3 秒	2 秒	0 秒	0 秒	0 秒

圖 5.1-3 六燈號時相表設定示意圖

統計表		百分比													速限:60(km/h)	設定
入口方向	左轉車輛								對向直行車輛						兩車相互行為	
	車輛數	先行左轉	燈號轉換期間左轉	左轉車未到達中央路口處左轉	滿道時間結束後仍無法通過路口	外側車道左轉	左轉機車數	機車於兩段式左轉路口直接左轉	車輛數	搶黃燈	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速法規速限	超速速限寬容值	左轉衝突(強行左轉)	
A	114	45	20	56	34	37	41	0	246	12	0	0	0	0	1	
B	42	12	2	14	5	0	22	0	796	12	5	8	0	0	0	
C	1	0	0	0	1	0	19	1	259	37	0	3	0	0	0	
D	44	0	0	3	1	37	36	0	107	12	0	1	0	0	0	

圖 5.1-4 機會左轉統計表

統計表		百分比													速限:60(km/h)	設定					
入口方向	直行車輛							左側來向車輛					右側來向車輛					兩車相互行為			
	車輛數	搶黃燈	滿道時間結束後仍無法通過路口	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	穿越衝突(左側來向)	穿越衝突(右側來向)
A	259	37	6	0	3	0	0	107	1	0	1	0	0	941	2	7	10	2	0	0	0
B	107	12	0	0	1	0	0	246	0	0	0	0	0	259	1	0	3	0	0	0	0
C	246	13	18	0	0	0	0	941	2	7	10	2	0	107	1	0	1	0	0	0	0
D	941	17	13	7	10	2	0	259	1	0	3	0	0	246	0	0	0	0	0	0	0

圖 5.1-5 穿越衝突統計表

5.1.3 分析軟體功能分類

有鑑於本計畫開發之交通衝突分析軟體功能持續增加，現有的分析功能目錄在呈現上也漸漸佔據版面，且缺少明確的分類標示，為提升使用者分析路口之效率，將針對分析軟體功能進行分類呈現，分類方式初步區分為「基本功能」、「進階功能」及「設定功能」。根據此分類方式重新調整分析介面之模板，可使整體分析流程在操作介面上能夠更加清楚。

使用者根據縣市、路段及架次分類選單連結進入專案資訊頁面後，系統將會呈現專案資訊之儀表板，在路段資訊下方呈現之分析功能將以分頁呈現「基本功能」及「進階功能」，提供使用者更簡潔且明確的分析目錄功能。「基本功能」包括號誌影片展示、衝突事件表與統計摘要、車流特性、衝突熱點、車流量調查、路口軌跡、速度熱區及減速度熱區等功能，如圖 5.1-6。「進階功能」包括非號誌化路口停讓衝突、機會左轉分析、機會左轉(進階分析)、穿越衝突分析、右轉衝突分析及人車衝突分析，如圖 5.1-7。「設定功能」主要針對號誌影片展

示所須輸入的相關資料，包括號誌燈號位置設定、時相表設定，如圖 5.1-8。



圖 5.1-6 基本功能示意圖



圖 5.1-7 進階功能示意圖



圖 5.1-8 設定功能之基本設定示意圖

5.1.4 輸出資料增加百分比資訊

本期針對分析軟體輸出之統計圖表，除了原有的統計數值以外，新增以百分比呈現之功能，使用者可根據分析需求在操作介面上將圖表切換為實際數值或百分比，百分比的呈現讓使用者在分析結果上能夠更清楚了解分析屬性之比例或分布狀況，提供使用者更全面性的分析結果。本期新增之百分比圖表如下。

- 一、路口車速與數量分布圖(各車種在不同時速下對於全車種之佔比)，如圖 5.1-9。
- 二、衝突事件按車種統計圖，如圖 5.1-10。
- 三、衝突事件按 TTC 統計圖，如圖 5.1-11。
- 四、衝突事件按 PET 統計圖，如圖 5.1-12。
- 五、機會左轉分析統計表，如圖 5.1-13。
- 六、穿越衝突分析統計表，如圖 5.1-14。
- 七、右轉衝突分析統計表，如圖 5.1-15。
- 八、路口轉向交通量表(透過百分比計算前，含 PCU 資訊)，如圖 5.1-16。
- 九、路口轉向交通量表(根據橫軸小計計算)，如圖 5.1-17。
- 十、路口轉向交通量表(根據縱軸小計計算)，如圖 5.1-18。

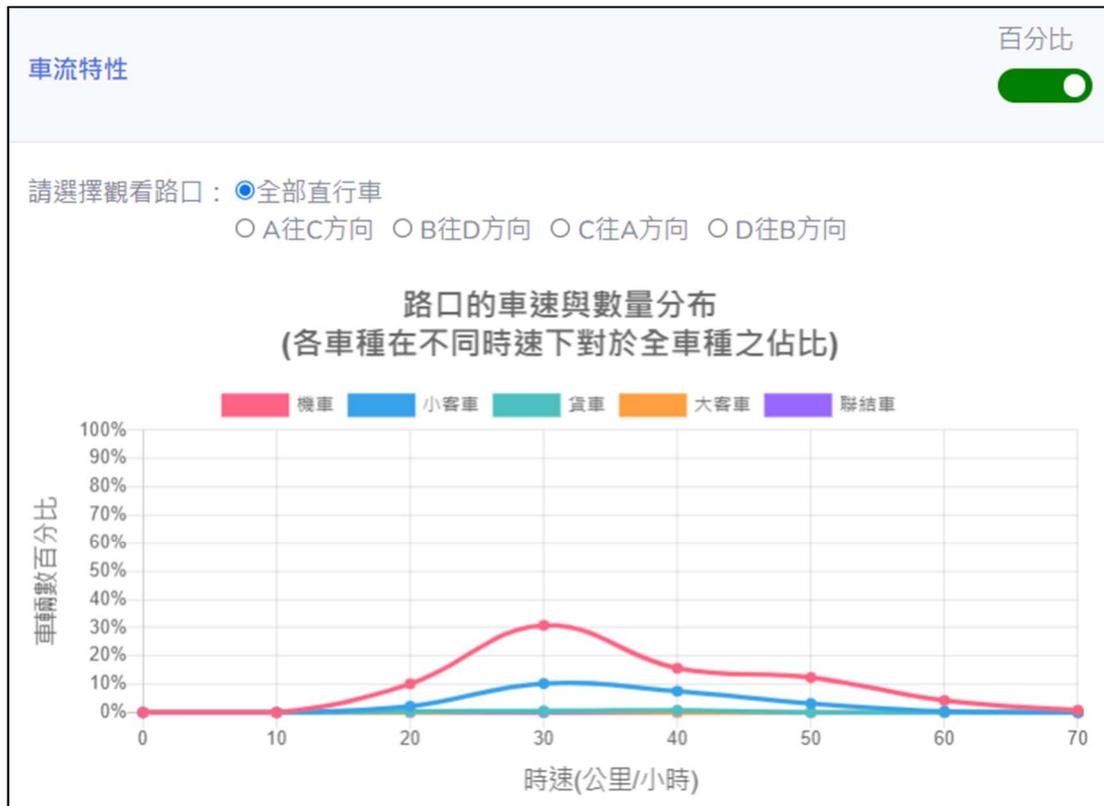


圖 5.1-9 路口車速與數量分布圖(各車種在不同時速下對於全車種之佔比)



圖 5.1-10 衝突事件按車種統計圖



圖 5.1-11 衝突事件按 TTC 統計圖



圖 5.1-12 衝突事件按 PET 統計

統計表															百分比
入口方向	左轉車輛							對向直行車輛						兩車相互行為	
	車輛數	先行左轉	燈號轉換期間左轉	左轉車未到達中央路口處左轉	清道時間結束後仍無法通過路口	外側車道左轉	左轉機車數	機車於兩段式左轉路口直接左轉	車輛數	搶黃燈	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速法規速限	超速速限寬容值	左轉衝突(強行左轉)
A	100%	40.0%	0	80.0%	0	0	100%	0	100%	3.3%	0	0	25.0%	5.4%	0
B	100%	27.3%	18.2%	72.7%	27.3%	0	100%	0	100%	3.6%	0	17.9%	10.7%	0	0
C	100%	0	3.7%	33.8%	11.0%	63.2%	100%	0	100%	8.9%	4.8%	0	15.3%	1.6%	2
D	100%	0	0	16.7%	16.7%	0	100%	0	100%	3.9%	2.0%	27.5%	5.9%	0	0

圖 5.1-13 機會左轉分析統計表

統計表															百分比	速限:50(km/h)	設定				
入口方向	直行車輛						左側來向車輛					右側來向車輛					兩車相互行為				
	車輛數	搶黃燈	清道時間結束後仍無法通過路口	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	穿越衝突(左側來向)	穿越衝突(右側來向)
A	100%	9.4%	14.2%	4.7%	0	15.0%	1.6%	100%	25.5%	2.0%	27.5%	5.9%	0	100%	17.9%	0	17.9%	10.7%	0	0	0
B	100%	3.9%	7.8%	2.0%	27.5%	5.9%	0	100%	0	0	0	25.2%	5.4%	100%	0	4.7%	0	15.0%	1.6%	0	0
C	100%	2.7%	0	0	0	25.2%	5.4%	100%	17.9%	0	17.9%	10.7%	0	100%	25.5%	2.0%	27.5%	5.9%	0	0	0
D	100%	3.6%	3.6%	0	17.9%	10.7%	0	100%	0	4.7%	0	15.0%	1.6%	100%	0	0	0	25.2%	5.4%	0	0

圖 5.1-14 穿越衝突分析統計表

統計表															百分比	速限:50(km/h)	設定			
方向	車輛數	總車輛數	直行車輛數	右轉車輛數	R1: 右轉車未靠右	R2: 直行車未遠離右側	V1: 超速(速限)	V2: 超速(寬容值)	V3: 右轉車未使用最外側車道或專用道	V4: 直行車使用右轉專用道	C1: 同向右轉跟車衝突	C1 TTC	C2: 兩車右轉切入	C2 PET	C3: 同向兩車右轉衝突	C3 PET	C4: 直行機車與右轉汽車衝突(直行車側撞右轉車)	C4 PET	C5: 右轉汽車與直行機車衝突(右轉車側撞直行車)	C5 PET
A 方向	機車	100%	100%	100%	0	75.0%	19.2%	0	0	-	1	0.0	0	-	0	-	0	-	0	-
	小型車	100%	100%	100%	0	38.1%	19.8%	2.8%	0	-	0	-	1	2.2	0	-				
	大型車	100%	100%	100%	0	33.3%	11.8%	0	0	-	0	-	0	-	0	-				
	小計	100%	100%	100%	0	42.2%	18.8%	2.0%	0	-	1	0.0	1	2.2	0	-				

圖 5.1-15 右轉衝突分析統計表

路口轉向交通量表										
<input checked="" type="radio"/> 橫軸百分比 <input type="radio"/> 縱軸百分比										
入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計(車輛數)	PCU
A	B	左轉	0	2	4	0	0	0	6	5
	C	直進	0	136	46	4	2	0	188	111
	D	右轉	0	11	12	1	0	0	24	19
	小計(車輛數)			0	149	62	5	2	0	218
B	C	左轉	0	13	12	3	0	0	28	21
	D	直進	0	169	70	4	1	0	244	147
	A	右轉	0	9	4	0	0	0	13	8
	小計(車輛數)			0	191	86	7	1	0	285
C	D	左轉	0	19	7	1	0	0	27	17
	A	直進	0	136	60	5	2	0	203	126
	B	右轉	0	57	6	0	1	0	64	35
	小計(車輛數)			0	212	73	6	3	0	294
D	A	左轉	0	28	10	2	0	0	40	25
	B	直進	0	325	68	6	1	0	400	212
	C	右轉	0	24	10	0	0	0	34	22
	小計(車輛數)			0	377	88	8	1	0	474
總計			0	929	309	26	7	0	1271	748

圖 5.1-16 路口轉向交通量表(透過百分比計算前，含 PCU 資訊)

備註：

1. 機車、小車、大車 PCE 參考：交通部運輸研究所「2022 臺灣公路容量手冊」第十三章
2. 自行車 PCE 參考：Beeston, L., Blewitt, R., Bulmer, S., & Wilson, J. (2021). Traffic Modelling Guidelines v4. Transport for London: London, UK.
3. PCU 小數點採四捨五入至整數位。

路口轉向交通量表 橫軸百分比 縱軸百分比

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車
A	B	左轉	0	1.3%	6.5%	0	0	0
	C	直進	0	91.3%	74.2%	80.0%	100%	0
	D	右轉	0	7.4%	19.4%	20.0%	0	0
	小計 (總車輛數/總計)			0	100% (16.0%)	100% (20.1%)	100% (19.2%)	100% (28.6%)
B	C	左轉	0	6.8%	14.0%	42.9%	0	0
	D	直進	0	88.5%	81.4%	57.1%	100%	0
	A	右轉	0	4.7%	4.7%	0	0	0
	小計 (總車輛數/總計)			0	100% (20.6%)	100% (27.8%)	100% (26.9%)	100% (14.3%)
C	D	左轉	0	9.0%	9.6%	16.7%	0	0
	A	直進	0	64.2%	82.2%	83.3%	66.7%	0
	B	右轉	0	26.9%	8.2%	0	33.3%	0
	小計 (總車輛數/總計)			0	100% (22.8%)	100% (23.6%)	100% (23.1%)	100% (42.9%)
D	A	左轉	0	7.4%	11.4%	25.0%	0	0
	B	直進	0	86.2%	77.3%	75.0%	100%	0
	C	右轉	0	6.4%	11.4%	0	0	0
	小計 (總車輛數/總計)			0	100% (40.6%)	100% (28.5%)	100% (30.8%)	100% (14.3%)
總計			0	100%	100%	100%	100%	0

圖 5.1-17 路口轉向交通量表(根據橫軸小計計算)

路口轉向交通量表
 橫軸百分比 縱軸百分比

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計
A	B	左轉	0	33.3%	66.7%	0	0	0	100%
	C	直進	0	72.3%	24.5%	2.1%	1.1%	0	100%
	D	右轉	0	45.8%	50.0%	4.2%	0	0	100%
	總車輛數/小計			0	68.3%	28.4%	2.3%	0.9%	0
B	C	左轉	0	46.4%	42.9%	10.7%	0	0	100%
	D	直進	0	69.3%	28.7%	1.6%	0.4%	0	100%
	A	右轉	0	69.2%	30.8%	0	0	0	100%
	總車輛數/小計			0	67.0%	30.2%	2.5%	0.4%	0
C	D	左轉	0	70.4%	25.9%	3.7%	0	0	100%
	A	直進	0	67.0%	29.6%	2.5%	1.0%	0	100%
	B	右轉	0	89.1%	9.4%	0	1.6%	0	100%
	總車輛數/小計			0	72.1%	24.8%	2.0%	1.0%	0
D	A	左轉	0	70.0%	25.0%	5.0%	0	0	100%
	B	直進	0	81.3%	17.0%	1.5%	0.3%	0	100%
	C	右轉	0	70.6%	29.4%	0	0	0	100%
	總車輛數/小計			0	79.5%	18.6%	1.7%	0.2%	0

圖 5.1-18 路口轉向交通量表(根據縱軸小計計算)

5.1.5 擴增多岔路口分析功能

為了讓交通衝突分析所涵蓋之實際路口類型能夠更廣泛，且更貼近實際發生衝突之路口樣貌，今(112)年度在現有軟體功能針對五岔路口擴增基本分析能力，並將以五岔路口分析來驗證本軟體從四岔路口擴增為多岔路口之可行性。本期新增五岔路口專案做為分析目標，如圖 5.1-19，在軟體功能上，操作選單以及分析結果之圖表呈現，不改變原有介面設計，僅針對五岔路口新增路口選項及新增路口分析結果，因此五岔路口專案之分析皆能夠以現有軟體介面操作。實作五岔路口之「基本分析」功能如下。

- 一、號誌影片(不含時相表設定)。
- 二、衝突事件表(選單擴充 E 路口)，如圖 5.1-20。
- 三、衝突熱點，如圖 5.1-21。

- 四、車流量調查，如圖 5.1-22。
- 五、車流特性，如圖 5.1-23。
- 六、路口軌跡，如圖 5.1-24。
- 七、速度熱區圖，如圖 5.1-25。
- 八、減速度熱區區，如圖 5.1-26。



圖 5.1-19 多岔路口之五岔路口示意-宜蘭縣宜蘭市中山路_神農路_舊城南路



圖 5.1-20 衝突事件表(選單擴充 E 路口)



圖 5.1-21 衝突熱點

路口轉向交通量表

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計(車輛數)	PCU
A	B	左轉	0	1	21	1	0	0	23	24
	C	直進	0	25	52	4	1	2	84	72
	D	右轉	0	1	15	0	0	0	16	17
	E	右轉	2	3	18	0	0	0	23	21
	小計(車輛數)			2	30	106	5	1	2	146
B	C	左轉	0	0	5	0	1	0	6	7
	D	直進	0	18	53	2	0	0	73	63
	E	直進	0	109	57	5	0	0	171	108
	A	右轉	0	2	13	2	0	0	17	17
	小計(車輛數)			0	129	128	9	1	0	267
C	D	左轉	0	1	14	1	0	0	16	16
	E	左轉	0	43	43	2	1	0	89	68
	A	直進	0	13	36	2	1	0	52	45
	B	右轉	0	0	6	1	0	0	7	8
	小計(車輛數)			0	57	99	6	2	0	164
D	E	左轉	0	0	2	0	0	0	2	2
	A	左轉	0	7	13	0	0	0	20	17
	B	直進	6	43	60	3	0	0	112	82
	C	右轉	0	9	16	0	0	0	25	21
	小計(車輛數)			6	59	91	3	0	0	159
E	A	左轉	0	1	5	0	0	0	6	6
	B	直進	0	111	55	5	0	0	171	107
	C	右轉	0	9	20	4	0	0	33	30
	D	右轉	0	0	3	0	0	0	3	3

圖 5.1-22 車流量調查

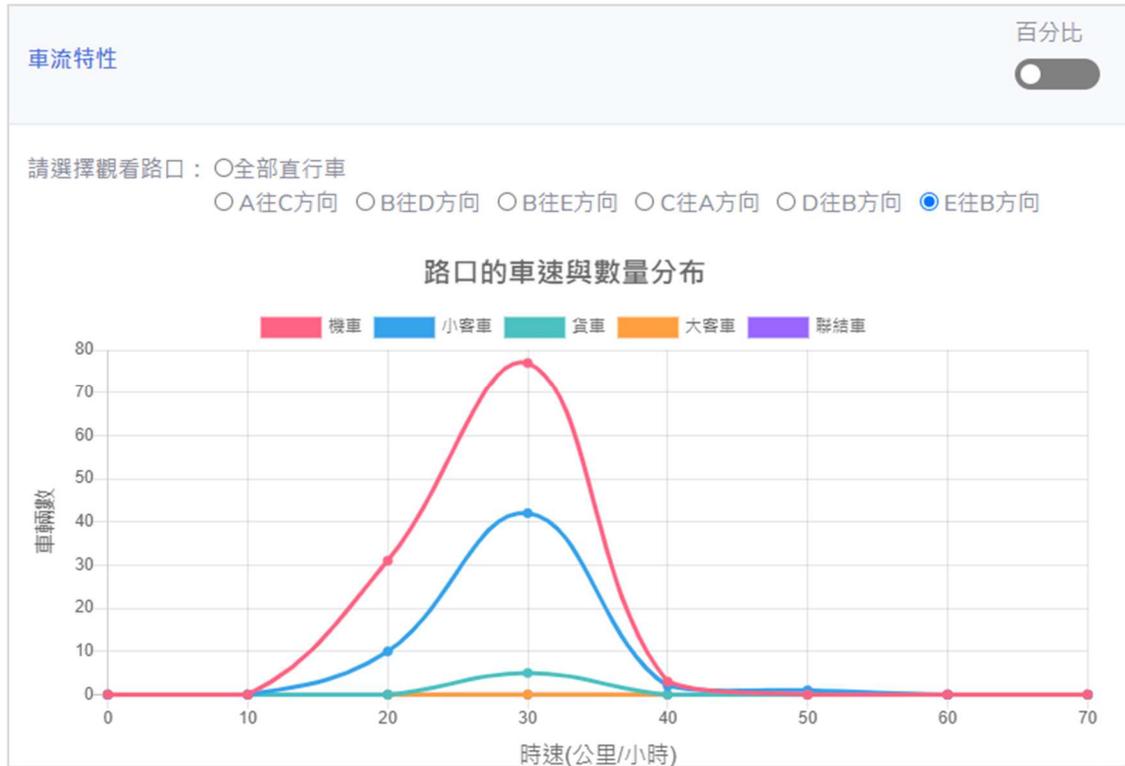


圖 5.1-23 車流特性

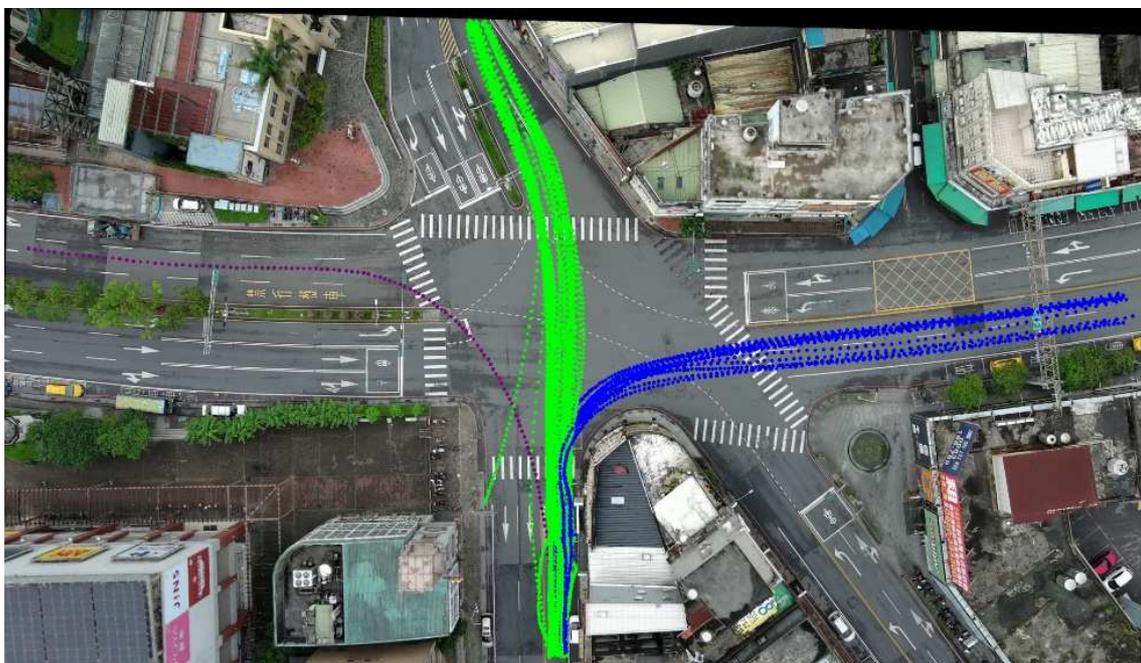


圖 5.1-24 路口軌跡



圖 5.1-25 速度熱區圖

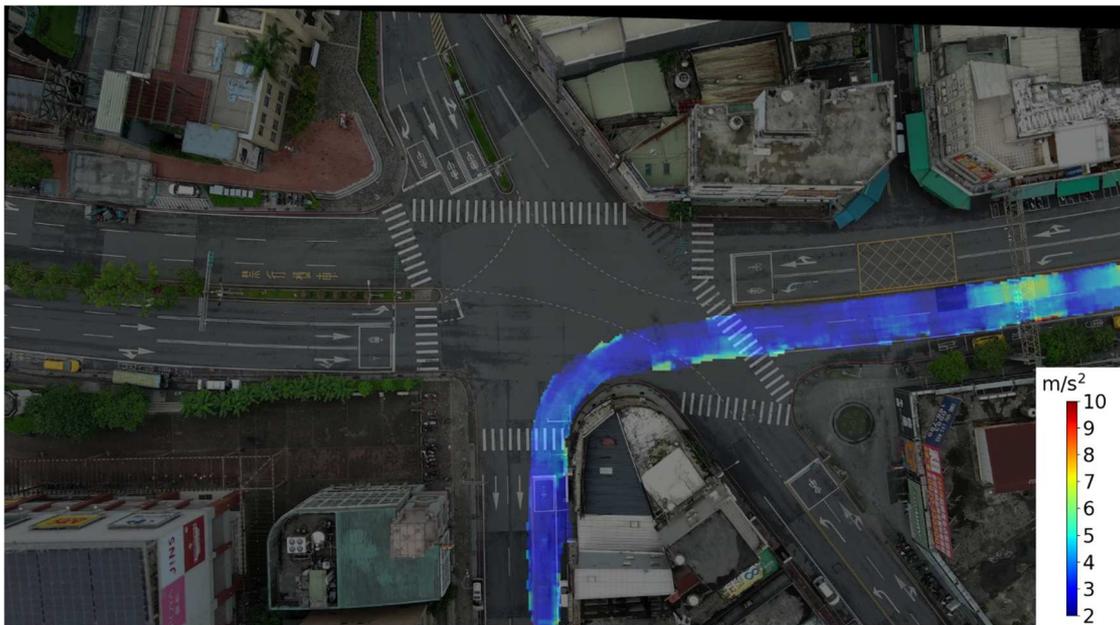


圖 5.1-26 減速度熱區圖

5.2 研提推廣應用模式

本(112)年度推廣應用模式研提構思如下，進行效果定義之依據：

- 一、 建立試用聯絡窗口服務，提供軟體試用推廣機制

針對研究資料共享目的，已擬定「取得研究案公開資料合約書」並公告於交通部運輸研究所官網，提供本計畫案所產出之公開資料，譬如 AI 影像標註資料、標記工具、AI 產出軌跡檔或空拍影片，需求者可透過申請取得相關公開資料，提供對象包含學術單位及交通公部門實務單位等，以資源共享、提升交通安全改善目的，進行資訊共享等交流研究。為增進交通數據流通應用效益、累積研究量能，也期盼使用者回饋研究成果供本計畫參考。

針對服務推廣目的，擬定「軟體試用合作保密合約書」並公告於交通部運輸研究所官網，規劃提供本計畫案所產出之軟體試用帳號，透過申請提供對象包含學術單位及交通公部門實務單位等，以資源共享方式提供各界進行相關交通管理及應用服務之研究工作，藉以提升我國交通領域之研究能量。為增進交通數據流通應用效益、累積研究量能，也透過試用意見回饋，使用者依軟體使用操作手冊於特定路口進行試用，回饋試用意見，俾協助運研所改善軟體功能。

現已完成申請並取得相關資源含學校老師及交通顧問公司，期望透過此公開資訊服務讓此研究成果提供更多相關無人機空拍程序、AI 影像分析、交通應用等之研究與開發，能共用共享此研究成果資源。

二、與道路管理機關進行落地性合作

與道路管理機關合作，完成「進階機會左轉分析」、「人車衝突分析」2 項先導測試計畫(本(112)年度合作縣市、單位：桃園市、臺南市、公路局)與 4 個易肇事路口交通衝突分析(本(112)年度合作縣市、單位：宜蘭縣、桃園市、雲林縣、臺南市、屏東縣)，透過空拍路口遴選、空拍路口可行性評估、機關需求訪談、空拍影像資料蒐集、軟體試用與回饋、分析報告結論討論與交流等，精進軟體試用性，並由道路管理機關實務使用及了解該軟體功能細節。另今(112)年度本計畫徵得公路局協助，針對臺南市永康區中華路、中央路口，屏東縣和生路二段、和生路三段(台 1 線)，由公路局飛手自行提供無人機空拍影片，測試由外部單位提供空拍影片之合作過程，驗證影像分析接受多元化之影像來源之測試研究。

三、與其它單位之交流與推廣合作

其它推廣事蹟如配合鼎漢國際工程顧問股份有限公司協助桃園市政府所辦理之 111 年度桃園市易肇事及壅塞路口(段)改善研究案進行路口交通分析等服務，後續等待事後改善後之無人機空拍與分析服務；配合中華電信股份有限公司協助新北市政府警察局交通警察大隊進行科技執法執行，譬如駕駛人闖紅燈、違規迴轉、占用停等區、未依標誌標線、未禮讓行人、機車未依兩段式左轉等違規行為，使用空拍機進行駕駛人行為改善前或改善後之交通分析，以提供科技執法執行之成效評估參考；配合交通大學運輸研究中心辦理內政部營建署委託之 111 年度市區道路路側停車與快慢分隔島對交通安全影響之研究案，使用無人機進行空拍、AI 分析等研究；在數位發展部 DIGI+ Talent 計畫中推廣交通分析軟體，以擴大軟體的知名度並增進公眾的理解與認識。

四、與學界之推廣研究

本計畫之研究亦由國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 Yu-Tzu Lin, Yi-Xuan Su, Shao-Fu Li 等人引用，提出新的研究成果投稿至國內、外相關研討會與期刊，本案 110 年度的計畫引用研究投稿至國際期刊並被接收及後續發表「Factors for opportunity left-turn traffic conflicts at urban signalized intersections」(Yu-Tzu Lin, Yi-Xuan Su, Shou-Ren Hu, 2023)、「Thresholds and Contributing Factors for Rear-End Traffic Conflicts at Signalized Intersections under Mixed Traffic Flow Conditions」(Shao-Fu Li, Shou-Ren Hu, 2024)；本案 111 年度的計畫引用研究亦榮獲 2023 年中華民國運輸年會論文獎第一名「以接受間距探討混合車流下非號誌化路口之交通衝突」(蘇逸軒、胡守任，2023)。

第六章 先導測試計畫

本(112)年度將進行「機會左轉(進階分析)」、「人車衝突」兩項做為先導測試計畫的應用情境，經 110 年度的機關合作意願及合作調查，考慮這兩個應用情境在地方機關的順序，如表 6-1，桃園市在「機會左轉(進階分析)」、「人車衝突」的合作項目為 3、4，臺南市的順序為 2、6，公路局的順序為 1、6，顯示都有相關情境的交通問題，符合本(112)年度應用情境的合作對象。故優先邀請桃園市、臺南市及公路局為本(112)年度之合作單位並獲兩市交通局及公路局同意。

表 6-1 先導測試計畫的合作意願及合作之應用情境

團隊建議 順序	交通安全應用情境	機關順序								
		臺北市	新北市	桃園市	臺中市	臺南市	高雄市	公路局	東區中心- 花蓮	東區中心- 臺東
1	機會左轉	2	1	1	2	1	1	2	1	5
2	路口穿越衝突	1	6	6	1	5	3	4	4	6
3	右轉衝突	3	3	5	3	3	5	3	3	4
4	非號誌化路口停讓衝突	5	4	2	7	4	4	5	2	1
5	機會左轉 (進階分析)	6	2	3	6	2	2	1	6	2
6	人車衝突	4	5	4	4	6	6	6	5	3
	其它情境	未填	多岔路口同 向擦撞	未填	5 同車道右轉 車輛與直行 車輛衝突	未填	未填	未填	未填	未填
	合作意願 (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導/易肇事)	○ (先導)

先導測試計畫之工作項目及流程規劃，整理如表 6-2 所示。本章節架構如下，6.1 節說明「機會左轉(進階分析)」與「人車衝突」之問題背景，6.2 節說明兩個應用情境分析之方法，並於 6.3 節篩選實驗場域及說明路口特性。

表6-2 先導測試計畫之工作項目

	工作項目	內容說明
1	問題背景	回顧國內外相關文獻，釐清應用情境之背景說明
2	分析方法建立	參考過去經驗，列出可能導致碰撞之行為項目並進行彙整
3	實驗場域篩選	由合作之地方機關(桃園市、臺南市、公路局)及本計畫提出測試路口的候選名單，經過符合分析及空拍的可行性，篩選合適的路口，各應用情境挑選 5~7 個路口進行實地拍攝。
4	現場拍攝調查	每次空拍影片長度約為 15~20 分鐘，每路口預計執行至少 3 趟次無人機空拍蒐集，以取得總時數 45 分鐘以上之影片。
5	影像分析	將測試場域所拍攝之影片進行影像分析，產生之軌跡檔案於分析軟體建立專案。
6	分析工具開發	將分析方法建立於分析軟體上，將分析工作自動化。
7	路口資料分析	分析測試場域路口之車流特性及相關交通安全風險，嘗試歸納出路口之安全問題並提供交通安全工程之改善建議。亦藉由分析測試資料評估及確認相關技術成熟度與限制。
8	結果回饋	將分析結果回饋合作機關。

6.1 課題背景

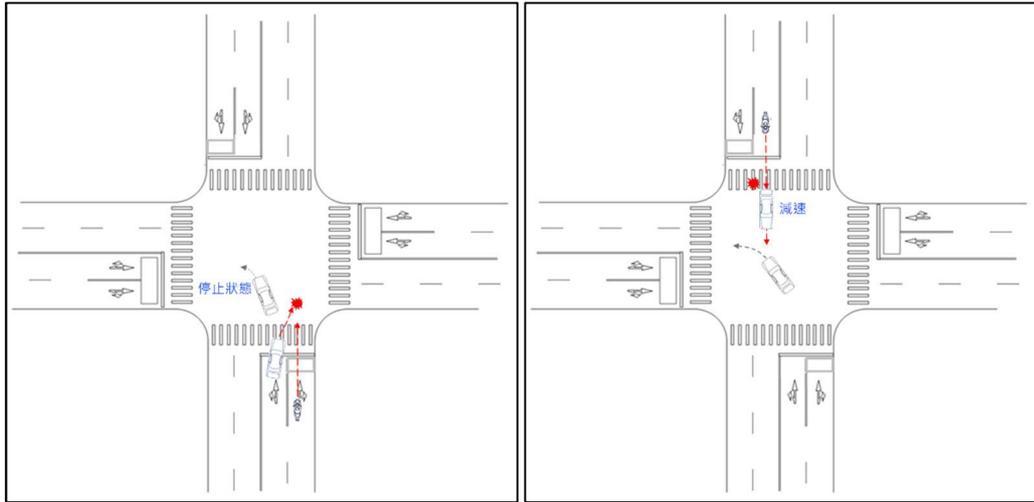
以下將說明兩個應用情境之課題背景，以及相關學術文獻或技術報告。

6.1.1 機會左轉(進階分析)

「路口機會左轉」泛指在沒有保護左轉時相的路口車輛進行左轉之行為，會與對向直行車流產生衝突。本計畫於 110 年期計畫中盤點

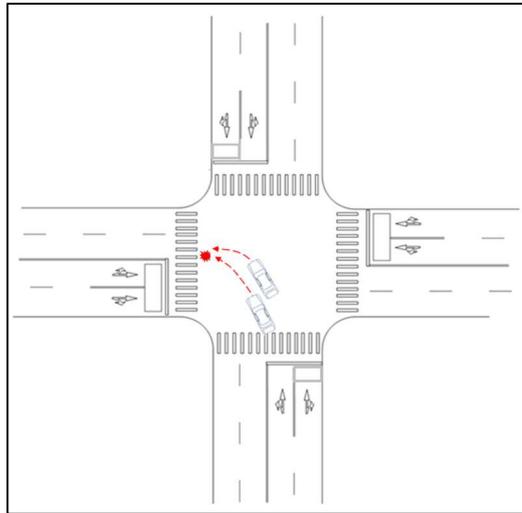
路口常見問題，機會左轉事件為最主要的類型之一，盤點的討論過程中，亦有專家學者提出機會左轉情境會因路口的車道配置及車輛行為，而延伸出其他的次要衝突。

本計畫已於 110 年度對左轉車與對向直行車之衝突行為進行探討，本(112)年度則對左轉車與對向直行車以外之互動行為及其延伸出其他的次要衝突歸類為機會左轉之進階分析，包含 3 種情況(a) 次要衝突 1：左轉車輛停等導致上游車流變換車道之同向直行擦撞；(b) 次要衝突 2：對向直行車輛減速導致與其上游之同向直行追撞；(c) 次要衝突 3：兩車同時左轉導致之同向左轉擦撞(如圖 6.1-1 所示)。根據 110 年之盤點及分析，這三類衝突所對應之肇事型態主要為同向直行擦撞、同向直行追撞與同向左轉擦撞，其可能肇因包括變換車道或方向不當、未保持行車安全距離、爭(搶)道行駛、左轉彎未依規定、未注意車前狀況。為方便敘述本(112)年度研究於 110 年度研究之差別，後續將 110 年之分析情境稱為機會左轉之基本分析，本(112)年度之分析情境為機會左轉之進階分析。



(a)次要衝突 1

(b) 次要衝突 2



(c) 次要衝突 3

圖 6.1-1 機會左轉之進階分析情境圖示

6.1.2 人車衝突

「人車衝突」指車輛與穿越道路中之行人所發生之衝突。根據 110 年之盤點及分析，對應肇事型態主要為人車碰種，其可能肇因包括未依規定禮讓行人。另外參考 107 年「市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊」案（內政部營建署，2020）之研究，將人車碰撞事故依據車行向與人車相對位置細分成 5 類：同向右轉、反向右轉、同向

左轉、反向左轉、垂直直行，其中同向係指車輛在轉彎前的行向與行人同方向，反向則係車輛在轉彎前的行向與行人反方向。該研究深入探討肇事原因，發現同向的轉彎人車事故最多，可能係因視線遮蔽影響；反向的轉彎人車事故可能係因車輛未禮讓行人，進而導致事故發生；人車相對方向為垂直的事故可能是有一方違規或是時相、車速等原因。在評估人車的衝突風險，參考該研究針對 4 種安全效果，所提出 8 個指標，包括車輛接觸行穿線時角度、進入行穿線前車速、車輛通過分散度、車輛提早左轉比率、車輛壓到人行道比率、車輛未禮讓行人比率、行穿線未遵行比率、行人號誌違規率，用作安全效果的評估，探討改善行人設施事前事後之影響。

6.2 分析方法

本計畫運用車流軌跡資料，提出人車流動資訊之分析方法，根據應用情境的交通風險問題，由軌跡中進一步計算人車流特性及交通風險相關的行為事件。本期計畫的分析方法參考第四期(110 年度)研究的分析項目，將路口衝突相關的交通風險彙整為以下 3 大類行為：具風險之駕駛及用路行為、違規行為、交通衝突。以下針對各行為項目進行說明。

6.2.1 機會左轉(進階分析)

本期計畫將機會左轉之相關風險彙整為以下 3 大類行為，包含 110 年度研究之基本分析項目及本(112)年度之進階分析項目：

一、具風險之駕駛及用路行為(Risky Driving Behavior)[R]：

指一輛車在行駛過程中進行之潛在具風險之駕駛及用路行為，但並未明顯違反交通規則，包括 4 項基本分析項目：先行左轉(搶先左轉)、燈號轉換期間左轉(搶黃燈)、左轉車未到達路口中央處左轉(過彎「切西瓜」)、清道時間結束後仍無法通過路口，及 6 項進階分析項目：對向車急減速、接近路口處變換車道、對向外側車道直行車未減速、對向車輛繞行通過、對向車輛加速通

過、車輛外切繞過停等車通過。

二、違規行為(Violation Behavior) [V]：

指一輛車在行駛過程中進行之駕駛行為，已明顯違反交通規則，包括 6 項基本分析項目：闖紅燈、紅燈跨越停止線、超速(法規速限)、超速(速限寬容值)、外側車道左轉(左轉未依規定)、機車於兩段式左轉路口直接左轉，及 2 項進階分析項目：直行車行駛左轉專用道、接近路口處變換車道(跨越雙邊禁止變換車道線)。

三、交通衝突(Traffic Conflict) [C]：

指左轉車輛與對向直行車輛所產生之交通衝突，共 1 項基本分析項目：先行左轉(搶先左轉)，及 2 項進階分析項目：內側車道直行車變換車道與其他直行車之衝突、對向直行車減速與後車之衝突、兩左轉車同時左轉之衝突。

以上行為所包括之項目，如表 6.2-1 至表 6.2-3 說明、圖 6.2-1 至圖 6.2-2 之內容說明。

表 6.2-1 機會左轉：具風險之駕駛及用路行為之分析項目

類型	代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
基本分析	[R1]	先行左轉 (搶先左轉)	左轉車輛於綠燈始亮時搶先起步，比對向直行車輛更早通過路口	時相開始時，左轉車輛較對向直行的第一輛車更早到達路口離去線並通過路口
	[R2]	燈號轉換期間左轉 (搶黃燈)	左轉車輛利用燈號轉換時段(黃燈)時進行左轉並通過路口	左轉車輛於黃燈時穿越停止線

類型	代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
	[R3]	左轉車未到達路口中央處左轉（過彎「切西瓜」）	左轉車輛未行駛至路口中點，即出現轉彎行為	左轉車輛的完整軌跡沒有與繪製的路口中央區域交會
	[R4]	清道時間結束後仍無法通過路口	左轉車輛停等於路口尋找機會通過路口，但受對向直行車流阻擋，燈號轉為紅燈後，於清道時間內仍無法順利通過路口	左轉車輛於綠燈時穿越路口停止線，並於紅燈加上清道時間後穿越路口離去線
進階分析	[R5]	對向直行車急減速	對向直行車因為左轉車強行通過路口，導致直行車急減速避免碰撞	左轉車通過路口時間段，對向直行車產生較大減速度值($a < -0.35g$)則計之
	[R6]	左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道	因為左轉車於接近路口處停等，導致上游的直行車於接近路口上游變換至外側車道	左轉車通過路口時間段，其上游之內側車道直行車跨過車道線則計之
	[R7]	對向外側車道直行車未減速	其視線可能遭內側車道車輛遮蔽，而無法察覺對向有車輛左轉	左轉車通過路口時間段，對向直行車通過停止線時前後各 0.5 秒的區間速度超過速限，且加速度為正值($a > 0$)則計之

類型	代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
	[R8]	對向車輛繞行通過	因為左轉車於接近路口處停等，導致對向直行車繞行通過	左轉車通過路口時間段，導致對向直行車跨過內側車道之右側車道線或虛擬車道線(表示繞行)時則計之
	[R9]	對向車輛加速通過	因為左轉車於接近路口處停等，導致對向直行車加速通過	左轉車通過路口時間段，對向直行車通過停止線時前後各 0.5 秒的區間速度超過速限，且加速度大於 $0.5m/s^2$ ($a > 0.5$) 則計之
	[R10]	左轉車上游車輛外切繞過停等車通過	因為左轉車於接近路口處停等，導致同向上游車流繞行通過	左轉車通過路口時間段，導致上游直行車跨過內側車道之右側車道線或虛擬車道線(表示繞行)時則計之

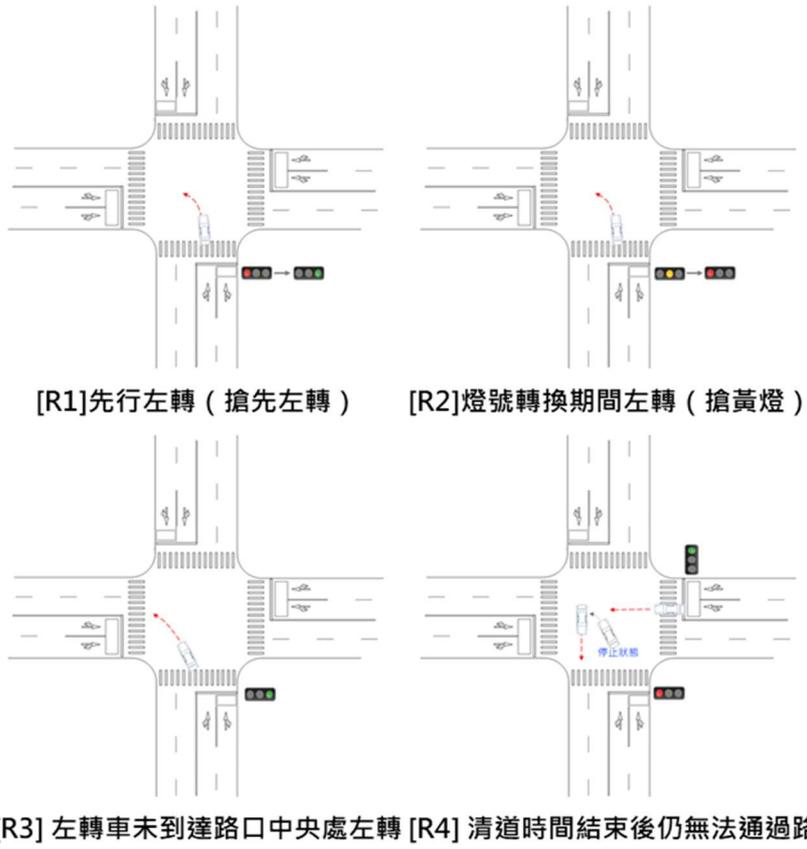
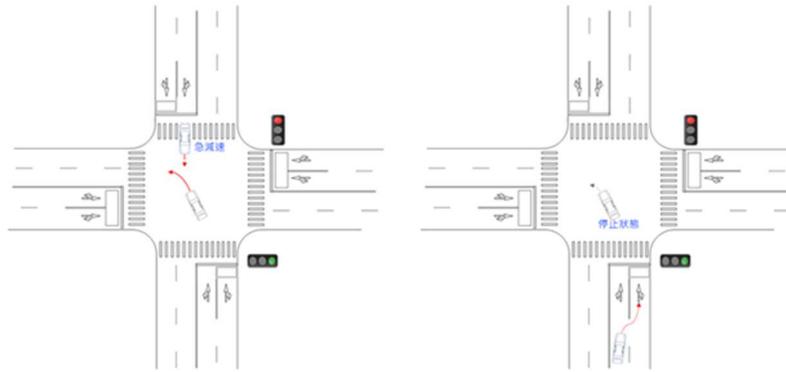
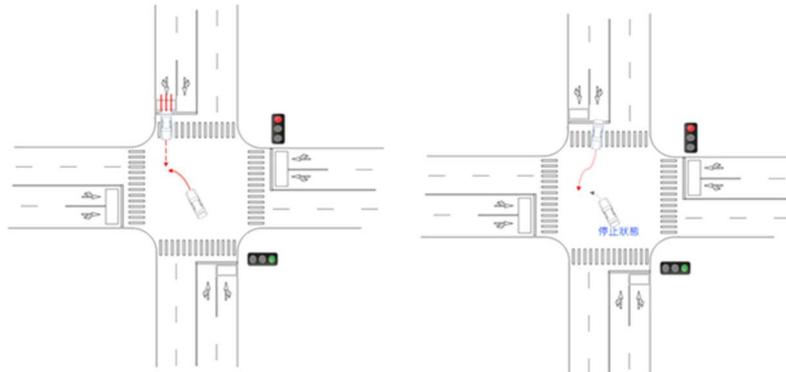


圖 6.2-1 機會左轉：具風險之駕駛及用路行為之分析項目圖示

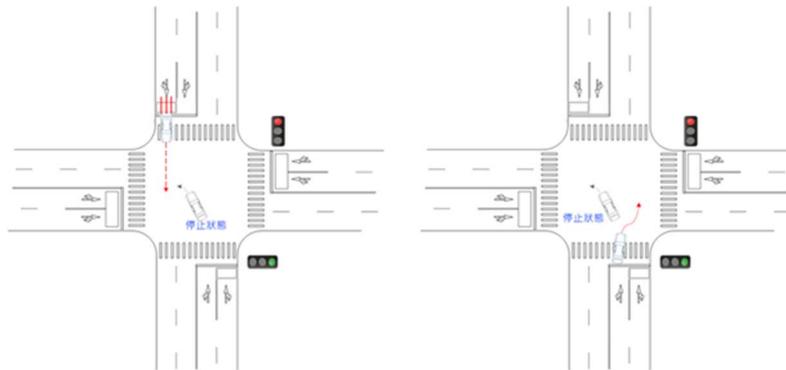


[R5]對向直行車急減速 [R6]內側車道直行車於接近路口處變換車道



[R7]對向外側車道直行車未減速

[R8]對向車輛繞行通過



[R9]對向車輛加速通過

[R10]車輛外切繞過停等車通過

圖 6.2-2 機會左轉：具風險之駕駛及用路行為之分析項目圖
示(續)

表 6.2-2 機會左轉：違規行為之分析項目

類型	代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
基本分析	[V1]	闖紅燈	車輛在號誌為紅燈時通過路口	車輛於紅燈時間通過停止線及離去線
	[V2]	紅燈跨越停止線	車輛在號誌為紅燈時跨越停止線，但沒有通過路口	車輛之車頭於紅燈時間跨越停止線，但沒有通過離去線
	[V3]	超速(法規速限)	車輛之瞬間最大車速超過該道路之法規速限	車輛之瞬間最大車速超過該道路之法規速限
	[V4]	超速(速限寬容值)	車輛之瞬間最大車速超過該道路所設定之法規速限加上寬容值(10km/h)	車輛之瞬間最大車速超過該道路所設定之法規速限加上寬容值(10公里/小時)
	[V5]	外側車道左轉(左轉未依規定)	車輛經由外側(直行或直右)車道違規進行左轉	左轉車輛的完整軌跡經由外側(直行或直右)車道通過停止線
	[V6]	機車於兩段式左轉路口直接左轉	機車不遵守兩段式左轉之規定，於路口直接左轉	機車之完整軌跡通過停止線、左轉車道離去線、及路口中央區域
進階分析	[V7]	直行車行駛左轉專用道	內側為左轉專用道，直行車違規行駛左轉專用道	直行車通過左彎專用車道之停止線
	[V8]	接近路口處變換車道(跨越雙白實線)	車輛行駛時違規跨越雙邊禁止變換車道線	車輛跨越雙邊禁止變換車道線

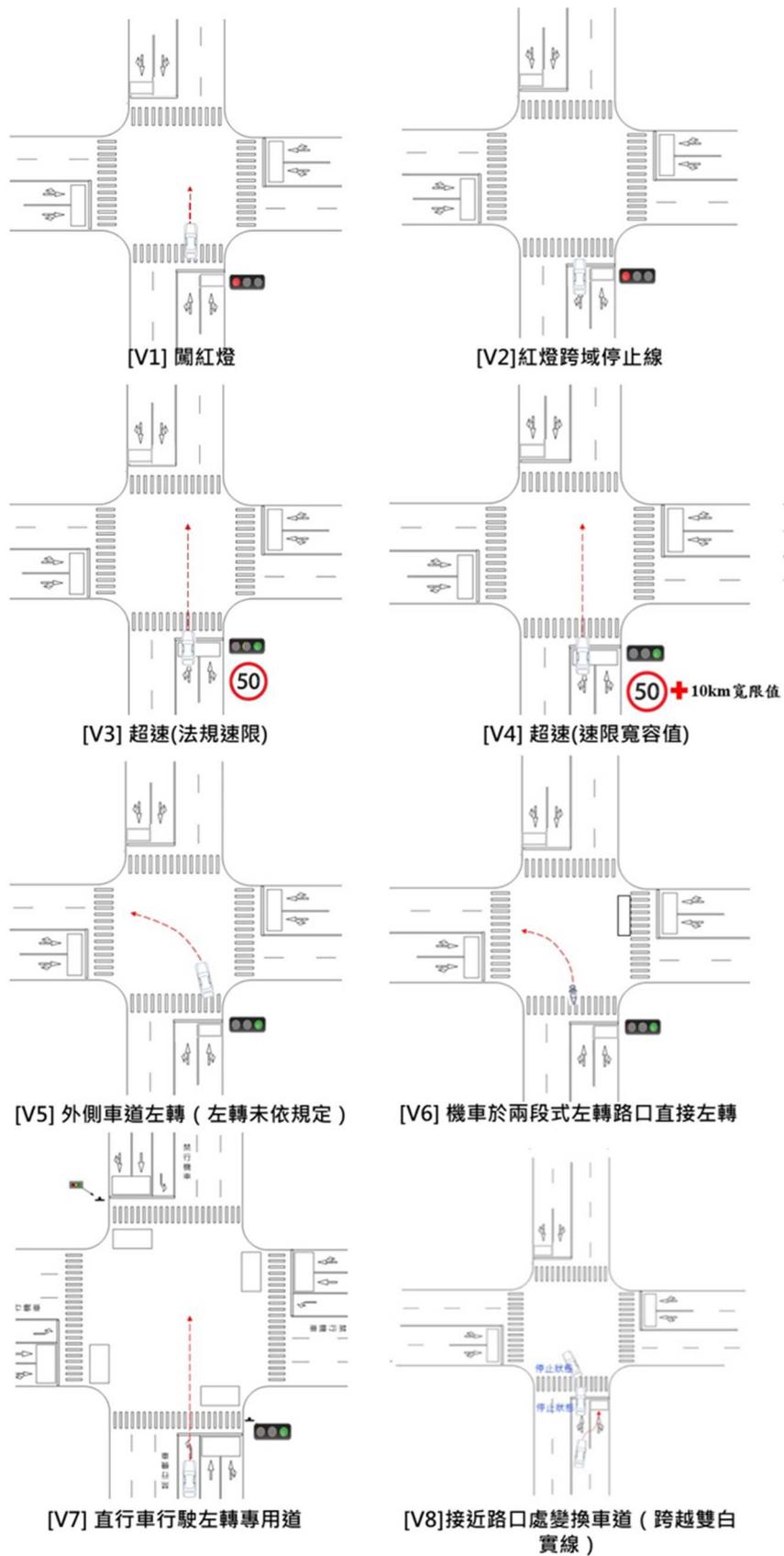


圖 6.2-3 機會左轉：違規駕駛行為之分析項目圖示

表 6.2-3 機會左轉：交通衝突

類型	代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
基本分析	[C1]	左轉衝突(強行左轉)	左轉車未禮讓直行車輛，與對向直行車輛發生衝突，或對向直行車輛必須減速	針對左轉車與對向直行車進行衝突分析(PET \leq 3)
進階分析	[C2]	內側車道直行車變換車道與其上游車流之衝突	路口處因為有左轉等待左轉，導致行駛於內側車道之直行車受阻而變換至較外側之車道，並與外側車道上游的直行車輛產生衝突	當有左轉車在路口，針對內側車道之直行車變換車道、外側車道之直行車進行衝突分析(TTC \leq 3)
	[C3]	對向直行車減速與其上游車流之衝突	受到左轉車強行左轉，對向直行車因而較大程度減速避讓，導致對向直行車與其上游之車輛產生衝突	當有左轉車在路口，針對對向直行車且有減速(a < -0.35g)、對向直行車之上游直行車進行衝突分析(TTC \leq 3)
	[C4]	兩車同時左轉之衝突	兩台左轉車同時於路口處進行左轉行為而兩車彼此產生衝突	針對兩台左轉車進行衝突分析(TTC \leq 3)

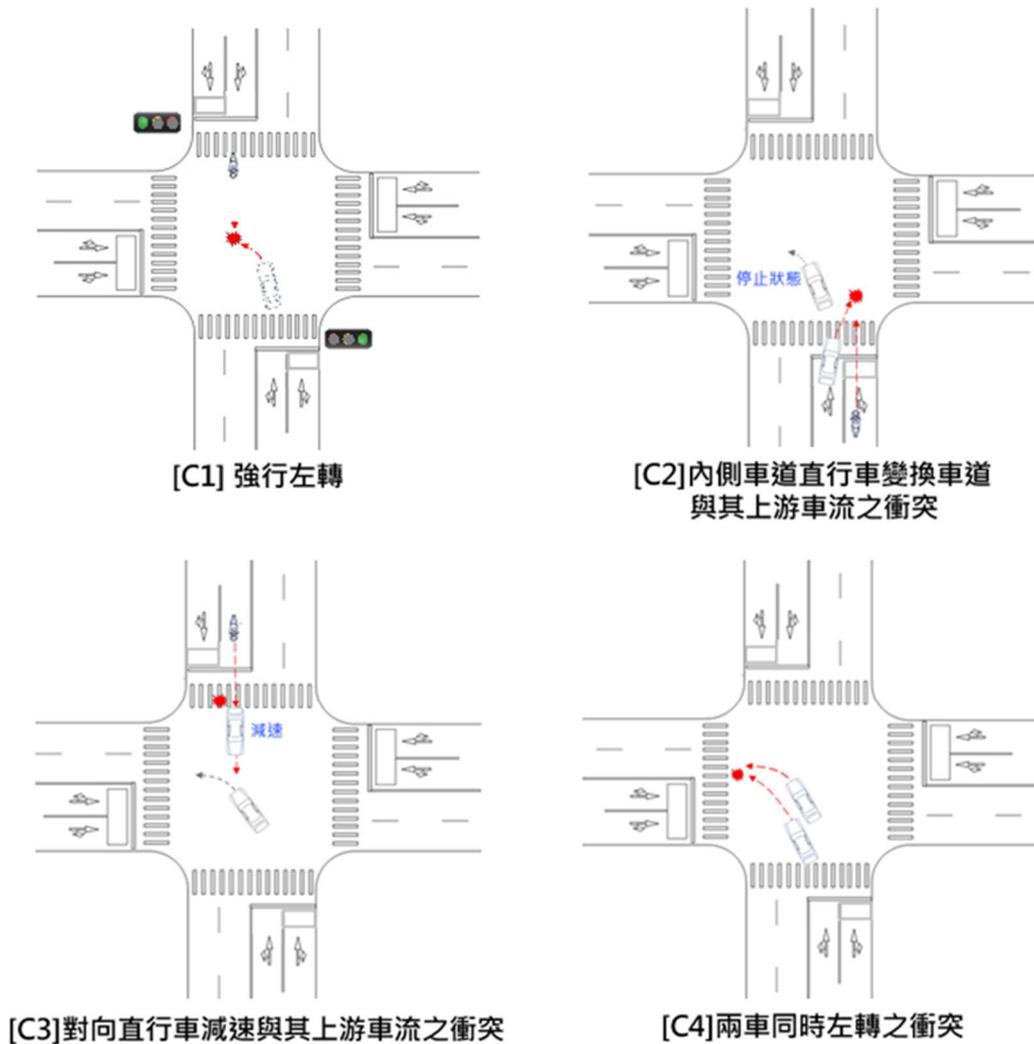


圖 6.2-4 機會左轉：交通衝突之分析項目圖示

6.2.2 人車衝突

本期計畫將人車衝突彙整為以下 3 大類行為：

一、具風險之行為(Risky Driving Behavior)[R]：

指一輛車在行駛過程中或行人通過路口期間進行具高風險之行為，但並未明顯違反交通規則，包括 3 項：轉彎車輛未慢速通過行穿線、車輛接觸行穿線時角度、行人提早進入車道等待。

二、 違規行為(Violation Behavior) [V]：

指一輛車在行駛過程中進行之駕駛行為或行人穿越道路之行為，已明顯違反交通規則，包括 6 項：車輛跨越停止線、車輛跨越行穿線、轉彎車輛未禮讓行人、車輛闖紅燈、行穿線未遵行(行人)、行人闖紅燈(行人)。

三、 交通衝突(Traffic Conflict) [C]：

指行人與車輛之間的互動所產生的衝突。包括 6 項：同向右轉衝突、同向左轉衝突、反向右轉衝突、反向左轉衝突、垂直直行衝突、機車兩段左轉與行人衝突。

以上行為所包括之項目，如表 6.2-4 至表 6.2-6 說明、圖 6.2-4 至圖 6.2-6 之內容說明。

表 6.2-4 人車衝突：具風險行為之分析項目

代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
[R1]	轉彎車輛未慢速通過行穿線	轉彎車輛行駛至枕木紋行人穿越道線時，車輛未減速以觀察有無行人通過	車輛通過枕木紋行人穿越道線時之速度未小於門檻值(30 km/h)
[R2]	車輛接觸行穿線時角度	車輛接觸枕木紋行人穿越道線時之角度換算之視距小於安全門檻值	車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度，產出小於門檻值之統計資料及產出所有角度之分布圖
[R3]	行人提早進入車道等待(行人)	行人紅燈時站在馬路上/枕木紋行人穿越道線上等待	行人接觸枕木紋行人穿越道線時為紅燈，離去時為綠燈

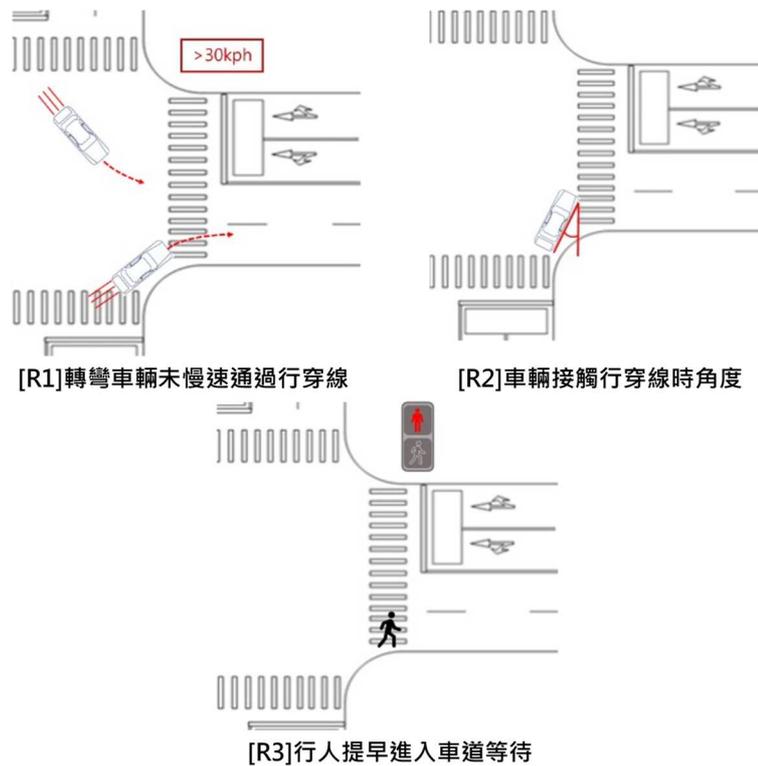


圖 6.2-5 人車衝突：具風險之駕駛及用路行為之分析項目圖

示

表 6.2-5 人車衝突：違規行為分析項目

代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
[V1]	車輛跨越停止線	車輛停等紅燈時，其前懸部分伸越停止線	車輛與停止線接觸時為紅燈
[V2]	車輛跨越行穿線	車輛停等紅燈時，其前懸部分伸越枕木紋行人穿越道線	車輛與枕木紋行人穿越道線接觸時為紅燈
[V3]	轉向車輛未停讓行人	轉彎車輛行經行人穿越道有行人穿越時，未暫停讓行人先行通過	判斷行人與車輛有交點之資料，計算人與車之間距離小於 3 公尺
[V4]	車輛闖紅燈	車輛未依號誌通行	車輛進出停止線與離去線時為紅燈
[V5]	行人未走在行穿線	行人未使用行人設施，穿越路口時未行走在枕	車輛進出枕木紋行人穿越道線的次數為零或兩

代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
	(行人)	木紋行人穿越道線上	次以上
[V6]	行人闖紅燈(行人)	行人未依號誌通行，於紅燈時仍在路口內	車輛進出枕木紋行人穿越道線的時間皆為紅燈

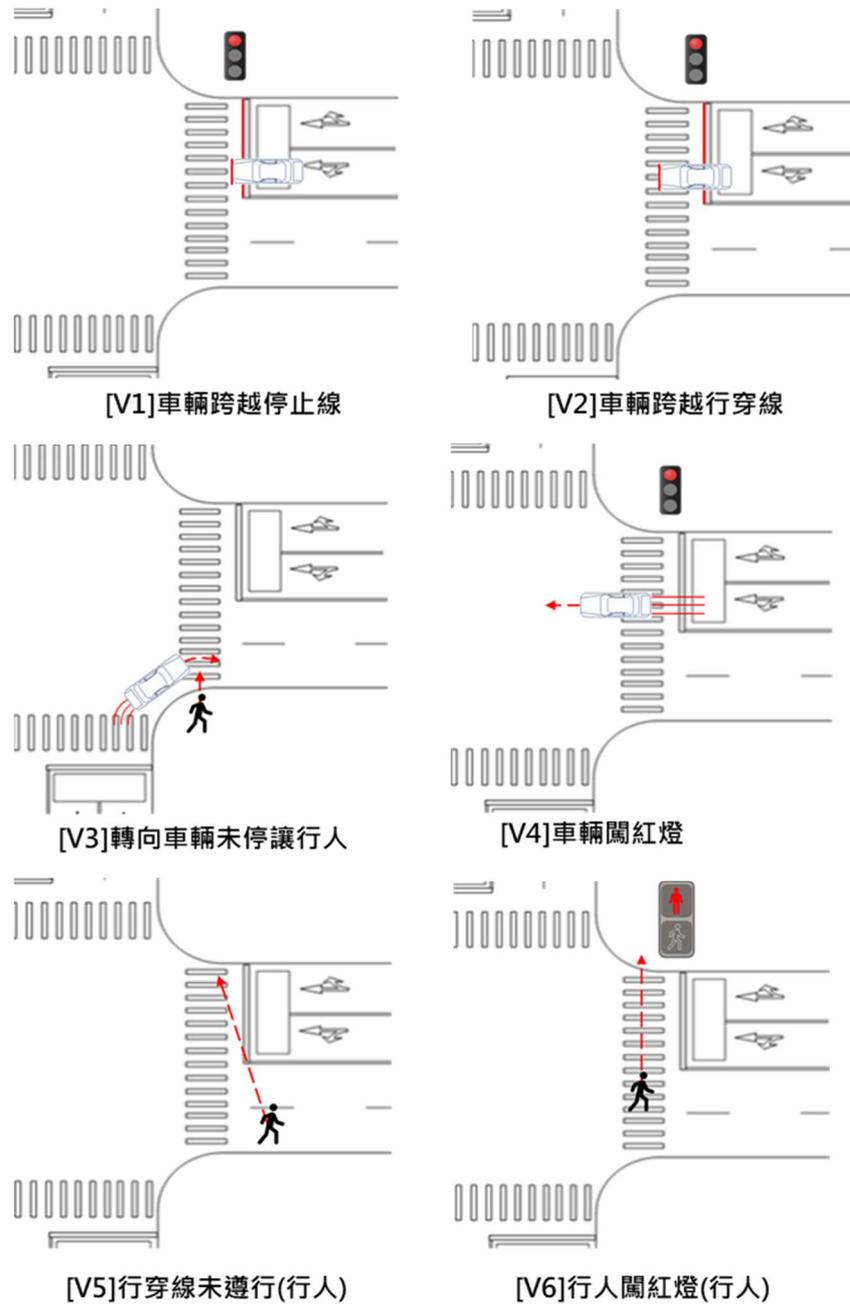


圖 6.2-6 人車衝突：違規行為之分析圖示

表 6.2-6 人車衝突：交通衝突

代碼	分析項目	說明	判斷邏輯
[C1]	同向右轉衝突	右轉車輛離開路口時與相同方向之行人發生衝突	右轉車輛與同向行人之 $PET \leq 5$
[C2]	同向左轉衝突	左轉車輛離開路口時與相同方向之行人發生衝突	左轉車輛與同向行人之 $PET \leq 5$
[C3]	反向右轉衝突	右轉車輛離開路口時與相反方向之行人發生衝突	右轉車輛與反向行人之 $PET \leq 5$
[C4]	反向左轉衝突	左轉車輛離開路口時與相反方向之行人發生衝突	左轉車輛與反向行人之 $PET \leq 5$
[C5]	垂直直行衝突	直行車輛與垂直方向之行人發生衝突	直行車輛與垂直方向之行人 $PET \leq 5$
[C6]	機車兩段左轉與行人衝突	機車進入機慢車左轉待轉區線時，與枕木紋行人穿越道線之行人發生衝突	機車進入左轉待轉區時與枕木紋行人穿越道線之行人 $PET \leq 5$

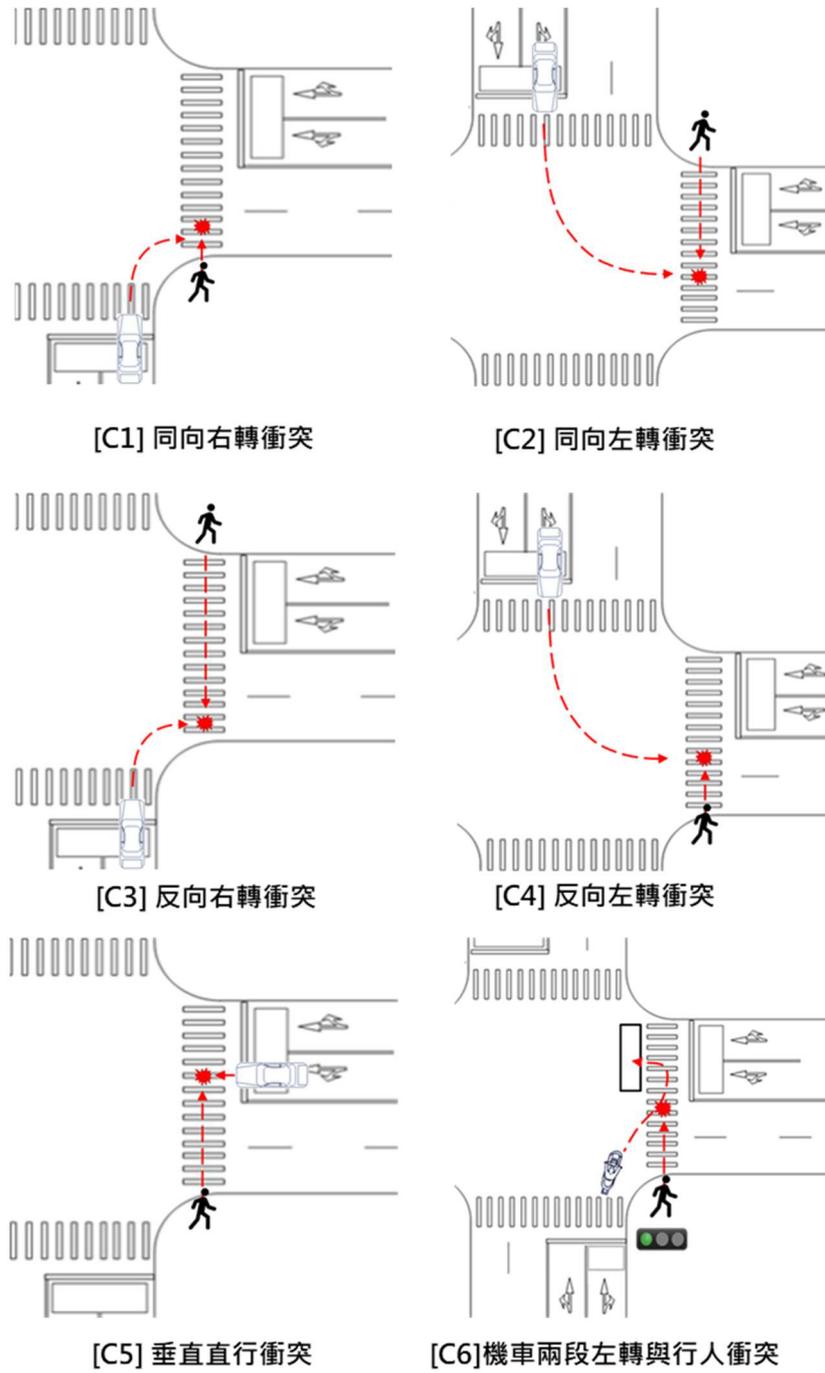


圖 6.2-7 人車衝突：交通衝突圖示

6.3 篩選實驗場域

6.3.1 合作機關及路口篩選

本(112)年度之測試路口，是由合作機關(桃園市、臺南市、公路局)及本計畫提出候選名單，經過路口幾何條件及空拍條件的可行性評估，篩選合適的路口進行實地拍攝。原則上，調查地點會因應空拍需求，避開大樓視線及訊號遮蔽、高壓電塔訊號干擾及禁限航區等；為了進行後續分析，上方有天橋、路側行道樹多或有快慢分隔島等路口也會避免。

本計畫透過進行機關工作會議，請合作機關提出轄區內適合分析之路口。在路口篩選階段，桃園市、臺南市、公路局提供共 47 處路口，為滿足應用情境路口應涵蓋之型態，本計畫再增加 4 處路口，合計 51 處路口進行後續篩選。最終以 14 處路口(7 處機會左轉路口、7 處人車衝突路口)進行後續空拍資料蒐集與分析工作。

6.3.2 路口概況

最後納入分析及拍攝的路口共 14 個(7 處機會左轉路口與 7 處人車衝突路口)，路口清單如表 6.3-1 所示，並提供路口車道配置、路口幾何、號誌管制、過去三年(109 年至 111 年)交通事故件數等資訊。

交通事故件數方面，本計畫透過交通部道安資訊平台查詢事故違規排行分析，記錄 109 年 1 月至 111 年 12 月期間，在測試路口發生之事故件數及碰撞類型，另在人車衝突情境之路口，整理出涉及行人之事故件數。

表 6.3-1 先導測試計畫之實驗路口

路口編號	分類	路口特性條件	縣市	路口名稱#1	路口幾何(車道數、車道配置)	管制方式	路口肇事總件數#2	A1	A2	碰撞類型
1	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：有 左彎專用車道：無	臺南市	(西港區) 中山路(台 19 線)、文化路、進學街	中山路：對向直行 2+2 車道 文化路：對向直行 1+1 車道+1 機慢車優先道 進學街：對向直行 1+1 車道	三燈式號誌	16	0	16	側撞：8 擦撞：1 追撞：2 交岔撞：1 總件數：16
2	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：有 左彎專用車道：無	臺南市	(佳里區) 佳東路(台 19 線)、進學路	佳東路：對向直行 2+2 車道 進學路：對向直行 2+2 車道	三燈式號誌	34	0	34	側撞：22 擦撞：5 追撞：1 交岔撞：7 總件數：34
3	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：無 左彎專用車道：無	臺南市	(玉井區) 中山路(台 3 線)、台 20 線、中華路(台 20 線)	中山路：北側對向直行 2+2 車道+1 機慢車優先道、西側 1 左彎專用道+1 右彎專用道+1 機慢車優先道 中華路：西北側直行 1+1 車道、東南側 1 左彎專用道+1 右彎專用道+1 機慢車優先道	三燈式號誌	8	0	8	側撞：4 擦撞：3 追撞：1 交岔撞：0 總件數：8
4	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：有 左彎專用車道：無	臺南市	(新化區) 忠孝路(台 20 線)、中正路	忠孝路：對向直行 2+2 車道 中正路：對向直行 1+1 車道	三燈式號誌	24	0	24	側撞：6 擦撞：3 追撞：2 交岔撞：6 總件數：24
5	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：無 左彎專用車道：無	臺南市	(善化區) 中正路(台 19 甲線)、大成路、光復路	中正路：對向直行 1+1 車道 大成路：對向直行 2+2 車道 光復路：對向直行 2+2 車道	三燈式號誌	15	0	15	側撞：10 擦撞：2 追撞：1 交岔撞：2 總件數：15
6	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：有	桃園市	(中壢區) 中山東路四段、龍東路	中山東路四段：對向直行 1+1 車道 龍東路：南側對向直行 1+1 車道、北側對向直行 1+2 車道+2 左彎專用道+1 右彎專用道	中山東路四段：三燈式號誌 龍東路：南側四燈式號誌	36	0	36	側撞：21 擦撞：3 追撞：3

(續下頁)

路口編號	分類	路口特性條件	縣市	路口名稱#1	路口幾何(車道數、車道配置)	管制方式	路口肇事總件數#2	A1	A2	碰撞類型
		左彎專用車道：有		東路		誌(左轉箭頭綠燈+圓形綠燈)、北側三燈式號誌				交岔撞：1 總件數：36
7	機會左轉	機車左轉方式：兩段式左轉 早開遲閉：有 左彎專用車道：有	桃園市	(桃園區)民光東路、春日路(台4線)	民光東路：西側對向直行2+2車道、東側對向直行1+1車道+1右彎專用車道 春日路：北側對向直行2+3車道+1左彎專用車道、南側對向直行3+3車道	民光東路：西側三燈式號誌、東側四燈式號誌(右轉箭頭綠燈+圓形綠燈) 春日路：五燈式號誌	77	0	77	側撞：30 擦撞：9 追撞：8 交岔撞：4 總件數：77
8	人車衝突	庇護島：無 枕木紋行人穿越道線退縮：無 行人穿越道號誌早開：無	臺南市	(新市區)中山路(台1線)、中華路(台19線)、仁愛街	中山路：對向直行2+3車道+1左彎專用車道+1右彎專用車道+1機慢車優先道 中華路：對向直行2+2車道 仁愛街：對向直行1+1車道	中山路：五燈式號誌 中華路：三燈式號誌 仁愛街：三燈式號誌	25 (行人：1)	0	25	側撞：7 擦撞：3 追撞：3 交岔撞：2 總件數：25
9	人車衝突	庇護島：有 枕木紋行人穿越道線退縮：有(乙字型) 行人穿越道號誌早開：無	臺南市	(新營區)長榮路二段、三興街	長榮路二段：對向直行2+2車道+1機慢車優先道 三興街：對向直行1+1車道	三燈式號誌	10 (行人：0)	0	10	側撞：5 擦撞：1 追撞：0 交岔撞：1 總件數：10
10	人車衝突	庇護島：無 枕木紋行人穿越道線退縮：有 行人穿越道號誌早開：無	臺南市	(仁德區)中山路、中正路二段	中山路：對向直行2+2車道、西側1左彎專用車道+1右彎專用車道 中正路二段：對向直行2+2車道	中山路：三燈式號誌 中正路二段：東側三燈式號誌、西側五燈式號誌	58 (行人：4)	0	58	側撞：28 擦撞：3 追撞：5 交岔撞：10 總件數：58
11	人車衝突	庇護島：無 枕木紋行人穿越道線退縮：有 行人穿越道號誌早開：無	臺南市	(仁德區)中山路、文華路三段	中山路：對向直行2+2車道+1左彎專用車道+1機慢車優先道 文華路三段：對向直行2+1車道	中山路：五燈式號誌 文華路三段：南側三燈式號誌、北側四燈式	42 (行人：1)	0	42	側撞：17 擦撞：3 追撞：9 交岔撞：4 總件數：42
12	人車衝突	庇護島：有 枕木紋行人穿越道線退縮：有 行人穿越道號誌早開：無	桃園市	(中壢區)中華路(台1線)、中園路、忠義路	中華路：西側對向直行2+3車道+2左彎專用車道、東側對向直行3+3車道 中園路：對向直行1+3車道+2左彎專用車道+1右彎專用車道 忠義路：對向直行2+2車道	中華路：西側五燈式號誌、東側三燈式號誌 中園路：三燈式號誌 忠義路：三燈式號誌	38 (行人：1)	0	39	側撞：8 擦撞：5 追撞：11 交岔撞：3 總件數：38

(續下頁)

路口編號	分類	路口特性條件	縣市	路口名稱 #1	路口幾何(車道數、車道配置)	管制方式	路口肇事 總件數 #2	A1	A2	碰撞類型
13	人車 衝突	庇護島：有 枕木紋行人穿越道線退縮：有(倒Z字型) 行人穿越道號誌早開：有	桃園市	(中壢區) 高鐵北路一段、青心路	高鐵北路一段：對向直行 2+2 車道+1 左彎專用道 青心路：西北側對向直行 2+2 車道+1 左彎專用道、東南側對向直行 2+2 車道	高鐵北路一段：五燈式號誌 青心路：四燈式號誌(右轉箭頭綠燈+圓形綠燈)	7 (行人：0)	0	7	側撞：3 擦撞：1 追撞：2 交岔撞：0 總件數：7
14	人車 衝突	庇護島：無 枕木紋行人穿越道線退縮：無 行人穿越道號誌早開：有	桃園市	(桃園區) 中山路(台 1 線)、三民路三段(台 1 線、台 4 線)	中山路：對向直行 2+2 車道 三民路：北側對向直行 2+2 車道+1 右彎專用道、南側對向直行 2+2 車道+1 左彎專用道	中山路：三燈式號誌 三民路：五燈式號誌	51 (行人：9)	0	51	側撞：16 擦撞：3 追撞：12 交岔撞：1 總件數：51

備註：

1. 路口名稱有註記省道編號為公路局轄管之路口
2. 肇事統計時間為 109 年 1 月至 111 年 12 月每日 06 時至 18 時之事故資料。

6.4 分析結果

6.4.1 機會左轉(進階分析)

機會左轉(進階分析)共有 7 個路口、架次的影片，每一架次影片為一個專案，由衝突分析軟體中輸入參數設定並產生計算結果。以下將以路口做為分析單位，說明並分析計算結果，並提出路口的潛在交通安全問題及建議改善方向。

一、臺南市西港區中山路(台 19 線)文化路進學街路口

此路口空拍圖如圖 6.4-1 所示，中山路 A 方向為北，A、C 方向皆為 2 車道，內側車道為左直車道；B、D 方向為 1 車道，為左直右車道。圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A、C 方向和 B、D 方向皆採圓形綠燈，四個方向都符合機會左轉情境，其中 A 方向有號誌遲閉、D 方向號誌早開；A、C 方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-1 臺南市西港區中山路(台19線)文化路進學街之路口底圖及部分判斷線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口四個空拍架次的分析統計表，其結果如表 6.4-1 所示。根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：

- (一)此路口屬於非正交，A 方向之左轉角度較大、路徑較長，因而 A 方向左轉車與對向、上游車輛之具風險之駕駛及用路行為事件較多，如：左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道、左轉車上游車輛外切繞過停等車通過、對向外側車道直行車未減速等。
- (二)由於路口非正交，B 方向與 D 方向車道不對稱，其車輛在左轉過程中，容易與同向直行車及對向來車產生衝突，而 B 方向之左轉車數量亦較其他方向多，因此在四個架次皆有三到五成的對向車輛繞行通過。另發現 B 方向有畫設機慢車優先道，易因汽機車並排行駛，造成左轉車上游車輛外切繞過停等車通過、兩車同時左轉之衝突。如圖 6.4-2 所示。



圖 6.4-2 專案 352 B 方向第三號誌週期左轉車與直行車軌跡圖

建議可在 A 方向設置左彎待轉區線或偏心左彎專用車道，避免左轉車上游車輛需外切或於接近路口處變換車道以繞過停等車。建議 B、D 方向之間增加路口行車導引線，提供車輛行駛動線之指引。另外，C 方向有比較多的接近路口處變換車道(跨越雙邊禁止變換車道線)，雖然未造成大量衝突，仍建議可檢視雙邊禁止變換車道線畫設長度是否合理或加強執法。

表 6.4-1 臺南市西港區中山路(台19線)文化路進學街路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急減速	[R6] 左轉車上左游內側車道於接近路口處變換車道	[R7] 對向外側車道直行車未減速	[R8] 對向車輛繞行通過	[R9] 對向車輛加速通過	[R10] 左轉車上左游車輛外切繞過停車等	[V7] 直行車轉專用道	[V8] 接近路口變換雙道(跨越雙白實線)	[C2] 內側車道變換直行車道與上游車道之衝突	[C3] 對向直行車減速與上游車道之衝突	[C4] 兩車同時左轉之衝突
專案 350 (A 架次)													
A	6	267	4	15	7	8	2	17	0	0	0	1	0
B	55	27	0	0	0	9	0	24	0	0	0	0	3
C	5	249	1	12	1	12	0	8	0	12	3	0	0
D	4	39	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0
專案 351 (B 架次)													
A	8	306	1	8	3	4	0	8	0	0	0	0	0
B	59	35	0	0	0	18	0	14	0	0	0	0	6
C	3	317	0	2	4	0	1	1	0	8	0	0	0
D	6	41	0	0	0	1	0	7	0	0	0	0	0
專案 352 (C 架次)													
A	7	531	5	12	14	11	10	19	0	0	0	0	0
B	79	52	0	0	0	31	0	33	0	0	0	0	13
C	4	487	0	8	5	2	0	4	0	31	1	0	0
D	1	79	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0

(續下頁)

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急減速	[R6] 左轉車上 游內側車 道直行車 道於接近 路口變換 車道	[R7] 對向外側 車道直行 車未減速	[R8] 對向車輛 繞行通過	[R9] 對向車輛 加速通過	[R10] 左轉車上 游車輛外 切繞過停 等車通過	[V7] 直行車轉 駛左轉專 用道	[V8] 接近路口 變換雙 道(跨越 白實線)	[C2] 內側車道 直行車變 換車道與 其上流之 衝突	[C3] 對向直行 車減速與 其上流之 衝突	[C4] 兩車同時 左轉之衝 突
專案 353 (D 架次)													
A	15	484	3	23	13	20	3	17	0	0	1	0	0
B	73	43	1	0	0	15	0	17	0	0	0	0	6
C	1	298	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0
D	2	65	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

二、臺南市佳里區佳東路(台 19 線)進學路口

此路口東西向為進學路，南北向為佳東路，路口空拍圖如圖 6.4-3 所示，A 方向為北。A、C 方向皆為 2 車道與 1 慢車道，內側車道為左直車道；B、D 方向為 2 車道，內側車道為左直車道。圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A、B、C、D 四方向皆為圓形綠燈，四方向皆為為機會左轉情境，其中 A 方向執行遲閉。四個方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-3 臺南市佳里區佳東路(台19線)進學路口之路口底圖及部分判斷線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口四個空拍架次的分析統計表，其結果如表 6.4-2 所示。

表 6.4-2 臺南市佳里區佳東路(台19線)進學路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5]對向直行車急減速	[R6]左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道	[R7]對向外側車道直行車未減速	[R8]對向車輛繞行通過	[R9]對向車輛加速通過	[R10]左轉車上游車輛外切繞過停車車通過	[V7]直行車行駛左轉專用道	[V8]接近路口處變換車道(跨越雙白實線)	[C2]內側車道直行車變換車道與上游車道之衝突	[C3]對向直行車減速與上游游車流之衝突	[C4]兩車同時左轉之衝突
專案 342 (A 架次)													
A	43	213	9	5	5	7	3	5	0	0	0	3	1
B	42	247	2	2	0	8	0	2	0	0	0	0	19
C	24	128	2	2	10	0	3	3	0	0	1	0	4
D	0	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
專案 343 (B 架次)													
A	34	241	7	1	5	1	3	1	0	0	0	3	0
B	63	334	2	3	3	14	2	6	0	0	0	1	26
C	29	130	1	6	9	1	2	2	0	0	1	0	3
D	2	229	0	0	1	3	1	2	0	0	0	0	0
專案 344 (C 架次)													
A	40	112	2	1	3	5	2	1	0	0	0	0	0
B	74	147	0	5	3	3	1	6	0	0	1	0	30
C	34	84	0	5	5	1	1	6	0	0	0	0	4
D	4	175	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

根據分析軟體之分析結果，綜合三個架次可發現：

- (一)B 方向之左轉車數量較多，左轉車輛往往需要等待到號誌全紅之清道時間才得以通過路口，有四成左右的左轉車輛發生兩車同時左轉之衝突。
- (二)此路口四個方向皆為 2 車道以上，其中 A、B 方向之左轉車約佔該方向 20% 的交通量，有觀察到具風險之駕駛及用路行為的事件。

建議評估增設偏心左彎專用車道並搭配左轉專用時相，以減少機會左轉相關衝突。

三、臺南市玉井區中山路(台 3 線、台 20 線)中華路(台 20 線) 路口

此路口以 C 方向中山路為北，路口空拍圖如圖 6.4-4 所示。A 方向為 2 車道與 1 慢車道，內側車道為左直車道、外側車道為右轉專用道；B 方向為 1 車道；C 方向為 2 車道與 1 慢車道，內側車道為左直車道、外側車道為右直車道；D 方向為 2 車道，內側車道為左直車道、外側車道為右轉專用道。圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A、B、C、D 四方向皆為圓形綠燈，四方向皆為機會左轉情境，其中 B、C 方向執行早開。四個方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-4 臺南市玉井區中山路(台3線、台20線)中華路(台20線)之路口底圖及部分判斷線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口五個空拍架次的分析統計表，其結果如表 6.4-3 所示。根據表格之分析結果，綜合五個架次可發現此路口 A、B、C 方向左轉車流量不大，D 方向因道路線型及對向車道早開時相設計，車輛較容易執行機會左轉而不產生衝突，此路口四方向皆未因機會左轉而產生大量衝突。

表 6.4-3 臺南市玉井區中山路(台3線、台20線)中華路(台20線)路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急減速	[R6] 左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道	[R7] 對向外側車道直行車未減速	[R8] 對向車輛繞行通過	[R9] 對向車輛加速通過	[R10] 左轉車上游車輛外切繞過停等車通過	[V7] 直行車專用道直行車轉專用道	[V8] 接近路口處變換車道(跨越綠白實線)	[C2] 內側車道直行車變換車道與其上游車流之衝突	[C3] 對向直行車減速與其上游車流之衝突	[C4] 兩車同時左轉之衝突
專案 345 (A 架次)													
A	4	56	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
B	7	65	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
C	8	77	1	1	0	8	0	1	0	0	0	0	0
D	30	53	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
專案 346 (B 架次)													
A	5	55	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0
B	6	36	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
C	4	81	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
D	39	71	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
專案 347 (C 架次)													
A	3	43	1	4	0	0	0	7	0	0	0	0	0
B	4	39	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
C	5	59	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D	24	45	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

(續下頁)

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車 急減速	[R6] 左轉車上游內側車 道直行車於接近路 口處變換車道	[R7] 對向外側車道 直行車未減速	[R8] 對向車輛 繞行通過	[R9] 對向車輛 加速通過	[R10] 左轉車上游車 輛外切繞過停 等車通過	[V7] 自行車專用道 轉車道	[V8] 接近路口處變 換車道(跨越雙 白實線)	[C2] 內側車道直行 車變換車道與 其上游車道之 衝突	[C3] 對向直行車減 速與其上游車 道之衝突	[C4] 兩車同時左轉 之衝突
專案 348 (D 架次)													
A	6	58	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
B	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	7	85	1	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
D	28	43	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0
專案 349 (E 架次)													
A	7	30	1	1	1	0	0	4	0	0	0	0	0
B	4	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	5	68	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D	30	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

四、臺南市新化區忠孝路(台 20 線)中正路口

此路口以 A-C 方向為西南-東北、B-D 方向為西北-東南，路口空拍圖如圖 6.4-5 所示。A、C 方向為 2 車道，內側車道為左直車道、外側車道為直右車道；B、D 方向為 1 車道與 1 慢車道。圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A、B、C、D 四方向皆為圓形綠燈，四方向皆為機會左轉情境。A、C 方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-5 臺南市新化區忠孝路(台20線)、中正路之路口底圖及部分判斷線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口四個空拍架次的分析統計表，其結果如表 6.4-4 所示。根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：此路口雖於 B、D 方向有些許左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道、左轉車上游車輛外切繞過停等車通過行為，仍未因機會左轉而產生大量衝突。

表 6.4-4 臺南市新化區忠孝路(台 20 線)中正路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急速減速	[R6] 左轉車上游內側車道於接近路口處變換車道	[R7] 對向外側車道直行車未減速	[R8] 對向車輛繞行通過	[R9] 對向車輛加速通過	[R10] 左轉車輛外切繞過停過等車通過	[V7] 直行車行駛左轉專用道	[V8] 接近路口處變換車道(跨越雙白實線)	[C2] 內側車道內側車道與直行車道換其上游車道之衝突	[C3] 對向直行車減速與上游車流之衝突	[C4] 兩車同時左轉之衝突
專案 354 (A 架次)													
A	16	140	1	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B	15	106	0	6	1	4	0	4	0	0	2	0	0
C	7	117	0	10	0	0	0	7	0	0	2	0	0
D	24	158	0	3	0	4	0	10	0	0	1	0	5
專案 355 (B 架次)													
A	20	123	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	1
B	14	108	0	7	0	10	0	3	0	0	0	0	0
C	3	89	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
D	17	150	0	4	0	1	0	15	0	0	0	0	2
專案 356 (C 架次)													
A	10	276	1	1	0	3	0	5	0	0	0	0	0
B	25	231	1	16	2	22	0	3	0	0	4	0	0
C	11	165	0	7	0	6	0	2	0	0	1	0	1
D	27	285	0	11	0	2	0	26	0	0	9	0	0
專案 357 (D 架次)													
A	12	289	0	6	0	1	0	3	0	0	0	0	1
B	17	164	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1
C	10	171	1	5	2	0	2	1	0	0	1	0	0
D	41	328	2	0	4	0	3	2	0	0	0	0	8

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

五、臺南市善化區中正路(台19甲線)大成路光復路口

此路口以光復路 A 方向為東，大成路 C 方向為西，南北向為中正路 B-D 方向，路口空拍圖如圖 6.4-6 所示。A、C 方向為 2 車道，內側車道為左直車道、外側車道為直右車道；B、D 方向為 1 車道。圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A、B、C、D 四方向皆為圓形綠燈，四方向皆為機會左轉情境。A、C 方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-6 臺南市善化區中正路(台19甲線)大成路光復路之路口底圖
及部分判斷線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口三個空拍架次的分析統計表，其結果如表 6.4-5 所示。

表 6.4-5 臺南市善化區中正路(台19甲線)大成路光復路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急減速	[R6] 左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道	[R7] 對向外側車道直行車未減速	[R8] 對向車輛繞行通過	[R9] 對向車輛加速通過	[R10] 左轉車上游車輪外切繞過停車等車通過	[V7] 直行車行駛左轉專用道	[V8] 接近路口處變換車道(跨越雙白實線)	[C2] 內側車道直行車變換車道與其上游車流之衝突	[C3] 對向直行車減速與其上游車流之衝突	[C4] 兩車同時左轉之衝突
專案 369 (A 架次)													
A	6	110	0	4	0	8	0	11	0	0	0	0	0
B	18	119	1	0	0	7	0	13	0	0	0	0	2
C	14	150	0	1	1	11	0	7	0	2	1	0	2
D	17	97	0	0	0	9	0	6	0	0	0	0	0
專案 370 (B 架次)													
A	5	127	0	1	0	1	0	6	0	0	0	0	0
B	7	114	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
C	7	126	0	4	0	7	0	7	0	0	1	0	0
D	17	105	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
專案 371 (C 架次)													
A	5	178	0	3	0	5	0	4	0	0	0	0	0
B	23	253	0	0	0	4	0	20	0	0	0	0	4
C	16	324	2	5	0	22	0	21	0	7	0	0	1
D	25	176	0	0	1	20	1	0	0	0	0	0	2

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

根據表格之分析結果，綜合三個架次可發現：

- (一)B 方向與 D 方向因穿越路口距離較長且車道較窄，當路口中央有左轉車等待左轉時，易發生左轉車上游車輛外切繞過停等車通過、對向車輛繞行通過等事件。
- (二)由於路口非正交，A 方向與 C 方向車道不對稱，左轉車輛於路口等待左轉時，容易造成對向及上游車輛繞行，導致較多左轉車上游車輛外切繞過停等車通過、對向車輛繞行通過等事件。

建議評估 B、D 方向設置獨立時相，並於 A、C 方向設置直行的路口行車導引線。

六、桃園市中壢區中山東路四段龍東路口

此路口以龍東路 A 方向為西南，中山東路四段 B 方向為西北，龍東路 C 方向為東北，中山東路四段 D 方向為東南，路口空拍圖如圖 6.4-7 所示。A、B、D 方向為 1 車道，C 方向為 3 車道，內側車道為左轉專用道、中間車道為直行車道、外側車道為右轉專用道。圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A、B、C、D 四方向皆為圓形綠燈，四方向皆為機會左轉情境，其中 A 方向執行早開。C 方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-7 桃園市中壢區中山東路四段龍東路之路口底圖及部分判斷
線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口四個空拍架次的分析統計表，
其結果如表 6.4-6 所示。

表 6.4-6 桃園市中壢區中山東路四段龍東路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急減速	[R6] 左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道	[R7] 對向外側車道直行車未減速	[R8] 對向車輛繞行通過	[R9] 對向車輛加速通過	[R10] 左轉車上游車輛外切繞過停車等車通過	[V7] 直行車行駛左轉專用道	[V8] 接近路口處變換車道(跨越雙白實線)	[C2] 內側車道直行車變換車道與上游車流之衝突	[C3] 對向直行車減速與上游車流之衝突	[C4] 兩車同時左轉之衝突
專案 333 (A 架次)													
A	25	210	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
B	5	297	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0
C	45	323	1	0	0	0	0	1	3	2	0	0	30
D	53	495	3	0	2	12	1	15	0	0	0	1	36
專案 334 (B 架次)													
A	43	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
B	4	270	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C	59	256	1	3	0	0	0	2	4	1	0	0	30
D	45	469	1	0	2	2	1	2	0	0	0	0	30
專案 335 (C 架次)													
A	25	112	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
B	10	242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	55	145	1	4	0	0	0	0	3	1	0	0	32
D	33	311	5	0	3	2	1	0	0	0	0	2	9
專案 336 (D 架次)													
A	30	166	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
B	5	229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	51	136	1	1	0	0	0	3	4	1	0	0	26
D	33	260	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	9

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：此路口 C、D 方向有三到五成的左轉車發生兩車同時左轉之衝突，其原因為 C、D 方向等待左轉車輛數量龐大，容易排列於路口中央等待左轉，如圖 6.4-8 所示。建議持續追蹤左轉車隊在路口停等期間是否有造成其他安全或效率上的問題，因 D 方向之車流量較大，可考慮透過號誌時制之方式改善，如 C、D 方向獨立時相或遲閉。

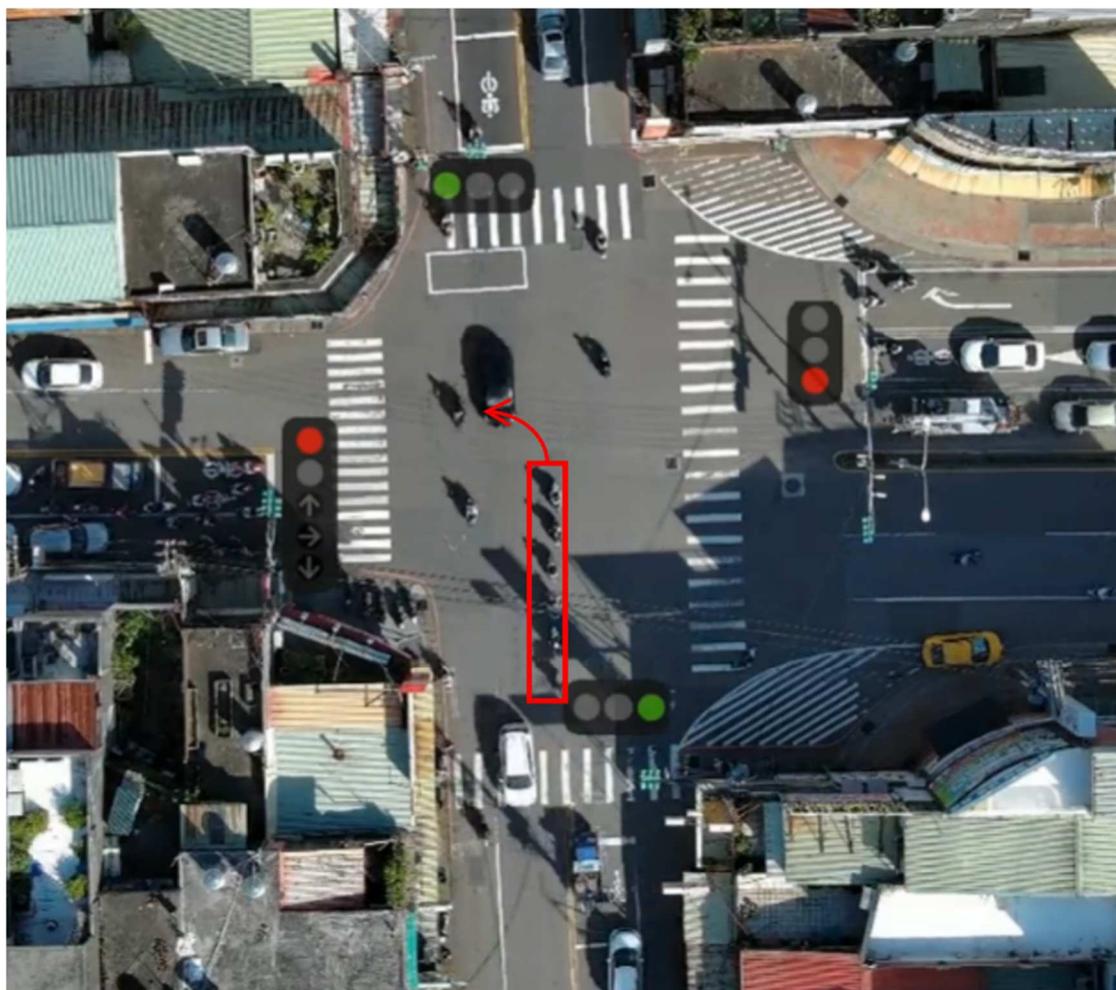


圖 6.4-8 桃園市中壢區中山東路四段龍東路口之兩車同時左轉示意圖

七、桃園市桃園區民光東路、春日路(台4線)路口

此路口以民光東路 A 方向為西南，春日路 B 方向為西北，民光東路 C 方向為東北，春日路 D 方向為東南，路口空拍圖如圖 6.4-9 所示。A 方向為 2 車道，內側車道為左直車道、外側車道為直右車道；

B 方向為 3 車道，內側車道為左轉專用道、中間車道為直行專用道、外側車道為直右車道；C 方向為 2 車道，內側車道為左直車道，外側車道為右轉專用道；D 方向為 3 車道，內側車道為左直車道，中間車道為直行車道，外側車道為直右車道，圖中藍線為分析所需之車道判斷線。此路口 A 方向為圓形綠燈、C 方向為四燈式號誌(右轉箭頭綠燈+圓形綠燈)、B 方向及 D 方向為五燈式號誌。A 方向與 C 方向為機會左轉情境，其中 B 方向執行遲閉、D 方向執行早開。四個方向之左轉機車須進行兩段式左轉。



圖 6.4-9 桃園市桃園區民光東路春日路(台4線)之路口底圖及部分判斷線設定

透過交通衝突分析軟體，產製此路口四個空拍架次的分析統計表，其結果如表 6.4-7 所示。

表 6.4-7 桃園市桃園區民光東路春日路(台4線)路口之分析統計表

方向	左轉車數量	對向直行車數量	[R5] 對向直行車急速減速	[R6] 左轉車上游內側車於路口處變換車道	[R7] 對向側道直行車未減速	[R8] 對向車輛繞行通過	[R9] 對向車輛加速通過	[R10] 左轉車上游車輛外切繞過等車通過	[V7] 直行車行駛左轉專用道	[V8] 接近路口處變換車道(跨越雙白實線)	[C2] 內側車道與直行車道換其上游車之衝突	[C3] 對向直行車減速與其上游車之衝突	[C4] 兩車同時左轉之衝突
專案 317 (A 架次)													
A	48	173	4	5	0	47	0	22	0	0	0	0	2
C	17	163	0	3	1	10	0	18	0	0	6	0	1
專案 318 (B 架次)													
A	37	213	0	6	0	69	0	17	0	0	1	0	1
C	17	167	0	7	0	8	0	21	0	0	4	0	4
專案 319 (C 架次)													
A	39	262	1	8	2	62	1	14	0	0	1	1	1
C	26	239	3	51	1	13	1	68	0	0	85	0	6
專案 320 (D 架次)													
A	36	213	2	10	1	42	1	18	0	0	8	0	0
C	19	258	2	19	0	17	0	36	0	0	11	0	6

註：機會左轉分析只包含直接左轉車流，不包含兩段式左轉之機車。

根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：

- (一)A、C 方向內側車道為直左車道，兩方向之左轉車常於路口中央排隊等待左轉，其後方、對向車輛車輛皆須繞行通過。
- (二)C 方向僅內側車道可供直行，當遇上對向 A 方向等待左轉之車輛，必須要繞行才能通過，故 A 方向有許多對向車輛繞行通過的事件。
- (三)C 方向外側車道為右轉專用道，僅內側車道可供直行，若內側車道之直行車輛遇到下游等待左轉之車輛，僅能繞行或提前變換車道通過，故造成大量左轉車上游內側車道直行車於接近路口處變換車道、左轉車上游車輛外切繞過停等車通過的事件，亦造成許多內側車道直行車變換車道與其上游車流之衝突。

建議評估於 A、C 方向增設偏心左彎專用車道並搭配左轉專用時相，以減少機會左轉相關衝突。

6.4.2 人車衝突

人車衝突共包含 7 個路口、27 架次的影片，每一架次影片為一個專案，由衝突分析軟體中輸入參數設定並產生計算結果。以下將以路口做為分析單位說明並分析計算結果，並提出路口的潛在交通安全問題及建議改善方向。

一、臺南市新市區中山路中華路口

此路口東西向為中華路，南北向為中山路，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-8 所示，空拍圖如圖 6.4-10 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。由於為滿足影像辨識需求，拍攝畫面無包含路口 D 方向之入口上游，故 D 方向枕木紋行人穿越道線不進行分析，且 A 方向無設置枕木紋行人穿越道線，此路口僅針對 B、C 方向產出分析結果。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-11、圖 6.4-12。

表 6.4-8 臺南市新市區中山路中華路口基本資訊

分析方向	B	C
枕木紋行人穿越道線 長度	32.8 公尺(一段)	17.7 公尺(一段)
庇護島	無	無
枕木紋行人穿越道線 退縮	無	無
行人綠燈秒數	28 秒	38 秒
行人綠燈早開	無	無

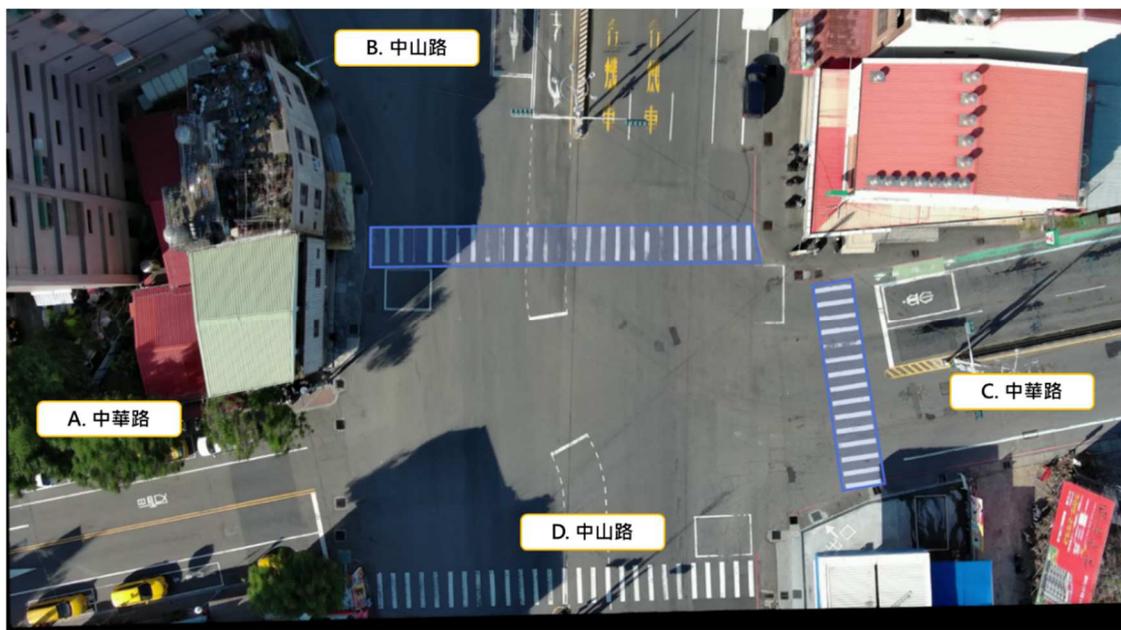


圖 6.4-10 臺南市新市區中山路中華路口之枕木紋行人穿越道線設定

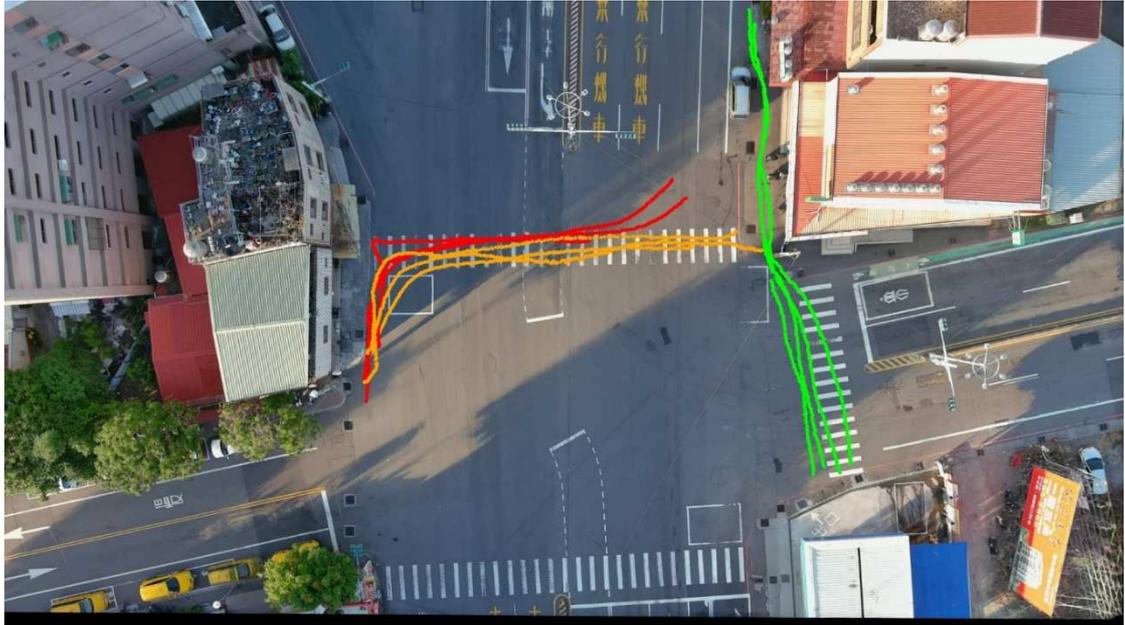


圖 6.4-11 臺南市新市區中山路中華路口之行人軌跡



圖 6.4-12 臺南市新市區中山路中華路口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-9)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-13。由表格中可發現 B 方向右轉之平均角度較低，顯示該行向的車輛通過路口注意到行人的機率較低。

表 6.4-9 臺南市新市區中山路中華路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛轉向	車種	B 方向		C 方向	
		車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	角度平均值
右轉	四輪及以上	24	35.17	92	57.54
右轉	機車	61	29.70	52	63.97
左轉	四輪及以上	4	71.07	83	86.35
左轉	機車	0	-	0	-

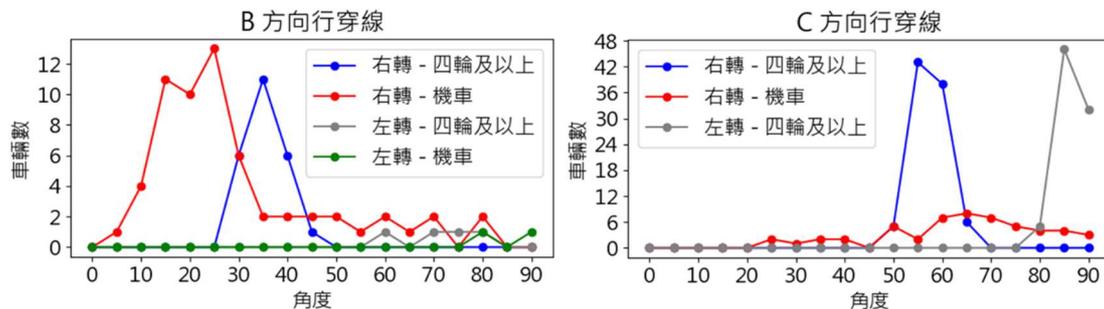


圖 6.4-13 臺南市新市區中山路中華路口之角度分佈圖

以下整理此路口四個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-10 所示。在專案 362 的拍攝過程中路口有時相轉換的情形，故與號誌相關之分析項目不進行解釋。在此路口中，B 方向包含仁愛街與中山路兩個入口車流，並以不同時相分流，然共用一條枕木紋行人穿越道線，故為特殊的四岔路口，因此 B 方向有關號誌的分析項目不進行計算。根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：

- (一)轉彎車輛未慢速通過路口的數量較多。
- (二)有部分行人未走在枕木紋行人穿越道線上。
- (三)B 方向有同向右轉之衝突。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議可透過交通工程手段降低車速，並改善路口設計提升行人走於枕木紋行人穿越道線上

之意願，如提供人行道等；對於車輛轉向角度較小問題，建議可考慮將 B-C 轉彎夾角的人行道外推，增加車輛轉彎半徑以提高車輛接觸枕木紋行人穿越道線時的角度。

表 6.4-10 臺南市新市區中山路中華路口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方向 汽車數	入口方向 機車數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提早 進入車 道等待 (行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 362 (A 架次) #1																		
B#2	2	4	174	130	143	-	-	-	0	-	2	-	1	0	0	0	0	0
C	2	0	58	65	2	-	-	-	0	-	1	-	0	0	0	0	0	0
專案 363 (B 架次)																		
B	1	5	206	131	196	-	-	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0
C	1	0	49	52	5	0	5	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
專案 364 (C 架次)																		
B	5	5	372	427	265	-	-	-	1	-	3	-	3	0	0	0	0	0
C	3	3	74	157	5	0	27	13	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0
專案 365 (D 架次)																		
B	3	3	363	406	153	-	-	-	4	-	2	-	3	0	1	0	0	0
C	0	4	58	88	6	0	8	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

備註：

- 一、專案 362 拍攝期間涵蓋時相轉換時期，故與號誌相關之項目不予以分析(R3、V1、V2、V4、V6)
- 二、路口為特殊四岔路口，B 方向包含兩個入口車流，涵蓋兩個時相，故與號誌相關之項目不予以分析(R3、V1、V2、V4、V6)。

二、臺南市新營區長榮路二段三興街口

此路口東西向為長榮路二段，南北向為三興街，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-11 所示，空拍圖如圖 6.4-14 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。此路口 A 方向為 Z 字型兩段枕木紋行人穿越道線，並於 A、C 方向設置庇護島。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-15、圖 6.4-16。

表 6.4-11 臺南市新營區長榮路二段三興街口基本資訊

分析方向	A	B	C	D
枕木紋行人穿越道線 長度	9.3/9.3 公尺 (二段)	17.6 公尺 (一段)	9.2/8.8 公尺 (二段)	15.4 公尺 (一段)
庇護島	有	無	有	無
枕木紋行人穿越道線 退縮	有	無	無	無
行人綠燈秒數	25 秒	49 秒	25 秒	49 秒
行人綠燈早開	無	無	無	無

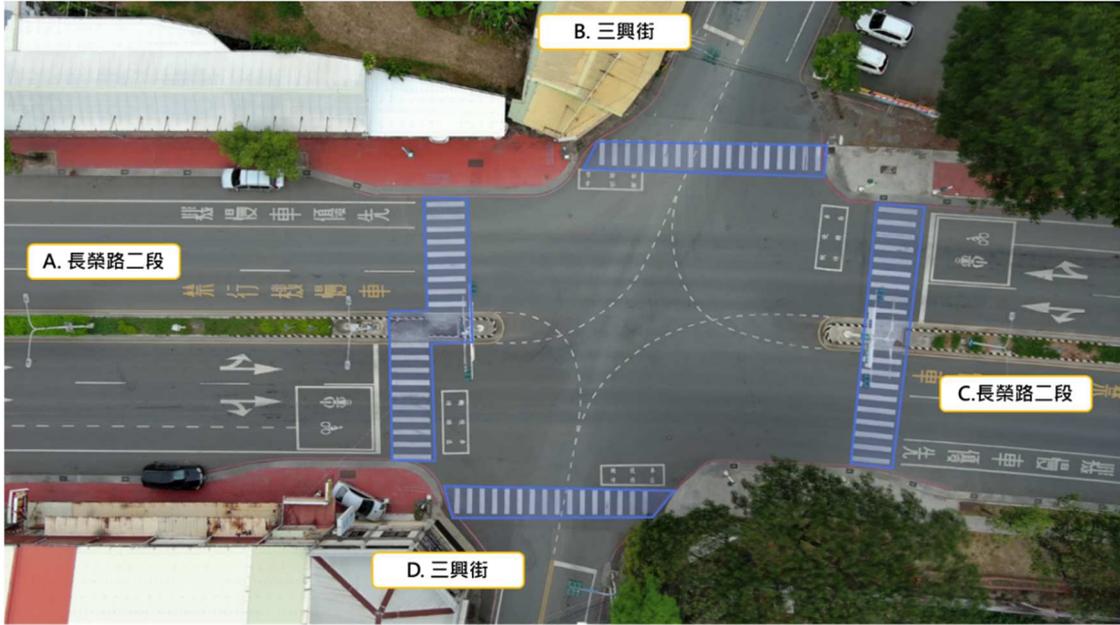


圖 6.4-14 臺南市新營區長榮路二段三興街口之枕木紋行人穿越道線
設定

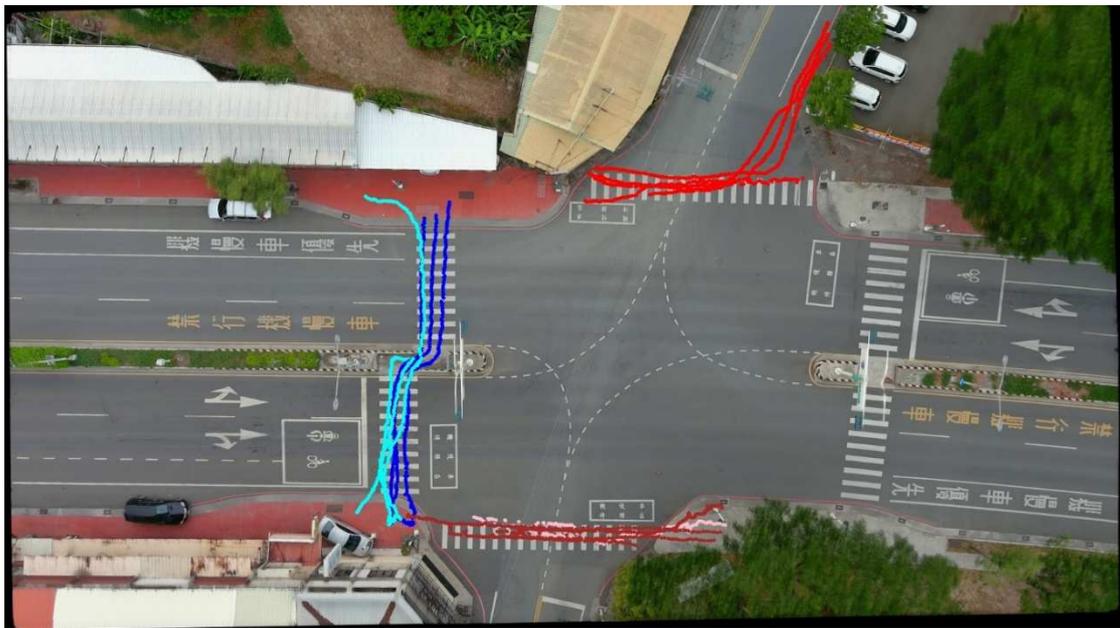


圖 6.4-15 臺南市新營區長榮路二段三興街口之行人軌跡

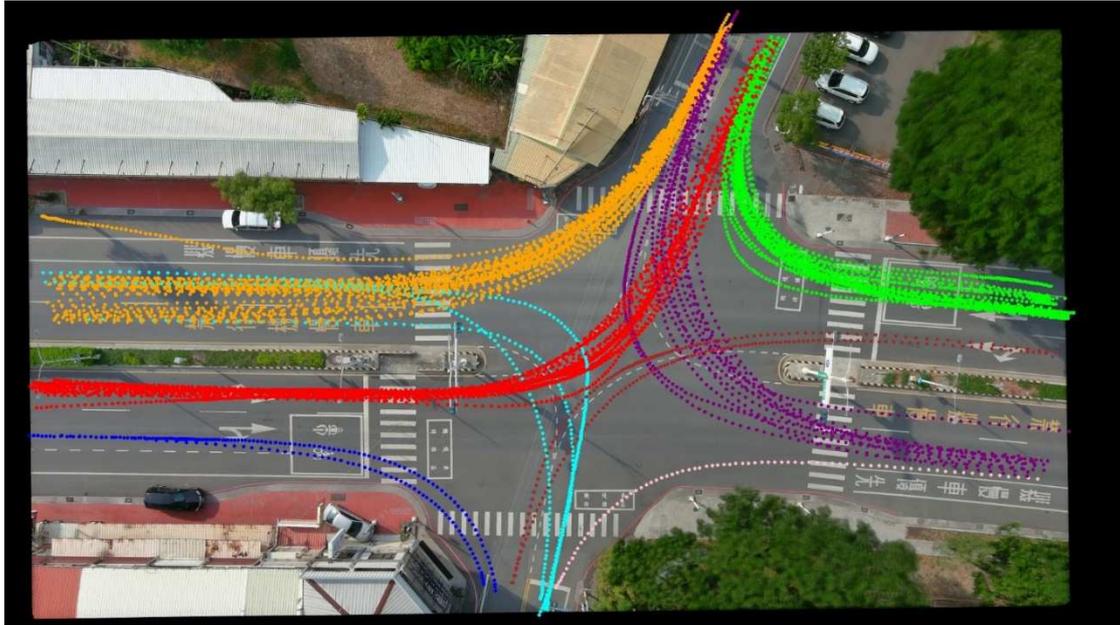


圖 6.4-16 臺南市新營區長榮路二段三興街口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-12)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-17。由表格中可發現 B、D 方向右轉之平均角度較低，顯示該行向的車輛通過路口注意到行人的機率較低。

表 6.4-12 臺南市新營區長榮路二段三興街口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛轉向	車種	A 方向		B 方向		C 方向		D 方向	
		車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	角度平均值
右轉	四輪及以上	45	76.57	26	40.25	6	87.19	6	35.58
右轉	機車	30	82.86	29	34.21	7	87.56	4	25.88
左轉	四輪及以上	5	64.72	29	64.16	22	71.11	5	65.81
左轉	機車	0	-	0	-	0	-	0	-

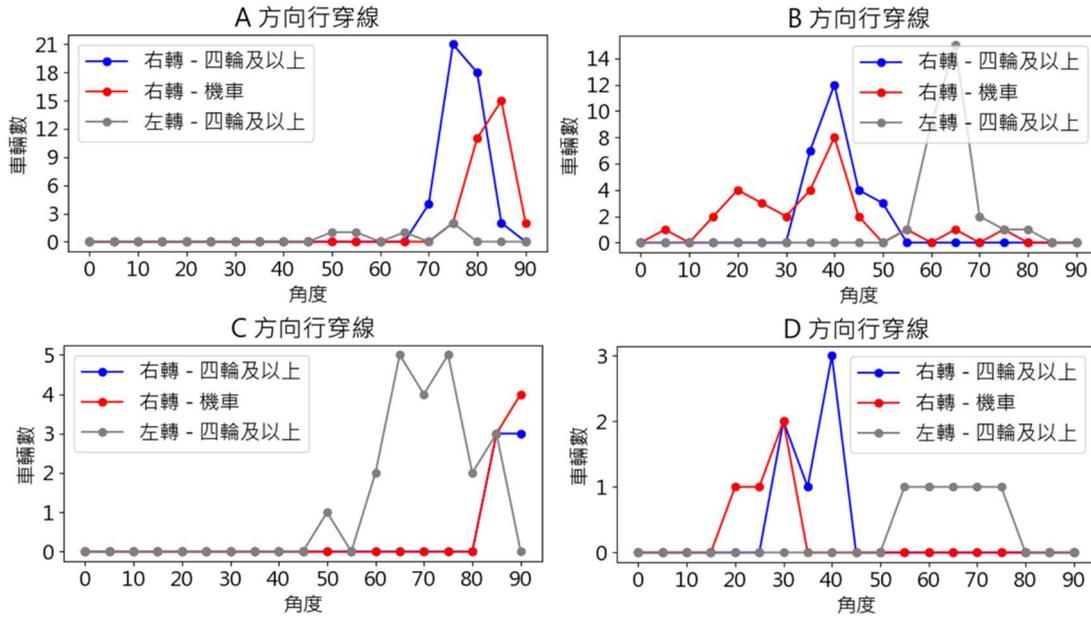


圖 6.4-17 臺南市新營區長榮路二段三興街口之角度分佈

以下整理此路口四個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-13 所示。根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：

- (一)A、C 方向轉彎車輛未慢速通過路口的數量較多。
- (二)各方向皆有車輛跨越停止線、枕木紋行人穿越道線行為。
- (三)A、C、D 方向有部分行人未走在枕木紋行人穿越道線上。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議可透過交通工程手段降低車速，並增設牌面或預告號誌提醒駕駛人，減少搶越之情形，以及改善路口設計提升行人走於枕木紋行人穿越道線上之意願，此外對於車輛轉向角度較小問題，建議可將 A-D、B-C 轉彎夾角的人行道外推，增加車輛轉彎半徑以提高車輛接觸枕木紋行人穿越道線時的角
度。

表 6.4-13 臺南市新營區長榮路二段三興街口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方向 汽車數	入口方向 機車數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提 早進入 車道等 待(行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 297 (A 架次)																		
A	0	0	93	37	51	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	4	62	45	4	0	10	8	1	2	3	0	4	0	0	0	0	0
C	0	0	110	36	42	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	2	2	18	43	5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
專案 298 (B 架次)																		
A	0	4	117	40	69	0	3	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
B	0	1	81	79	4	0	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	159	47	50	0	8	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
D	2	2	29	47	3	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
專案 328 (C 架次)																		
A	3	3	175	84	60	1	15	8	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
B	5	0	86	133	4	0	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	197	73	29	0	6	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
D	4	2	31	56	0	0	5	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
專案 300 (D 架次)																		
A	0	0	156	76	63	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	2	0	111	115	2	0	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	175	64	58	0	9	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	1	37	53	3	0	10	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

三、 臺南市仁德區中山路中正路二段路口

此路口東西向為中山路，南北向為中正路二段，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-14 所示，空拍圖如圖 6.4-18 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。由於為滿足影像辨識需求，拍攝畫面無包含路口 D 方向之入口上游，故 D 方向枕木紋行人穿越道線不進行分析。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-19、圖 6.4-20。

表 6.4-14 臺南市仁德區中山路中正路二段路口基本資訊

分析方向	A	B	C
枕木紋行人穿越道線長度	20.7 公尺 (一段)	19.7 公尺 (一段)	17.7 公尺 (一段)
庇護島	無	無	無
枕木紋行人穿越道線退縮	無	無	有
行人綠燈秒數	50 秒	30 秒	50 秒
行人綠燈早開	無	無	無

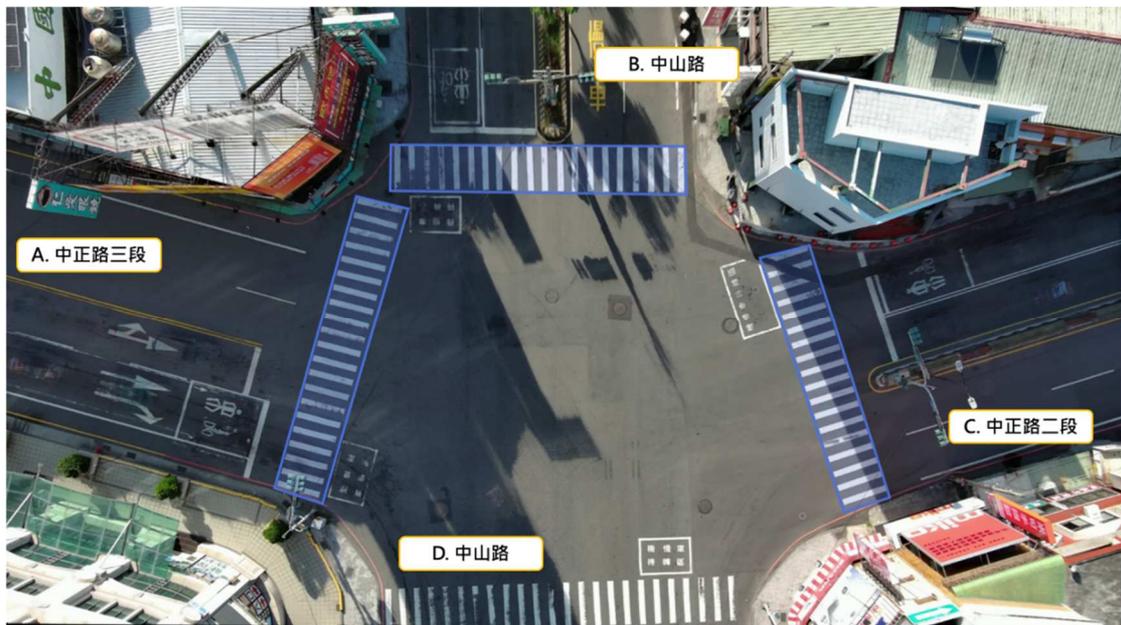


圖 6.4-18 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之枕木紋行人穿越道線設定

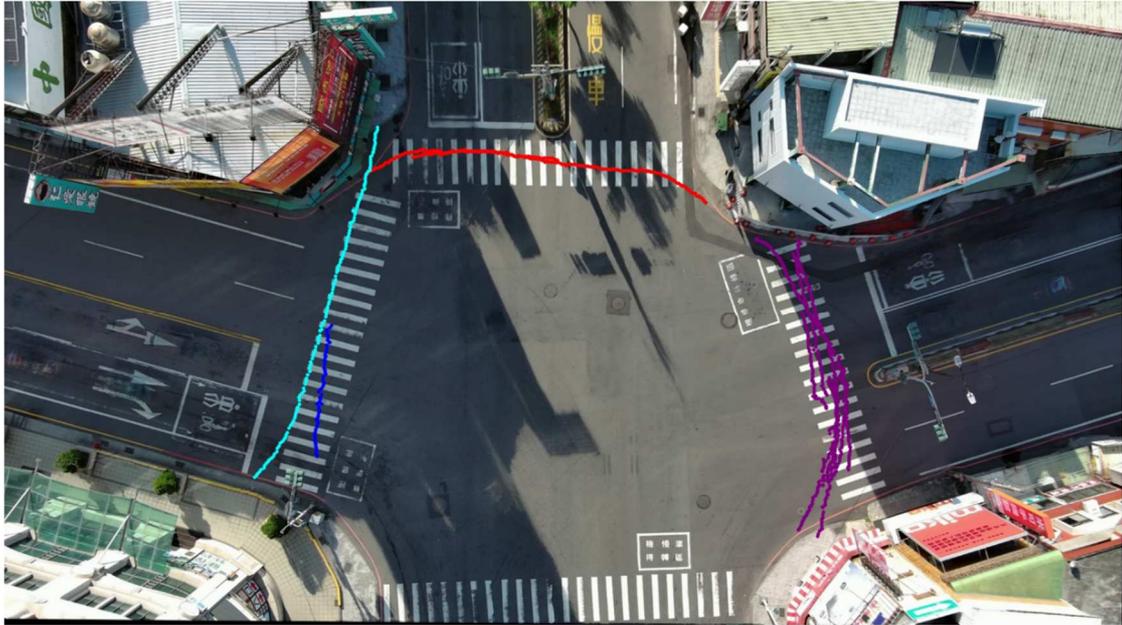


圖 6.4-19 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之行人軌跡

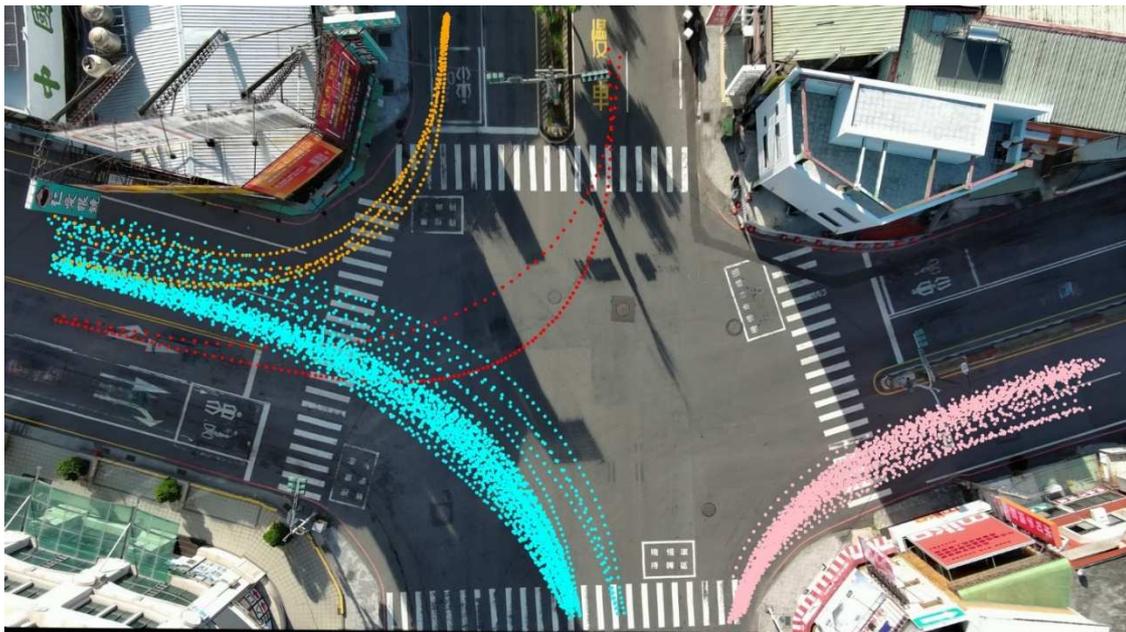


圖 6.4-20 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-15)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-21 由表格中可發現 A 方向四輪以上的車輛的右轉之平均角度較低，顯示該方向的車輛通過路口注意到行人的機率較低。

表 6.4-15 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛轉向	車種	A 方向		B 方向		C 方向	
		車輛數 (輛)	角度平均值	車輛數 (輛)	角度平均值	車輛數 (輛)	角度平均值
右轉	四輪及以上	6	43.75	3	46.36	75	60.38
右轉	機車	4	55.43	3	31.39	89	56.94
左轉	四輪及以上	67	76.68	8	55.32	1	74.80
左轉	機車	0	-	0	-	0	-

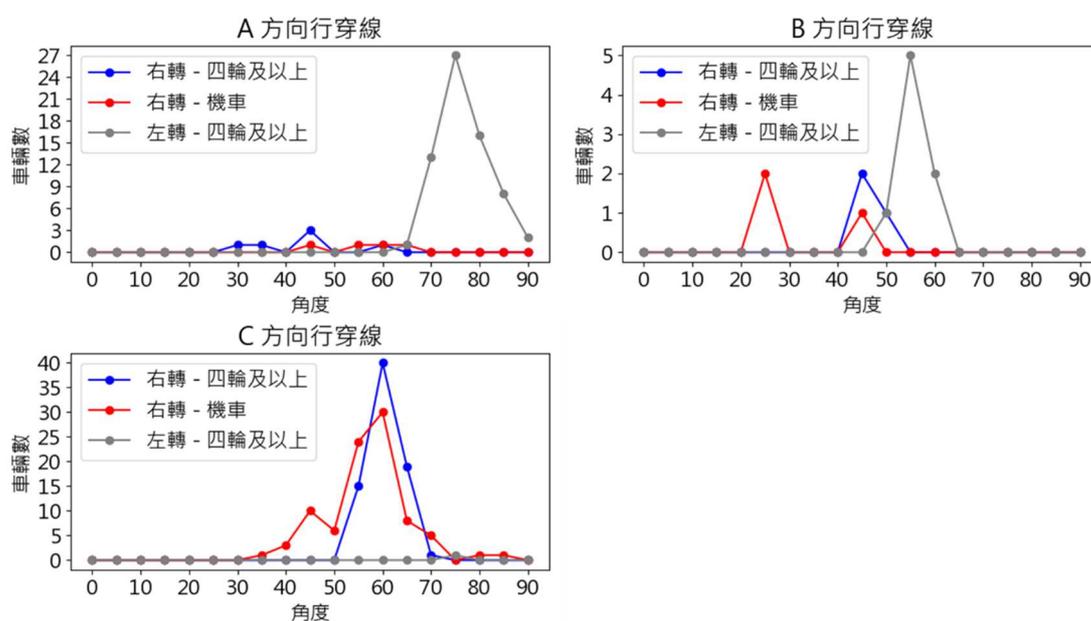


圖 6.4-21 臺南市仁德區中山路中正路二段路口之角度分佈圖

以下整理此路口三個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-16 所示。根據表格之分析結果，綜合四個架次可發現：

- (一)A、C 方向較多車輛跨越停止線、枕木紋行人穿越道線行為。
- (二)C 有車輛闖紅燈行為。
- (三)C 方向有部分行人未走在枕木紋行人穿越道線上。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議於 A、C 方向增設牌面或預告號誌提醒駕駛人，減少搶越之情形，以及改善路口設計(如人行道外推等)提升行人走於枕木紋行人穿越道線上之意願，此外對於車輛轉向角度較小問題，建議可將 A-B 轉彎夾角的人行道外推，增加車輛轉彎半徑以提高車輛接觸枕木紋行人穿越道線時的角度。

表 6.4-16 臺南市仁德區中山路二段路口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方 向汽車 數	入口方 向機車 數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提 早進入 車道等 待(行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 358 (A 架次)																		
A	1	1	85	187	14	0	11	5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
B	2	0	105	123	7	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	7	0	91	326	12	0	16	19	0	7	0	3	0	0	0	0	0	0
專案 359 (B 架次)																		
A	0	0	45	145	9	0	9	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	3	34	210	1	1	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	1	42	324	2	0	24	26	0	20	1	0	0	0	0	0	0	0
專案 360 (C 架次)																		
A	1	2	82	103	9	0	15	13	0	6	1	1	0	0	0	0	0	0
B	0	0	111	231	0	0	16	11	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
C	2	2	85	161	5	1	11	13	0	6	3	0	0	0	1	0	0	0
專案 361 (D 架次)																		
A	1	1	42	76	4	0	12	4	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0
B	0	1	30	155	0	0	7	4	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0
C	0	0	30	103	5	0	7	7	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0

四、 臺南市仁德區中山路文華路三段路口

此路口東西向為中山路，南北向為文華路三段，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-17 所示，空拍圖如圖 6.4-22 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。由於為滿足影像辨識需求，拍攝畫面無包含路口 D 方向之入口上游，故 D 方向枕木紋行人穿越道線不進行分析。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-23、圖 6.4-24。

表 6.4-17 臺南市仁德區中山路文華路三段路口基本資訊

分析方向	A	B	C
枕木紋行人穿越道線長度	12.8 公尺 (一段)	22.5 公尺 (一段)	13.9 公尺 (一段)
庇護島	無	無	無
枕木紋行人穿越道線退縮	有	無	無
行人綠燈秒數	70 秒	31 秒	70 秒
行人綠燈早開	無	無	無

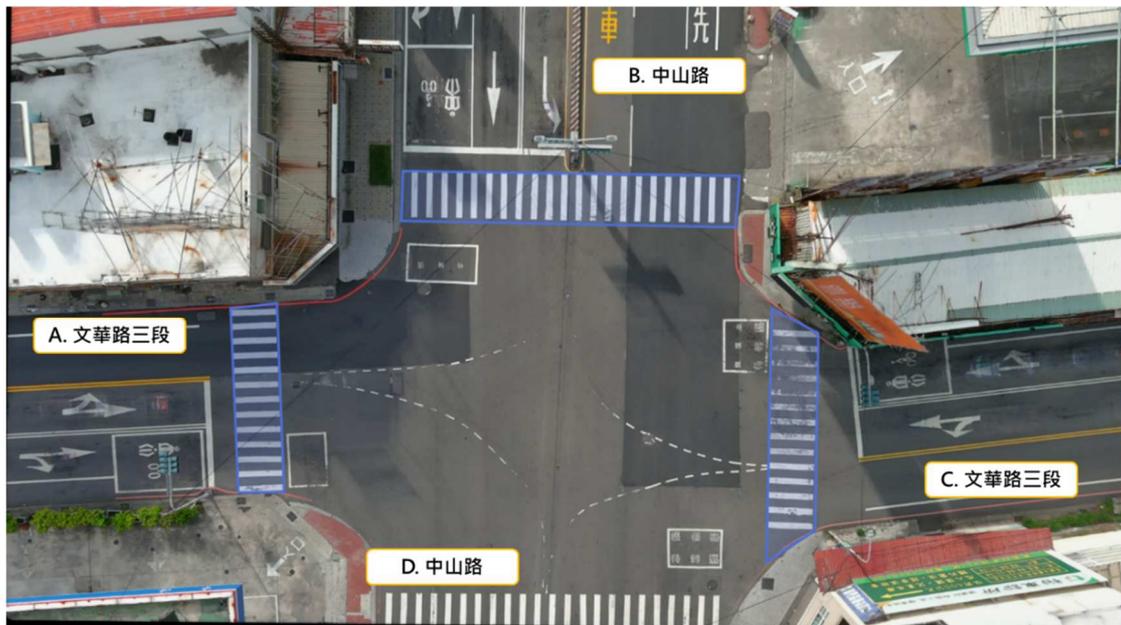


圖 6.4-22 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之枕木紋行人穿越道線設定

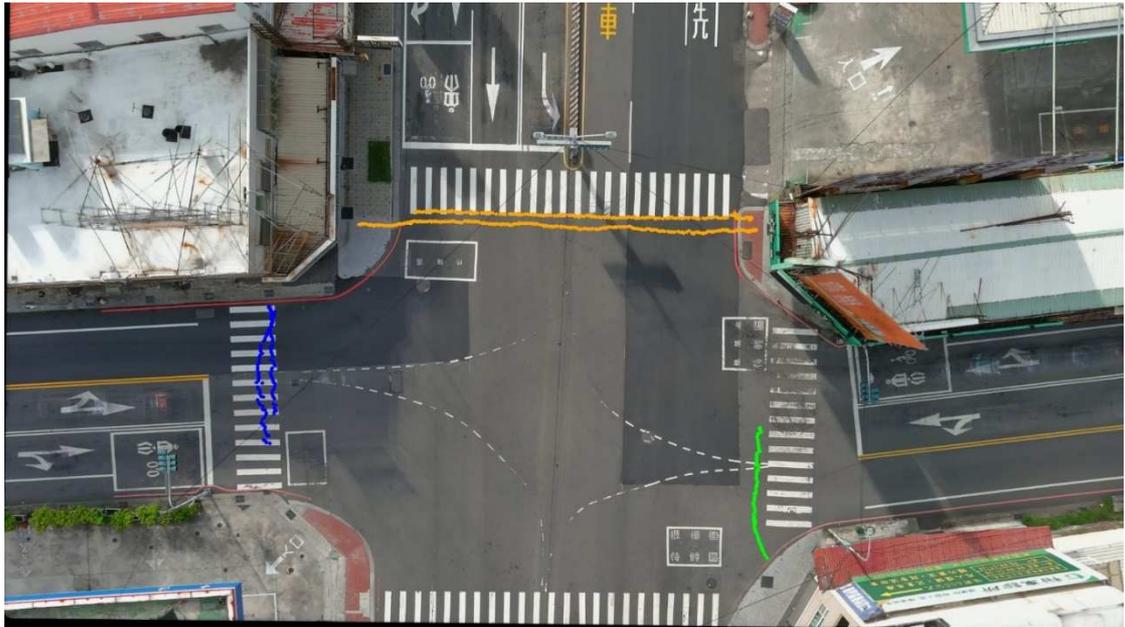


圖 6.4-23 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之行人軌跡

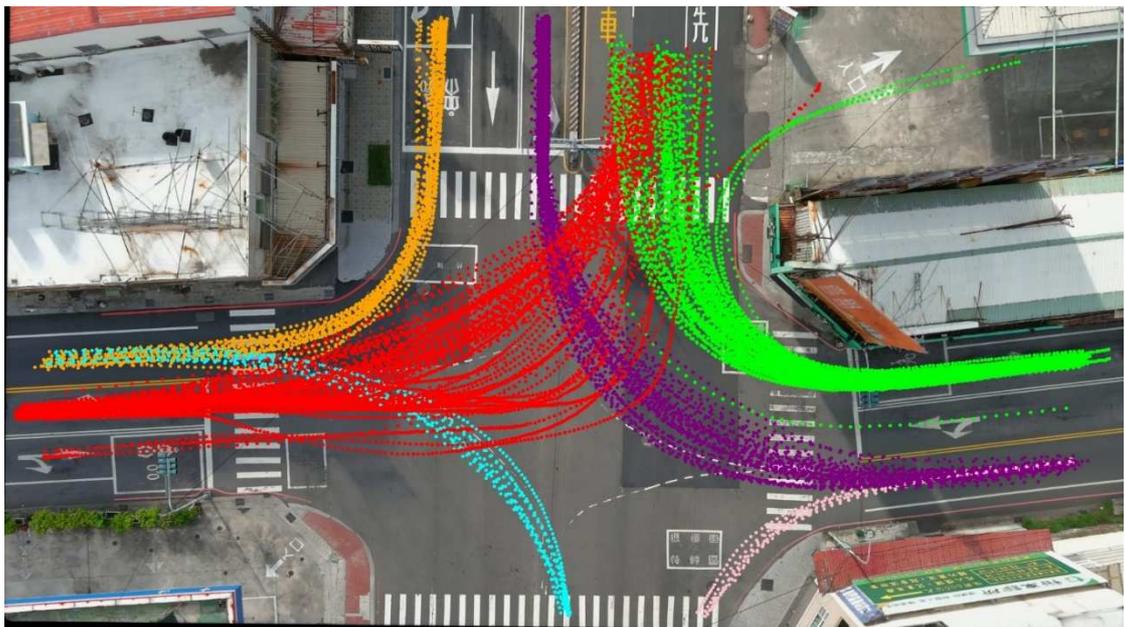


圖 6.4-24 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-18)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-25。由表格中可發現 C 方向右轉之平均角度較低，顯示該行向的車輛通過路口注意到行人的機率較低。

表 6.4-18 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛轉向	車種	A 方向		B 方向		C 方向	
		車輛數 (輛)	角度平均值	車輛數 (輛)	角度平均值	車輛數 (輛)	角度平均值
右轉	四輪及以上	20	72.19	65	66.38	6	34.61
右轉	機車	30	80.87	35	70.56	28	35.07
左轉	四輪及以上	9	76.59	79	53.07	44	66.47
左轉	機車	0	-	0	-	0	-

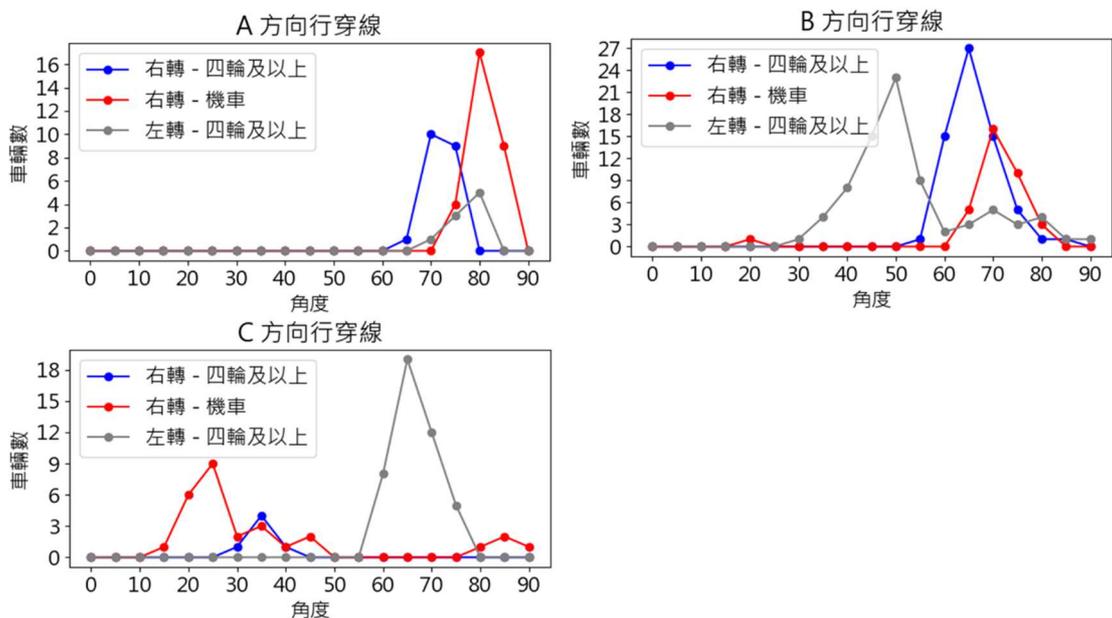


圖 6.4-25 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之角度分佈圖

以下整理此路口三個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-19 所示。根據表格之分析結果，綜合三個架次可發現：

- (一)B 方向較多車輛跨越停止線、枕木紋行人穿越道線行為。
- (二)各方向皆有車輛闖紅燈行為。
- (三)B 方向有部分行人未走在枕木紋行人穿越道線上。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議增設牌面或預告號誌提醒駕駛人，減少搶越之情形，以及改善路口設計(如於 B 方向枕木紋行人穿越道線增加行人庇護島)提升行人走於枕木紋行人穿越道線上之意願，此外對於車輛轉向角度較小問題，建議可將 C-D 轉彎夾角的人行道外推，增加車輛轉彎半徑以提高車輛接觸枕木紋行人穿越道線時的角度。

表 6.4-19 臺南市仁德區中山路文華路三段路口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方 向汽車 數	入口方 向機車 數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提 早進入 車道等 待(行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 366 (A 架次)																		
A	0	2	147	262	1	0	11	11	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
B	0	2	75	461	3	0	38	25	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
C	0	1	106	267	0	0	6	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
專案 367 (B 架次)																		
A	0	0	152	184	1	0	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	243	412	2	0	36	22	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	116	218	0	0	7	7	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
專案 368 (C 架次)																		
A	0	0	118	116	5	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	67	232	1	0	45	39	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	108	121	0	0	9	10	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0

五、桃園市中壢區中華路中園路忠義路口

此路口東西向為中華路二段，北側為中園路，南側為忠義路，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-20 所示，空拍圖如圖 6.4-26 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。由於為滿足影像辨識需求，拍攝畫面無包含路口 D 方向之入口上游，故 D 方向枕木紋行人穿越道線不進行分析。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-27、圖 6.4-28。

表 6.4-20 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口基本資訊

分析方向	A	B	C
枕木紋行人穿越道線長度	22.5 公尺 (一段)	9.8/30.4/10.4 公尺 (三段)	22.5 公尺 (一段)
庇護島	無	有	無
枕木紋行人穿越道線退縮	無	無	有
行人綠燈秒數	50 秒	30 秒	50 秒
行人綠燈早開	無	無	無



圖 6.4-26 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之枕木紋行人穿越道線設定

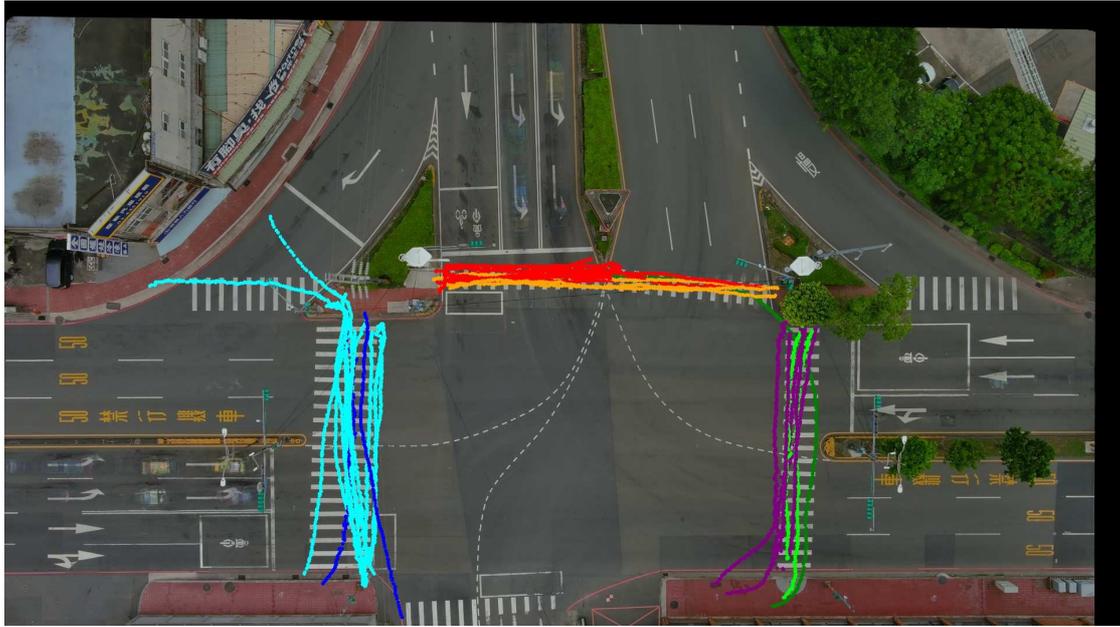


圖 6.4-27 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之行人軌跡

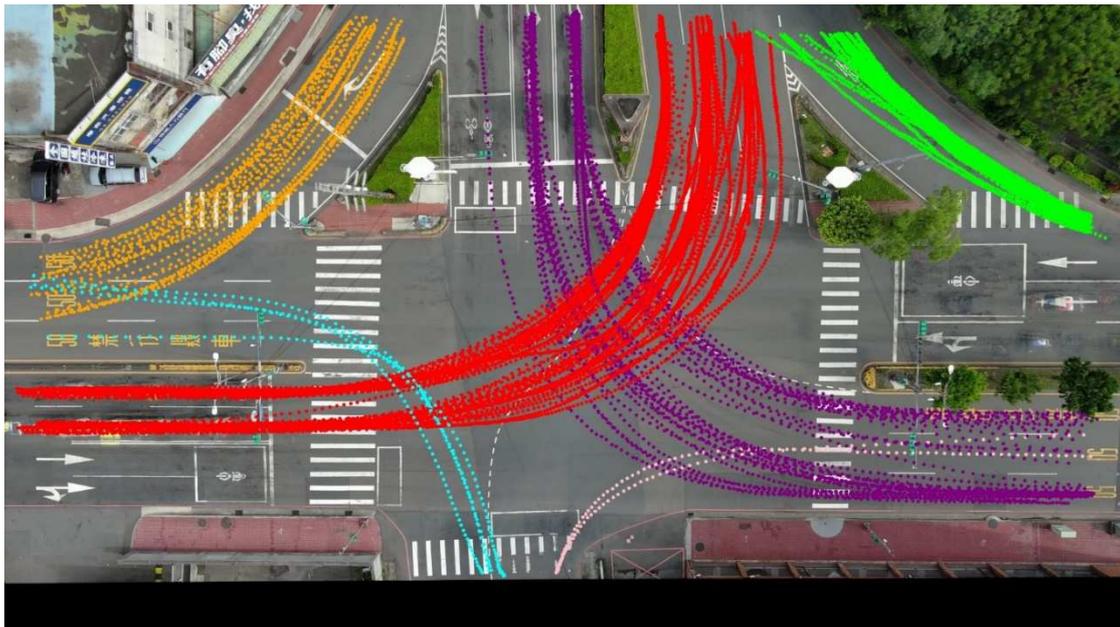


圖 6.4-28 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-21)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-29。由表格中可發現右轉車輛通過 B 方向枕木紋行人穿越道線之平均角度較低，顯示該行向的車輛通過路口注意到行人的機率較低。

表 6.4-21 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛轉向	車種	A 方向		B 方向		C 方向	
		車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	角度平均值
右轉	四輪及以上	0	-	154	25.23	8	86.68
右轉	機車	1	73.68	35	16.02	14	86.44
左轉	四輪及以上	18	48.90	120	64.65	136	75.76
左轉	機車	0	-	0	-	0	-

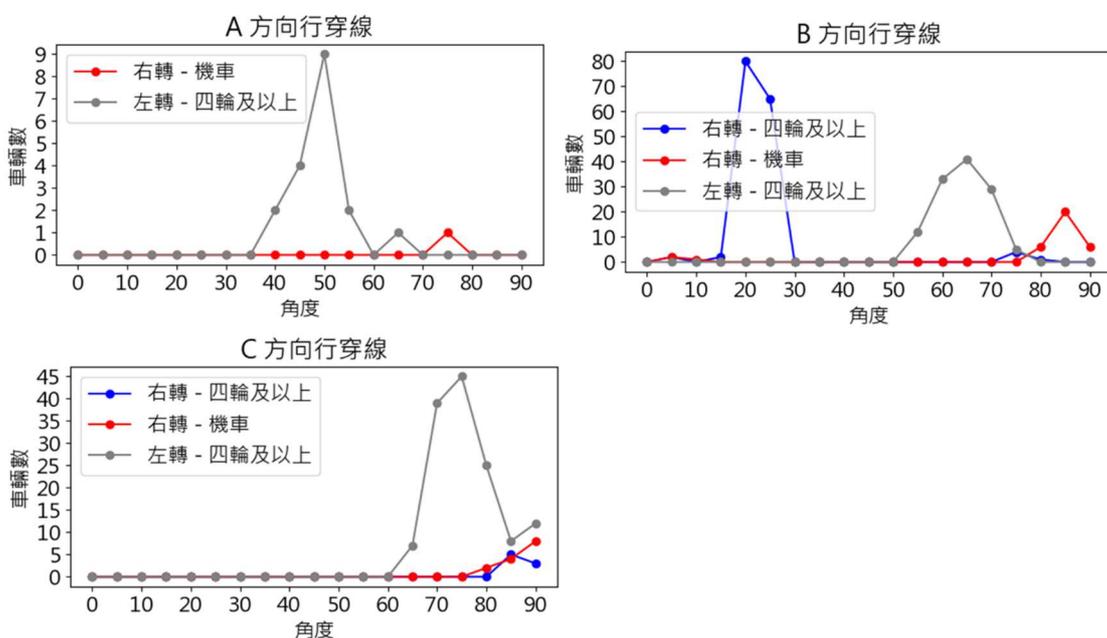


圖 6.4-29 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之角度分佈圖

以下整理此路口三個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-22 所示。根據表格之分析結果，綜合三個架次可發現：

- (一)A、C 方向轉彎車輛未慢速通過路口的數量較多。
- (二)A 方向較多車輛跨越停止線、枕木紋行人穿越道線行為。
- (三)A、C 方向皆有車輛闖紅燈行為。
- (四)A 方向有反向左轉衝突。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議可透過交通工程手段降低車速，於 A、C 方向增設牌面或預告號誌提醒駕駛人，減少搶越之情形，以及針對衝突部分，建議 A 方向枕木紋行人穿越道線設置庇護島或退縮枕木紋行人穿越道線方式並配合號誌改善以減少衝突行為。此外對於車輛轉向角度較小問題，建議可將 A-B、B-C 轉彎夾角的人行道外推，增加車輛轉彎半徑以提高車輛接觸枕木紋行人穿越道線時的角度。

表 6.4-22 桃園市中壢區中華路中園路忠義路口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方向 汽車數	入口方向 機車數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提早 進入車 道等待 (行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 324 (A 架次)																		
A	1	8	413	754	112	0	31	26	1	3	1	0	2	0	0	2	0	0
B	3	0	231	151	2	0	13	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C	4	1	319	690	56	0	5	6	1	3	2	0	0	3	0	0	0	0
專案 325 (B 架次)																		
A	3	7	333	420	46	0	36	22	1	1	2	0	0	3	0	2	0	0
B	1	1	181	137	5	0	10	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C	0	1	383	455	128	0	11	14	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0
專案 326 (C 架次)																		
A	4	11	365	281	63	-	-	-	0	-	7	-	1	0	0	2	0	0
B	9	3	179	92	7	-	-	-	0	-	7	-	0	0	0	0	0	0
C	4	0	338	311	220	-	-	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0
專案 327 (D 架次)																		
A	11	2	294	269	176	0	24	18	0	4	2	0	0	0	1	0	0	0
B	8	3	192	64	6	0	9	8	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0
C	5	2	354	299	354	0	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

備註：專案 326 拍攝期間涵蓋時相轉換時期，故與號誌相關之項目不予以分析(R3、V1、V2、V4、V6)

六、桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口

此路口東西向為中山路，南北向為文華路三段，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-23 所示，空拍圖如圖 6.4-30 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。由於為滿足影像辨識需求，拍攝畫面無包含路口 B、D 方向之入口上游，故 B、D 方向枕木紋行人穿越道線不進行分析。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-31、圖 6.4-32。

表 6.4-23 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口基本資訊

分析方向	A	C
枕木紋行人穿越道線長度	10.4/12.3 公尺 (二段)	27.6 公尺 (一段)
庇護島	有	無
枕木紋行人穿越道線退縮	有	有
行人綠燈秒數	61 秒	61 秒
行人綠燈早開	有	有



圖 6.4-30 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之枕木紋行人穿越道線設定

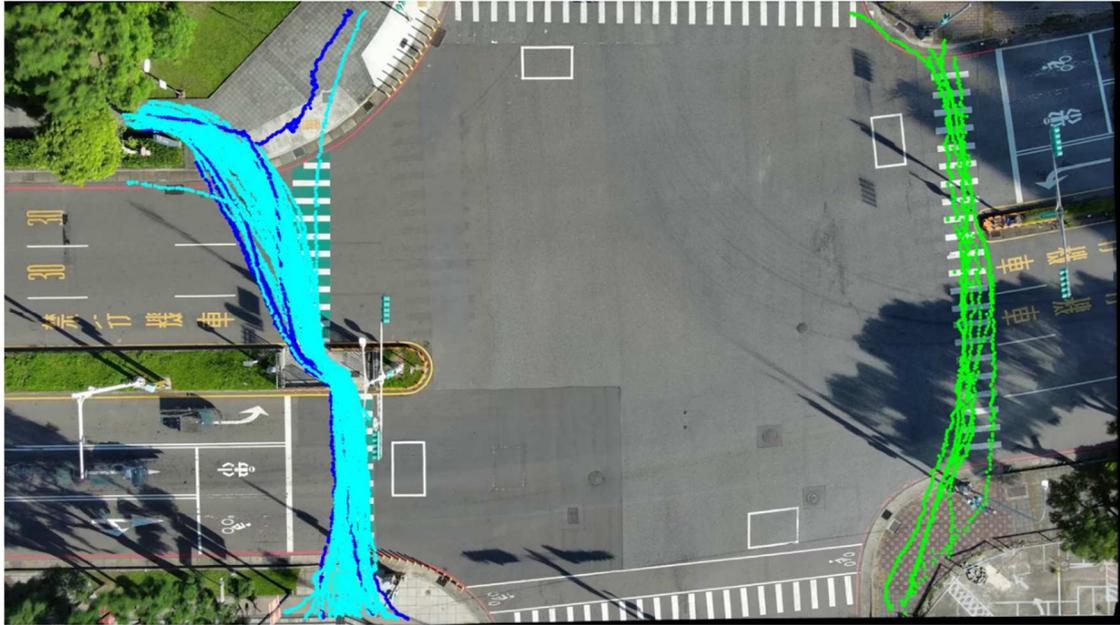


圖 6.4-31 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之行人軌跡



圖 6.4-32 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-24)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-33。表格中右轉車輛通過停止線之角度皆小於左轉車通過停止線之角度，A 方向之角度略高於 C 方向之角度。

表 6.4-24 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛 轉向	車種	A 方向		C 方向	
		車輛 數(輛)	角度平 均值	車輛 數 (輛)	角度平均 值
右轉	四輪及以上	26	60.13	32	53.02
右轉	機車	13	63.20	3	55.10
左轉	四輪及以上	20	84.70	66	78.89
左轉	機車	6	87.03	4	83.51

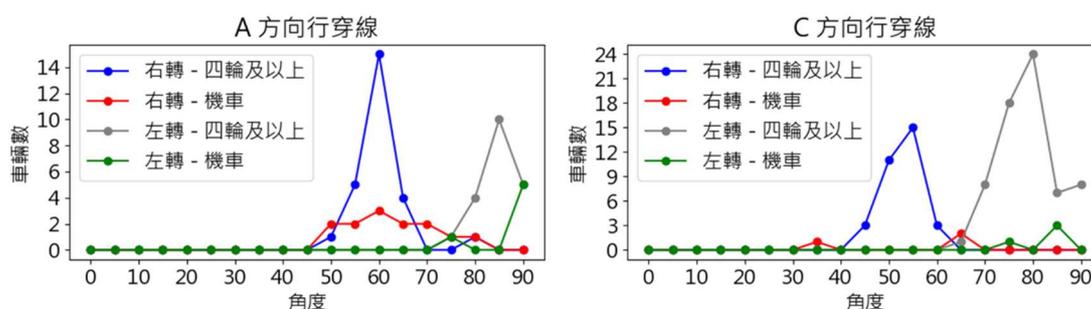


圖 6.4-33 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之角度分佈圖

以下整理此路口三個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-25 所示。根據表格之分析結果，綜合三個架次可發現：

- (一)各方向轉彎車輛未慢速通過路口的數量較多。
- (二)A 方向較多車輛跨越停止線行為。
- (三)A 方向有部分行人未走在枕木紋行人穿越道線上。
- (四)A 方向的衝突事件較多。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議可透過交通工程手段降低車速，以及改善路口設計提升行人走於枕木紋行人穿越道線上之意願，以及針對衝突部分，建議設置庇護島或退縮枕木紋行人穿越道線方式並配合號誌改善以減少衝突行為。

表 6.4-25 桃園市中壢區高鐵北路一段青心路口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方向 汽車數	入口方向 機車數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提 早進入 車道等 待(行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 372 (A 架次)																		
A	15	32	229	47	84	0	11	3	0	3	19	0	5	0	2	1	0	0
C	5	2	127	0	86	0	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
專案 321 (B 架次)																		
A	53	6	252	36	198	3	6	0	0	1	17	0	0	3	1	0	0	0
C	0	7	123	0	46	0	2	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0
專案 322 (C 架次)																		
A	26	14	204	62	115	0	3	0	0	1	15	0	1	0	4	0	0	0
C	3	10	117	0	61	0	1	0	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0
專案 323 (D 架次)																		
A	47	17	337	42	132	2	14	1	3	1	19	0	3	1	3	2	0	0
C	0	7	183	0	63	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0

七、桃園市桃園區中山路三民路口

此路口東西向為中山路，南北向為文華路三段，路口與行人相關的基本資訊整理如表 6.4-26 所示，空拍圖如圖 6.4-34 所示，圖中藍框為分析之枕木紋行人穿越道線範圍。由於為滿足影像辨識需求，拍攝畫面無包含路口 B 方向之入口上游，故 B 方向枕木紋行人穿越道線不進行分析。根據分析之枕木紋行人穿越道線產出行人之軌跡圖，並附上轉彎車流軌跡圖供參考，如圖 6.4-35、圖 6.4-36。

表 6.4-26 桃園市桃園區中山路三民路口基本資訊

分析方向	A	C	D
枕木紋行人穿越道線長度	16.6 公尺 (一段)	24.2 公尺 (一段)	14.1 公尺 (一段)
庇護島	無	無	無
枕木紋行人穿越道線退縮	無	無	無
行人綠燈秒數	65 秒	65 秒	58 秒
行人綠燈早開	無	無	有



圖 6.4-34 桃園市桃園區中山路三民路口之枕木紋行人穿越道線設定

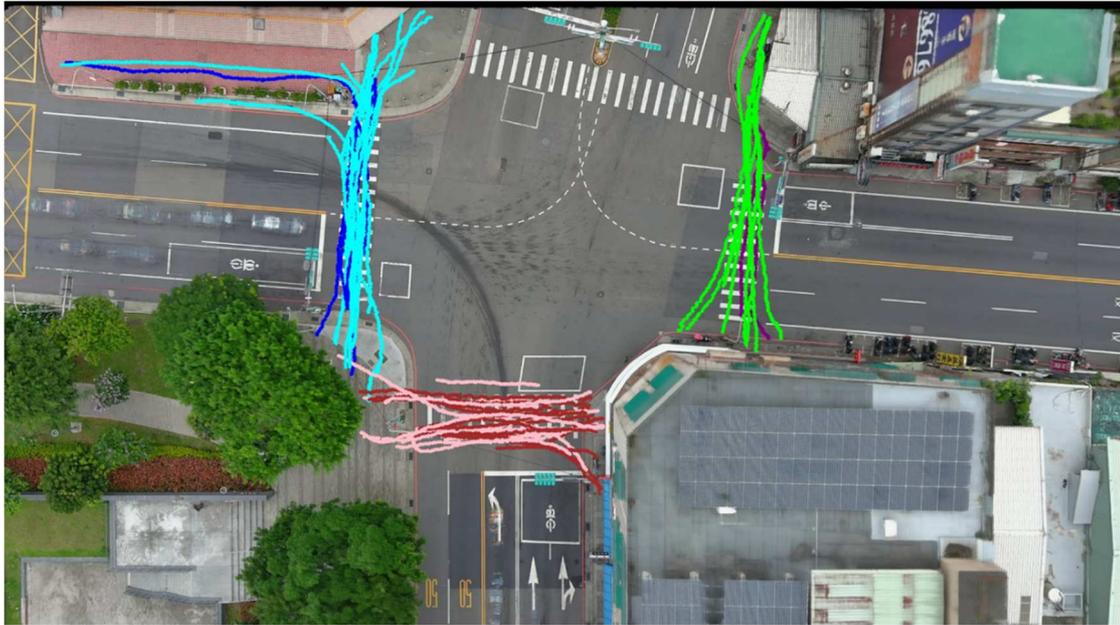


圖 6.4-35 桃園市桃園區中山路三民路口之行人軌跡

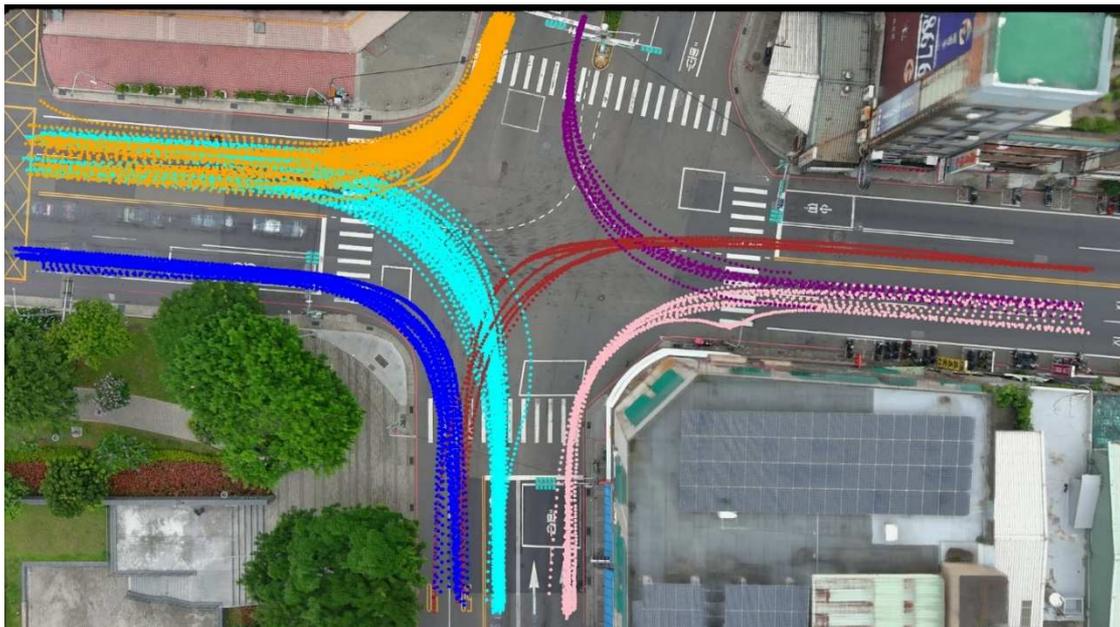


圖 6.4-36 桃園市桃園區中山路三民路口之轉彎車流軌跡

針對路口車輛通過枕木紋行人穿越道線時的角度以枕木紋行人穿越道線為分析單位統計不同轉向及車種之通過車輛數及平均之角度數值(表 6.4-27)，並將其以折線圖視覺化呈現，如圖 6.4-37。表格中 A 方向的角度較 C 方向及 D 方向小。

表 6.4-27 桃園市桃園區中山路三民路口之車輛通過枕木紋行人穿越道線時角度

車輛轉向	車種	A 方向		C 方向		D 方向	
		車輛數(輛)	角度平均值	車輛數(輛)	平均值	車輛數(輛)	角度平均值
右轉	四輪及以上	84	67.05	12	79.67	24	79.88
右轉	機車	92	78.14	27	84.77	45	87.10
左轉	四輪及以上	53	57.33	10	74.58	6	79.57
左轉	機車	0	-	0	-	0	-

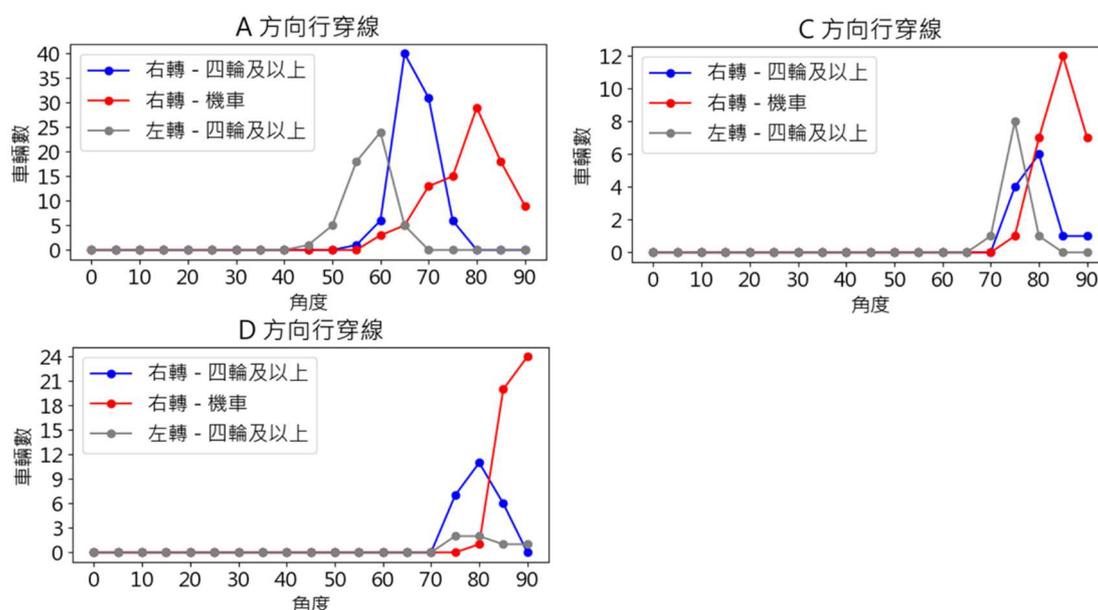


圖 6.4-37 桃園市桃園區中山路三民路口之角度分佈圖

以下整理此路口三個架次透過交通衝突分析軟體產製的分析統計表結果，如表 6.4-28 所示。根據表格之分析結果，綜合三個架次可發現：

- (一)C 方向轉彎車輛未慢速通過路口的數量較多。
- (二)A、C 方向較多車輛跨越停止線、枕木紋行人穿越道線行為。
- (三)A、C 方向有車輛闖紅燈行為。
- (四)B 方向有部分行人未走在枕木紋行人穿越道線上。
- (五)A 方向有較多反向右轉衝突。

針對上述分析結果建議路口可改善的方向，建議可透過交通工程手段降低車速，於 A、C 方向增設牌面或預告號誌提醒駕駛人，減少搶越之情形，以及改善路口設計提升行人走於枕木紋行人穿越道線上的意願，針對衝突部分，建議於 A 方向設置庇護島或退縮枕木紋行人穿越道線方式並配合號誌改善以減少衝突行為。

表 6.4-28 桃園市桃園區中山路三民路口之分析統計表

方向	順時針 行人數	逆時針 行人數	入口方 向汽車 數	入口方 向機車 數	[R1] 轉彎車 輛未慢 速通過 行穿線	[R3] 行人提 早進入 車道等 待(行人)	[V1] 車輛跨 越停止 線	[V2] 車輛跨 越行穿 線	[V3] 轉向車 輛未停 讓行人	[V4] 車輛闖 紅燈	[V5] 行人未 走在行 穿線上 (行人)	[V6] 行人闖 紅燈(行 人)	[C1] 同向右 轉衝突	[C2] 同向左 轉衝突	[C3] 反向右 轉衝突	[C4] 反向左 轉衝突	[C5] 垂直直 行衝突	[C6] 機車兩 段左轉 與行人 衝突
專案 329 (A 架次)																		
A	16	5	159	501	4	0	15	13	1	5	1	0	1	0	9	0	0	0
C	2	8	113	248	32	0	3	3	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0
D	13	13	176	533	90	0	11	9	0	5	6	1	0	1	0	0	1	0
專案 330 (B 架次)																		
A	18	5	222	707	7	0	15	11	1	6	0	0	4	0	6	0	0	0
C	12	10	95	317	16	0	7	2	0	2	6	0	1	0	0	0	1	1
D	25	15	210	684	144	0	24	20	0	6	10	1	3	0	4	0	1	1
專案 331 (C 架次)																		
A	26	8	185	542	5	0	13	8	3	1	3	0	2	0	7	0	1	0
C	10	21	97	256	27	0	10	6	5	3	14	0	7	0	3	0	3	1
D	11	25	168	546	57	1	14	12	1	4	2	0	3	0	0	0	0	0
專案 332 (D 架次)																		
A	19	12	151	436	3	1	20	20	0	8	6	0	6	0	9	0	0	0
C	9	12	82	196	13	0	6	3	2	2	6	1	1	0	1	0	0	0
D	12	13	128	313	20	0	12	8	0	4	3	0	2	0	0	0	0	0

6.5 小結

於先導測試計畫中，本計畫已達到以下幾點目標：

- 一、本(112)年度開發之應用情境為機會左轉之進階分析及人車衝突。採用 110 年期之架構，將可能與交通事故有關之風險項目分為 3 類：具風險之駕駛及用路行為(R)、違規行為(V)、以及交通衝突(C)，並利用車流軌跡及分析人員於分析軟體中輸入之參數設定資料，以程式自動計算分析項目，輸出指標統計及圖表，並依據分析結果發現之問題提出路口安全之建議改善方向。
- 二、機會左轉之進階分析為延伸 110 年期研究之機會左轉情境，探討左轉車輛與對向直行車以外之互動行為及其延伸出的其他次要衝突，透過在進入路口處及路口內畫設判斷線，分析左轉車於路口機會左轉時造成上游車輛或對向車輛的行為改變引發的衝突事件，判斷車輛急減速及繞行的風險駕駛行為，並提出路口改善建議之方向，如於路口內增加路口行車導引線、增設左彎待轉區線、擴大左轉車道儲車空間、增設左轉偏心車道、將機會左轉方向行向改為獨立號誌等交通工程手段。
- 三、人車衝突以枕木紋行人穿越道線為分析單位，分析及判斷行人與車輛於穿越道路中所發生的衝突，調整拍攝方式為降低拍攝高度以提升行人之辨識率，透過參數設定判斷行人與車輛進出枕木紋行人穿越道線之行為，包括轉彎車輛未慢速通過枕木紋行人穿越道線、車輛接觸枕木紋行人穿越道線時角度、轉向車輛未停讓行人、行人未走在枕木紋行人穿越道線上、以及機車兩段左轉與行人衝突行為等分析項目，所得結果可發現路口之潛在風險，建議

可透過退縮枕木紋行人穿越道線位置、設置庇護島、路緣外推等方式，增加車輛通過路口時能夠觀察到行人的可見度以及有足夠的時間與距離減速並煞停以禮讓行人優先通過，增進行人安全。

四、機會左轉進階分析共有 7 個調查路口，考量機車左轉方式、有無早開遲閉、及有無左彎專用車道之情境組合。人車衝突共有 7 個調查路口，考量有無庇護島、有無枕木紋行人穿越道線退縮、及有無行人穿越道號誌早開的路口特性條件，代表國內常見的路口樣態。

五、本計畫已與公路局進行分析結果回饋之會議討論，並於 12 月中旬提供合作機關(桃園市交通局、臺南市交通局)分析結果資料。

本計畫於先導測試之開發與分析過程中遇到的困難與挑戰之總結茲說明如下，供未來計畫參考：

一、機會左轉(進階分析)之分析項目中，對向車輛繞行通過及左轉車上游車輛外切繞過停等車通過是前二頻繁的風險行為。分析過程中需要使用者自定義判斷線，惟當分析路口為非正交路口或路口上下游車道數不同時，車輛繞行的認定可能較為主觀，建議未來可進一步討論判斷準則。

二、人車衝突分析的分析方面，因行人辨識需要較高影片解析度，因此需降低拍攝範圍，影片只涵蓋 1 至 3 條枕木紋行人穿越道線，無法涵蓋全部枕木紋行人穿越道線。另外，本計畫在現場調查前未能取得路口的行人穿越道號誌及行人流量資料，導致無法預先規劃號誌側拍方式供行人穿越道號誌的正確性驗證，也未能掌握行人數量較多的時段，導致部分調查路口的行人數量較少，分析結果受限。建議未來在人車衝突的現場調查前先取得上述資料，

如有必要可先到現場進行場勘。

三、國外有兩段枕木紋行人穿越道線搭配不同時相之設計，可減少路口衝突並增加效率。惟國內此類型路口較不常見，故本計畫中的調查路口並未包含此類型。建議未來道路管理機關可考慮納入此類型行人設計並評估其安全績效。

歸納歷年先導測試計畫之設計與執行經驗，本計畫與地方道路管理機關及公路局合作，進行拍攝路口挑選，並將分析結果回饋至合作機關進行路口安全評估與改善；本計畫已針對機會左轉、路口穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突、機會左轉(進階分析)及人車衝突六個應用情境，分年進行評估與測試。在取得路口空拍影像並於交通衝突分析軟體設定資料後進行分析，研究人員可由軟體分析結果發現應用情境路口之潛在風險，提供道路管理機關於改善路口時之改善參考，以提升用路人之安全。

第七章 易肇事路口分析

本章將敘述本(112)年度的4個易肇事路口的分析過程及結果，先對這些路口進行空拍影像蒐集，再運用本計畫開發之軟體的核心及既有分析功能，包括衝突分析、車流軌跡、速度熱區圖，對易肇事路口的交通問題進行分析。

易肇事路口的選擇方面，本計畫由公路局及運研所提供之 29 個易肇事路口候選名單中，根據路口幾何及空拍條件進行篩選，最終選出的 4 個易肇事路口為：

- 一、桃園市桃園區復興路、民生路。
- 二、雲林縣中山路、龍潭路、中山路 585 巷。
- 三、桃園市桃園區三民路二段、民生路。
- 四、宜蘭縣中山路、神農路、舊城南路。

目前已完成易肇事路口之調查工作，拍攝日期介於 112 年 6 月 14 日至 112 年 6 月 16 日之間，每個路口蒐集共 45 分鐘以上之空拍影片。

7.1 分析項目

以下說明運用軟體對路口進行分析及檢查的基本項目及程序，先以基本功能進行分析，包括交通衝突分析(衝突事件表、衝突統計、衝突熱點圖)檢視路口衝突熱區，運用車流軌跡、速度熱區圖等功能將衝突事件的可能原因視覺化，並檢查機慢車左轉待轉區線、號誌時相、標線劃設等的合理性。而軟體中具有點擊畫面中的衝突點去播放衝突事件影片之功能，可讓分析以互動性的方式進一步調閱衝突事件的資料，協助分析人員能快速確認衝突事件其背後之原因，並對路口的交通問題有更進一步的了解。如分析地點符合 110 及 111 年先導測試計畫之應用情境，則會採用對應之進階功能進行分析。

目前的分析項目包括 9 項，包含(1)衝突點密集的区域、(2)車流軌跡的合理性、(3)超速情形分布、(4)機慢車左轉待轉區線溢出情形、(5)標線及空間使用的合理性、(6)機會左轉、(7)穿越衝突、(8)非號誌化路口停讓衝突、(9)右轉衝突，各項的詳細說明及採用的軟體功能如

表 7.1-1 所示。前 5 項屬於基本功能、後 4 項屬於進階功能。未來亦會隨軟體功能新增或升級而增加可分析項目。

表 7.1-1 分析項目及功能說明

編號	分析項目	內容說明	軟體功能	參數設定
1	衝突點密集的区域	以視覺化方式檢視衝突點在路口区域的空間分布	衝突熱點 TTC/PET	建議採用 TTC 圖，並將 TTC、PET 的數值範圍設定是上限設定為 5 秒、最大速度及相對車速之下限設定為 5km/h 或 10 km/h。如圖中的衝突點太密集影響判讀，建議可以將低風險的(綠色)衝突點予以排除。可進一步針對特定議題，選擇希望呈現之衝突型態、車輛類別、車流方向。 另外，分析人員可由軟體中點擊衝突熱點圖中的衝突點，觀看衝突事件發生時的前後 10 秒影片，檢查衝突行為及原因。
2	車流軌跡的合理性	以視覺化方式檢視不同車種在路口中的車流軌跡是否具有合理性	路口軌跡	建議分別產生 4 個入口方向、每個方向含左轉、直行、右轉的軌跡圖。另車種可依機車、四輪或以上車輛至少兩類。
3	超速情形	檢查路口中的車流是否有超速的情況，並以視覺化方式檢視超速車流於路口中的位置分布及行進方向	路口車速與數量分布、速度熱區圖	運用車流特性之路口車速與數量分布功能，可檢視直行車流的車速分布。再運用速度熱區圖，檢視超速車流的空間分布。假設速限為 50 km/h，可將速度區間設定為 50km/h 至 100km/h。

(續下頁)

編號	分析項目	內容說明	軟體功能	參數設定
4	機慢車左轉待轉區線溢出情形	機慢車左轉待轉區線容易因轉彎的機車數量多，超出機慢車左轉待轉區線所能容納的數量而溢出機慢車左轉待轉區線，影響其他車輛的行駛動線及行人穿越道	速度熱區圖、路口軌跡	運用速度熱區圖功能，將車種設定為機車、設定範圍設定為 0km/h 至 3km/h，可顯示機車停等時的覆蓋範圍，是否有大幅度的溢出機慢車左轉待轉區線。 另外，可運用路口軌跡功能，將機車進行兩段左轉的動線視覺化，可進一步確認機車溢出的情況以及是否有導致動線不佳(如進入枕木紋行人穿越道線)的情況。
5	標線及空間使用的綜合性檢查	標線劃設及空間分配會影響路口整體車流動線順暢度，逐一檢視路口中的標線、車道配置、號誌時相等是否有不合理的情況	路口軌跡、速度熱區圖、路口底圖	運用分析項目 1~4 之技巧進行綜合性的分析，針對路口中可能有不合理的區域進一步探討路口是否存在不合理的情況(如路口上下游車道對應不明確、路口上下游之車道數減少及不對齊、車輛未依路口行車導引線左轉彎、機車兩段式左轉動線不佳等問題)，並進行合理性檢查。分析人員更可以利用軟體中的空拍底圖，清楚的呈現路口的幾何及標線的情形。
6	機會左轉	車輛於無左轉保護時相左轉時，會受到對向直行車的車流狀況影響，產生機會左轉之情形	110 年先導測試計畫：機會左轉	設定路口每個方向之停止線與出口線位置、劃設路口中央區域範圍、並標註車道數及車道位置及其屬性、確認號誌時相表設定正確與否，即可進行機會左轉分析。
7	路口穿越衝突	因車輛搶黃燈、闖紅燈、或綠燈未亮前起步、或因清道時間秒數不足，導致與橫向來車發生之穿越衝突，對應之碰撞型態為交岔撞	110 年先導測試計畫：路口穿越衝突	設定路口每個方向之停止線與出口線位置、劃設路口中央區域範圍、並標註車道數及車道位置及其屬性、確認號誌時相表設定正確與否，即可進行穿越衝突分析。

(續下頁)

編號	分析項目	內容說明	軟體功能	參數設定
8	右轉衝突	在靠近停止線處，右轉車輛未靠右行駛，與直行車流發生衝突，對應肇事型態主要為右轉側撞	111 年先導測試計畫：右轉衝突	設定路口分析方向之路面邊線位置、車道線位置、停止線位置、停止線上游範圍、停止線下游範圍並標註車道數及車道位置及其屬性，即可進行右轉衝突分析。
9	非號誌化路口停讓衝突	在非號誌化路口，車輛未依規定停讓，而導致交岔路口中發生之衝突，對應肇事型態主要為交岔撞	111 年先導測試計畫：非號誌化路口停讓衝突	設定路口每個方向之判斷線、閃光號誌資訊、標誌(線)停慢讓資訊、幹(支)線道資訊，即可進行非號誌化路口停讓衝突分析。

7.2 案例一：桃園市桃園區民生路復興路口

7.2.1 基本資料

此路口位於桃園市桃園區，南北向為民生路，東西向為復興路(台 1 甲線)，路口的空拍圖如圖 7.2-1 所示。民生路南北向的出入口皆為 1 車道加路肩；復興路東西向的出入口皆為 2 車道，本計畫整理之路口幾何特性表如表 7.2-1 所示。本計畫選定 10:00 至 12:00 進行拍攝作業，拍攝期間之平均小時轉向交通量及號誌時制表分別如圖 7.2-2、圖 7.2-3 所示，為三時相號誌路口，並採用三燈式號誌。



圖 7.2-1 桃園市桃園區民生路復興路口之空拍圖(上方為北)

表 7.2-1 桃園市桃園區民生路復興路口之幾何特性表

路口名稱	民生路/ 復興路	路段全名							
		復興路 (A 方向)		民生路 (B 方向)		復興路 (C 方向)		民生路 (D 方向)	
車道配置	車道數量/ 車道配置	1	混	2	混+ 混	1	混	2	混+ 混
車道種類	轉向配置	無畫設		無畫設		無畫設		無畫設	
	左彎專用道								
	右彎專用道								
	機車專用道								
	機慢車優先道								
	慢車道								
	路肩	√		√		√		√	
	人行道								
	機慢車左轉待轉區線	√				√			
	行車管制號誌	√		√		√		√	
	行人穿越道號誌	√		√		√		√	
	公車站								
	其他								

單位：veh/hr

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計
A	B	左轉	0.00	16.56	40.71	8.28	34.50	0.00	100.06
	C	直進	0.00	446.46	325.70	50.37	4.14	0.00	826.68
	D	右轉	0.69	65.55	66.94	7.59	0.69	0.69	142.15
	小計			0.69	528.58	433.35	66.24	39.33	0.69
B	C	左轉	0.00	40.02	34.50	4.14	4.83	0.00	83.50
	D	直進	0.00	408.51	162.85	12.42	0.00	0.00	583.78
	A	右轉	0.69	48.30	33.81	10.35	16.56	0.00	109.72
	小計			0.69	496.84	231.17	26.91	21.39	0.00
C	D	左轉	0.00	38.64	76.60	4.83	1.38	0.00	121.45
	A	直進	0.00	597.58	374.01	69.01	22.77	0.00	1063.37
	B	右轉	0.00	109.72	66.94	6.90	2.76	0.00	186.31
	小計			0.00	745.95	517.54	80.74	26.91	0.00
D	A	左轉	0.00	55.89	72.46	8.28	4.14	0.00	140.77
	B	直進	0.00	449.91	115.93	13.11	0.00	0.00	578.95
	C	右轉	0.00	35.88	17.94	1.38	0.00	0.00	55.20
	小計			0.00	541.69	206.33	22.77	4.14	0.00
總計			1.38	2313.05	1388.38	196.66	91.78	0.69	3991.95

圖 7.2-2 桃園市桃園區民生路復興路口之平均小時轉向交通量

週期約150秒	時相一	時相二	時相三
執行時間 10:00 ~ 12:00 			
綠燈	70	12	55
黃燈	3	3	3
全紅	0	2	2
說明	復興路東西向圓形綠燈	復興路西向圓形綠燈(遲閉)	民生路南北向圓形綠燈

圖 7.2-3 桃園市桃園區民生路復興路之號誌時制表

本計畫與公路局聯繫，取得該路口近期之改善規劃報告，該報告內容已於本計畫拍攝前數日實施部分之調整，以下針對該改善規劃報告扼要進行說明，並於 7.2.4 小節說明本計畫之分析結果與該報告之異同。

參考公路局提供之「桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善規劃」簡報及工程設計圖，如圖 7.2-4，其提出 9 項改善方案，分別為(A)劃設槽化線，改善大型車右轉線型、(B1)道路邊線(禁止臨時

停車線)線型改善，降低肇事率、(B2)與中油加油站、交通局協商設置標線型人行道、(C1)復興路北側外側車道停等區往前移，另將枕木紋行人穿越道線打斜、(C2)復興路往北方向，號誌秒數遲閉 10 秒、(D)增加路口導引線 3 條、(E)請消防局協助遷移復興路南側消防栓後，枕木紋行人穿越道線往北移 1 米、(F1)建議交通局將民生路方向之枕木紋行人穿越道線改為正交、(F2)交通局在民生路設置偏心左轉，如圖 7.2-5 所示。其中(C2)復興路往北方向，號誌秒數遲閉 10 秒之改善方案已於路口進行調整，(F2)交通局在民生路設置偏心左轉之改善方案已納入今年(112 年)改善計畫。

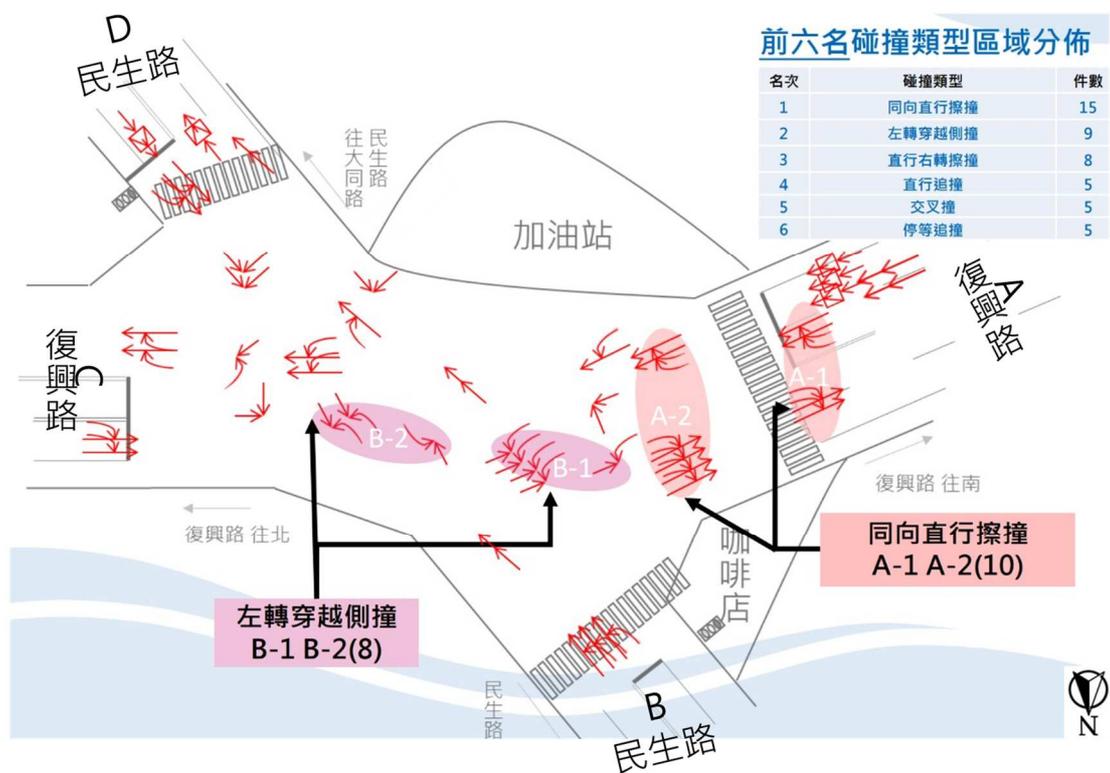


圖 7.2-4 公路局提供之「桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善規劃」簡報之碰撞構圖分析

8. 復興路、民生路

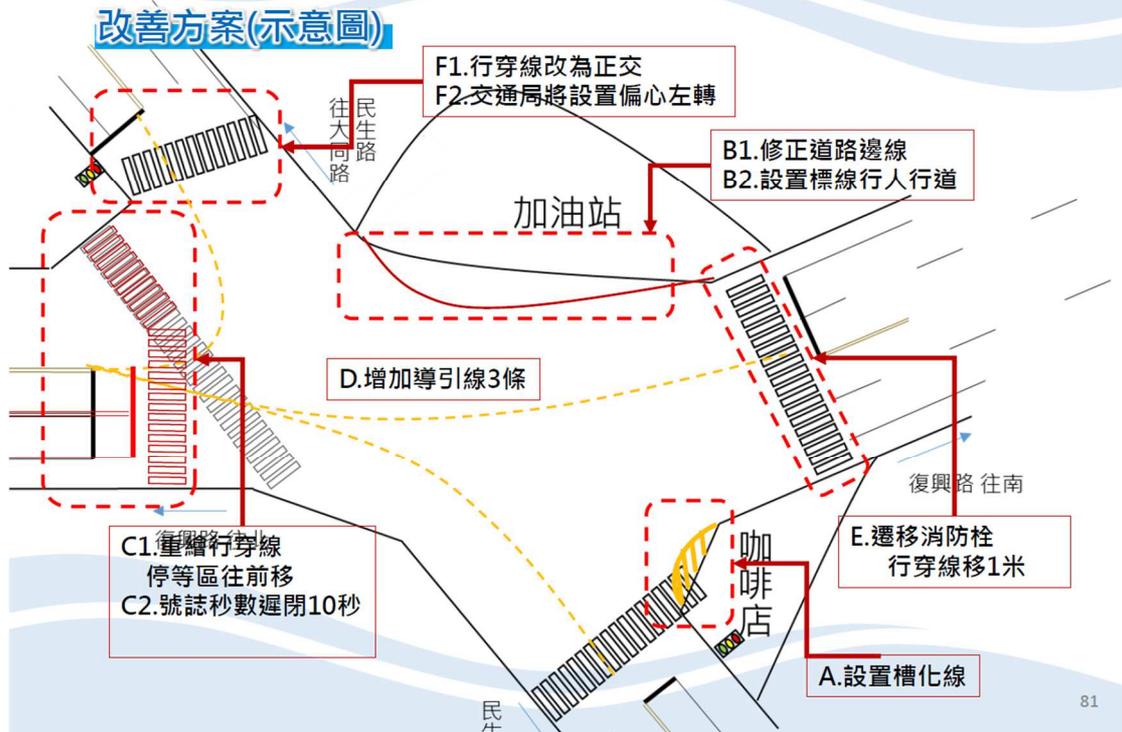


圖 7.2-5 公路局提供之「桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善規劃」簡報之改善方案

7.2.2 分析項目

透過交通衝突分析軟體，依據分析項目產生各種圖表，包含衝突熱點密集區域、車流軌跡合理性、超速情形、標線及空間合理性綜合檢查、機會左轉分析、路口穿越衝突分析、右轉衝突分析。各項圖表如圖 7.2-6 至圖 7.2-13 所示。其中，最大速度及相對速度之下限設定為 5 km/h、不顯示低風險衝突點。

一、衝突點密集區域

以視覺化方式檢視衝突點在路口區域的空間分布。由分析軟體中點選衝突點並檢視其原因後，有以下觀察及發現：

- (一) A 方向左轉大客車於路口內停等，阻礙同向直行車流，且影響到 C 方向直行的車流，造成同向左轉跟車衝突、對向左轉

衝突。

- (二) 從加油站出來的車輛，前往 C、D 方向皆有可能，容易與該號誌時相開放之車流(如 A-C、B-D)發生衝突。
- (三) 四個方向皆為機會左轉情境，路口內存在衝突熱點。左轉車輛於路口內停等與穿越過程易與後方車輛或對向車輛發生衝突。
- (四) B 方向與 D 方向之左轉車輛較多，多台汽機車同時進行停等與左轉之行為，造成衝突點的發生。



圖 7.2-6 桃園市桃園區民生路復興路口之衝突點密集區域

二、車流軌跡合理性

以視覺化方式檢視不同車種在路口中的車流軌跡是否具有合理性。由分析軟體中選取軌跡線輸出並檢視其原因後，有以下觀察及發現(與衝突熱點圖重覆之處不再敘述)：

- (一) C 方向左轉之軌跡相對分散，部分車輛為了搶先對向來車左轉，在未穿過停止線之前跨越分向限制線轉向。

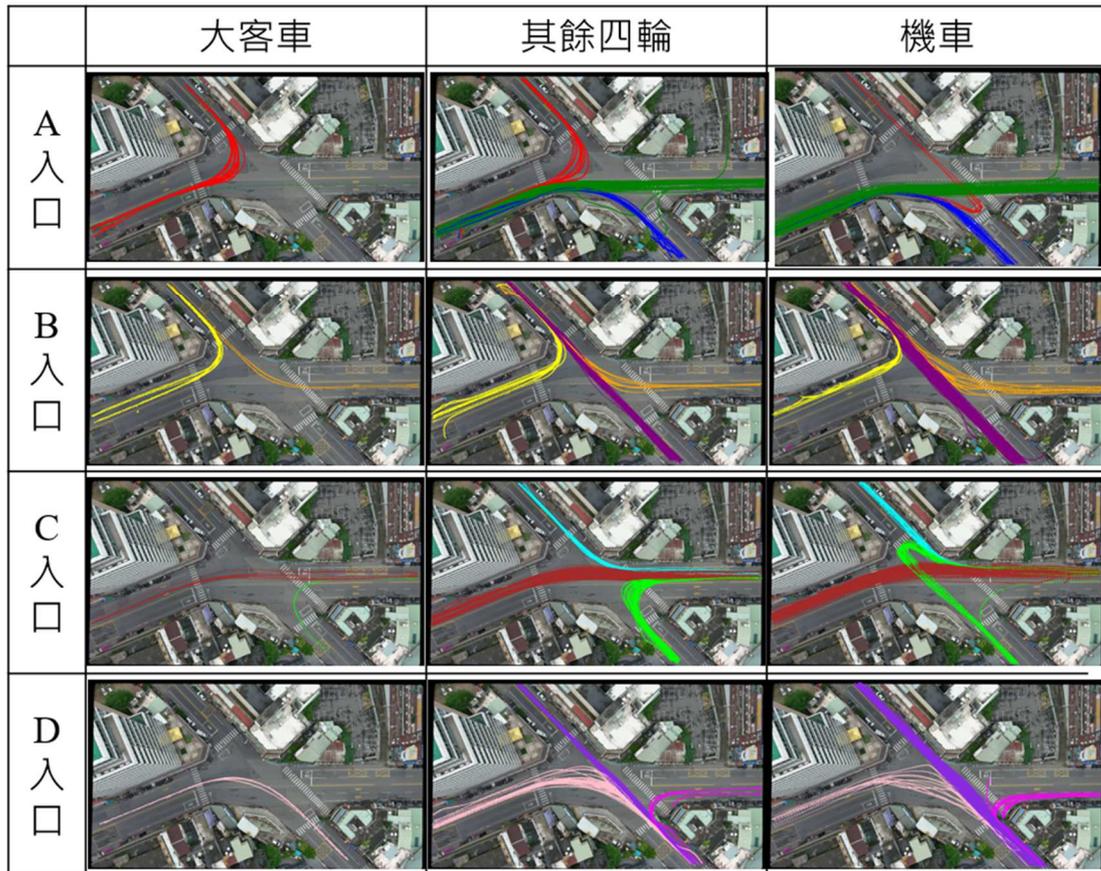


圖 7.2-7 桃園市桃園區民生路復興路口之車流軌跡圖

三、 超速行為

檢查路口中的車流是否有超速的情況，並以視覺化方式檢視超速車流於路口中的位置分佈及行進方向。發現小型車在 A-C 方向有超速情形，機車在 A-C、C-A 方向有超速情形。

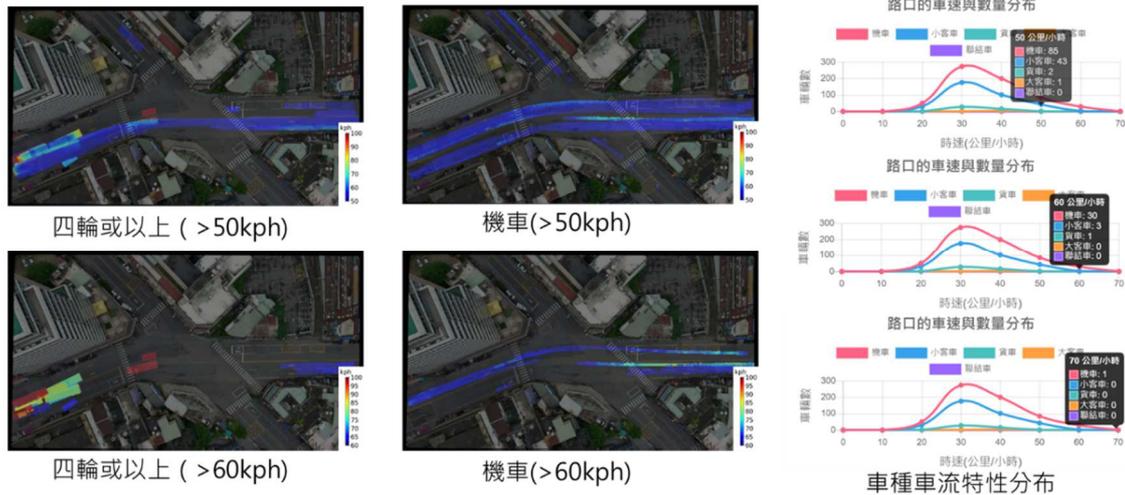


圖 7.2-8 桃園市桃園區民生路復興路口之超速分佈

四、各車種轉向交通量

各車種的組成與轉向量會影響路口整體車流的互動情形，圖 7.2-9 顯示單一架次之轉向交通量表，可發現此路口組成以汽機車為主，而 AB、BA、CA 方向有一些大客車，後續分析發現對路口之運作有造成影響。

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計
A	B	左轉	0	3	12	1	15	0	31
	C	直進	0	159	117	16	1	0	293
	D	右轉	0	23	17	0	0	1	41
	小計			0	185	146	17	16	1
B	C	左轉	0	15	9	0	2	0	26
	D	直進	0	135	59	5	0	0	199
	A	右轉	1	11	12	3	7	0	34
	小計			1	161	80	8	9	0
C	D	左轉	0	15	29	0	1	0	45
	A	直進	0	197	139	21	7	0	364
	B	右轉	0	19	10	4	0	0	33
	小計			0	231	178	25	8	0
D	A	左轉	0	12	25	4	3	0	44
	B	直進	0	152	41	7	0	0	200
	C	右轉	0	14	6	0	0	0	20
	小計			0	178	72	11	3	0
總計			1	755	476	61	36	1	1330

圖 7.2-9 桃園市桃園區民生路復興路口之流量表(單一架次影片)

五、 標線及空間使用的綜合性檢查

標線劃設及空間分配會影響路口整體車流動線順暢度，逐一檢視路口中的標線、車道配置、號誌時相等是否有不合理的情況。此部分之討論較多，將於第 7.2.3 節以議題方式探討。

六、 機會左轉

車輛於無左轉保護時相左轉時，會受到對向直行車的車流狀況影響，產生機會左轉之情形。有以下發現：

- (一) 四個方向皆為機會左轉情境，左轉車輛皆有不同程度的切西瓜行為。
- (二) A、C、D 皆有清道結束未通過路口車輛。
- (三) C、D 方向皆有車輛於外側車道左轉。
- (四) A、C 方向有超速之車輛。

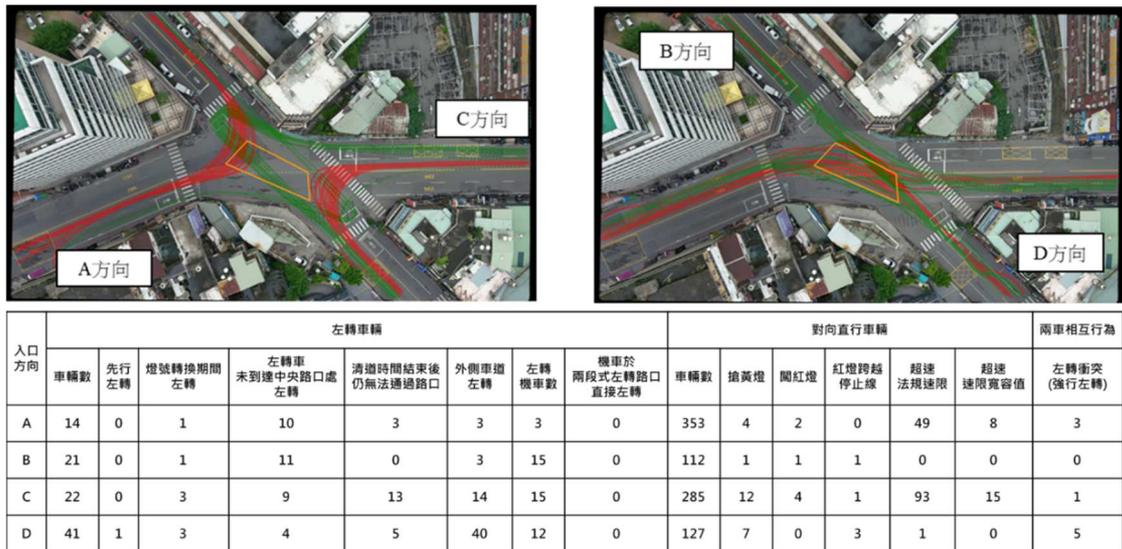
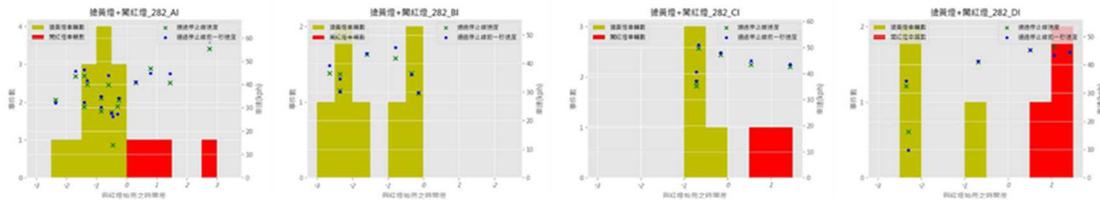


圖 7.2-10 桃園市桃園區民生路復興路口之機會左轉衝突分析結果

七、 路口穿越衝突

因車輛搶黃燈、闖紅燈、或綠燈未亮前起步、或因清道時間秒數不足，導致與橫向來車發生之穿越衝突，對應之碰撞型態為交岔撞。有以下發現：

- (一) 四個方向皆有不同程度之搶黃燈行為。
- (二) A、C、D 方向有少量闖紅燈車輛。
- (三) 四個方向皆有清道結束未通過路口車輛。
- (四) B、D 方向有較多超速車輛。



入口方向	直行車輛							左側來向車輛					右側來向車輛					兩車相互行為			
	車輛數	搶黃燈	清道時間結束後仍無法通過路口	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	穿越衝突(左側來向)	穿越衝突(右側來向)
A	290	12	21	4	1	96	16	185	1	0	4	1	0	191	1	3	4	2	0	0	0
B	185	7	16	0	4	1	0	354	0	2	0	49	8	290	0	4	1	96	16	0	0
C	354	4	6	2	0	49	8	191	1	3	4	2	0	185	1	0	4	1	0	0	0
D	191	3	10	3	4	2	0	290	0	4	1	96	16	354	0	2	0	49	8	0	0

圖 7.2-11 桃園市桃園區民生路復興路口之穿越衝突分析結果

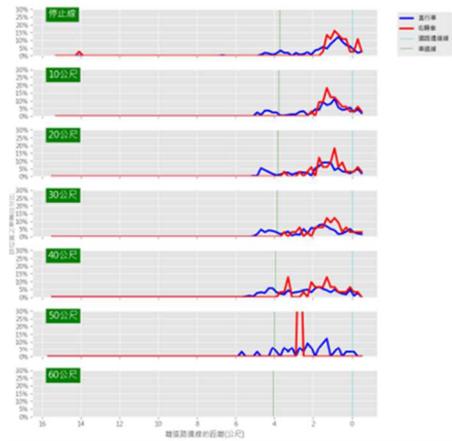
八、右轉衝突分析

在靠近停止線處，因右轉車輛未靠右行駛，而與直行車流發生衝突，對應肇事型態主要為右轉側撞。受限於空拍畫面範圍之限制，只針對可拍攝到較多上游空間之 A 方向與 C 方向進行分析，B、D 方向因拍攝範圍不足而不進行分析。A 方向分析有以下發現：

- (一) 機車、小型車、大型車皆有部分直行車未遠離右側。
- (二) 機車、小型車皆有部分超速之車輛。
- (三) A 方向車輛有同向右轉跟車衝突。
- (四) A 方向機車有少量兩車右轉切入衝突。

C 方向分析有以下發現：

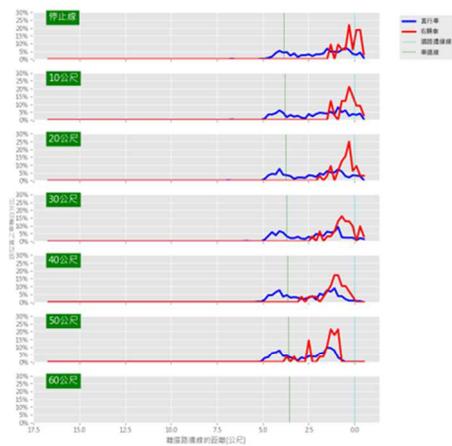
- (一) C 方向機車與小型車有部分直行車未遠離右側。
- (二) C 方向機車有部分超速之行為。
- (三) C 方向機車有部分同向右轉跟車衝突。
- (四) C 方向機車有部分兩車右轉切入衝突。



直行機車與右轉汽車

方向	車種	總車輛數	直行車輛數	右轉車輛數	R1: 右轉車未靠右	R2: 直行車未遠離右側	V1: 超速(速限)	V2: 超速(寬容值)	V3: 右轉車未使用最外側車道或專用道	V4: 直行車使用右轉專用道	C1: 同向右轉跟車衝突	C1 TTC	C2: 兩車右轉切入	C2 PET	C3: 同向兩車右轉衝突	C3 PET	C4: 直行機車與右轉汽車衝突 (直行車側撞右轉車)	C4 PET	C5: 右轉汽車與直行機車衝突 (右轉車側撞直行車)	C5 PET
A方向	機車	185	159	23	16	10	72	14	0	-	8	0.5	7	1.79	0	-	1	2.6	0	-
	小型車	146	117	17	17	0	31	3	1	-	2	2.0	1	2.4	0	-				
	大型車	17	16	0	0	0	4	0	0	-	0	-	0	-	0	-				
	小計	348	292	40	33	10	107	17	1	-	10	0.8	8	1.86	0	-				

圖 7.2-12 桃園市桃園區民生路復興路口之 A 方向右轉衝突分析結果



直行機車與右轉汽車

方向	車種	總車輛數	直行車輛數	右轉車輛數	R1: 右轉車未靠右	R2: 直行車未遠離右側	V1: 超速(速限)	V2: 超速(寬容值)	V3: 右轉車未使用最外側車道或專用道	V4: 直行車使用右轉專用道	C1: 同向右轉跟車衝突	C1 TTC	C2: 兩車右轉切入	C2 PET	C3: 同向兩車右轉衝突	C3 PET	C4: 直行機車與右轉汽車衝突 (直行車側撞右轉車)	C4 PET	C5: 右轉汽車與直行機車衝突 (右轉車側撞直行車)	C5 PET
C方向	機車	231	197	19	0	121	49	10	0	-	10	0.83	7	2.16	0	-	0	-	0	-
	小型車	178	139	10	0	23	4	0	0	-	1	2.2	0	-	0	-				
	大型車	25	21	4	0	2	2	0	0	-	0	-	0	-	0	-				
	小計	434	357	33	0	146	55	10	0	-	11	0.95	7	2.16	0	-				

圖 7.2-13 桃園市桃園區民生路復興路口之 C 方向右轉衝突分析結果

7.2.3 問題探討

從分析軟體的衝突熱點圖中，可以觀看每個衝突點的類型及詳細資料，及發生衝突前後十秒的影片，了解衝突發生的過程及可能原因。以下將觀察到的風險問題以視覺化或畫面截圖方式加以說明。以下提出六個值得討論的議題，以及其建議改善方案。

一、對向穿越左轉衝突之問題(時相一、二)

參考圖 7.2-3 的號誌時制表，時相一可通行的車輛為 A、C 方向之左直右車輛，時相二為 A 方向遲閉號誌，僅 A 方向左直右車輛可通行。但在時相一結束時，C 方向左轉車輛無法利用清道時間紓解路口內車輛，造成時相二(A 方向遲閉)A 方向直行 3 車與 C 方向左轉車相互停讓，如圖 7.2-14 所示。建議可減少時相二之綠燈秒數，並增加清道時間；或可研擬是否 A、C 方向採左轉保護而非 A 方向遲閉。

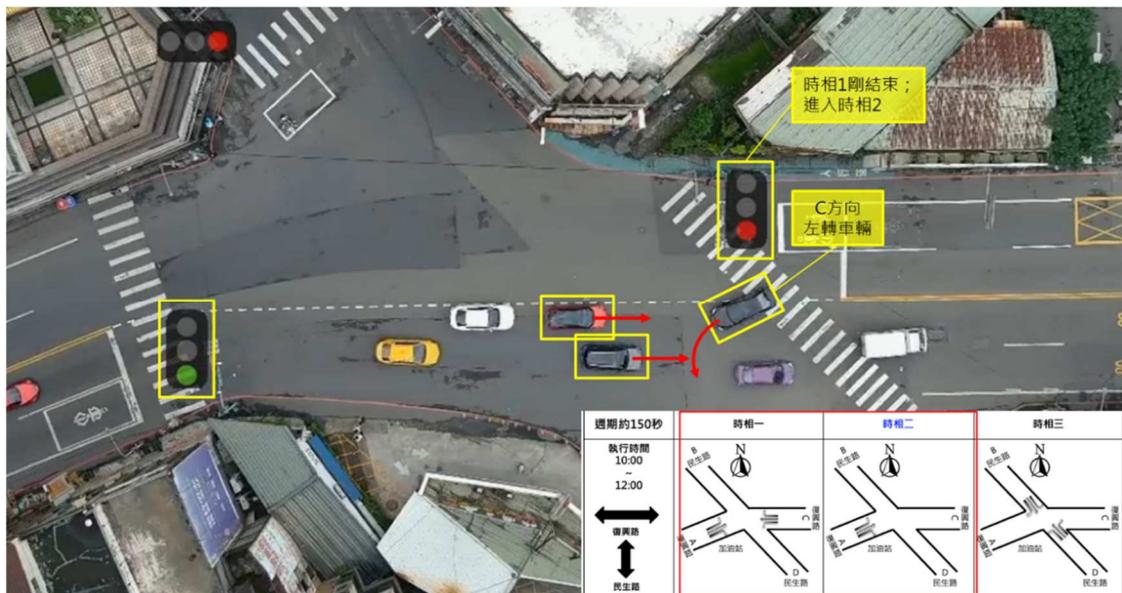


圖 7.2-14 桃園市桃園區民生路復興路口之對向穿越左轉衝突(時相一、時相二)

二、對向穿越左轉衝突之問題(時相三)

參考圖 7.2-3 的號誌時制表、圖 7.2-9 的路口流量表及圖 7.2-15 的車流軌跡，B、D 方向皆為圓形綠燈，會產生機會左轉問題，且雙向之直行車與左轉車流量皆有一定數量，加上路口幾何特殊且無左轉

的路口行車導引線指引，導致左轉車輛的轉彎半徑較大且軌跡較為分散，與直行車交織情形較多，造成較多的機會左轉衝突問題。基於安全之考量，建議可在 B、D 方向劃設左轉的路口行車導引線，並設置偏心左彎專用車道，減少雙向左轉車輛交織情形。

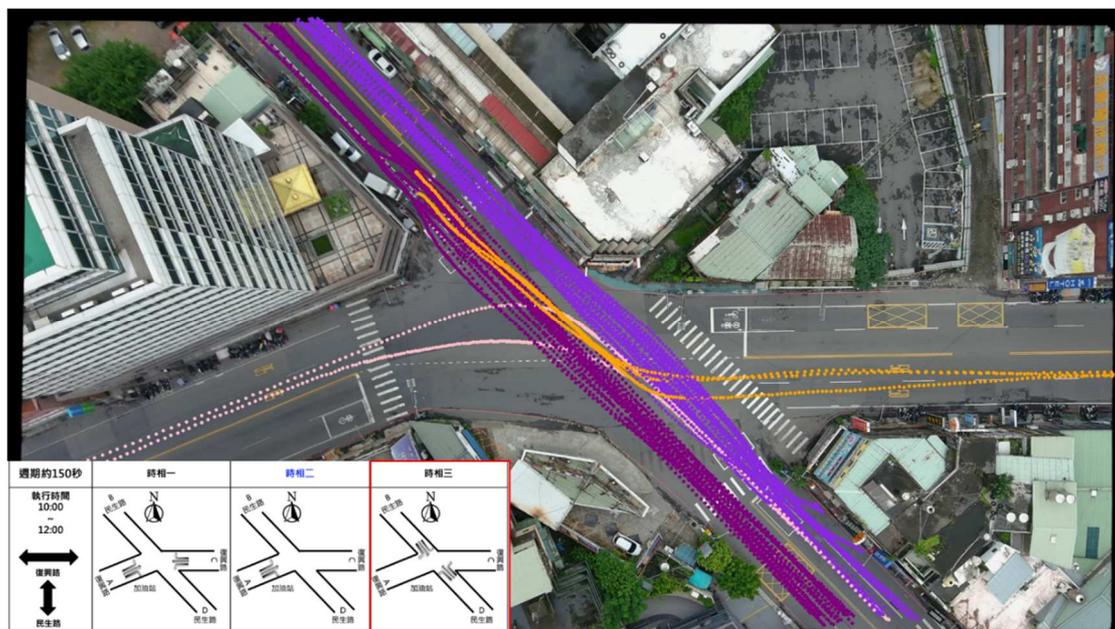


圖 7.2-15 桃園市桃園區民生路復興路口之對向穿越左轉衝突(時相三)

三、B 方向右轉動線問題

B 方向之右轉大客車由於路口幾何線型導致其轉彎所需之角度較大(圖 7.2-16 之黃色軌跡線)，大客車右轉產生內輪差，可能會撞到由大客車的右側通過之機車，且透過熱區圖可觀察到右轉大客車的後輪差會壓縮到行人停等空間，如圖 7.2-17 所示。除此之外，右轉車輛也會與 D 方向的左轉車輛產生右轉匯入衝突，影響路口效率與安全，如圖 7.2-16 所示。建議可透過劃設槽化線改善大型車右轉線型。然而，D 方向左轉車匯入至 A 方向可能會與 B 方向右轉車流產生衝突，建議增加 D 方向至 A 方向之路口行車導引線，並確認兩股車流匯入至 A 方向有足夠的空間及明確的動線。

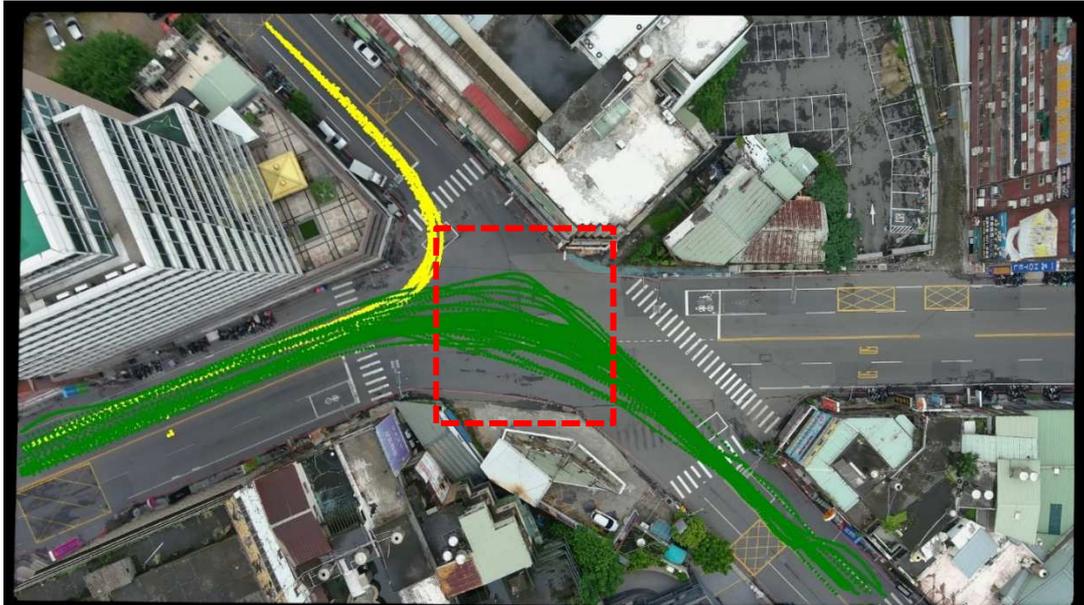


圖 7.2-16 桃園市桃園區民生路復興路口之右轉大客車與左轉汽車軌跡

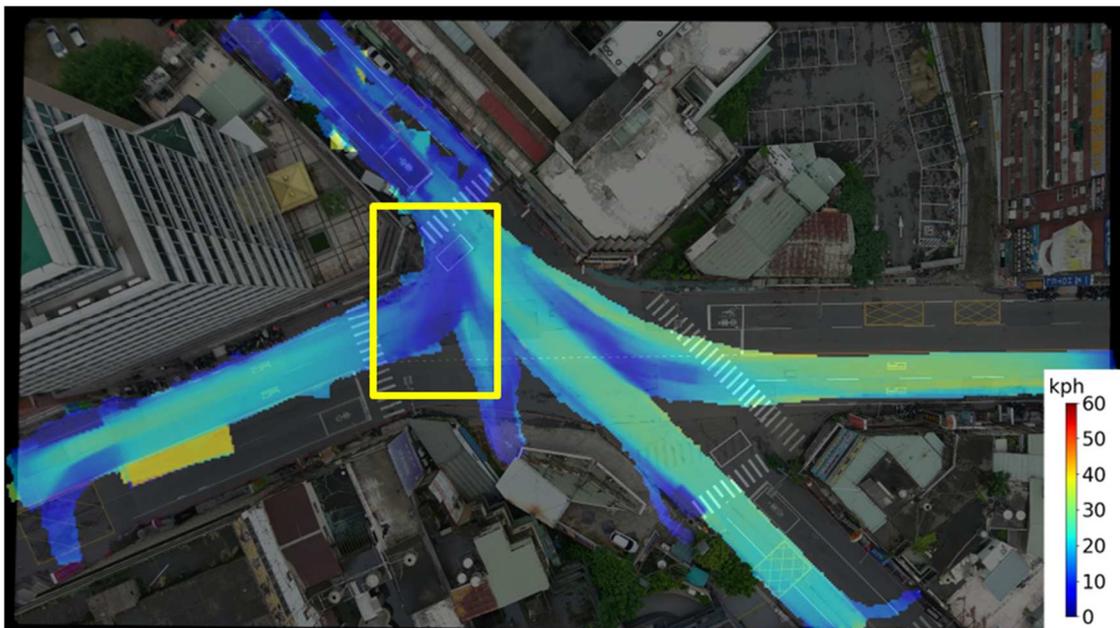


圖 7.2-17 桃園市桃園區民生路復興路口之 B 方向速度熱區圖

四、左轉車流動線衝突(B、D 方向)

此路口為斜交路口，A、C 方向左轉車流動線合理無發生衝突。但 B、D 方向左轉車流動線於路口內之分布較為分，如圖 7.2-18，因缺乏路口行車導引線指引兩方向之左轉動線，造成衝突。建議增加左轉

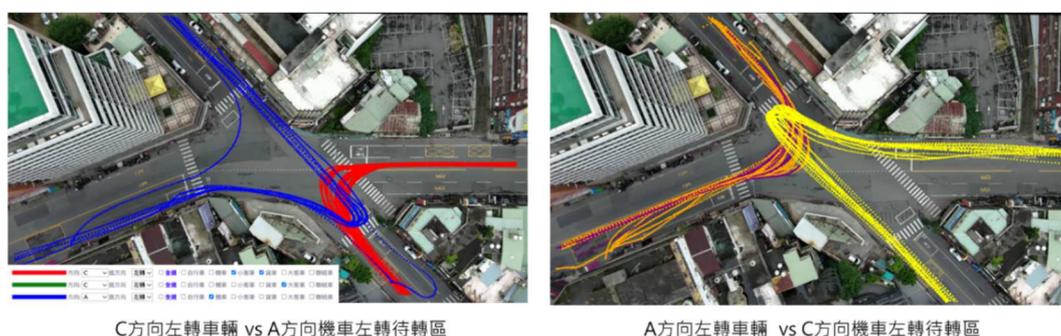
的路口行車導引線，並於 B、D 方向設置偏心左轉，減少雙向左轉交織情形。



圖 7.2-18 桃園市桃園區民生路復興路口之左轉軌跡圖

五、機慢車左轉待轉區線動線不佳

此路口為斜交路口，A、C 方向之機車左轉角度大呈銳角，進入兩段左轉區域的動線需要轉極大角度，容易與對向左轉車產生交織，如圖 7.2-19，導致 C 方向左轉車與 A 方向機慢車左轉待轉區線很靠近以及 A 方向左轉車與 C 方向機慢車左轉待轉區線很靠近，建議檢討或調整機慢車左轉待轉區線的位置。



C方向左轉車輛 vs A方向機車左轉待轉區

A方向左轉車輛 vs C方向機車左轉待轉區



圖 7.2-19 桃園市桃園區民生路復興路口之機慢車左轉待轉區線問題

六、路口加油站進出動線無導引

此路口內有一個中油加油站，四個方向皆有車輛進出加油站，但由於該加油站並非路口之進出口，進出加油站之車輛無法被歸類在路口車流軌跡的種類之中，導致無法運用軌跡線圖來顯示，因此本計畫改為採用速度熱區圖來說明加油站進出之路口議題。如圖 7.2-20 所示，黃框表示該路口方向中進入加油站之車輛，而圖 7.2-21 中黃框表示該路口方向中離去加油站之車輛，顯示以路口當前狀況，加油站可由四個方向進入，從 C、D 方向離去。但加油站的進出無導引，造成動線混亂，容易與其他車流發生衝突，建議新增導行標誌及劃設標線導引加油站車輛由 A 方向進入、D 方向離去。

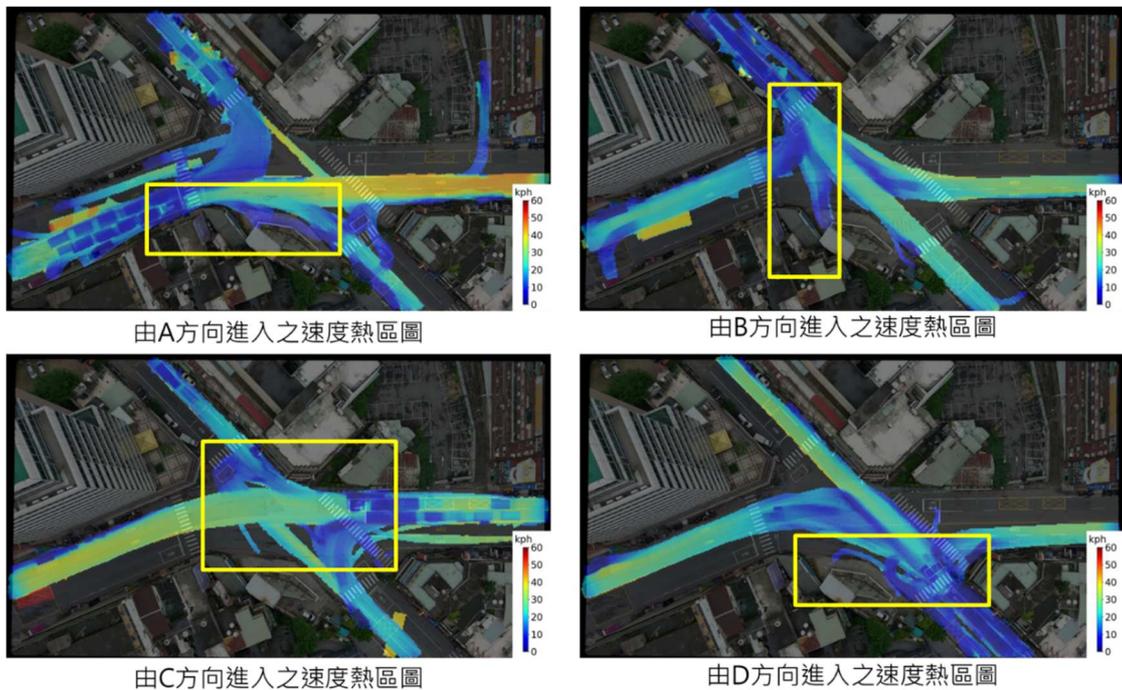


圖 7.2-20 桃園市桃園區民生路復興路口之加油站進入動線問題

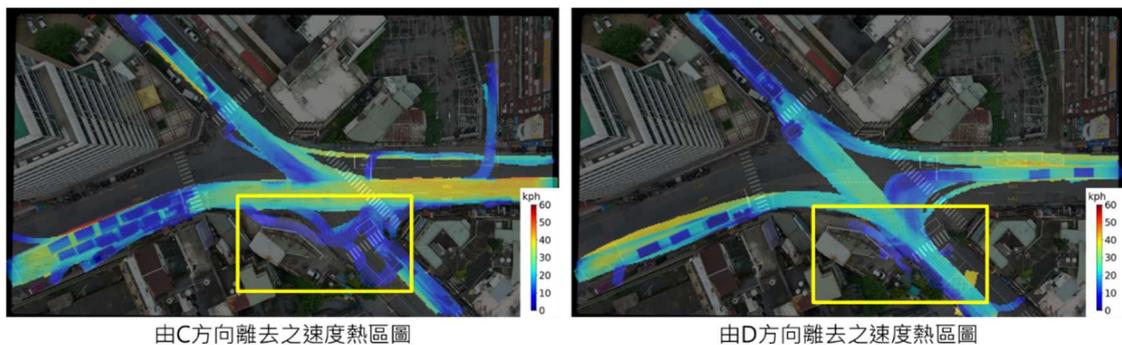


圖 7.2-21 桃園市桃園區民生路復興路口之加油站離去動線問題

7.2.4 問題整理及改善建議

根據上述探討的議題提出可能改善方案如下，並參考公路局提供之「桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善規劃」簡報進行比較，如下表 7.2-2 所示。其中，公路局提出之改善策略是來自碰撞構圖或事故統計資料，而本計畫提出之改善策略是來自交通衝突、其他觀察產生。

表 7.2-2 問題整理與改善建議表(桃園市桃園區民生路復興路口)

相關議題	產生問題及原因	本計畫建議之改善方案	公路局提供之『桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善規劃』簡報之改善方案
對向/穿越/左轉衝突之問題	<ol style="list-style-type: none"> 1. C方向左轉車輛無法利用清道時間紓解路口內車輛，造成時相二(A方向遲閉)A方向直行車與C方向左轉車相互停讓。 2. B、D方向為兩邊圓形綠燈，會產生機會左轉問題，且雙向之直行車與左轉車流量皆有一定數量，加上路口幾何特殊且無路口行車導引線指引，導致左轉車輛的轉彎半徑較大且軌跡較為分散，與直行車交織情形較多，造成較多的機會左轉衝突問題。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議可減少時相二秒數，並增加清道時間。 2. 設置左轉的路口行車導引線與偏心左彎專用車道 	<p>改善方案 D：增加路口路口行車導引線 3 條</p> <p>改善方案 F2：交通局在民生路設置偏心左轉</p>

相關議題	產生問題及原因	本計畫建議之改善方案	公路局提供之『桃園市桃園區民生路復興路易肇事路口改善規劃』簡報之改善方案
B 方向右轉動線問題	B 方向之右轉大客車由於路口幾何線型導致其轉彎所需之角度較大，且透過熱區圖可觀察到右轉大客車的後輪差會壓縮到行人停等空間。除此之外，右轉車輛也會與 D 方向的左轉車輛產生右轉匯入衝突，影響路口效率與安全。	劃設槽化線，改善大型車右轉線型。	改善方案 A：劃設槽化線 改善大型車右轉線型
左轉車流動線衝突 (B、D 方向)	B、D 方向左轉車流動線於路口內之分布較為分散，因缺乏路口行車導引線指引兩方向之左轉動線，造成衝突	設置左轉路口行車導引線與偏心左彎專用車道	改善方案 D：增加路口路口行車導引線 3 條 改善方案 F2：交通局在民生路設置偏心左轉
機慢車左轉待轉區線動線不佳	A、C 方向之機車左轉角度大呈銳角，進入兩段左轉區域的動線需要轉極大角度，容易與對向左轉車產生交織，導致 C 方向左轉車與 A 方向機慢車左轉待轉區線很靠近以及 A 方向左轉車與 C 方向機慢車左轉待轉區線很靠近。	檢討機慢車左轉待轉區之劃設位置。	無
路口加油站進出動線無導引	加油站的進出無導引，造成動線混亂，容易與其他車流發生衝突	建議新增遵行標誌及劃設標誌導引加油站車輛由 A 方向進入、D 方向離去	設置人行道以調整加油站進出口位置，避免車輛任意進出路口。

本計畫拜訪公路局討論本計畫提出的改善方案，如圖 7.2-22，後續針對路口的建議改善方案有提出一些提醒事項，請公路局或相關單位在確認最終方案時加以注意及持續追蹤：

- 一、B 方向轉 A 方向(民生路左轉復興路)有大客車流量，迴轉半徑可能不足，建議檢視其動線會否會跨越到對向新增之偏向左轉車道。
- 二、A 往 C 方向有遲閉時相，由空拍影片中可看出 C 方向左轉車輛會阻擋 A 直行車，導致遲閉時相的運作效率不高。建議可將減少遲閉時相秒數，增加清道時間(全紅秒數)。
- 三、A 方向左轉車輛與 C 方向進入機慢車左轉待轉區線的機車產生之衝突，主要因為斜交路口機車進入機慢車左轉待轉區線之動線不佳，建議再檢討機慢車左轉待轉區線之位置。
- 四、兩段左轉機車量較大，導致溢出機慢車左轉待轉區線範圍，且 C 方向左轉車流容易與進入機慢車左轉待轉區線機車衝突，建議再檢討機慢車左轉待轉區線之位置及大小。
- 五、B 方向左轉車與 D 方向左轉車之動線重疊，宜再檢視 D 往 A 之車流動線，或增加轉彎的路口行車導引線之可能。

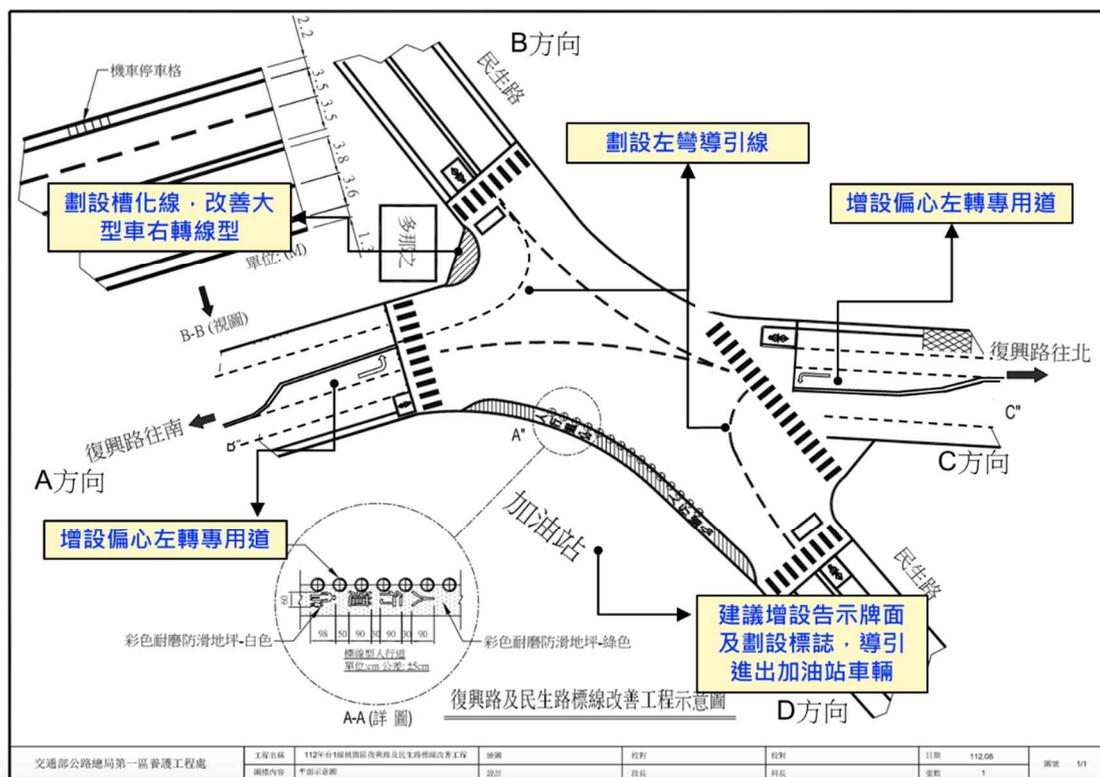


圖 7.2-22 桃園市桃園區民生路復興路口之改善方案

7.3 案例二：雲林縣斗六市中山路龍潭路口

7.3.1 基本資料

此路口位於雲林縣斗六市，南北向為中山路(台3線)，東向是中山路585巷、西向為龍潭路。其中，龍潭路是穿越雲科大校園的一個主要通道，入口兩側設有機車停車棚。路口的空拍圖如圖 7.3-1 所示，機車停車棚為紅框處，本計畫整理之路口幾何特性表如表 7.3-1：

- 一、 南北向中山路(A、C方向)為雙向各2車道，C方向因有機車兩段式左轉告示牌機車需二段式左轉，而A方向無兩段式左轉告示牌但有待轉格，依法並無強制機車左轉時需二段式左轉。
- 二、 中山路585巷及龍潭路(B、D方向)為雙向通行，未劃設分向線，機車可直接左轉。

本計畫選定16:00至18:30拍攝，拍攝當下的號誌時制表如圖 7.3-2 所示，為二時相號誌路口，採用三燈號號誌。

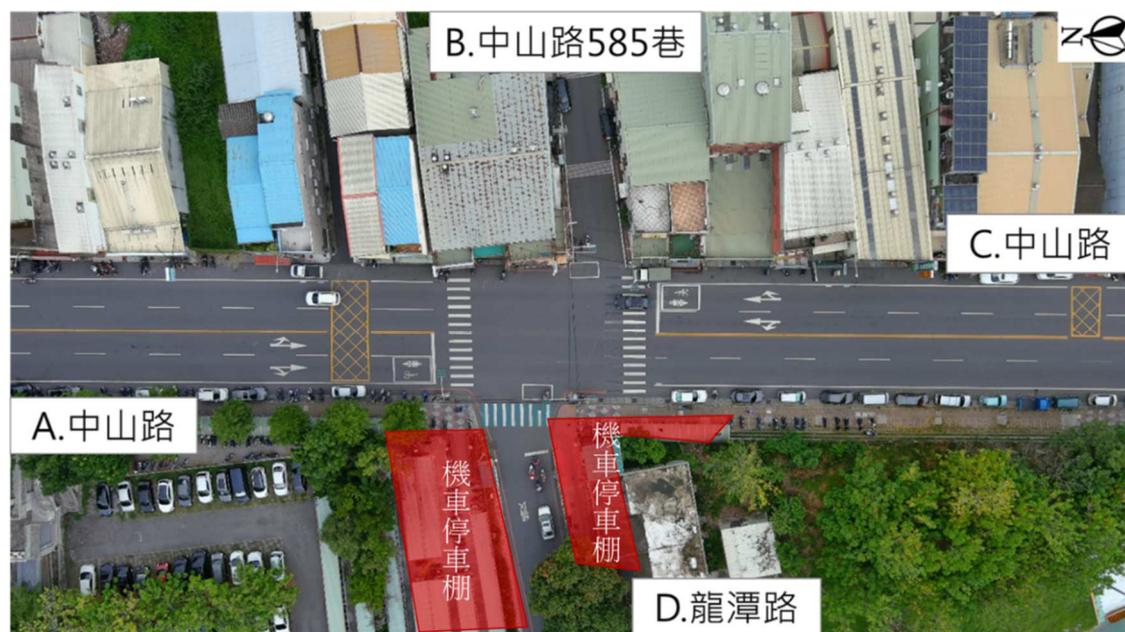


圖 7.3-1 雲林縣中山路龍潭路口之空拍圖

表 7.3-1 雲林縣中山路龍潭路口之幾何特性表

路口名稱	中山路/龍潭路/中山路585巷	路段全名							
		中山路(A方向)		中山路585巷(B方向)		中山路585巷(C方向)		龍潭路(D方向)	
車道配置	車道數量/車道配置	2	混+混	1	混	2	混+混	1	混
車道種類	轉向配置	無畫設		無畫設		無畫設		無畫設	
	左彎專用道								
	右彎專用道								
	機車專用道								
	機慢車優先道								
	慢車道 路肩	√				√			
人行道						√		√	
機慢車左轉待轉區線				√				√	
行車管制號誌		√		√		√		√	
行人穿越道號誌						√			
公車站									
其他									

備註：節錄自「事故碰撞型態導向之路口設計範例」教育訓練座談會(運研所提供)

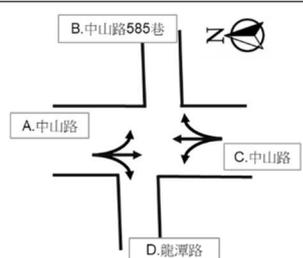
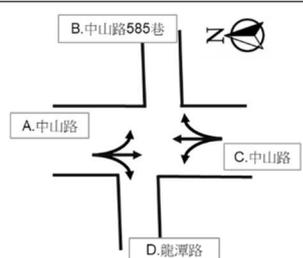
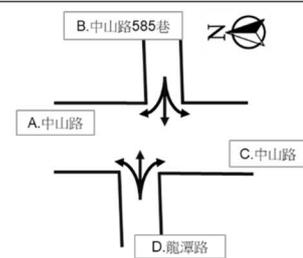
週期120秒	時相一	時相二
執行時間 16:00 ~ 18:00 		
綠燈	84	25
黃燈	4	3
全紅	2	2
說明	中山路南北向綠燈	中山路585巷&龍潭路東西向綠燈

圖 7.3-2 雲林縣中山路龍潭路口之號誌時制表

7.3.2 分析項目

透過交通衝突分析軟體，可以產生各種圖表，包含衝突熱點密集區域、車流軌跡合理性、超速情形、標線及空間合理性綜合檢查、機會左轉分析、路口穿越衝突分析。各項圖表如圖 7.3-3 至圖 7.3-10 所

示。其中，最大速度及相對速度之下限設定為 5 km/h、不顯示低風險衝突點。

一、衝突點密集的区域

以視覺化方式檢視衝突點在路口區域的空間分布。由分析軟體中點選衝突點並檢視其原因後，有以下觀察及發現：

- (一) D 方向紅燈時，機車鑽行或停等距離較近，系統判斷為同向直行衝突。
- (二) 雲科大機車停車場出入口設置在 D 方向左右兩側之人行道，故在人行道上會有因進出停車場而產生的同向/對向衝突。



圖 7.3-3 雲林縣中山路龍潭路口之衝突熱點圖

二、車流軌跡的合理性

以視覺化方式檢視汽機車在路口中的車流軌跡是否合理。由於路口屬非正交，B-D 方向綠燈時，兩方向之車流動線混亂，易產生衝突。

	四輪或以上	機車
A 入口		
B 入口		
C 入口		
D 入口		

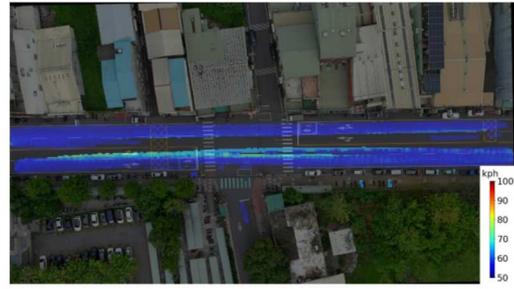
圖 7.3-4 雲林縣中山路龍潭路口之車流軌跡

三、超速情形

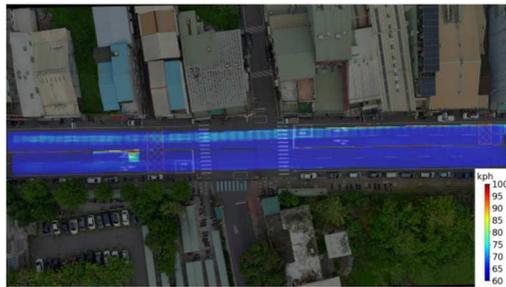
檢查路口中的車流是否有超速的情況，並以視覺化方式檢視超速車流於路口中的位置分布及行進方向。圖中可發現車輛在 A→C、C→A 方向有超速情形。



四輪或以上 (>50kph)



機車(>50kph)



四輪或以上 (>60kph)

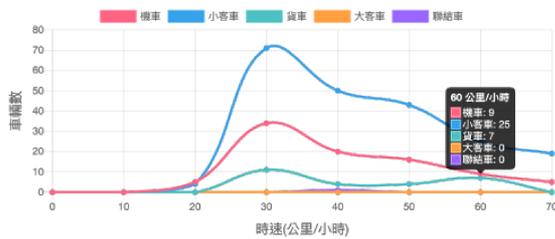


機車(>60kph)

圖 7.3-5 雲林縣中山路龍潭路口之超速分布圖

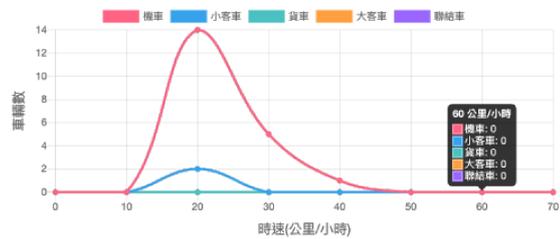
A往C方向

路口的車速與數量分布



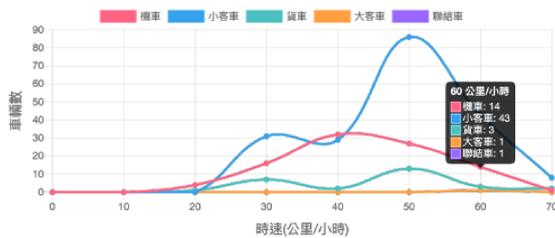
B往D方向

路口的車速與數量分布



C往A方向

路口的車速與數量分布



D往B方向

路口的車速與數量分布

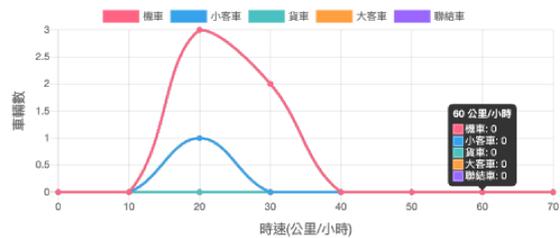


圖 7.3-6 雲林縣中山路龍潭路口之車速與數量分布圖

四、 機慢車左轉待轉區線溢出情形

機慢車左轉待轉區線容易因轉彎的機車數量多，超出機慢車左轉待轉區線所能容納的數量而溢出機慢車左轉待轉區線，影響其他車輛的行駛動線及行人穿越道。有以下發現：

- (一) A-C 方向(中山路)內側車道無禁行機車，A 方向無兩段左轉標誌、C 方向有兩段左轉標誌；可發現有機車有待轉、亦有直接左轉。
- (二) A-C 方向機車左轉數量少，無機慢車左轉待轉區線溢出之問題。
- (三) B-D 方向機車無需兩段式左轉。



圖 7.3-7 雲林縣中山路龍潭路口之 A、C 方向機車左轉軌跡圖

五、 標線及空間使用的綜合性檢查

標線劃設及空間分配會影響路口整體車流動線順暢度，逐一檢視路口中的標線、車道配置、號誌時相等是否有不合理的情況。此路口為四岔路口，B、D 方向並未對齊，路口幾何特殊，既非正交路口、也不能歸類為斜交或多岔路口。由號誌時制之觀點，B、D 方向可視為對向直行，兩方向同時綠燈時，行車動線混亂。此部分之討論較多，將於第 7.3.3 節以議題方式探討。

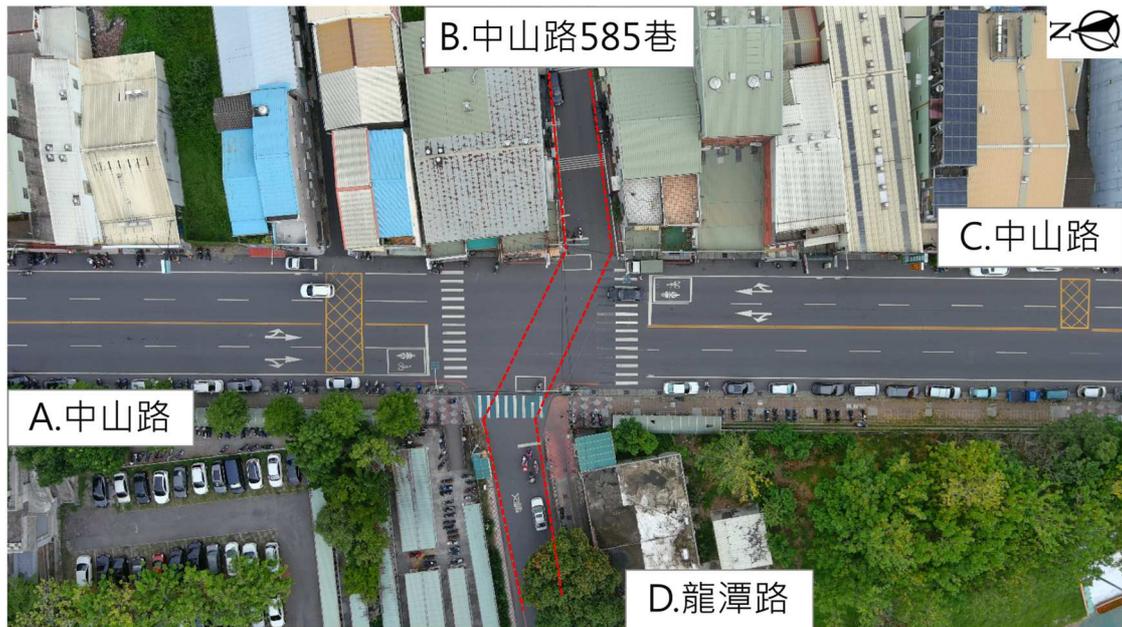


圖 7.3-8 雲林縣中山路龍潭路口之路口標線及空間使用議題

六、機會左轉

車輛於無左轉保護時相左轉時，會受到對向直行車的車流狀況影響，產生機會左轉之情形。以下說明分析過程及發現：

- (一) 本路口四個方向皆為機會左轉情境。
- (二) D 方向的左轉車輛皆有先行左轉及切西瓜行為。
- (三) D 方向龍潭路左右兩側機車棚有車輛進出，目前分析軟體設定將進出機車棚車輛納入 D 方向，無法獨立分別輸出各車流量。這些車流不應納入機會左轉分析，為避免造成誤會，已人工觀察龍潭路進出的車輛數(分母)並手動修改上表*數字。



A、C左轉方向軌跡

B、D左轉方向軌跡

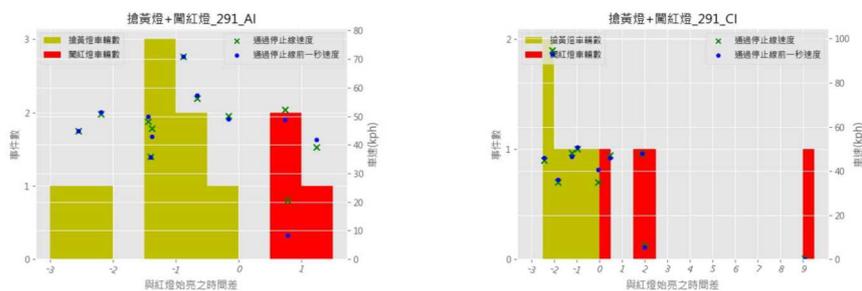
入口方向	左轉車輛								對向直行車輛						兩車相互行為
	車輛數	先行左轉	燈號轉換期間左轉	左轉車未到達中央路口處左轉	清道時間結束後仍無法通過路口	外側車道左轉	左轉機車數	機車於兩段式左轉路口直接左轉	車輛數	搶黃燈	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速法規速限	超速速限寬容值	
A	0	0	0	0	0	0	5	0	262	1	1	2	149	49	0
B	0	0	0	0	0	0	2	0	9	0	0	2	0	0	0
C	12	0	0	0	1	0	8	4	276	5	1	0	127	28	0
D	80*	21	1	58	0	0	73	0	6	0	0	1	0	0	0

圖 7.3-9 雲林縣中山路龍潭路口之機會左轉衝突分析結果

七、路口穿越衝突

因車輛搶黃燈、闖紅燈、或綠燈未亮前起步、或因清道時間秒數不足，導致與橫向來車發生之穿越衝突，對應之碰撞型態為交岔撞。有以下發現：

- (一) A、C 方向有部分搶黃燈及闖紅燈之行為，亦有清道結束未通過路口車輛。
- (二) B、D 方向無發生搶黃燈及闖紅燈的情形。



入口方向	直行車輛							左側來向車輛							右側來向車輛							兩車相互行為	
	車輛數	搶黃燈	清道時間結束後仍無法通過路口	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	車輛數	搶先直行	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速速限	超速速限+10	穿越衝突(左側來向)	穿越衝突(右側來向)		
A	324	8	3	3	1	117	37	13	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0		
B	13	0	0	0	2	0	0	316	0	4	1	130	31	324	1	3	1	117	37	0	0		
C	316	6	4	3	1	130	31	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0		
D	4	0	0	0	0	0	0	324	1	3	1	117	37	316	0	4	1	130	31	0	1		

圖 7.3-10 雲林縣中山路龍潭路口之路口穿越衝突分析圖表

7.3.3 問題探討

以下將觀察到的風險問題以視覺化或畫面截圖方式加以說明。

一、 龍潭路兩側機車棚出入口動線

D 方向(龍潭路)進出口是雲科大校園的一個主要通道，入口兩側設有機車停車棚及人行道旁的機車停車格，機車需要在行人道上行駛才能進出停車棚或路口，如圖 7.3-11、圖 7.3-12 所示，進出動線缺乏明確規範。

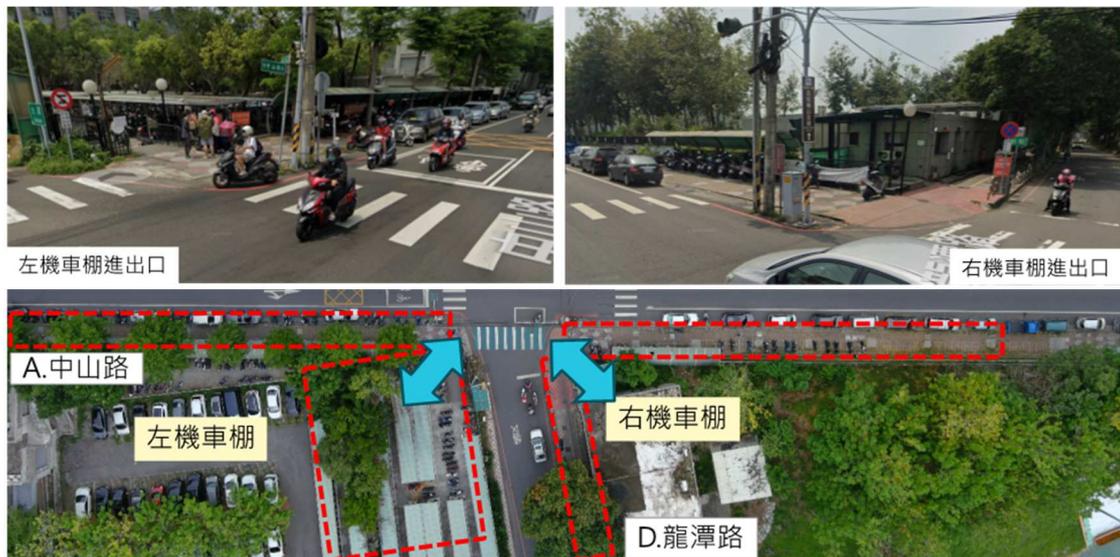


圖 7.3-11 雲林縣中山路龍潭路口之兩側機車棚出入口

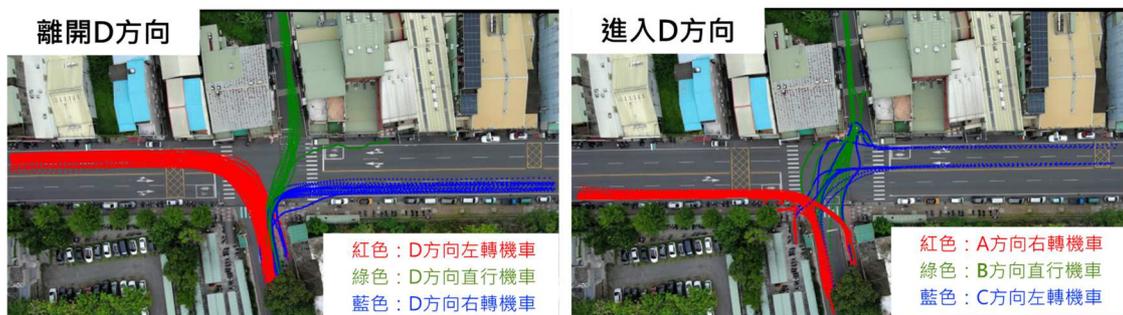


圖 7.3-12 雲林縣中山路龍潭路口之進出 D 方向軌跡圖

此二機車棚造成 A 方向進入 D 方向之機車，會分成三個動線行進，再加上前往機慢車左轉待轉區線之機車，導致 D 方向入口動線混雜。

現場觀察發現 D 方向路口位置為右側機車棚的唯一出入口，建議將該機車棚之進出口改移至遠離路口位置。右側機車棚原本是從龍潭路深入至校園，末端有設置花圃將出口封閉，推測是過去校園內發生交通事故之措施；但目前方式將交通風險移至路口處，建議可再檢討。

二、道路未對齊

由於路口非正交，B(中山路585巷)與D(龍潭路)直行方向未對齊。兩方向同時綠燈，B方向直行車輛會出現在D方向左轉車輛之右側，D方向左轉會無法兼顧觀察B方向來車，行車動線混亂，易產生對向衝突，如圖 7.3-13 所示。

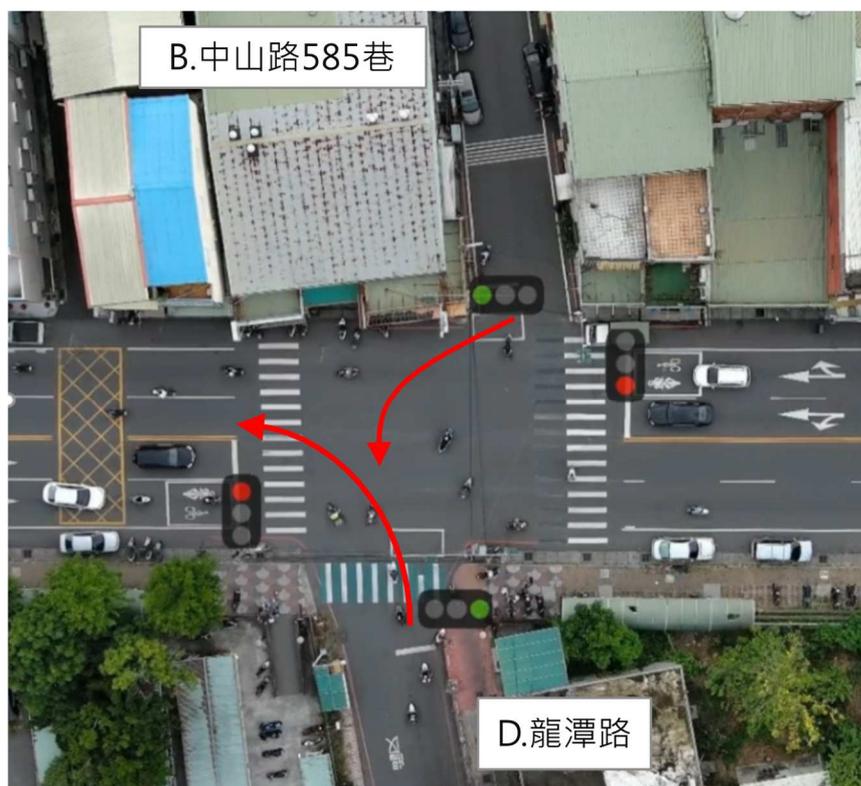


圖 7.3-13 雲林縣中山路龍潭路口之 B-D 方向行車動線示意圖

由圖 7.3-14 則可以看出，B-D 方向在觀察時段(下午尖峰)，B 方向之流率低，且 D 方向交通量為 B 方向之 6 倍。建議可透過調整號

誌時制(例如 B 方向早開)，降低 B 方向與 D 方向同時綠燈之車流衝突。



圖 7.3-14 雲林縣中山路龍潭路口之 B-D 方向軌跡與流量圖表

7.3.4 問題整理及改善建議

此路口位於雲林縣斗六市，緊鄰雲林科技大學。透過上述的問題探討，可以歸納主要議題源自於：(一)兩側機車棚出入口設置位置及動線，導致 D 方向入口動線混雜；(二)B(中山路 585 巷)與 D(龍潭路)直行方向道路未對齊，導致 B-D 方向號誌時相同綠時，D 方向左轉會無法兼顧觀察 B 方向來車。根據上述探討的議題提出可能改善方案如表 7.3-2。其中，本計畫提出之改善策略是來自交通衝突、其他觀察產生。

表 7.3-2 問題整理與改善建議表(雲林縣斗六市中山路龍潭路口)

相關議題	產生問題及原因	本計畫建議之改善方案
龍潭路兩側機車棚出入口動線	D 方向(龍潭路)進出口是雲科大校園的一個主要通道，入口兩側設有機車停車棚及人行道旁的機車停車格，機車需要在行人道上行駛才能進出停車棚或路口，如圖 7.3-11、圖 7.3-12 所示，進出動線缺乏明確規範。此二機車棚造成 A 方向進入 D 方向之機車，會分成三個動線行進，再加上前往機車慢車左轉待轉區線之機車，導致 D 方向入口動線混雜。	現場觀察發現 D 方向路口位置為右側機車棚的唯一出入口，建議將該機車棚之進出口改移至遠離路口位置。右側機車棚原本是從龍潭路深入至校園，末端有設置花園將出口封閉，推測是過去校園內發生交通事故之措施；但目前方式將交通風險移至路口處，建議可再檢討。
道路未對齊	由於路口非正交，B(中山路 585 巷)與 D(龍潭路)直行方向未對齊。兩方向同時綠燈，B 方向直行車輛會出現在 D 方向左轉車輛之右側，D 方向左轉會無法兼顧觀察 B 方向來車，行車動線混亂，易產生對向衝突	透過調整號誌時制(例如 B 方向早開)，或者將中山路 585 巷改為單行道(只出不進)，降低 B 方向與 D 方向同時綠燈之車流混亂。

7.4 案例三：桃園市桃園區三民路二段民生路口

7.4.1 基本資料

此路口位於桃園市桃園區，南北向為民生路，東西向為三民路二段(台 1 線、台 4 線)，路口空拍圖如圖 7.4-1 所示。民生路南北向的入口為 2 車道加路肩，出口為 1 車道加路肩；三民路二段東西向的入口皆為 3 車道，本計畫整理之路口幾何特性表如表 7.4-1 所示。本計畫選定 7:00 至 9:00 進行拍攝作業，拍攝期間之平均小時轉向交

通量及號誌時制表分別如

圖 7.4-2 及圖 7.4-3 所示，此路口為五時相號誌化路口，並於民生路採用三燈式號誌，而三民路二段採用四燈式號誌。

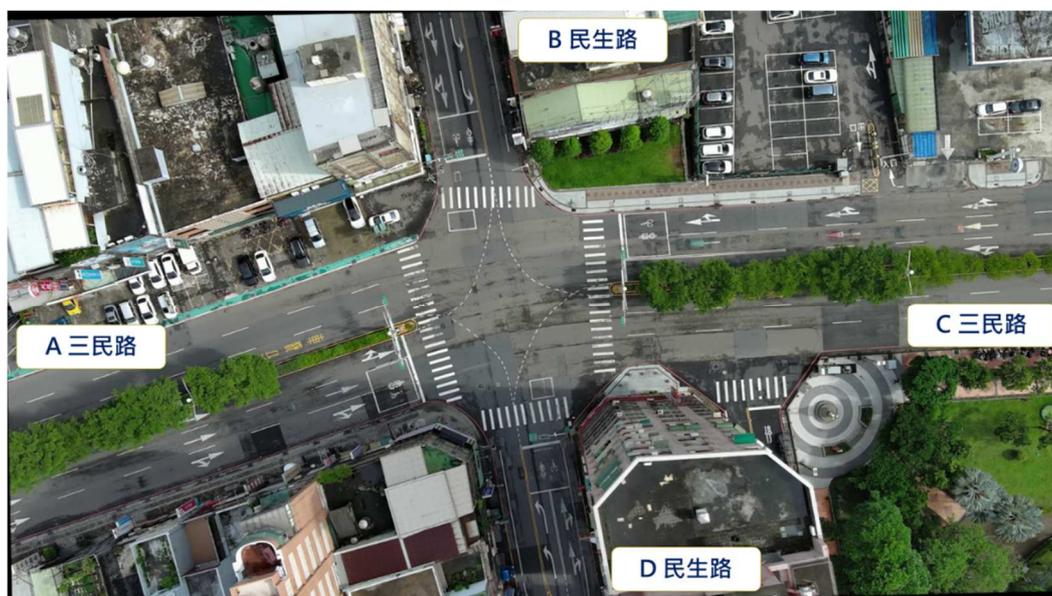


圖 7.4-1 桃園市桃園區三民路二段民生路口之空拍圖(上方為北)

表 7.4-1 桃園市桃園區三民路二段民生路口之幾何特性表

路口名稱	三民路二段/ 民生路	路段全名							
		三民路二段 (A 方向)		民生路 (B 方向)		三民路二段 (C 方向)		民生路 (D 方向)	
車道配置	車道數量/ 車道配置	3	汽+混+ 混	2	混+混	3	汽+混+ 混	2	混+ 混
車道種類	轉向配置	直左+直+ 直右		左彎專用 道+直右		直左+直+直 右		左彎專用 道+直右	
	左彎專用 道	√		√		√		√	
	右彎專用 道								
	機車專用 道								
	機慢車優 先道								
	慢車道 路肩			√				√	
人行道		√				√			
機慢車左轉待轉區線				√				√	
行車管制號誌		√		√		√		√	
行人穿越道號誌		√		√		√		√	
公車站									
其他									

單位：veh/hr

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計
A	B	左轉	0.00	180.05	82.88	7.62	0.00	0.00	270.55
	C	直進	0.00	1421.33	671.61	71.45	3.81	0.00	2168.19
	D	右轉	2.86	38.11	47.63	4.76	1.91	0.00	95.26
	小計			2.86	1639.48	802.12	83.83	5.72	0.00
B	C	左轉	0.95	120.98	47.63	12.38	0.00	0.00	181.95
	D	直進	0.00	679.23	198.15	8.57	1.91	0.00	887.85
	A	右轉	3.81	147.66	109.55	6.67	0.00	0.00	267.69
	小計			4.76	947.87	355.33	27.63	1.91	0.00
C	D	左轉	0.95	16.19	21.91	1.91	2.86	0.00	43.82
	A	直進	0.00	1288.91	661.13	85.74	7.62	3.81	2047.21
	B	右轉	3.81	115.27	35.25	9.53	0.00	0.00	163.85
	小計			4.76	1420.38	718.29	97.17	10.48	3.81
D	A	左轉	0.00	69.54	64.78	7.62	4.76	0.00	146.71
	B	直進	0.00	687.80	169.57	9.53	4.76	0.00	871.66
	C	右轉	0.00	23.82	29.53	5.72	1.91	0.00	60.97
	小計			0.00	781.16	263.88	22.86	11.43	0.00
總計			12.38	4788.89	2139.61	231.49	29.53	3.81	7205.72

圖 7.4-2 桃園市桃園區三民路二段民生路口之平均小時轉向交通量

週期約190秒	時相一	時相二	時相三	時相四	時相五
執行時間 7:00 ~ 9:00 					
綠燈	69	14	0	70	15
黃燈	3	3	0	3	0
全紅	3(A方向圓形綠燈)	3	5	2	0
說明	三民路二段東西向圓形綠燈	三民路二段東向(遲閉、圓形+左轉箭頭綠燈)	行人南北向早開	民生路南北向圓形綠燈	三民路二段西向(早開、圓形+左轉箭頭綠燈)

圖 7.4-3 桃園市桃園區三民路二段民生路口之號誌時制表

本計畫與公路局聯繫，已取得該路口近期之改善規劃報告，該報告內容已於本計畫拍攝前實施部分之調整，以下針對該改善規劃報告扼要進行說明，並於 7.4.4 小節說明本計畫之分析結果與該報告之異同。此外本計畫也拜訪公路局將本計畫之結果與其討論改善方案，討論之結果也補充於 7.4.4 節。

參考公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃」簡報及工程設計圖，其提出 2 項改善方案，如圖 7.4-5、圖 7.4-4 及圖 7.4-6 所示。

18.三民路二段、民生路 承辦人：志聰

碰撞構圖分析

前四名碰撞類型區域分佈

名次	碰撞類型	件數
1	左轉穿越側撞	11
2	右轉側撞	11
3	同向直行擦撞	3
4	直行追撞	3

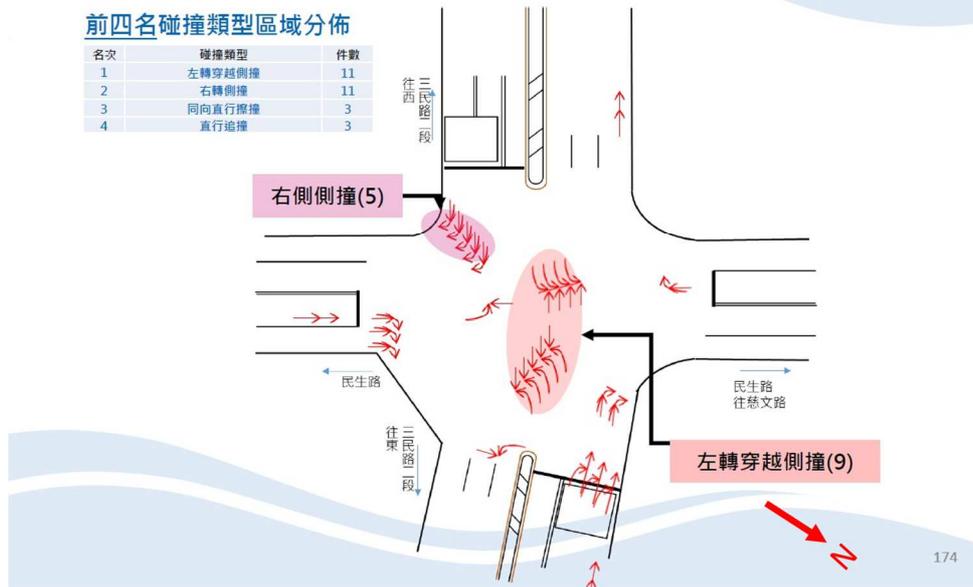


圖 7.4-4 公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃」簡報之碰撞構圖分析

18.三民路二段、民生路 承辦人：志聰

改善方案

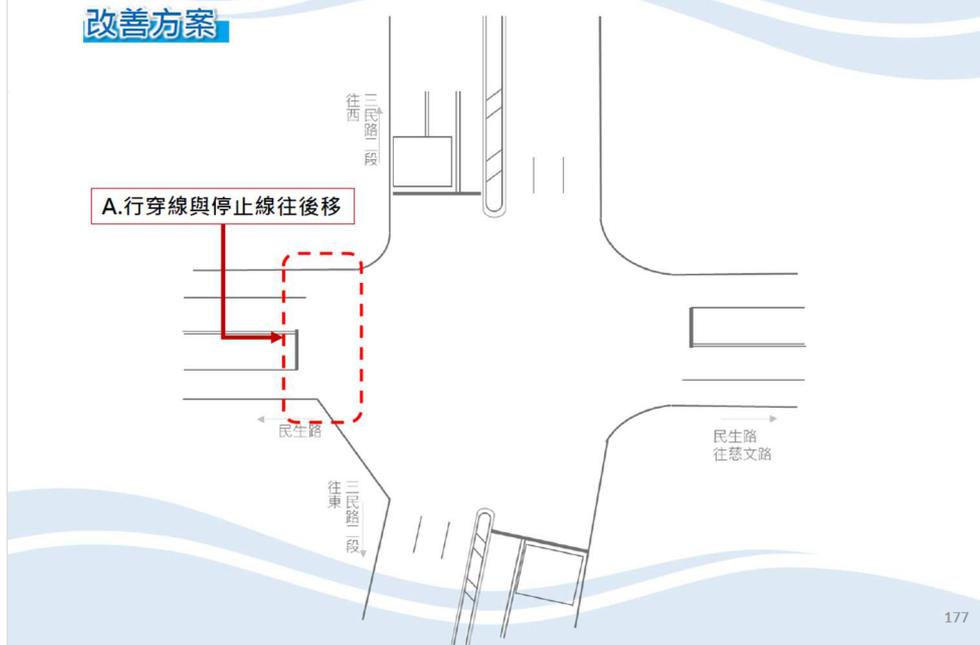


圖 7.4-5 公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃」簡報之改善方案

18.三民路二段、民生路

承辦人：志聰

第一區養護工程處 | 中壢工務段

改善方案(現場照與說明)



協助委員：中央警察大學交通學系 曾平毅教授
改善方案說明(需協同外部單位建議改善)

A.為保護行人安全，建議民生路東側行穿線與停止線退至號誌燈後方。

B.因安心轉牌面已設置一段時間，因圓頭綠與右轉綠共行是否會造成駕駛人難以判斷，建議與交通局討論需整體性是否需修改。



176

圖 7.4-6 公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃」簡報之改善方案

7.4.2 分析項目

透過交通衝突分析軟體，依據分析項目產生各種圖表，包含衝突熱點密集區域、車流軌跡合理性、超速情形、標線及空間合理性綜合檢查、機會左轉分析、路口穿越衝突分析、右轉衝突分析。各項圖表如圖 7.4-7 至圖 7.4-13 所示。其中，最大速度及相對速度之下限設定為 5km/h、不顯示低風險衝突點。

一、 衝突點密集區域

以視覺化方式檢視衝突點在路口區域的空間分布。由分析軟體中點選衝突點並檢視其原因後，有以下觀察及發現：

- (一) A 方向由於臨近路口處右轉車未靠右或直行車未遠離外側，造成直行車與右轉車之右轉跟車衝突。
- (二) D 方向左轉車輛與 B 方向直行車流交織產生較多之高風險之

衝突熱點。

- (三) 路口紅燈時，C、D 方向機車為了至最前方機車停等區，穿梭於車陣當中，而產生之衝突。
- (四) B 方向左轉車與後方車流發生衝突，造成對向左轉衝突、同向兩車左轉衝突。
- (五) A 方向兩段左轉機車於 D 方向機慢車左轉待轉區線有溢出情形，導致機車為擠進機慢車左轉待轉區線而發生衝突，而部分衝突點發生在枕木紋行人穿越道線上。



圖 7.4-7 桃園市桃園區三民路二段民生路口之衝突點密集區域

二、 車流軌跡合理性

以視覺化方式檢視不同車種在路口中的車流軌跡是否具有合理性。由分析軟體中選取軌跡線輸出並檢視其原因後，有以下觀察及發現(與衝突熱點圖重覆之處不再敘述)：

- (一) A 方向機車應進行兩段式左轉，但有車輛於路口直接違規左轉。
- (二) B、D 方向左轉機車於路口內轉彎有未依循路口行車導引線左轉的具風險之駕駛行為。

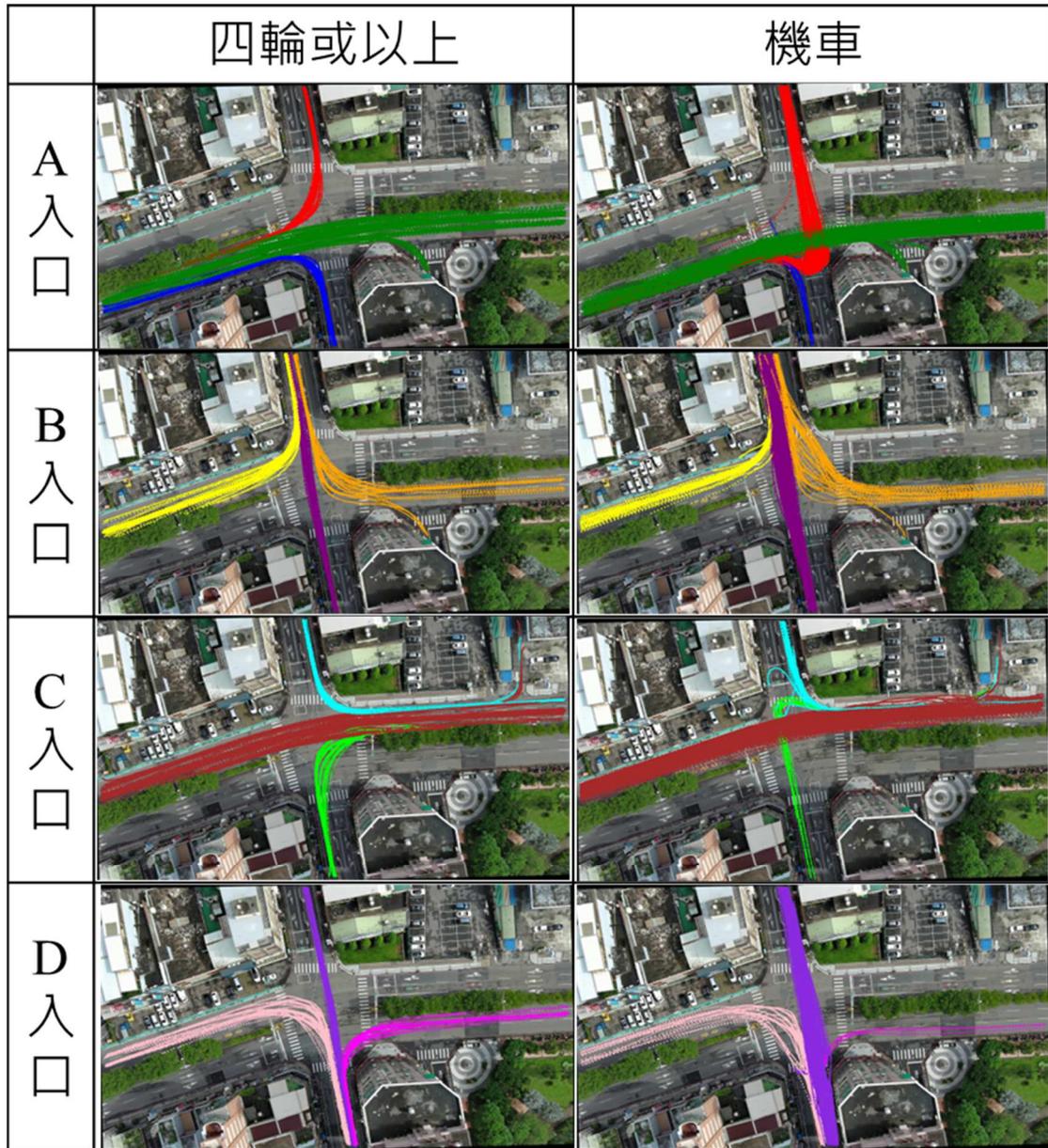


圖 7.4-8 桃園市桃園區三民路二段民生路口之車流軌跡圖

三、 超速行為

檢查路口中的車流是否有超速的情況，並以視覺化方式檢視超速車流於路口中的位置分佈及行進方向。發現小型車在 A-C 方向有超速情形，機車在 A、C 方向有較多超速情形。

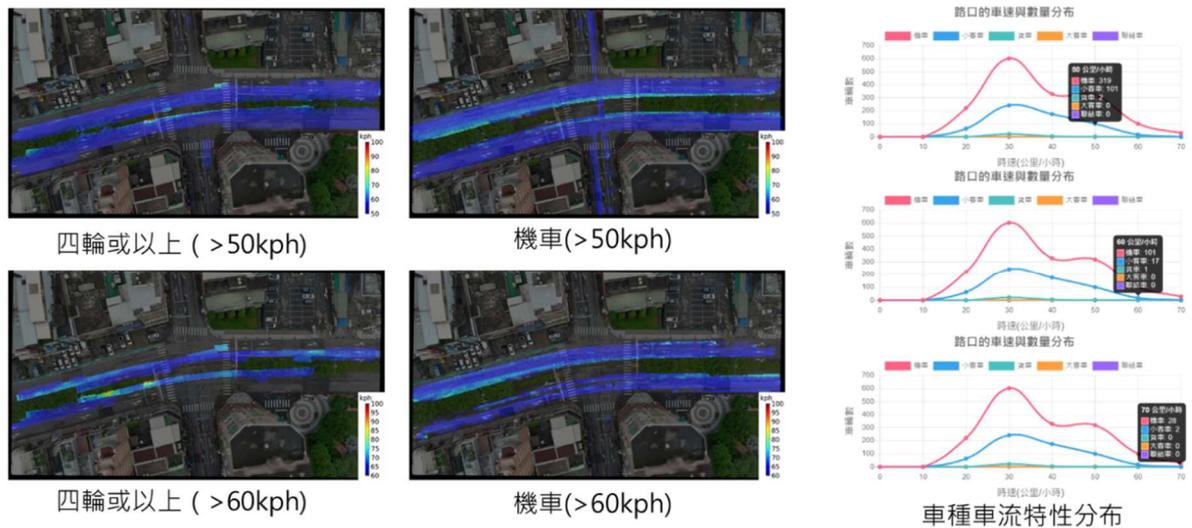


圖 7.4-9 桃園市桃園區三民路二段民生路口之超速分佈

四、 機慢車左轉待轉區線溢出問題

機慢車左轉待轉區線容易因轉彎的機車數量多，超出機慢車左轉待轉區線所能容納的數量而溢出機慢車左轉待轉區線，影響其他車輛的行駛動線及行人穿越道。有以下發現：

- (一) A 方向機車應進行兩段式左轉，但有車輛於路口直接違規左轉。
- (二) B、D 方向左轉機車於路口內轉彎有未依循路口行車導引線左轉的具風險之駕駛行為。

五、 標線及空間使用的綜合性檢查

標線劃設及空間分配會影響路口整體車流動線順暢度，逐一檢視路口中的標線、車道配置、號誌時相等是否有不合理的情況。此部分之討論較多，將於 7.4.3 節已議題方式探討。

六、 機會左轉

車輛於無左轉保護時相左轉時，會受到對向直行車的車流狀況影響，產生機會左轉之情形。有以下發現：

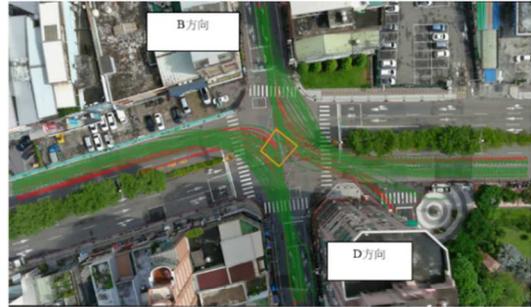
- (一) 四個方向皆為機會左轉情境，左轉車輛皆有明顯的切西瓜行

為。

- (二) B、D 方向皆有車輛於燈號轉換期間左轉。
- (三) C、D 方向有較多清道結束未通過路口車輛。
- (四) A、C 方向有許多超速之車輛。
- (五) D 方向有許多產生許多左轉衝突。



A、C左轉方向軌跡與路口中心



B、D左轉方向軌跡與路口中心

入口 方向	左轉車輛								對向直行車輛						兩車相互行為 左轉衝突 (強行左轉)
	車輛數	先行 左轉	燈號轉換期間 左轉	左轉車 未到達中央路口處 左轉	清道時間結束後 仍無法通過路口	外側車道 左轉	左轉 機車數	機車於 兩段式左轉路口 直接左轉	車輛數	搶黃燈	闖紅燈	紅燈跨越 停止線	超速 法規速限	超速 速限寬容值	
A	30	0	0	26	1	0	68	0	835	2	0	0	193	41	1
B	46	6	3	31	1	0	33	0	223	4	0	4	4	0	3
C	13	3	0	8	4	1	8	0	766	8	2	1	315	68	2
D	35	3	3	15	2	1	18	0	279	3	0	2	9	1	12

圖 7.4-10 桃園市桃園區三民路二段民生路口之機會左轉衝突分析結果

七、 路口穿越衝突

因車輛搶黃燈、闖紅燈、或綠燈未亮前起步、或因清道時間秒數不足，導致與橫向來車發生之穿越衝突，對應之碰撞型態為交岔撞。有以下發現：

- (一) 四個方向皆有搶黃燈之行為。
- (二) A、B、D 方向皆有清道結束未通過路口車輛。
- (三) A、D 方向有少量闖紅燈車輛。
- (四) A、C 方向有許多超速之車輛。

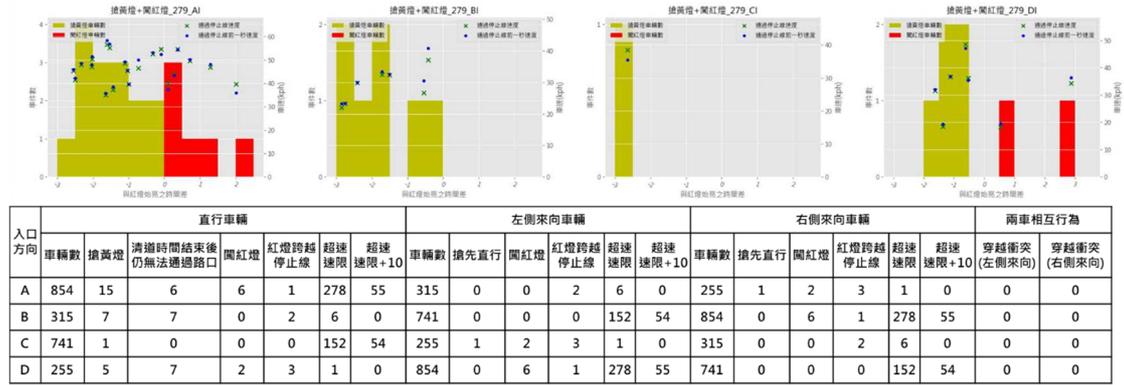
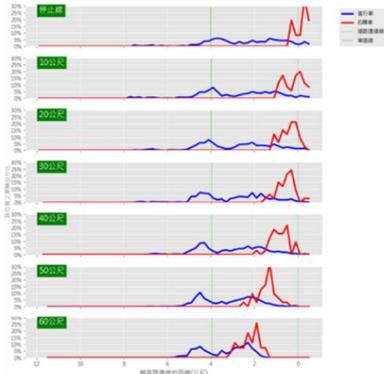


圖 7.4-11 桃園市桃園區三民路二段民生路口之穿越衝突分析結果

八、右轉衝突分析

在靠近停止線處，因右轉車輛未靠右行駛，而與直行車流發生衝突，對應肇事型態主要為右轉側撞。受限於空拍畫面範圍之限制，只針對可拍攝到較多上游空間之 A 方向與 C 方向進行分析，B、D 方向因拍攝範圍不足而不進行分析。綜合 A、C 方向分析有以下發現：

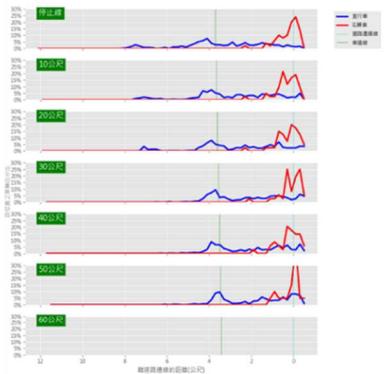
- (一) 機車與小型車皆有部分直行車未遠離右側。
- (二) 三個車種皆有部分超速之車輛。
- (三) A、C 方向機車有同向右轉跟車衝突。
- (四) A、C 方向機車、小型車有少量兩車右轉切入衝突。
- (五) A、C 方向有同向兩車右轉衝突。



直行機車與右轉汽車

方向	車種	總車輛數	直行車輛數	右轉車輛數	R1: 右轉車未靠右	R2: 直行車未遠離右側	V1: 超速(速限)	V2: 超速(寬容值)	V3: 右轉車未使用最外側車道或專用道	V4: 直行車使用右轉專用道	C1: 同向右轉跟車衝突	C1 TTC	C2: 兩車右轉切入	C2 PET	C3: 同向兩車右轉衝突	C3 PET	C4: 直行機車與右轉汽車衝突(直行車側撞右轉車)	C4 PET	C5: 右轉汽車與直行機車衝突(右轉車側撞直行車)	C5 PET
A方向	機車	417	350	19	0	194	176	61	0	-	11	1.22	5	2.14	3	1.87	0	-	0	-
	小型車	232	193	16	0	8	68	15	0	-	0	-	0	-	0	-				
	大型車	29	27	2	0	2	7	3	0	-	0	-	0	-	0	-				
	小計	678	570	37	0	204	251	79	0	-	11	1.22	5	2.14	3	1.87				

圖 7.4-12 桃園市桃園區三民路二段民生路口之 A 方向右轉衝突分析結果



直行機車與右轉汽車

方向	車種	總車輛數	直行車輛數	右轉車輛數	R1: 右轉車未靠右	R2: 直行車未遠離右側	V1: 超速(速限)	V2: 超速(寬容值)	V3: 右轉車未使用最外側車道或專用道	V4: 直行車使用右轉專用道	C1: 同向右轉跟車衝突	C1 TTC	C2: 兩車右轉切入	C2 PET	C3: 同向兩車右轉衝突	C3 PET	C4: 直行機車與右轉汽車衝突(直行車側撞右轉車)	C4 PET	C5: 右轉汽車與直行機車衝突(右轉車側撞直行車)	C5 PET
C方向	機車	372	327	41	1	92	115	52	0	-	36	1.38	8	1.71	9	1.97	0	-	0	-
	小型車	204	192	8	0	5	47	14	0	-	3	2.47	0	-	0	-				
	大型車	40	37	3	0	0	6	2	0	-	0	-	0	-	0	-				
	小計	616	556	52	1	97	168	68	0	-	39	1.46	8	1.71	9	1.97				

圖 7.4-13 桃園市桃園區三民路二段民生路口之 C 方向右轉衝突分析結果

7.4.3 問題探討

從分析軟體的衝突熱點圖中，可以觀看每個衝突點的類型及詳細資料，及發生衝突前後十秒的影片，了解衝突發生的過程及可能原因。以下將觀察到的風險問題以視覺化或畫面截圖方式加以說明。以下提出四個值得討論的議題，以及其建議改善方案。

一、 三民路二段雙向交通衝突議題(時相五、一、二)

參考圖 7.4-3 的號誌時制表、表 7.4-1 的路口幾何特性表，C 方向內側車道屬於左/直車道，停等車隊較長時混雜直行/左轉車輛。因左轉車流量低，時相五(C 方向綠燈早開 15 秒) 對於紓解左轉車的效率很低。本計畫觀察空拍影片(如圖 7.4-14)，其中可發現在時相五期間只有少數左轉車通過，其餘左轉車必須以機會左轉方式強行通過。考量到安全的因素，建議可在 C 方向考慮偏心左轉道，提供左轉車儲車空間，並考慮到時相五(C 方向綠燈早開)之效率較差，可考慮取消。



圖 7.4-14 桃園市桃園區三民路二段民生路口之對向穿越左轉衝突之問題(時相一、二、三、五)

二、 民生路雙向交通衝突議題 (時相四)

參考圖 7.4-3 的號誌時制表，D 方向容易因機會左轉產生等候車隊，且在左轉時影響對向直行車通行，造成無法於清道時間結束後通過路口，如圖 7.4-15 所示。建議可增加時相四之清道時間。



圖 7.4-15 桃園市桃園區三民路二段民生路口之對向穿越左轉衝突之問題(時相四)

三、 公六街車輛違規行駛

此路口 D 方向右側為公六街，由公六街出來之車輛有逆向前往 B 方向之行為，如圖 7.4-16 中的青色車流軌跡線，易造成與其他行向的衝突。建議增設標線或牌面指引公六街車輛行駛之方向。



圖 7.4-16 桃園市桃園區三民路二段民生路口之公六街車輛違規行駛

四、 機慢車左轉待轉區線動線設計不佳

此路口 C 往 D 方向機車待轉過於接近行人穿越線、機車有入侵枕木紋行人穿越道線之情況。A 往 B 方向機車停等區格子過小，機車左轉量大，有溢出機慢車左轉待轉區線至枕木紋行人穿越道線之情況，由圖 7.4-17 的車流軌跡及區域放大之速度熱區圖中可發現。建議檢討機慢車左轉待轉區線大小，並建議將 B、D 方向之枕木紋行人穿越道線與停止線向後移動。

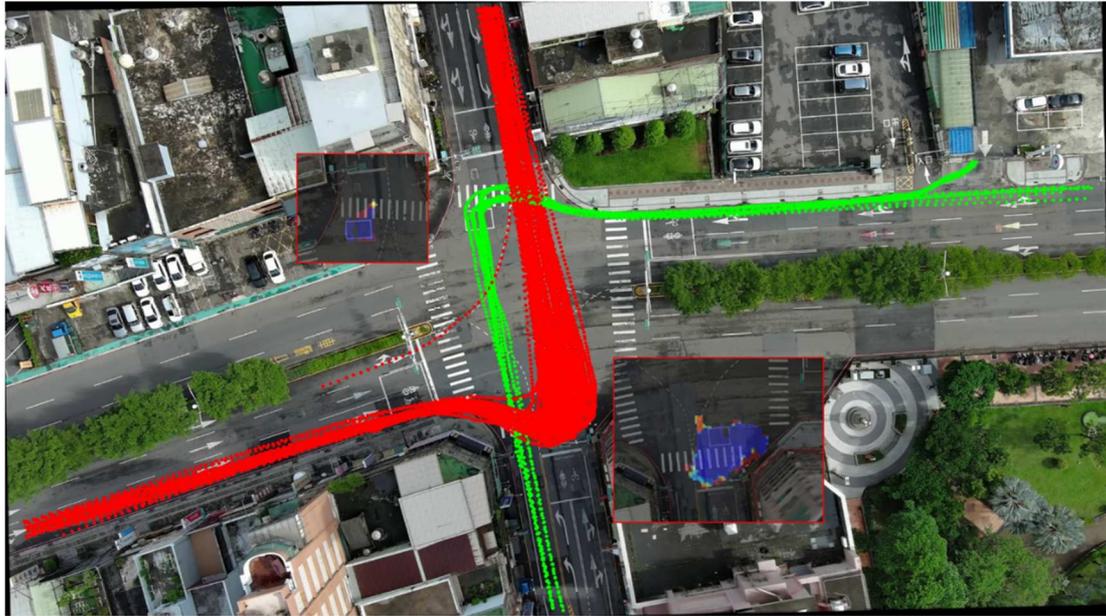


圖 7.4-17 桃園市桃園區三民路二段民生路口之機慢車左轉待轉區線
動線設計不佳

7.4.4 問題整理及改善建議

根據上述探討的議題提出可能改善方案如下，並參考公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃」簡報進行比較，如下表 7.4-2 所示。其中，公路局提出之改善策略是來自碰撞構圖或事故統計資料，而本計畫提出之改善策略是來自交通衝突、其他觀察產生。

表 7.4-2 問題整理與改善建議表(桃園市桃園區三民路二段民生路口)

相關議題	產生問題及原因	本計畫建議之改善方案	公路局提供之「桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃」簡報之改善方案
對向穿越左轉	1. C 方向內側車道屬於左/直車道，停等車隊較長時混雜直行/左轉車輛。	1. 考慮偏心左轉道，提供左轉車儲車空間。	無

相關議題	產生問題及原因	本計畫建議之改善方案	公路局提供之『桃園市桃園區三民路二段民生路易肇事路口改善規劃』簡報之改善方案
衝突之問題	<p>因左轉車流量低，時相五(C 方向綠燈早開 15 秒) 對於紓解左轉車的效率很低。</p> <p>2. 本計畫觀察空拍影片，其中可發現在時相五期間只有少數左轉車通過，其餘左轉車必須以機會左轉方式強行通過。</p> <p>3. D 方向容易因機會左轉產生等候車隊，且在左轉時影響對向直行車通行，造成無法於清道時間結束後通過路口。</p>	<p>2. 時相五(C 方向綠燈早開)效率差，可考慮取消。</p> <p>3. 增加時相四之清道時間。</p>	
公六街車輛違規行駛	<p>由公六街出來之車輛有逆向前往 B 方向之行為，易造成衝突。</p>	<p>增設標線或牌面指引公六街車輛行駛之方向。</p>	<p>無</p>
機慢車左轉待轉區線動線設計不佳	<p>1. 往 D 方向機車待轉過於接近行人穿越線、機車有入侵枕木紋行人穿越道線之情況。</p> <p>2. 往 B 方向機車停等區格子過小，機車左轉量大，有溢出機慢車左轉待轉區線至枕木紋行人穿越道線之情況。</p>	<p>檢討既有機慢車左轉待轉區線的大小，並建議將 B、D 方向之枕木紋行人穿越道線與停止線向後移動。</p>	<p>改善方案 A：為保護行人安全，建議民生路東側枕木紋行人穿越道線與停止線退至號誌燈後方。</p>

本計畫拜訪公路局後討論出之可執行改善方案如圖 7.4-18 所示，將三民路二段雙向(A、C 方向)的枕木紋行人穿越道線退縮並設置庇護島，保護行人安全。

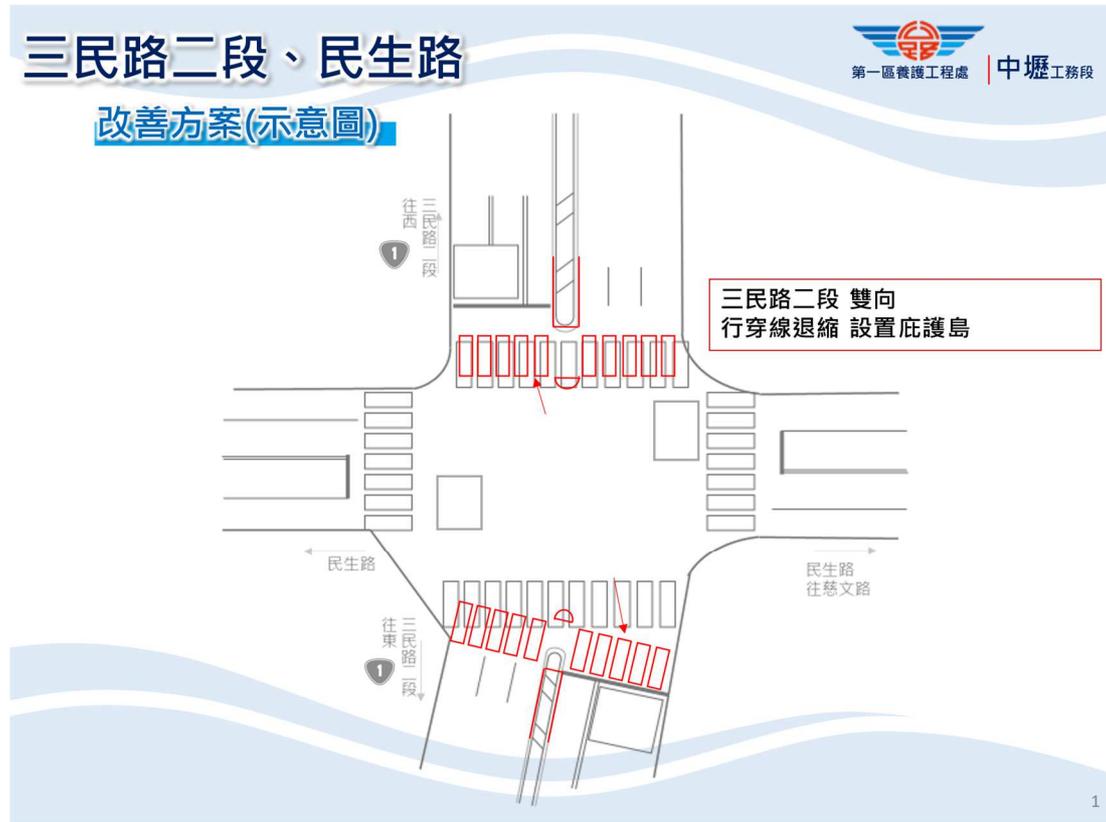


圖 7.4-18 桃園市桃園區三民路二段民生路口之改善方案

7.5 案例四：宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口

7.5.1 基本資料

此路口位於宜蘭縣宜蘭市，為五岔路口，南北向為中山路，東西向為舊城南路(台 7 線)，西南側連接神農路。該路口的幾何特性表如表 7.5-1 所示，路口空拍圖如圖 7.5-1 所示。從空拍圖中可以得知此路口車道配置為：

- 一、西側舊城南路出口為左彎專用道、直行、直右 3 車道；入口

為 3 車道。

二、中山路三段出口上游為 2 車道，於鄰近路口處分為直左、直行、右彎專用道 3 車道；中山路三段入口則為 2 車道，下游併為 1 車道。

三、東側舊城南路出口為左彎專用道、直右 2 車道；入口為 2 車道。

四、中山路二段出口為左彎專用道、直右 2 車道；入口則為 1 車道加路肩。

五、神農路出口為左直右 1 車道；入口則為 2 車道。

表 7.5-1 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之幾何特性表

路口名稱	中山路/神農路/舊城南路	路段全名									
		舊城南路 (A 方向)		中山路三段 (B 方向)		舊城南路 (C 方向)		中山路二段 (D 方向)		神農路二段 (E 方向)	
車道配置	車道數量/ 車道配置	3	汽+混 +混	3	混+混 +混	2	混+混	2	混+混	1	混
車道種類	轉向配置	左+直+直右		直左+直+右		左+直右		左+直右		無劃設	
	左彎專用道	V				V		V			
	右轉專用道			V							
	機車專用道										
	機慢車優先道										
	慢車道 路肩	V				V				V	
人行道		V		V		V		V		V	
機慢車左轉待轉區線										V	
行車管制號誌		V		V		V		V		V	
行人穿越道號誌		V		V		V		V		V	
公車站		V									
其他						交通桿 分隔					

備註：節錄自「事故碰撞型態導向之路口設計範例」教育訓練座談會(運研所提供)

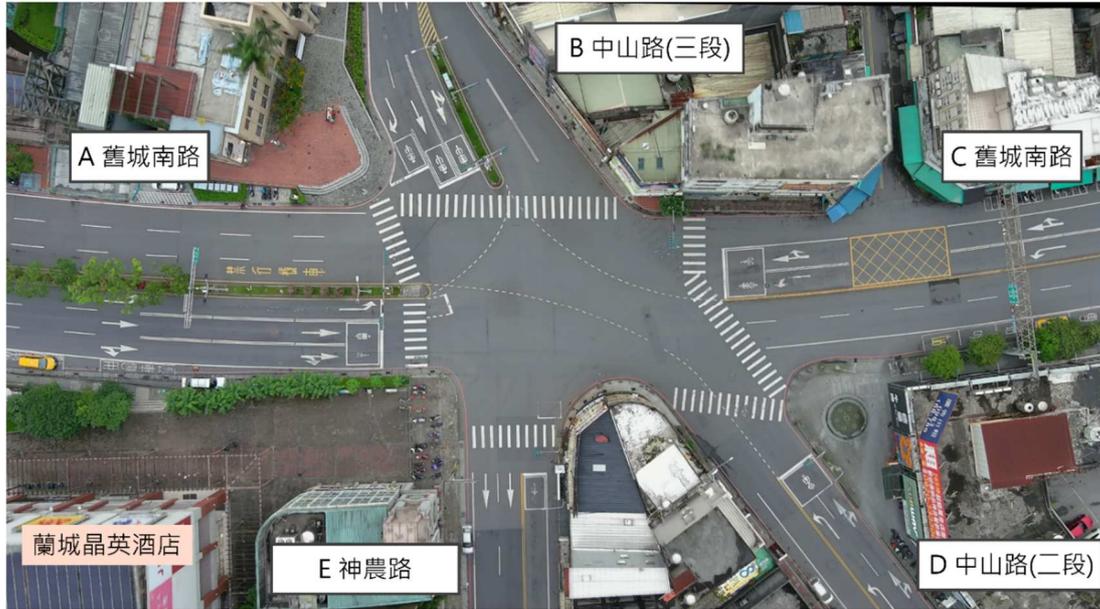


圖 7.5-1 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路路口空拍圖

本計畫選定 15:30 至 17:30 拍攝，拍攝當下的號誌時制表如圖 7.5-2 所示，為四時相號誌路口，舊城南路採用五燈號號誌，中山路二段、中山路三段、神農路採用三燈號號誌。

週期150秒	時相一	時相二	時相三	時相四
綠燈	37	21	35	35
黃燈	3	3	3	3
全紅	2	2	2	4
說明	舊城南路東西向直行與右轉綠燈	舊城南路東西向左轉綠燈	神農路北向圓形綠燈	中山路南北向圓形綠燈

圖 7.5-2 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路路口之號誌時制表

本計畫共於此路口拍攝 4 架次之空拍影片，將所有架次影片之轉向交通量加總，再除以影片總時長後，得出此路口之平均小時轉向交通量，如圖 7.5-3 所示。

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	大客車	聯結車	小計	PCU
A	B	左轉	0.00	1.37	43.19	4.11	0.69	0.00	49.36	52.10
	C	直進	0.00	99.41	161.11	10.28	1.37	1.37	273.55	218.02
	D	右轉	0.00	26.05	39.76	2.74	1.37	0.00	69.93	61.70
	E	右轉	2.74	26.05	43.19	2.74	0.69	0.00	75.41	63.76
	小計(車輛數)			2.74	152.89	287.26	19.88	4.11	1.37	468.25
B	C	左轉	0.00	3.43	9.60	0.00	1.37	0.00	14.40	14.40
	D	直進	0.00	127.52	114.49	8.23	0.00	0.00	250.24	176.20
	E	直進	0.00	335.94	143.97	11.65	0.69	0.00	492.25	298.23
	A	右轉	0.00	11.65	32.91	1.37	0.69	0.00	46.62	43.88
	小計(車輛數)			0.00	478.54	300.97	21.25	2.74	0.00	803.50
C	D	左轉	1.37	26.05	37.71	2.74	0.69	0.00	68.56	55.53
	E	左轉	0.00	144.66	113.81	7.54	2.74	0.00	268.75	195.39
	A	直進	0.00	56.90	108.32	7.54	0.69	0.00	173.45	140.54
	B	右轉	0.00	4.11	12.34	2.74	0.00	0.00	19.20	18.51
	小計(車輛數)			1.37	231.73	272.18	20.57	4.11	0.00	529.96
D	E	左轉	0.69	0.00	2.74	0.00	0.00	0.00	3.43	2.74
	A	左轉	0.00	8.23	37.71	0.00	0.00	0.00	45.93	43.88
	B	直進	6.17	190.59	127.52	6.17	0.00	0.00	330.45	214.59
	C	右轉	0.69	23.31	38.39	2.06	0.00	0.00	64.44	54.16
	小計(車輛數)			7.54	222.13	206.36	8.23	0.00	0.00	444.26
E	A	左轉	0.00	6.17	7.54	1.37	0.00	0.00	15.08	11.65
	B	直進	0.00	335.25	130.95	8.91	0.69	0.00	475.80	282.46
	C	右轉	0.00	51.42	58.27	6.17	1.37	0.00	117.23	96.67
	D	右轉	0.00	4.11	9.60	0.69	0.00	0.00	14.40	13.03
	小計(車輛數)			0.00	396.95	206.36	17.14	2.06	0.00	622.51
總計			11.65	1482.23	1273.13	87.07	13.03	1.37	2868.48	2057.44

圖 7.5-3 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之平均小時轉向交通量

7.5.2 分析項目

透過交通衝突分析軟體，可以產生各種圖表，包含衝突熱點密集區域、車流軌跡合理性、超速情形、標線及空間合理性綜合檢查、機會左轉分析、路口穿越衝突分析。各項圖表如圖 7.5-4 至圖 7.5-9 所示。其中，最大速度及相對速度之下限設定為 5 km/h、不顯示低風險衝突點。

一、衝突點密集的区域

以視覺化方式檢視衝突點在路口區域的空間分布。由分析軟體中點選衝突點並檢視其原因後，有以下觀察及發現：

- (一) A、B、E 方向鄰近路口處之衝突多為紅燈時，機車鑽行或停等距離較近，系統判斷為衝突。
- (二) 路口中的衝突，多為 B、D 方向機會左轉導致之衝突，如：同向兩車左轉衝突、對向左轉衝突。



圖 7.5-4 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之衝突熱點圖

二、車流軌跡的合理性

以視覺化方式檢視汽機車在路口中的車流軌跡是否合理。由於路口區域大，B-D 方向為圓形綠燈同時開啟，兩方左轉車於路口處相遇，造成左轉軌跡混亂。

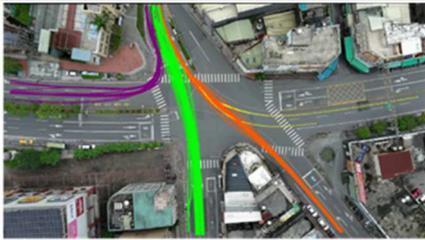
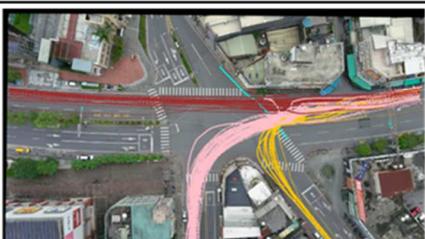
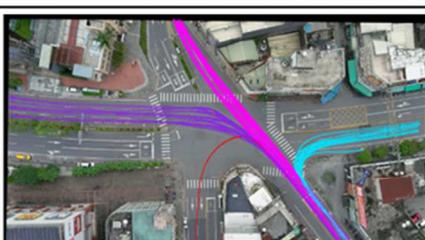
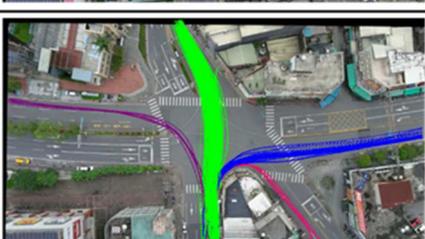
	四輪或以上	機車
A 入口		
B 入口		
C 入口		
D 入口		
E 入口		

圖 7.5-5 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之車流軌跡

三、超速情形

檢查路口中的車流是否有超速的情況，並以視覺化方式檢視超速車流於路口中的位置分布及行進方向。由圖 7.5-6、圖 7.5-7 中可以看出此路口各方向車速皆在 30km/h 上下，較無超速車輛。

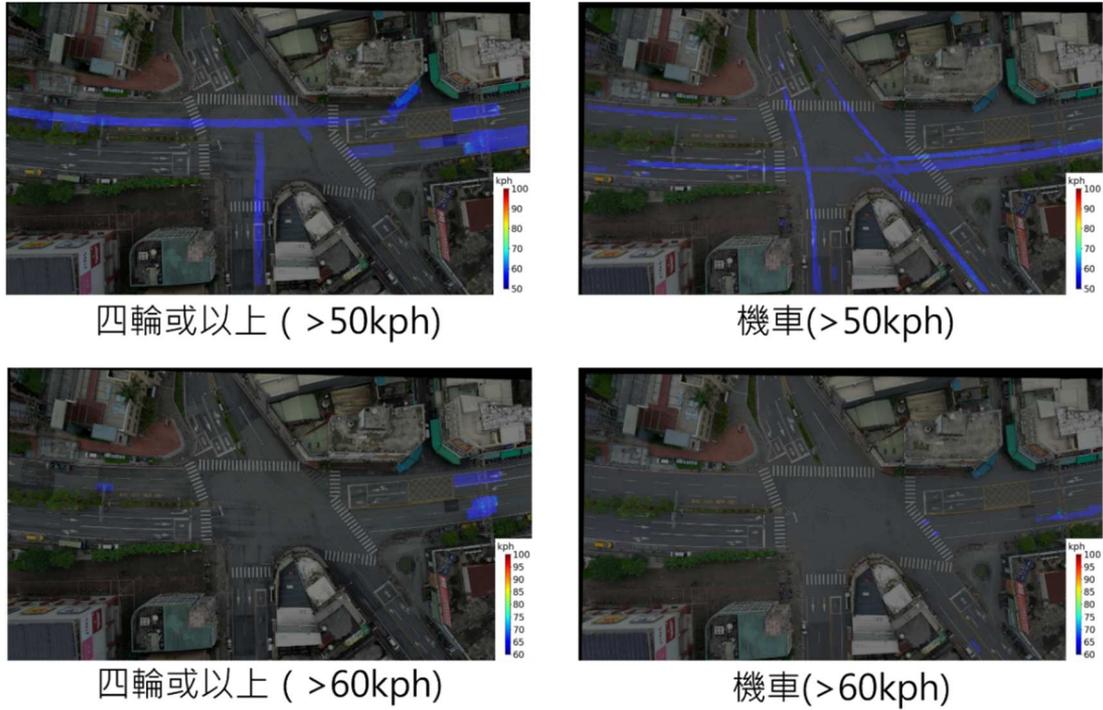


圖 7.5-6 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之超速分布圖

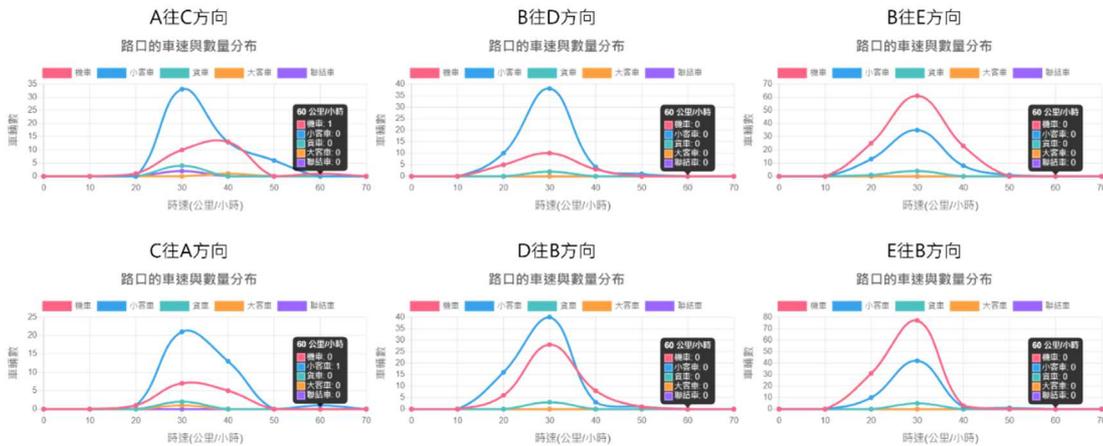


圖 7.5-7 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之車速與數量分布圖

四、 機慢車左轉待轉區線溢出情形

此路口 A 方向機車需要兩段式左轉，於本計畫調查的 4 架次空拍影片中，僅 2 輛機車進行左轉，故無機慢車左轉待轉區線溢出之情形。

五、 標線及空間使用的綜合性檢查

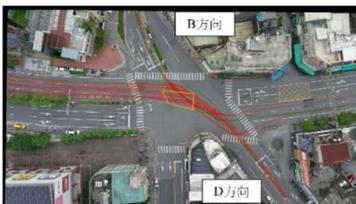
標線劃設及空間分配會影響路口整體車流動線順暢度，逐一檢視

路口中的標線、車道配置、號誌時相等是否有不合理的情況。此路口為五岔路口，路口範圍大、幾何特殊，由號誌時制之觀點，B、D方向可視為對向直行，然而B-D車道並未對齊，兩方向同時綠燈時，行車動線混亂。此部分之討論較多，將於第7.5.3節以議題方式探討。

六、機會左轉

車輛於無左轉保護時相左轉時，會受到對向直行車的車流狀況影響，產生機會左轉之情形。圖7.5-8為機會左轉衝突分析結果，有以下發現：

- (一) B-D方向為機會左轉情境。
- (二) D方向的左轉車輛有許多切西瓜行為，也有清道時間結束後仍無法通過路口的情況。
- (三) A方向有左轉專用號誌未開啟便先行左轉之行為。
- (四) 分析軟體上的進階分析功能只適用於四岔路口，只能針對A至D方向進行機會左轉分析，因此分析結果未包括E方向。



B、D左轉方向軌跡

入口方向	左轉車輛								對向直行車輛						兩車相互行為
	車輛數	先行左轉	燈號轉換期間左轉	左轉車未到達中央路口處左轉	清道時間結束後仍無法通過路口	外側車道左轉	左轉機車數	機車於兩段式左轉路口直接左轉	車輛數	搶黃燈	闖紅燈	紅燈跨越停止線	超速法規速限	超速速限寬容值	
A	21	10	0	0	0	0	1	0	51	1	1	0	1	0	0
B	5	0	0	0	1	0	0	0	49	6	0	0	1	0	0
C	16	3	2	16	5	0	1	0	80	3	0	0	10	0	0
D	20	0	0	6	17	4	7	0	70	1	3	0	0	0	0

圖 7.5-8 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之機會左轉衝突分析結果

七、路口穿越衝突

因車輛搶黃燈、闖紅燈、或綠燈未亮前起步、或因清道時間秒數不足，導致與橫向來車發生之穿越衝突，對應之碰撞型態為交岔撞。由圖7.5-9可以發現，此路口BD方向直行車有少許搶黃燈情況，且許多車輛於清道時間結束後，仍無法通過路口。

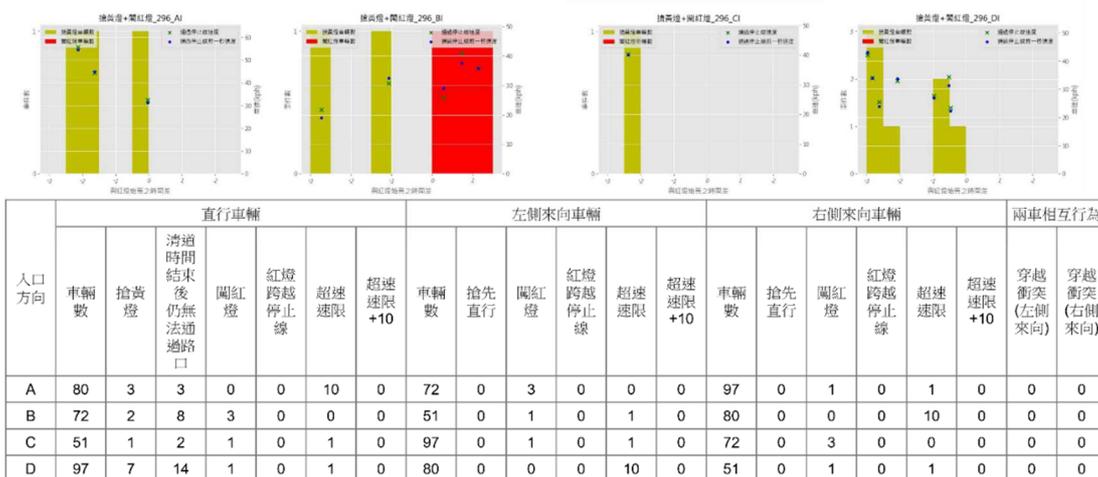


圖 7.5-9 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之路口穿越衝突分析圖表

八、右轉衝突分析

在靠近停止線處，因右轉車輛未靠右行駛，而與直行車流發生衝突，對應肇事型態主要為右轉側撞。受限於空拍畫面範圍之限制，本路口各方向因拍攝範圍不足而不進行分析。

7.5.3 問題探討

從分析軟體的衝突熱點圖中，可以觀看每個衝突點的類型及詳細資料，及發生衝突前後十秒的影片，了解衝突發生的過程及可能原因。以下將觀察到的風險問題以視覺化或畫面截圖方式加以說明。以下提出此路口值得討論的議題。

B-D 方向機會左轉相關衝突(如圖 7.5-10 所示)：

- 一、對 B 方向而言，B-D 方向、B-E 方向都是直行，當 B 方向與 D 方向圓形綠燈同時開啟，會有 7 股不同動線的車流可同時行進(B-C 左轉、B-D 直行、B-E 直行、B-A 右轉、D-A 左轉、D-B 直行、D-C 右轉)，如圖 7.5-10(b)。
- 二、D 方向左轉車無法判斷 B 方向直行車是往 D 方向還是 E 方向，因此 D 方向之左轉車會與 B 方向之左轉、直行車於路口處相遇，多數車輛無法按照左轉的路口行車導引線行進，如圖

7.5-10(a)。後方直行車為避開左轉/直行車輛，也會導致產生同向衝突。

三、另外，對 B 方向的駕駛者而言，B-E 方向屬直行還是右轉並未有明確指示。圖 7.5-10(b)的綠色軌跡線表示 B 方向前往 E 方向之車流，其中有行駛於直行車道者、也有行駛右轉車道者，顯見 B 方向車輛並不清楚前往 E 方向是直行還是右轉，導致 B 方向的車輛動線較為混亂。

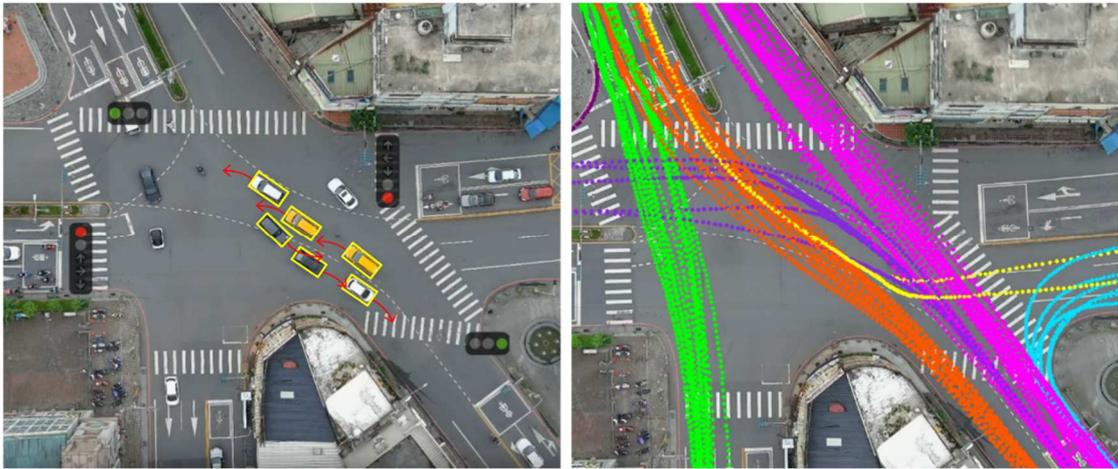


圖 7.5-10 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之機會左轉衝突

影片截圖與車輛軌跡

註；左圖為(a)、右圖為(b)

A-D 方向與 A-E 方向右轉衝突(如圖 7.5-11 所示)：

一、A 方向直行箭頭綠燈與右轉箭頭綠燈亮時，A 方向可直行 C 方向、右轉 D 方向、右轉 E 方向。由該時相的車輛軌跡圖可看出，觀察到鄰近路口處變換車道的行為，A 右轉至 D 方向會與 A 直行 C 方向有軌跡交織的情形。



圖 7.5-11 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口時相一A方向車輛軌跡

7.5.4 問題整理及改善建議

根據上述探討的議題提出可能改善方案如下，改善方案對應路口位置如圖 7.5-12 所示。

- 一、參考《事故型態導向之路口交通工程設計範例》(2022)之圖 4-8 左轉導引設計範例，左轉的路口行車導引線應自該方向內側車道繪製。現場路口行車導引線由有中央分隔左側開始，應為標線繪製錯誤。
- 二、根據本計畫空拍資料顯示：B 方向左轉車數量為 14.4 PCU/小時(如圖 7.5-3 所示)，因數量不多，無須在 B 方向劃設左彎專用道。惟 B 往 D 方向直行的動線不直觀，與 D 往 A 方向車流互相禮讓導致大家無法順利通過。建議提供 B 往 D 方向之導引。
- 三、建議調整停止線與號誌燈位置前移，以利縮小路口範圍。

上述僅針對部分問題提出改善建議，然而此多岔路口因先天條件所導致的 B 方向及 D 方向相關衝突，可能需要較大幅度的路口改造工程來改善路口的衝突問題，或調整號誌時相方式錯開 B 方向及 D 方向的車流，可能難以透過標線改造等短期內可執行之手法來處理。

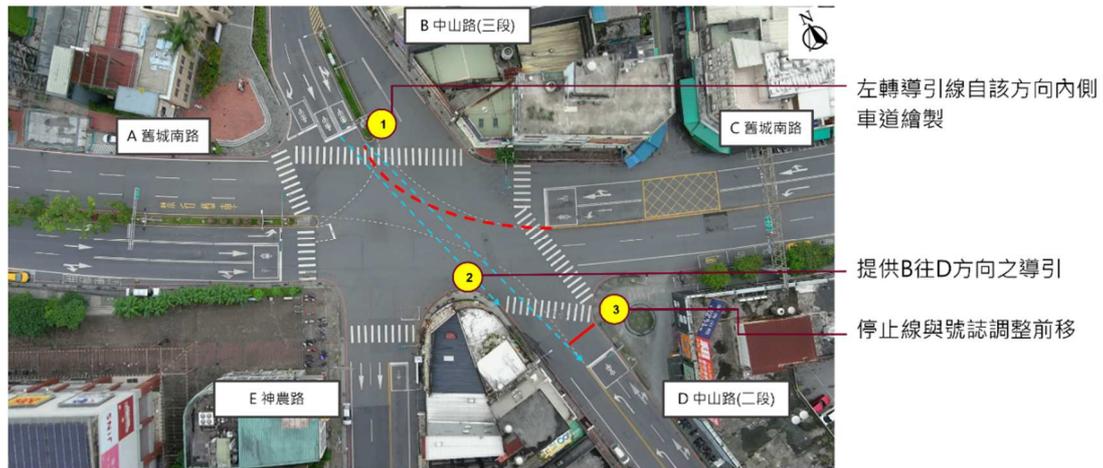


圖 7.5-12 宜蘭縣宜蘭市中山路神農路舊城南路口之改善建議

第八章 結論與建議

本所為分析路口交通衝突及駕駛人行為特性，於 107-109 年研究結合無人機空拍及人工智慧影像分析等新興技術，並運用交通衝突風險分析技術，已建立交通衝突分析工具。本計畫為 3 年期（110-112 年）計畫之第 3 年期，目的為延續前期研究發展交通衝突分析工具之成果，除辦理分年先導測試計畫，驗證相關技術成熟度與限制外，並透過易肇事地點分析，與地方政府合作進行推廣應用。以下就本計畫各階段所蒐集或研究內容，綜整重點成果之結論與建議進行說明。

8.1 結論

一、無人機交通路口觀測方法

無人機具制高拍攝優勢，以「上帝之眼」觀測車流並進行影像蒐集工作，可取得完整、無變形、無遮蔽之路口空拍影像，以利後續影像分析及交通衝突分析使用。目前無人機型式琳琅滿目，包括多旋翼機、定翼機、定旋翼機、繫留無人機等，由於計畫須於路口正上方穩定飛行，故多旋翼機是最合適的選擇，惟多旋翼機也有不同尺寸及廠牌，增添許多選擇上的難度。因此本計畫綜整過去經驗與實際操作效果，建議擇選無人機時可依便利性、維護性、品質及成本等條件來評估，其整理說明詳圖 8.1-1：

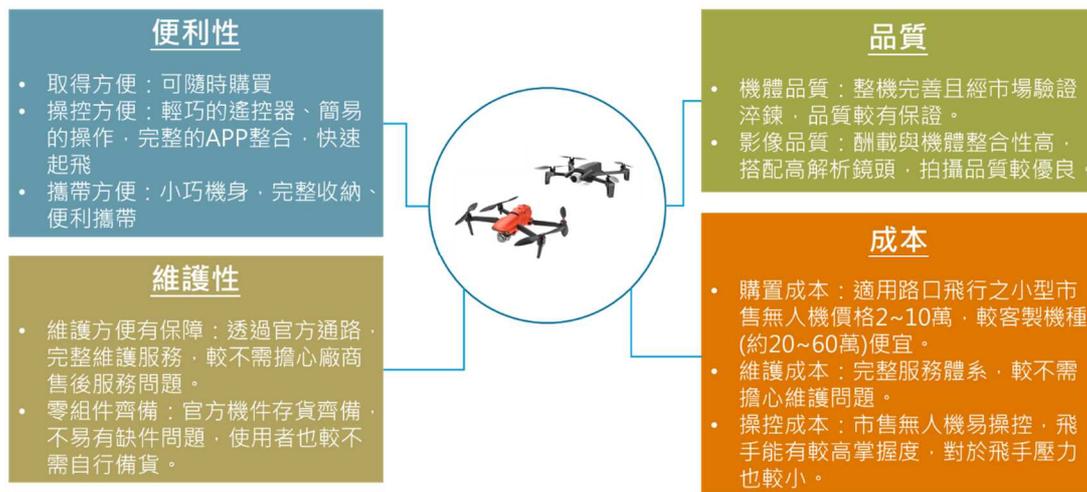


圖 8.1-1 路口空拍無人機擇選評估條件說明

本計畫自 107 年執行路口空拍分析作業以來，測試多款無人機，並依上述評估條件分析，本計畫建議以市售小型無人機為最適合使用之機種，並整理比較表如圖 8.1-2：

機型	市售中型無人機	客製國產無人機	客製緊湊無人機	市售小型無人機	Autel EVO II Pro
示意圖					
測試時間	107-108	108	108	109-110	111-112
飛行時間	約20~25分鐘	35~45分鐘	12小時以上 	約20分鐘	約35分鐘
軸距	35公分，體積小可荷包攜帶	70公分，體積小可荷包攜帶	100公分	24公分，體積小可荷包攜帶	39.7公分，體積小可荷包攜帶
重量	約1.4公斤	約5.0公斤	約6.5公斤	約0.3公斤	約1.1公斤
單價	約5萬元	約15萬元	約90萬元	約3萬元 	約6萬元
解析度	4K/30fps	2.7K線性/30fps	1080p 30fps	4K/30fps	6K/30fps 
最大風速	10 m/s	8 m/s	10 m/s	8 m/s	17 m/s 
拍攝高度與範圍	FOV (Field of View)約74度 在75公尺高度下拍攝長寬範圍約113*64公尺	FOV (Field of View)約70度 在75公尺高度下拍攝長寬範圍約104*57公尺	FOV (Field of View)約67度 在60公尺高度下推估拍攝長寬範圍約99*56公尺	FOV (Field of View)約69度 在75公尺高度下拍攝長寬範圍約103*55公尺	FOV (Field of View)約66度 在75公尺高度下拍攝長寬範圍約97*54公尺
優點	機身輕巧，具備快速起降之特性；可遠端啟動錄影功能	飛行時間較長。	可長時間飛行。	機身輕巧，具備快速起降之特性；可遠端啟動錄影功能	具備高抗風、高解析。
缺點	飛行時間較短，資安疑慮。	成本高，體積稍大，攜帶較不便，影像較易晃動且解析度較低。	機體較大，不適合都會區路口，電源線恐影響路口用路安全，僅能定點飛行，範圍受限。	飛行時間較短。	若使用特定型號記憶卡支援6K/30fps成本較高。 

圖 8.1-2 無人機比較圖

無人機雖具備空拍優勢，亦為目前最適合辦理路口影像蒐集及交通分析方式之一，惟現行仍有相關技術及法規等限制，以致影響部分研究成果，說明如下：

- (一) **禁(限)航區**：很多易肇事路口或交通路口都位於禁(限)航區範圍內，現行做法僅能依法規申請，且須配合法規限定之高度或起降時間進行影像蒐集，故能進行拍攝之空間與時間就會受到較多的限制，恐無法完全取得想拍攝的路口範圍或離(尖)峰時段。
- (二) **天候限制**：無人機設計精良，惟目前市售無人機多無保證能於雨天時安全飛行，故目前尚無法進行雨天環境之交通衝突分析。
- (三) **夜間限制**：因多數路口於夜間時僅於路口臨近處有路燈，或道路上僅有行駛車輛車燈之照明，其光線亮度較為不足。目前一般無人機採用可見光拍攝，尚無法確保其拍攝品質，而熱影像或紅外線鏡頭之有效距離通常只有 20 至 30 公尺，惟本計畫所需之飛行高度至少要 60 公尺，尚有一段差距，因此

本計畫目前較無於夜間進行拍攝之合適方案。

- (四) **空拍時長**：目前無人機飛行時間約為 30 分鐘，另考量起降及抗風因素，無人機可蒐集之影像長度最多約為 20 分鐘，這也是目前無法展延影片時間之主要因素。
- (五) **拍攝範圍**：目前採用無人機飛行高度為 60 至 120 公尺，能拍攝的範圍約為 100 至 150 公尺，惟部分路口範圍很大，致使其空拍範圍尚無法涵蓋完整的路口。

二、空拍影像成果：

本計畫持續累積無人機路口空拍影像，迄今已擴及全台 12 縣市 67 個路口，以下為本(112)年度及 3 年(110 至 112 年)累積之成果說明。

- (一) 本(112)年度已完成拍攝 4 處易肇事路口及 14 處先導測試路口(分別為 7 處機會左轉進階分析及 7 處人車衝突路口)，涵蓋宜蘭縣、桃園市、臺南市及雲林縣等 4 個縣市，合計拍攝影片 68 部，影片總時長約為 26 時 41 分。
- (二) 自 107 年起進行無人機空拍影像任務，已累計涵蓋全臺 12 縣市(宜蘭縣、基隆市、臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、苗栗縣、臺中市、彰化縣、雲林縣、臺南市、高雄市)，共計 67 個路口、238 部空拍影片，總影像時數高達 104 小時，並包含易肇事路口 16 處、先導測試路口 51 處，其統計圖詳圖 8.1-3、圖 8.1-4。



圖 8.1-3 本所 107-112 年各年度拍攝路口總數

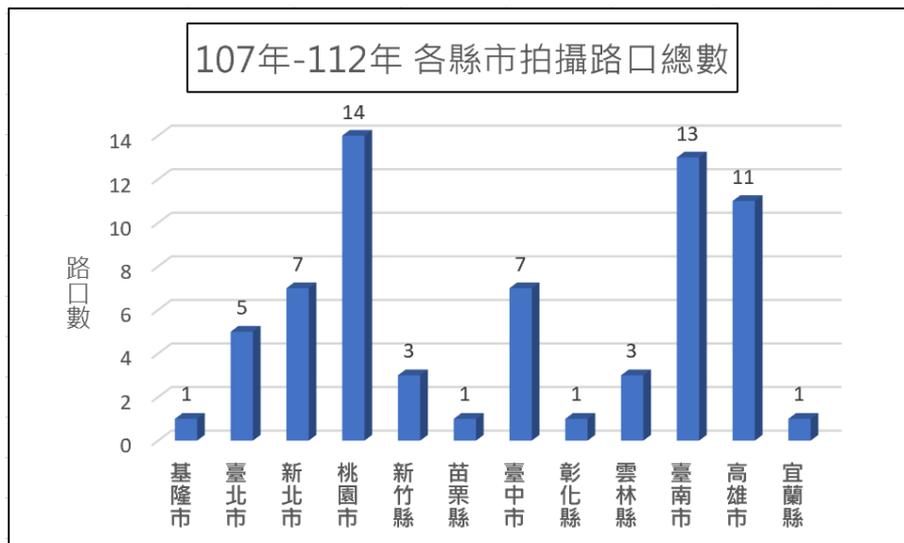


圖 8.1-4 本所 107-112 年各縣市拍攝路口總數

三、影像分析技術

(一) 在過去 3 年中，本計畫針對空拍影像開發或改良以下多項偵測與追蹤技術：

1. 基於 YOLOv4 基礎架構，開發了可以旋轉矩形框定位車輛的 Oriented YOLOv4，將 4 輪車輛與兩輪車輛的偵測工作合而為一。

2. 引入 GPU 加速空拍影像的穩定化處理，將原本基於 CPU 的前處理時間大幅縮短至 25% 以下。
 3. 改良原本基於正框交聯比的 SORT 追蹤方法，重新採用旋轉框交聯比決定追蹤結果，以更加符合空拍影像中的車輛追蹤需求。
- (二) 以上開發的偵測與追蹤技術，進一步強化擷取車輛軌跡的效率與可靠性，包含過去難以解決的停等區稠密機車追蹤、大客車的角度偏移等問題，皆已獲得明顯改善。
- (三) 提升行人查全率：小物件偵測近年來在技術上並沒有顯著的突破，許多偵測方法都是依不同對象之特性而專門設計。本計畫案目前在影像訓練過程中引入底圖資訊，透過清空人車的道路底圖來進一步凸顯當前影像的人車位置，初步認為可明顯提升查全率。惟如何有效使用底圖資訊及能否提升至可靠階段，仍有待進一步方法設計與實驗來證明。

四、交通衝突分析

- (一) 4 處易肇事路口：本計畫先以基本功能進行衝突分析，檢查路口之衝突熱區，再運用車流軌跡、速度熱區圖等功能，將路口幾何、標線或號誌設計不佳或駕駛行為不當的問題視覺化。本(112)年度探討斜交路口，發現斜交路口幾何之特殊性會產生一般四岔正交路口不常發生之交通動線及安全風險等問題。透過案例路口，本計畫發現大客車轉彎角度及動線、機車兩段左轉待轉區之行駛動線、兩方向左轉車輛行駛動線重疊等問題，以致路口有安全疑慮且交通壅塞紓解效率不佳之情形。另交通工程改善有其極限，主要因素為斜交路口之幾何設計不良所導致，因此本計畫未必能將路口所有衝突問題找到其對應之合適改善建議。惟透過本計畫分析，除驗證研究方法之可行性外，更能讓分析人員了解交通事故背後潛在之交通安全風險及原因，及在研擬路口改善措施時可納入考量，以避免有路口設計不合理之情況產生。
- (二) 2 項先導測試計畫：機會左轉進階分析、人車衝突。機會左轉

進階分析係探討左轉車等待機會左轉或強行通過對其他車輛所造成之風險(如：左轉車上游變換車道、對向車輛被迫繞行等問題)，提出路口衝突相關的交通風險分析項目，共包括 6 項具風險之駕駛及用路行為、2 項違規行為及 3 項交通衝突；人車衝突則探討車輛通過枕木紋行人穿越道線時與行人所發生之衝突及風險，相關的交通風險分析項目共包括 3 項具風險之駕駛及用路行為、6 項違規行為及 6 項交通衝突。

- (三) 本計畫已於 112 年 8、9 月份與提供易肇事路口地點之道路管理機關進行交流，於 11 月下旬與公路局進行先導測試計畫分析結果之回饋會議，於 12 月中旬與合作機關(桃園市交通局、臺南市交通局)交流其分析結果，以利合作機關了解在轄管路口之問題發現及其改善建議。
- (四) 在機會左轉進階分析之分析項目中，對向車輛繞行通過及左轉車上游車輛外切繞過停等車通過，是前二頻繁的風險行為。分析過程中需由使用者自行定義判斷線，惟當分析路口為非正交路口或路口上下游車道數不同時，其車輛繞行的認定可能較為主觀，建議未來研究可進一步討論其判斷準則。
- (五) 人車衝突分析方面，因行人辨識需要較高之影片解析度，因此需降低拍攝高度及縮小拍攝範圍，惟空拍影片只涵蓋 1 至 3 條枕木紋行人穿越道線，尚無法涵蓋該路口範圍內之完整枕木紋行人穿越道線。在分析項目中，轉彎車未慢速通過路口及行人未走於行穿線上，是常見的風險行為與違規行為。

五、交通衝突分析軟體

本計畫依據先導測試計畫之常見交通情境設計衝突分析工具(包括機會左轉、路口穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓、機會左轉進階分析、人車衝突等情境)，可讓使用者更容易且快速地了解各路口是否有相關潛在風險，並繪製車流軌跡、車速圖等圖表。另依據多燈面號誌管理及分析需求，本計畫已擴充號誌燈面(可選擇 3 至 6 個燈面)，並依路口時制表進行設定及輸出號誌同步影片，以供使用者能更直覺地透過影像畫面了解衝突成因與號誌時相變化之間的關係。此外，本計畫已優化操作介面及功能分類，協助使用者可快速掌握分析軟體相關功能及模組。整體軟體架構如下：

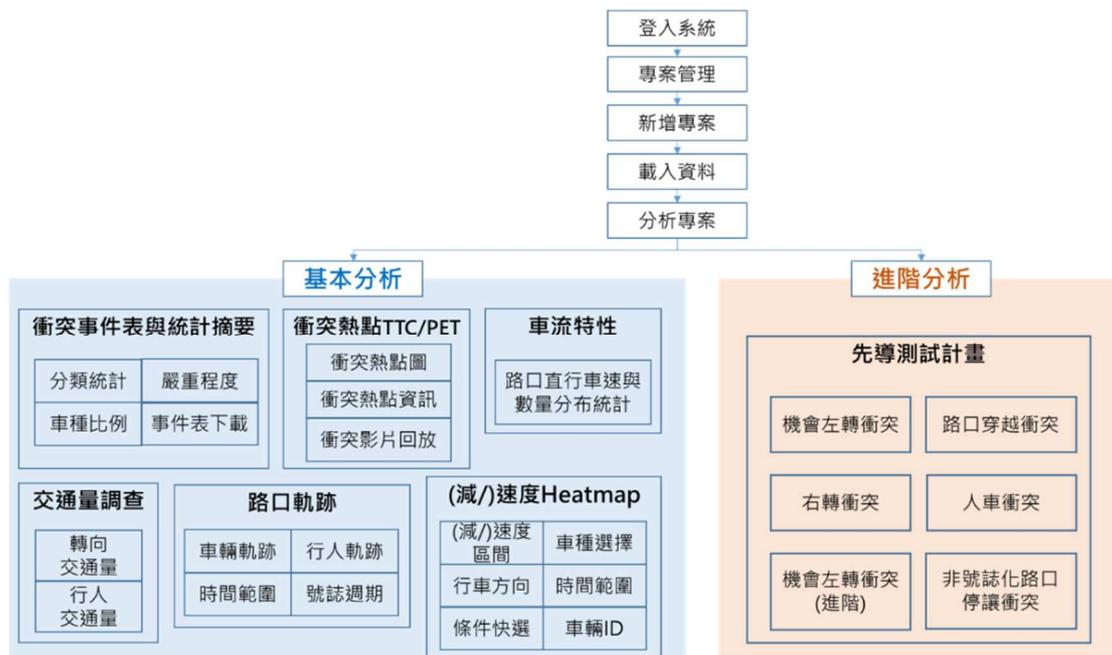


圖 8.1-5 交通衝突軟體架構圖

本(112)年度系統特色：

- (一) 路口專案結構化，提升管理及易用性。
- (二) 專案權限管理，利於專案分享與應用擴散。
- (三) 基本分析功能完整，統計資訊齊備，快速掌握路口潛在衝突：
 1. 衝突事件統計表及衝突熱點圖：以衝突指標 TTC/PET 及其風險程度，觀看路口衝突分布狀況。
 2. 車流特性：可掌握路口直行車數量與車速。
 3. 交通量調查：提供車輛及行人流量統計數據。
 4. 路口軌跡：以視覺化方式呈現人車軌跡，並結合號誌週期，提升車流行為分析能力。
 5. 速度/減速度 HeatMap：以視覺化方式呈現車流之速度/減速度表現，並提供快捷選項，快速掌握車流速度分布。
- (四) 進階分析：依據先導測試計畫之情境設計套裝分析工具，可分析機會左轉、路口穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突、機會左轉進階分析及人車衝突等分析模組。

本計畫之交通衝突分析軟體已具備相當多分析工具，可提供交通

專家分析運用，並已針對特定的交通衝突情境(如機會左轉、路口穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突、機會左轉進階分析及人車衝突等情境)提供套裝分析模組，亦在許多分析工具上更新增快捷鍵的功能，以上開發及優化功能都大幅增加使用者對路口的掌握度，也提升分析軟體的易用性。

8.2 建議

本計畫已探討路口交通衝突之相關開發，惟為了更全面地理解並分析道路交通衝突的複雜性，建議未來研究可擴展研究範疇至路段交通衝突，這有助為未來提供道路管理機關更具體且可量化的交通安全改善建議。

一、無人機空拍路口交通

無人機以上帝視角來空拍交通路口影像，可避免角度及遮蔽問題，這對於影像蒐集來說，扮演著重要的角色。若空拍影像品質可穩定不晃動，亦對於後續分析會有很大的幫助。考量路口之拍攝情境與環境，多旋翼無人機以其易操控、可機動部署及高懸停能力等優點，最適合用於交通路口分析調查。另考量維護性、成本等條件，建議可使用市售無人機，並須具備以下基本規格：

- (一) 抗風能力，至少蒲福風級 >4 (5.5~7.9 m/s)。
- (二) 懸停時間：至少 25 分鐘以上。
- (三) 拍攝時間：至少 20 分鐘以上。
- (四) 中小型，軸距 20~45 公分。
- (五) 攝影機規格：
 1. 影像解析度：至少 4k。
 2. 攝影機三軸穩像，無曲面變形且攝影角度大。
 3. 可遠端控制攝影機角度及錄影時間。
 4. 具備自動對焦、自動曝光調整等功能。

因應未來大型路口或長路段交通分析需求，建議可規劃導入多機協同運作，同時飛行兩架無人機，設定無人機懸停座標及影像重疊範圍，例如：重疊率 30%，若原本空拍範圍為 150 公尺，將有機會展延至 250 公尺之空拍範圍。惟以此方式疊合影像後的結果，仍需影像分析技術相互搭配，始能驗證其可行性。

二、影像式車流分析技術

未來計畫若由路口拓展為路段上之車輛偵測，主要可能面臨的問題在於影片中路段的視野範圍。當需要觀測較長的路段時，最直接的方法為提升拍攝高度；由於四輪車輛之面積較大，因此初步認為不會明顯影響偵測結果，但對於機車等兩輪車輛來說，可能因面積縮小而成為不易偵測的小物件。目前考量的作法說明如下，建議後續研究可進行測試以驗證可行性：

- (一) 由兩部以上空拍機以一般高度分段拍攝，再將影片透過重疊區域接合為完整路段。此作法主要問題在於拍攝難度加大，需兩組人員分頭同時拍攝，且難以確保車輛在經過影片交界區域時的時差影響。
- (二) 搭載 6K 或 8K 攝影機以更高高度拍攝，雖然訓練模型無法接受如此高解析度之影像，但由於一般直線路段僅占影像一小部分，因此可擷取主要道路部分，重組成可訓練的 1920×1920 影像，以保有高解析度下的較大車輛面積。此作法可避免多部無人機的拍攝同步問題，但非常仰賴高解析度下的影像品質，因此需要進一步檢視成像是否足夠清晰。

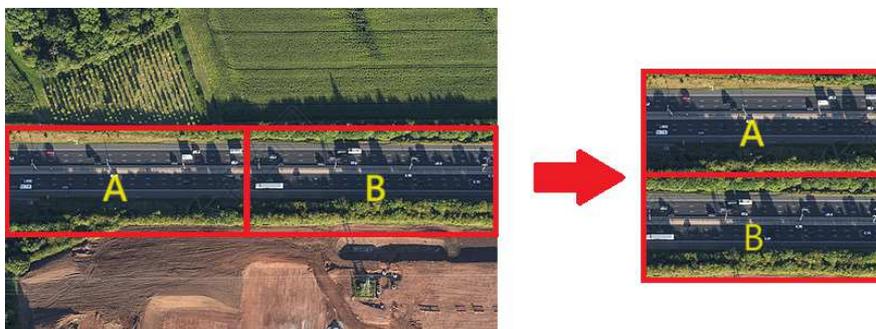


圖 8.2-1 將路段區域重組成偵測用影像

三、交通衝突分析

- (一) 本計畫之執行方向以開發軟體功能分析工具為主，建議未來可再蒐集更多的資料，並運用本計畫開發之分析軟體進行分析後，建立統計模型探討影響衝突或事故之重要原因，並做為道路工程或交通工程設計之準則。
- (二) 交通衝突事件的判斷是依據文獻廣泛使用的 TTC 及 PET，並以固定秒數門檻值做為衝突嚴重程度的依據，尚未考慮國內汽機車混合車流的情況。建議未來可進一步探討適合汽機車混流之衝突判斷方式及嚴重程度之門檻值，例如：加入車輛大小對於嚴重程度的影響。
- (三) 本計畫在現場調查前未能事先取得路口之行人專用號誌及行人流量資料，導致無法預先規劃號誌側拍方式及掌握行人流量較多的時段，以驗證行人專用號誌時相之正確性，且前揭事宜可能影響分析結果。因此，建議未來在人車衝突路口之現場調查前宜先取得上述資料，如有必要可先至路口進行場勘。
- (四) 目前的交通衝突分析工具只針對路口及附近區域之衝突事件進行分析，建議未來可進一步探討路網中其他位置，包括路口上、下游和路段，應有不同的事故及衝突型態。

四、交通衝突分析軟體

以科技建構數位能力，以數位能力解構交通問題；透過無人機之交通衝突分析正是最佳的應用範例，交通衝突分析軟體具備相當多的分析工具，可提供交通專家運用分析。本計畫建置一個完整的標準作業流程(SOP)，期能使交通分析變得更容易及精準。回顧本交通衝突分析軟體之功能建置過程，從數位化的基礎建設到智慧化的分析功能強化，一再地顯示這樣的方法確實對交通衝突分析有相當大的助益。智慧化分析主要透過 AI 影像辨識模型，獲取精確的車流及人流軌跡，結合各式交通指標及演算法，能更快掌握路口潛在風險，並透過與專家共思解決方法，達到改善交通安全之目的。

本計畫自 110 年開始透過先導測試計畫，針對特定的交通衝突情境(如：機會左轉、路口穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突、

機會左轉進階分析及人車衝突等情境)，提供套裝分析工具。今(112)年在分析工具上新增快捷鍵、百分比切換顯示等功能，均能提升分析軟體之易用性且增加對路口交通衝突之掌握度。

然而，目前要分析一個專案需先使用影像分析軟體進行穩像、車種影像辨識、車輛追蹤等，然後在分析軟體上建立專案進行衝突分析，惟建立專案亦有不少參數需進行設定，此對於後續推廣應用部分稍有難度，故建議分析軟體以數位化、智慧化為前提之下(詳圖 8.2-2)，逐步往自動化方向發展，可先進行功能模組整合，建立「交通衝突一站式自動化分析平台」，探討相關簡化程序及自動化功能，並規劃讓使用者可自行上傳影片、設定參數後即能進行影像分析，逐步實現軟體自動化之目標。再者，使用者界面可持續優化(例如：路口轉向交通量表將直接左轉機車與兩段式左轉機車分開計算)，且以使用者操作之角度將分析軟體設計地更加直覺及簡易操作，俾利提高其使用意願。

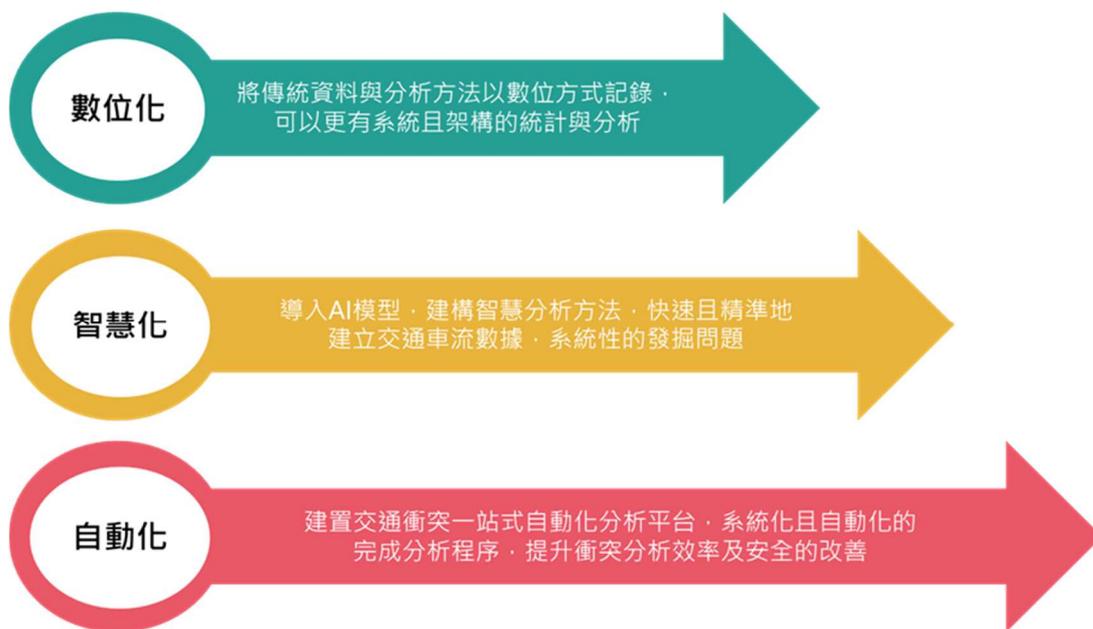


圖 8.2-2 自動化發展示意圖

五、推廣應用及商轉規劃

- (一) 針對分析工具之未來推廣應用部分，建議可從機會左轉、路口穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突、人車衝突等分析應用情境，進行易肇事路口分析或事前事後改善成效評估，並與使用者探討其尚需改進之處及其可行性，以持續

優化及增強分析軟體功能。

- (二) 針對商轉規劃部分，因軟體操作及衝突分析須具備專業知識，建議未來技術移轉至專業團隊提供分析服務，以加速分析工具之落地應用時程並推廣應用。

參考文獻

- 內政部營建署(2020)。「107 年度市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊案」。
- 交通部 (2016)。「機車交通政策白皮書」。
- 交通部道路交通安全督導委員會(2020)。「各縣市高事故風險路廊(路口)優先改善計畫」。
- 交通部民用航空局-無人機專區。取自
<https://www.caa.gov.tw/article.aspx?a=188&lang=1>
- 吳昆峯、邱裕鈞、鍾易詩、施朝欽、黃韋嘉、李宜靜、吳品蓁、張開國、葉祖宏、黃士軒(2020)。「駕駛行為分析工具開發及行為特性探討」。交通部運輸研究所。
- 許添本、溫谷琳、蔡牧融、李炘哲、程楷祐、張名鈞、楊皓宇、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正(2020)。「混合車流路口道路與交通工程設計範例(3/4)-非號誌化路口」。交通部運輸研究所。
- 許添本、王義川、李明聰(1999)。「機車專用道之交通安全分析 — 事前與事後之比較研究」。八十八年道路交通安全與執法研討會。
- 許添本、溫谷琳、張哲寧、陳俊嘉、林瑩潔、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正(2018)。「混合車流路口道路與交通工程設計範例(1/4)」。
- 許添本、溫谷琳、郭于鴻、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正(2018)。「混合車流情境之機車交通安全工程設計方法研究驗證與推廣」。交通部運輸研究所。
- 許添本、溫谷琳、蔡牧融、楊皓宇、吳崧權、張開國、葉祖宏、賴靜慧、孔垂昌、黃明正 (2021)。「事故型態導向之路口交通工程設計範例參考手冊」。交通部運輸研究所。
- 曾平毅、張瓊文、張倩宜 (2008)。「衝突左轉車道之停等車紓解行為分析」。都市交通半年刊，第二十三卷，第一期，34-47 頁。
- 李紹輔(2022)。「混合車流下號誌化路口潛在追尾衝突之影響因素」。國立陽明交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- 林祐慈(2022)。「都市路口交通衝突可能成因之探討：以機會左轉為例」。國立陽明交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- 黃衣淳(2020)。「號誌化 T 字路口機車左轉專用道設置成效分析之研究」。中央警察大學交通管理研究所，碩士論文。
- 溫基信、王宏生、黃家耀、蘇志文、周業凱、楊植竣、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正(2020)。「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」。交通部運輸研究所。
- 溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、周業凱、彭千純、張開國、葉祖宏、賴靜慧、孔垂昌(2021)。「路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較」。交通部運輸研究所。

- 溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、葉祖宏、賴靜慧、黃明正(2022)。以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(1/3)-建立分年測試計畫。交通部運輸研究所。
- 溫基信、王宏生、蘇志文、黃家耀、蔡洛緯、周業凱、張開國、葉祖宏、林樹德、孔垂昌(2019)。道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用。交通部運輸研究所。
- 黎俊彬 (2005)。「號誌平面化交岔路口對向直行左專車輛安全通行之研究」。國立交通大學運輸科技與管理學系，碩士論文。
- 蘇逸軒與胡守任(2023)。「以接受間距探討混合車流下非號誌化路口之交通衝突」。中華民國運輸學會 112 年學術論文研討會，臺北市。
- 3D MOT 2015 Results (2022).
https://motchallenge.net/results/3D_MOT_2015/#metrics
- A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos and B. Upcroft (2016). "Simple online and realtime tracking." IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.3464-3468.
- A. Bochkovskiy, C. Y. Wang, and H. Y. M. Liao (2020). "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection." arXiv: 2004.10934.
- A. Newell, K. Yang, and J. Deng (2016). "Stacked hourglass networks for human pose estimation." in Proc. Eur. Conf. Comput. Vis., vol. 9912 LNCS, pp. 483–499. doi: 10.1007/978-3-319-46484-8_29.
- A. Paszke et al. (2019). "PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library." in Proc. 33rd Int. Conf. Neural Inf. Process. Syst., no. 721, pp. 8026-8037.
- A. Tarko, G. Davis, N. Saunier et al. (2009). "White paper: surrogate measures of safety." in Committee on Safety Data Evaluation and Analysis (ANB20).
- Alhajyaseen, W. K. (2014). The development of conflict index for the safety assessment of intersections considering crash probability and severity. *Procedia Computer Science*, 32, 364-371.
- Amini, R. E., Yang, K., & Antoniou, C. (2022). Development of a conflict risk evaluation model to assess pedestrian safety in interaction with vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 175, 106773.
- Amundson, F. and Hyden, C (1977). Proceedings of first workshop on traffic conflicts. Institute of Economics, Oslo.
- Andrew S. Alden, Cristian Druta, Hyoshin John Park (2020). "Developing a Plan for Using Unmanned Aerial Vehicles for Traffic Operations Applications in Virginia." FHWA/VTRC 22-R24.
- Arun, A., Haque, M. M., Bhaskar, A., Washington, S., & Sayed, T. (2021). A systematic mapping review of surrogate safety assessment using traffic conflict techniques. *Accident Analysis & Prevention*, 153, 106016.
- B. Xu, G. Jiang, J. Liu, X. Wang, and P. Yu (2021). "Aircraft Rotated Boxes Detection Method Based on YOLOv5." 4th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI).

- Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded Up Robust Features. ECCV 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 3951. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11744023_32
- Beirlant, J., Teugels, J. L., & Vynckier, P. (1996). Practical analysis of extreme values. Leuven, Belgium: Leuven University Press.
- C. Li et al. (2020). "Object detection based on global-local saliency constraint in aerial images." *Remote Sens.*, vol. 12, no. 9, pp. 1–22, doi: 10.3390/RS12091435.
- C. Li, C. Xu, Z. Cui, D. Wang, T. Zhang, and J. Yang (2019), "Feature-Attentioned Object Detection in Remote Sensing Imagery," *IEEE Int. Conf. Image Process.*, pp. 3886–3890, doi: 10.1109/ICIP.2019.8803521.
- C. Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H. Y. M. Liao (2021). "Scaled-YOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network." *IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, Nashville, TN, USA, pp. 13024-13033, doi: 10.1109/CVPR46437.2021.01283.
- C. Y. Wang, H. Y. M. Liao, I. H. Yeh, Y. H. Wu, P. Y. Chen, and J. W. Hsieh (2020). "CSPNet: A New Backbone that can Enhance Learning Capability of CNN." *IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Workshops*, Seattle, WA, USA, pp. 1571-1580, doi: 10.1109/CVPRW50498.2020.00203.
- C.Y. Wang, H.Y. M. Liao, Y.H. Wu, P.Y. Chen, J.W. Hsieh, I.H. Yeh (2020), "CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of cnn," *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW) on "Low power computer vision"*.
- Chen, P., Zheng, W., Yu, G., and Wang, Y (2017). Surrogate Safety Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflict at Intersections Using Unmanned Aerial Vehicle Videos. *Journal of Advanced Transportation*.
- Coles, S. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. London, UK: SpringerVerlag.
- Cooper, P. J. (1984) Experience with Traffic Conflicts in Canada with Emphasis on "Post Encroachment Time" Techniques, *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques*. pp 75-96.
- Cynecki, M. J. (1980). Development of a conflicts analysis technique for pedestrian crossings. *Transportation Research Record*, 743, 12-20.
- Deidda, R. (2010). A multiple threshold method for fitting the generalized Pareto distribution to rainfall time series. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 4957–4994.
- Dinakar, S. and Muttart, J., (2019) "Driver Behavior in Left Turn across Path from Opposite Direction Crash and near Crash Events from SHRP2 Naturalistic Driving," *SAE Technical Paper 2019-01-0414*
- E. Sacchi, and T. Sayed (2013), "A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluations: The case of right-turn smart channels," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 59, pp. 260-266.

- Embrechts, P., Kluppelberg, C., & Mikosch, T. (1997). *Modelling extremal events: for insurance and finance*. Berlin, Germany: Springer.
- Essa, M., & Sayed, T. (2018). Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 289-302.
- F. Amundsen, and C. Hyden (1977), The Swedish traffic conflict technique. In *Proceedings of First Workshop on Traffic Conflicts*, Institute of Transport Economics, Oslo.
- F. Yang, W. Li, H. Hu, W. Li, and P. Wang (2020), "Multi-scale feature integrated attention-based rotation network for object detection in VHR aerial images," *Sensors*, vol. 20, no. 6, doi: 10.3390/s20061686.
- F. Yu, D. Wang, E. Shelhamer, and T. Darrell (2018), "Deep Layer Aggregation," *IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, 2018, pp. 2403–2412. doi: 10.1109/CVPR.00255.
- F. Zou et al. (2020), "Arbitrary-oriented object detection via dense feature fusion and attention model for remote sensing super-resolution image," *Neural Comput. Appl.*, vol. 32, no. 18, pp. 14549–14562, doi: 10.1007/S00521-020-04893-9.
- Federal Highway Administration, *Intersection Safety* (2021). <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/> (Accessed on 16 Nov 2021)
- FHWA, U (1989). *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Observer's Manual*.
- G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis (2008), "Parametric Image Alignment using Enhanced Correlation Coefficient Maximization." *IEEE Transaction on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 10, pp. 1858-1865.
- G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis (2008), "Projective Image Alignment by using ECC Maximization," in *Proc. Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISSAP)*.
- G. S. Xia et al. (2018), "DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 3974–3983. doi: 10.1109/CVPR.2018.00418.
- G. Zhang, S. Lu, and W. Zhang (2019), "CAD-net: A context-aware detection network for objects in remote sensing imagery," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 57, no. 12, pp. 10015–10024, doi: 10.1109/TGRS.2019.2930982.
- Gettman, D. and Head, L. (2003) *Surrogate safety measures from traffic simulation models*. Federal Highway Administration, Technical report FHWA-RD-03050.
- Gettman, D., Pu, L., Sayed, T. and Shelby, S. (2008) *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report*, Federal Highway Administration, Technical report FHWA-HRT-08-051.
- Guo, Y., Essa, M., Sayed, T., Haque, M. M., & Washington, S. (2019). A comparison between simulated and field-measured conflicts for safety assessment of

- signalized intersections in Australia. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 101, 96-110.
- H. Guan, X. Lei, Y. Yu, H. Zhao, D. Peng, Jr. J. Marcato, J. Li (2022), "Road marking extraction in UAV imagery using attentive capsule feature pyramid network," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 107: 102677
- H. W. Kuhn (1955), "The Hungarian Method for the assignment problem," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.2, pp. 83-97.
- H. Wei, Y. Zhang, Z. Chang, H. Li, H. Wang, and X. Sun (2020), "Oriented objects as pairs of middle lines," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 169, pp. 268–279, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.09.022.
- Hill, B. M. (1975). A simple general approach to inference about the tail of a distribution. *Annals of Statistics*, 3(5), 1163–1174.
- Hill, G., Heidrich, O., Creutzig, F., & Blythe, P. (2019). The role of electric vehicles in near-term mitigation pathways and achieving the UK's carbon budget. *Applied Energy*, 251, 113111.
- Hsu, T.-P., & Wen, K.-L. (2019). "Effect of novel divergence markings on conflict prevention regarding motorcycle-involved right turn accidents of mixed traffic flow. " , *Journal of Safety Research*, 69, pp.167–176. doi:10.1016/j.jsr.2019.03.003
https://motchallenge.net/results/3D_MOT_2015/#metrics
- Huang, F., Liu, P., Yu, H. and Wang W (2013). Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 50, pp.1014-1024.
- Hydén, C. (1987) *The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique*. Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- Ismail, K., T. Sayed, N. Saunier, and C. Lim (2009). Automated Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflicts Using Video Data. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2140, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 44–54.
- J. Dai, Y. Li, K. He, and J. Sun (2016), "R-FCN: Object detection via region-based fully convolutional networks," in *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 379–387.
- J. Ding, N. Xue, Y. Long, G. S. Xia, and Q. Lu (2019), "Learning roi transformer for oriented object detection in aerial images," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, 2019, pp. 2844–2853, doi: 10.1109/CVPR.2019.00296.
- J. Lu, T. Li, J. Ma, Z. Li, and H. Jia (2020), "SAR: Single-stage anchor-free rotating object detection," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 205902–205912, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037350.

- J. Ma et al. (2018), "Arbitrary-oriented scene text detection via rotation proposals," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 20, no. 11, pp. 3111–3122, doi: 10.1109/TMM.2018.2818020.
- J. Ma, W. Shao, H. Ye, L. Wang, H. Wang, Y. Zheng, and X. Xue (2018), "Arbitrary-Oriented Scene Text Detection via Rotation Proposals," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 11, pp. 3111-3122.
- J. Redmon and A. Farhadi (2017), "YOLO9000: Better, faster, stronger," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 6517–6525, doi: 10.1109/CVPR.2017.690.
- J. Redmon and A. Farhadi (2018), "YOLOv3: An Incremental Improvement," arXiv: 1804.02767.
- J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi (2016), "You only look once: Unified, real-time object detection," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 779–788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- J. Wang, J. Ding, H. Guo, W. Cheng, T. Pan, and W. Yang (2019), "Mask OBB: A semantic attention-based mask oriented bounding box representation for multi-category object detection in aerial images," *Remote Sens.*, vol. 11, no. 24, doi: 10.3390/rs11242930.
- J. Wang, W. Yang, H. C. Li, H. Zhang, and G. S. Xia (2021), "Learning Center Probability Map for Detecting Objects in Aerial Images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 59, no. 5, pp. 4307–4323, doi: 10.1109/TGRS.2020.3010051.
- J. Yi, P. Wu, B. Liu, Q. Huang, H. Qu, and D. Metaxas (2021), "Oriented object detection in aerial images with box boundary-aware vectors," in *Proc. IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis.*, pp. 2149–2158. doi: 10.1109/WACV48630.2021.00220.
- Jiang, X., Zhang, G., Bai, W. and Fan, W. (2016) Safety evaluation of signalized intersections with left-turn waiting area in China. *Accident Analysis & Prevention*, 95B, 461-469.
- Jiang, X., Zhang, G., Zhou, Y., Xia, L. and He, Z. (2017) Safety assessment of signalized intersections with through-movement waiting area in China. *Safety Science*, 95, 28-37.
- Johnsson, Carl, Laureshyn, Aliaksei & De Ceunynck, Tim (2018): In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators, *Transport Reviews*, DOI: 10.1080/01441647.2018.1442888.
- Juan R. Terven and Diana M. Cordova-Esparaza, "A COMPREHENSIVE REVIEW OF YOLO: FROM YOLOV1 TO YOLOV8 AND BEYOND," DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.09972>.
- K. Fu, Z. Chang, Y. Zhang, G. Xu, K. Zhang, and X. Sun (2020), "Rotation-aware and multi-scale convolutional neural network for object detection in remote sensing images," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 161, pp. 294–308, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.01.025.

- Kathuria, A., & Vedagiri, P. (2020). Evaluating pedestrian vehicle interaction dynamics at un-signalized intersections: A proactive approach for safety analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 134.
- L. Fang, T. Sun, S. Wang, H. Fan, J. Li (2022), "A graph attention network for road marking classification from mobile LiDAR point clouds," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108: 102735
- L. Hou, K. Lu, J. Xue, and L. Hao (2020), "Cascade detector with feature fusion for arbitrary-oriented objects in remote sensing images," in *Proc. IEEE Int. Conf. Multimed. Expo*, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICME46284.2020.9102807.
- L. Zhou, H. Wei, H. Li, W. Zhao, Y. I. Zhang, and Y. Zhang (2020), "Object Detection for Remote Sensing Images Based on Polar Coordinates," arXiv: 2001.02988. doi: 10.1109/ACCESS.2017.DOI.
- Laureshyn, A. and Varhelyi, A. (2018) *The Swedish Traffic Conflict Technique - Observer's manual. The Swedish Traffic Conflict Technique – Manual v. 1.0.*
- Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å., & Daniels, S. (2017). In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 46–56. doi:10.1016/j.aap.2016.09.026.
- Laureshyn, A., Svensson, Å . and Hydén C (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42, Issue 6, pp.1637-1646.
- Lin, T.-H. and Su, C.-W. (2022), "Oriented Vehicle Detection in Aerial Images Based on YOLOv4," *Sensors* , vol.22 , pp.0-0.
- Lord, D. (1996). Analysis of pedestrian conflicts with left-turning traffic. *Transportation Research Record*, 1538(1), 61-67.
- M. Liao, B. Shi, and X. Bai (2018), "TextBoxes ++ : A Single-Shot Oriented Scene Text Detector," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 27, no. 8, pp. 3676–3690, doi: 10.1109/TIP.2018.2825107.
- M. Liao, Z. Zhu, B. Shi, G. S. Xia, and X. Bai (2018), "Rotation-Sensitive Regression for Oriented Scene Text Detection," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 5909–5918, doi: 10.1109/CVPR.2018.00619.
- Mahmud S.M.S, Ferreira, L., Shamsul Hoque, MD. And Tavassoli, A (2018). Reviewing traffic conflict technqieus for potential application to developing countries. *Journal of Engineering Science and Technology*. 13(6), pp.1869-1890.
- Manan, M. M. A. (2014). Motorcycles entering from access points and merging with traffic on primary roads in Malaysia: Behavioral and road environment influence on the occurrence of traffic conflicts. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 301-313.
- Max Bareiss , Hampton C. Gabler & Rini Sherony (2020) Considering real-world sightline obstructions in crash and injury prevention estimates for left turn across

- path/opposite direction intersection active safety systems, *Traffic Injury Prevention*. DOI: 10.1080/15389588.2020.1811858.
- Max Bareiss, John Scanlon, Rini Sherony & Hampton C. Gabler (2019) Crash and injury prevention estimates for intersection driver assistance systems in left turn across path/opposite direction crashes in the United States, *Traffic Injury Prevention*, 20.
- McGehee, N. G., Kim, K., & Jennings, G. R. (2007). Gender and motivation for agri-tourism entrepreneurship. *Tourism Management*, 28(1), 280-289.
- Mishra, A., Chen, K., Poddar, S., Posadas, E., Rangarajan, A., & Ranka, S. (2022). Using Video Analytics to Improve Traffic Intersection Safety and Performance. *Vehicles*, 4(4), 1288-1313.
- Mohamed Gomaa Mohamed & Nicolas Saunier (2018) The impact of motion prediction methods on surrogate safety analysis: A case study of left-turn and opposite-direction interactions at a signalized intersection in Montreal, *Journal of Transportation Safety & Security*, 10:4, 265-287
- N. Wojke, A. Bewley and D. Paulus (2017), "Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 3645-3649. # 2.1.2
- Oh, J., Kim, E., Kim, M., & Choo, S. (2010). Development of conflict techniques for left-turn and cross-traffic at protected left-turn signalized intersections. *Safety Science*, 48(4), 460-468.
- Orsini, F., Gecchele, G., Rossi, R., & Gastaldi, M. (2021). A conflict-based approach for real-time road safety analysis: Comparative evaluation with crash-based models. *Accident Analysis & Prevention*, 161, 106382.
- P. Feng, Y. Lin, J. Guan, G. He, H. Shi, and J. Chambers (2020), "TOSO : Student's-T Distribution Aided One-Stage Orientation Target Detection in Remote Sensing Images," *ICASSP 2020 - 2020 IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process*, pp. 4057-4061, doi: 10.1109/ICASSP40776.2020.9053562.
- Parker, M. R. and Zegeer, C. V (1989). *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations - Observer's Manual*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Technical report FHWA-IP-88-027.
- Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt, Benjamin E. Wilkinson (2014) *Elements of Photogrammetry With Applications in GIS*, McGraw-Hill Education. pp.133-134.
- Paul, M., & Ghosh, I. (2020). Post encroachment time threshold identification for right-turn related crashes at unsignalized intersections on intercity highways under mixed traffic. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27(2), 121-135.
- Peesapati, L. N., Hunter, M. P., & Rodgers, M. O. (2013). Evaluation of postencroachment time as surrogate for opposing left-turn crashes. *Transportation Research Record*, 2386(1), 42-51.

- Perez, M. A., Sudweeks, J. D., Sears, E., Antin, J., Lee, S., Hankey, J. M., & Dingus, T. A. (2017). Performance of basic kinematic thresholds in the identification of crash and near-crash events within naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 103, 10-19.
- Perkins, S.R. and Harris, J.L (1967). "Criteria for traffic conflicts characteristics." Report GRM 632. General Motors Corporation.
- Pernía, J. C., Lu, J. J., Xie, X., Weng, M., & Snyder, D. (2002). Effects of signalization on intersection crashes. In *Traffic And Transportation Studies (2002)* (pp. 1031-1038).
- Poch, M., & Mannering, F. (1996). Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105-113.
- R. Girshick, "Fast R-CNN," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, 2015, pp. 1440–1448. doi: 10.1109/ICCV.2015.169.
- R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik (2014), "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 580–587, doi: 10.1109/CVPR.2014.81.
- S. M. Azimi, E. Vig, R. Bahmanyar, M. Körner, and P. Reinartz (2018), "Towards Multi-class Object Detection in Unconstrained Remote Sensing Imagery," in *Proc. Asian Conf. Comput. Vis.*, pp. 150–165, doi: 10.1007/978-3-030-20893-6_10.
- S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun (2017), "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 39, no. 6, pp. 1137–1149, doi: 10.1109/TPAMI.2016.2577031.
- S. Xie, R. Girshick, P. Dollár, Z. Tu, and K. He (2017), "Aggregated Residual Transformations for Deep Neural Networks," *IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 5987–5995, doi: 10.1109/CVPR.2017.634.
- Shao-Fu Li, Shou-Ren Hu (2024). Thresholds and Contributing Factors for Rear-End Traffic Conflicts at Signalized Intersections under Mixed Traffic Flow Conditions. Accepted for presentation at the 103rd Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB 2024), January 7-11, 2024, Washington, D.C., U.S.A.
- SSAM (2017), Version 3.0 Open Source Surrogate Safety Assessment Model, Enhancement and Update. Federal Highway Administration, USDOT. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/17027/17027.pdf>
- Stylianou, K., & Dimitriou, L. (2018). Analysis of Rear-End Conflicts in Urban Networks using Bayesian Networks. *Transportation Research Record*, 2672(38), 302-312. doi:10.1177/0361198118790843
- T. Y. Lin et al. (2014), "Microsoft COCO: Common objects in context," in *Proc. Eur. Conf. Comput. Vis.*, vol. 8693 LNCS, pp. 740–755, doi: 10.1007/978-3-319-10602-1_48.
- T. Y. Lin, P. Dollár, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, and S. Belongie (2017), "Feature Pyramid Networks for Object Detection," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recongit.*, pp. 2117-2125, doi: 10.48550/arxiv.1612.03144.

- T. Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, and P. Dollar (2020), "Focal Loss for Dense Object Detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 42, no. 2, pp. 318–327, doi: 10.1109/TPAMI.2018.2858826.
- Tageldin, A., & Sayed, T. (2016). Developing evasive action-based indicators for identifying pedestrian conflicts in lessorganized traffic environments. *Journal of Advanced Transportation*, 50(6), 1193-1208.
- Tageldin, A., Sayed, T. and Wang, X. (2015), Can Time Proximity Measures Be Used as Safety Indicators in All Driving Cultures *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2520:165-174.
- Tarko, A.P. (2020) *Measuring Road Safety with Surrogate Events*. Elsevier.
- Thompson, Mary, Kwon, Oh, and Ju Park, Min (2009), "The Application of Axiomatic Design Theory and Conflict Techniques for the Design of Intersections: Part 1", *The Fifth Internal conference on Axiomatic Design*.
- Thompson, P., Cai, Y., Reeve, D., & Stander, J. (2009). Automated threshold selection methods for extreme wave analysis. *Coastal Engineering*, 56(10), 1013–1021.
- van der Horst, A. R., de Goede, M., de Hair-Buijssen, S., & Methorst, R. (2014). Traffic conflicts on bicycle paths: a systematic observation of behaviour from video. *Accid AnalPrev*, 62, 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.04.005>.
- Vasconcelos, L., Neto, L., Seco, Á. M., & Silva, A. B. (2014), "Validation of the surrogate safety assessment model for assessment of intersection safety," *Transportation Research Record*, 2432(1), pp.1-9.
- Vogel, K. (2003). A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 427-433.
- W. Liu et al. (2016), "SSD: Single shot multibox detector," in *Proc. Eur. Conf. Comput. Vis.*, vol. 9905 LNCS, pp. 21–37, doi: 10.1007/978-3-319-46448-0_2.
- W. Qian, X. Yang, S. Peng, Y. Guo, and J. Yan (2021), "Learning Modulated Loss for Rotated Object Detection," in *Proc. AAAI Conf. Artif. Intell.*, vol. 35, no. 3, pp. 2458-2466.
- Wang, C., Sun, Q., Fu, R., Li, Z., & Zhang, Q. (2018). Lane change warning threshold based on driver perception characteristics. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 164-174.
- Wang, X., & Abdel-Aty, M. (2008). Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), 1674-1682.
- Wu, J., Xu, H., Zheng, Y., & Tian, Z. (2018). A novel method of vehicle-pedestrian near-crash identification with roadside LiDAR data. *Accident Analysis and Prevention*, 121, 238–249.
- X. Pan et al. (2020), "Dynamic refinement network for oriented and densely packed object detection," in *Proc. IEEE/CVF Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 11204–11213. doi: 10.1109/CVPR42600.2020.01122.

- X. Yang and J. Yan (2020), “Arbitrary-Oriented Object Detection with Circular Smooth Label,” in Proc. Eur. Conf. Comput. Vis., vol. 12353 LNCS, pp. 677–694. doi: 10.1007/978-3-030-58598-3_40.
- X. Yang et al. (2018), “Automatic Ship Detection in Remote Sensing Images from Google Earth of Complex Scenes Based on Multiscale Rotation Dense Feature Pyramid Networks,” Remote Sens., vol 10, No 1.
- X. Yang et al. (2019), “SCRDet: Towards more robust detection for small, cluttered and rotated objects,” in Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis., pp. 8231–8240, doi: 10.1109/ICCV.2019.00832.
- X. Yang, J. Yan, and T. He (2022), “On the Arbitrary-Oriented Object Detection: Classification based Approaches Revisited,” Int. J. Comput. Vis., doi: 10.1007/s11263-022-01593-w
- X. Yang, J. Yang, J. Yan, Y. Zhang, T. Zhang, Z. Guo, X. Sun, and K. Fu (2019), “SCRDet: Towards More Robust Detection for Small, Cluttered and Rotated Objects,” International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.8231-8240.
- X. Yang, Q. Liu, J. Yan, A. Li, Z. Zhang, and G. Yu (2021), “R3Det: Refined Single-Stage Detector with Feature Refinement for Rotating Object,” in Proc. AAAI Conf. Artif. Intell., vol. 35, no. 4, pp. 3163-3171.
- Y. Chen, J. Li, H. Xiao, X. Jin, S. Yan, and J. Feng (2017), “Dual path networks,” in Proc. 31st Int. Conf. Adv. Neural Inf. Process. Syst., pp. 4470–4478.
- Y. Jiang et al. (2017), “R2CNN: Rotational Region CNN for Orientation Robust Scene Text Detection,” arXiv: 1706.09579.
- Y. Jiang, X. Zhu, X. Wang, S. Yang, W. Li, H. Wang, P. Fu, and Z. Luo (2018), “R2 CNN: Rotational Region CNN for Arbitrarily-Oriented Scene Text Detection,” International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp.3610-3615.
- Y. Li, Q. Huang, X. Pei, L. Jiao, and R. Shang (2020), “RADet: Refine Feature Pyramid Network and Multi-Layer Attention Network for Arbitrary-Oriented Object Detection of Remote Sensing Images,” Remote Sens., vol. 12, no. 3, doi: 10.3390/RS12030389.
- Y. Lin, P. Feng, J. Guan, W. Wang, and J. Chambers (2019), “IENet: Interacting Embranchment One Stage Anchor Free Detector for Orientation Aerial Object Detection,” arXiv: 1912.00969.
- Y. Liu, S. Zhang, L. Jin, L. Xie, Y. Wu, and Z. Wang (2019), “Omnidirectional scene text detection with sequential-free box discretization,” IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell., pp. 3052–3058, doi: 10.24963/ijcai.2019/423.
- Y. Wang, Y. Zhang, Y. Zhang, L. Zhao, X. Sun, and Z. Guo (2019), “SARD: Towards Scale-Aware Rotated Object Detection in Aerial Imagery,” IEEE Access, vol. 7, pp. 173855–173865, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2956569.
- Y. Xu et al. (2021), “Gliding Vertex on the Horizontal Bounding Box for Multi-Oriented Object Detection,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 43, no. 4, pp. 1452–1459, doi: 10.1109/TPAMI.2020.2974745.

- Y. Zhu, J. Du, and X. Wu (2020), "Adaptive Period Embedding for Representing Oriented Objects in Aerial Images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 58, no. 10, pp. 7247–7257, doi: 10.1109/TGRS.2020.2981203.
- Yang, X., Yang, J., Yan, J., Zhang, Y., Zhang, T., Guo, Z., Sun, X. and Fu, K. (2019), SCRDet: Towards More Robust Detection for Small, Cluttered and Rotated Objects, *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp.8231-8240.
- YOLOv8.
- Yu-Tzu Lin, Yi-Xuan Su, Shou-Ren Hu (2023). Factors for opportunity left-turn traffic conflicts at urban signalized intersections. *Proceedings of the 15th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS 2023)*, September 4-7, 2023, Shah Alam, Malaysia.
- Z Tian, W Huang, T He, P He, and Y Qiao (2016), "Detecting text in natural image with connectionist text proposal network," *European conference on computer vision (ECCV)*, pp.56-72.
- Z. Chen et al. (2020), "PIoU Loss: Towards Accurate Oriented Object Detection in Complex Environments," in *Proc. Eur. Conf. Comput. Vis.*, pp.195-211.
- Z. Liu, H. Wang, L. Weng, and Y. Yang (2016), "Ship Rotated Bounding Box Space for Ship Extraction from High-Resolution Optical Satellite Images with Complex Backgrounds," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 13, no. 8, pp. 1074–1078, doi: 10.1109/LGRS.2016.2565705.
- Z. Liu, L. Yuan, L. Weng, and Y. Yang (2017), "A High Resolution Optical Satellite Image Dataset for Ship Recognition and Some New Baselines," in *Proc. 6th Int. Conf. Pattern Recognit. Appl. Methods*, pp. 324-331, doi: 10.5220/0006120603240331.
- Z. Xiao, L. Qian, W. Shao, X. Tan, and K. Wang (2020), "Axis learning for orientated objects detection in aerial images," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 6, doi: 10.3390/rs12060908.
- Z. Zhang, W. Guo, S. Zhu, and W. Yu (2018), "Toward Arbitrary-Oriented Ship Detection With Rotated Region Proposal and Discrimination Networks," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 15, no. 11, pp. 1745–1749, doi: 10.1109/LGRS.2018.2856921.
- Zhang, S., Abdel-Aty, M., Wu, Y., & Zheng, O. (2020). Modeling pedestrians' near-accident events at signalized intersections using gated recurrent unit (GRU). *Accident Analysis and Prevention*, 148.
- Zhang, X., Liu, P., Chen, Y., Bai, L., & Wang, W. (2014). Modeling the frequency of opposing left-turn conflicts at signalized intersections using generalized linear regression models. *Traffic Injury Prevention*, 15(6), 645- 651.
- Zheng, L., & Sayed, T. (2019a). From univariate to bivariate extreme value models: approaches to integrate traffic conflict indicators for crash estimation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 211-225.

- Zheng, L., Ismail, K. and Meng, X (2014). Traffic conflict techniques for road safety analysis: open questions and some insights. *Can. J. Civ. Eng.* 41: 633–641.
- Zheng, L., Ismail, K., & Meng, X. (2015). Evaluation of peak over threshold approach for road safety estimation. *Journal of Transportation Safety & Security*, 7(1), 76-90.
- Zheng, L., Ismail, K., & Meng, X. (2016). Investigating the heterogeneity of postencroachment time thresholds determined by peak over threshold approach. *Transportation Research Record*, 2601(1), 17-23.

附錄 A. 今(112)年計畫工作項目執行狀況一覽表

項次	需求功能	執行狀況
1	檢視並確認無人機探勘道路交通流動資訊之交通安全應用情境	-
(1)	持續蒐集國內外使用無人機於空拍道路交通流動資料之應用與研究文獻，並視需要諮詢專家或召開座談會，檢視及調整 111 年研究計畫之交通安全應用情境清單及 112 年分年先導測試計畫優先順序。	請見於報告書第 2 章。
(2)	依據前項先導測試計畫優先順序，擬訂本(112)年度之先導測試計畫至少 2 項(包含機會左轉進階分析及人車衝突，涉及複雜路口之交通衝突課題)，其內容包括測試與分析方法、測試設備(無人機機種、路側設備等)、測試場域(包含道路類型及數量)、無人機飛行趟次、拍攝影片之選擇時段及總時長等，並執行測試，藉由分析測試資料評估及確認相關技術成熟度與限制。	請見於報告書第 6 章。
(3)	透過前項先導測試計畫，除分析該交通衝突課題之特性外，並綜整此類交通衝突之判斷原則，以供後續實務單位分析此類交通衝突之參考及應用。	請見於報告書第 6 章。
(4)	歸納歷年先導測試計畫之設計與執行經驗，針對無法於本計畫完成技術成熟度與限制確認的交通安全應用情境，研提通案性之測試與分析方法的重要訂定項目。	請見於報告書第 6 章。
(5)	確立並研提無人機探勘道路交通流動資訊之交通安全應用情境清單，包括每項應用情境之相關技術的成熟度與限制說明。	請見於報告書第 6 章。
2	持續研發及優化「交通衝突分析軟體」，再與道路管養機關合作(原則不與 110-111 年合作機關重複)，運用本分析軟體協助其分析至少 4 個路口交通衝突情形，以驗證本分析軟體相關功能之可行性、操作性及正確性。協調合作之道路管養機關優先選擇年度易肇事地點改善計畫之地點，就本計畫提供之交通衝突分析資料，參考交通工程設計範例進行相關交通工程改善，或提供所轄其它已改善之類似路口，以做為本計畫比較分析改善前後之交通衝突變化情形。此外，檢視修訂 111 年修訂之分析軟	請見於報告書第 7 章、附錄-成果說明暨教育訓練、附錄-成果說明暨教育訓練成效說明。

	體之操作手冊及無人機空拍影像作業流程，並辦理教育訓練，且訓練後辦理滿意度調查分析(含性別統計分析)。	
3	依據 111 年所建議修正之交通衝突分析軟體推廣應用模式及前項合作結果進行推廣應用，並依 111 年修訂後之相關評量指標評估推廣效果，以研提後續推廣應用模式及評量指標之改善建議。	請見於報告書第 8 章。
4	針對計畫重要成果，製作海報及影片電子檔。	請見於附錄-成果說明暨教育訓練
5	累積 110-112 年計畫執行成果及與道路管養機關合作經驗，辦理 110-112 年成果說明會。	請見於附錄-成果說明暨教育訓練
6	將本年研究/計畫成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊或學術研討會。	遵照辦理
7	綜整摘要說明 110-112 年各年度階段性成果。	請見於報告書第 2.4 節。
8	去(111)年度計畫期末審查意見之回應處理情形表中，涉及 112 年計畫之建議意見整理如附件 2，請納入本(112)年度工作項目。	請見於報告書第 8 章。

附錄 B. 112 年度無人機規格

本(112)年度以 Autel Robotics EVO II Pro 進行路口拍攝，提供無人機規格如下。

品項	規格
飛行器	<ul style="list-style-type: none"> ● 尺寸:508*634*111mm(含槳葉) ● 尺寸:258*368*111mm(無槳葉) ● 重量 (含電池及槳): 1191 克 ● 最大起飛重量: 2000 克 ● 軸距:397mm ● 最長飛行時間 40 分鐘 ● 最長懸停時間 35 分鐘 ● 最大上升速度: 每秒 8 公尺 ● 最大水平飛行速度: 每秒 20 公尺 ● 最大飛行海拔高度: 7000 公尺 ● 飛行時間: 約 40 分鐘 ● 最長懸停時間: 約 35 分鐘 ● 工作環境溫度: -10°C 至 40°C ● 最大抵抗風力 8 級
航拍相機	<ul style="list-style-type: none"> ● 裝置方式: 隨機附航拍攝影機 ● 影像感測器: 1 英吋 CMOS ● 光圈: f/2.8~f/11 ● ISO 範圍: 錄影:100~6400(自動) 照片:100~12800(自動) ● 視角:82 度 ● 相片最大解像度: 5472*3648(3:2) 5472*3076(16:9) 3840*2160(16:9) ● 錄影解析度: 4K UHD: 3840x2160 24/25/30/48/50/60fps FHD: 1920x1080 24/25/30/48/50/60/120/fps ● 影片存儲最大碼流: 120 Mbps ● 相片檔案格式: JPEG, DNG ● 影片檔案格式: MP4/MOV (H264/H265) ● 支援存儲卡類型: 標準 32GB 最高容量 256GB

品項	規格
	<ul style="list-style-type: none"> ● (UHS-3 rating required) MicroSD 卡
雲台	<ul style="list-style-type: none"> ● 穩定系統：三軸增穩 ● 可控轉動範圍：俯仰：- 90° to +30°
遙控器	<ul style="list-style-type: none"> ● 遙控裝置：手機 APP 操作 (Autel Explorer) ● 工作頻率:2.400Ghz 至 2.4835 ; 5.725Ghz 至 5.850 ● 訊號有效距離：5 公里(CE) ● 容量：5000mAh ● 工作電流/電壓：1.7A @ 3.7V
電池	<ul style="list-style-type: none"> ● 容量：7100mAh ● 電壓：11.55V ● 電池類型：LiPo 3S ● 最大充電功率：93W

附錄 C. 無人機空拍程序說明

無人機空拍程序透過實際場域執行下，逐步建立完整的 SOP，重點整理如下表 1：

表1 無人機空拍SOP重點

項次	項目名稱	重點說明
1	無人機作業可行性評估	<ol style="list-style-type: none"> 1. 評估路口幾何特性，包括人行天橋遮蔽、路樹遮蔽等問題。 2. 評估無人機飛行條件，如訊號干擾、禁限航區等問題。
2	選擇起降場地	<ol style="list-style-type: none"> 1. 選擇空曠之處做為起降場地，如距路口 3 公尺處且有 5 平方公尺空地。 2. 不影響行人動線並應於周遭放置警示牌。
3	飛行前號誌時相確認	<p>確認需要分析路段號誌時相是否一致，通常是在尖峰時間會轉換號誌時相，且並不會一次轉換完成，所以需要測量 3 次以上，直到循環時間一致後才可開始蒐集影像。</p>
4	飛行前檢查及路口資訊記錄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 飛行前 360 度檢查。 2. 至民航局管理系統進行飛航活動前登載。 3. 號誌時間記錄，飛行前後以無人機鏡頭拍攝電子鐘畫面，並以攝影機同時記錄該電子鐘及路口燈號變化，且須記錄號誌轉換至少兩次以上。 4. 如該路口主要分析行人衝突，則必須將所有方向的行人穿越道號誌錄製兩個週期的影片。
5	飛行參數設定	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依需求情境固定飛行高度(本(112)年多為 120 公尺)。 2. 設定拍攝解析度(本年為 6K/30fps)。
6	無人機起飛拍攝	<ol style="list-style-type: none"> 1. 飛行至路口中央位置，拍攝畫面以主要道路為橫向、次要道路為縱向，並盡量以北方為上。 2. 為利於號誌時間同步記錄，無人機起飛至降落須全程錄影，並於降落後再次拍攝電子鐘畫面後始可停止錄影。

項次	項目名稱	重點說明
7	飛行後檢查及場地復原	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無人機降落後須拍攝電子鐘畫面。 2. 飛行後 360 度檢查。 3. 至民航局管理系統進行飛航活動後登載。 4. 場地復原及移除警示牌。
8	路口號誌樣式及資訊紀錄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 記錄分析路口所有方向的號誌燈狀態，如圓形紅燈、圓形黃燈、圓形綠燈；圓形紅燈、圓形黃燈、左轉箭頭綠燈、圓形綠燈；圓形紅燈、圓形黃燈、左轉箭頭綠燈、直行箭頭綠燈、右轉箭頭綠燈。 2. 路口比例尺量測，建議以明顯標的物為量測目標。
9	完成路口影像蒐集	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依照路口編碼、架次、飛行高度、影片時間等進行影片名稱管理。 2. 將空拍影片、側錄影片、照片上傳至伺服器統一管理。

一、事前地點勘查與評估

空中領域並非想飛就能隨時起飛，執行任務前請務必先了解現場環境狀況，如勤務車輛停放處、無人機起落點、緊急迫降區、拍攝號誌時相地點、飛行路徑、外部環境評估等，說明如下：

(一)確認飛行路口：上網使用線上地圖，確認需要蒐集影像資料的路口。

(二)決定作業場地：

1. 使用線上地圖衛星圖層可以大致了解該路口的環境，請確認好東南西北方位。
2. 尋找空曠的起落區域，決定讓飛手、觀測手有足夠空間執行勤務地點。
3. 選擇空拍機起飛地點為較空曠之處(距路口 3 公尺處應有 5 平方公尺空地)，且不影響行人動線並應於周遭放置警示牌，用以提醒行人注意勿近。
4. 拍攝團隊所駕駛車輛請遵守規定勿違停，避免干擾現場正常人車流動狀況。

5. 建議將飛手、觀測手、工作人員規劃於同一區域作業，使飛手、觀測手、工作人員間可有效溝通，減短反應時間，減少占用道路面積。

(三)路口工作區確認

1. 選擇好工作區域，進一步利用網路地圖之街景功能，推演執行任務的順暢性，最重要的要規劃好無人機的飛行路徑。
2. 建議可讓無人機直線上升，然後移到路口中心點，避免斜飛碰撞到無預期之空中電線問題。

(四)路口細部確認

1. 利用線上地圖街景功能，詳細觀察有無其他可見的干擾影響飛行計畫，譬如玻璃大樓、電視台大型發射器、基地台等。
2. 以下圖為例，紅框所標記的兩棟大樓具備了玻璃大樓會造成 GPS 訊號無規律的反射外，大樓頂有大型發射器，潛在風險可藉由街景先行調查。

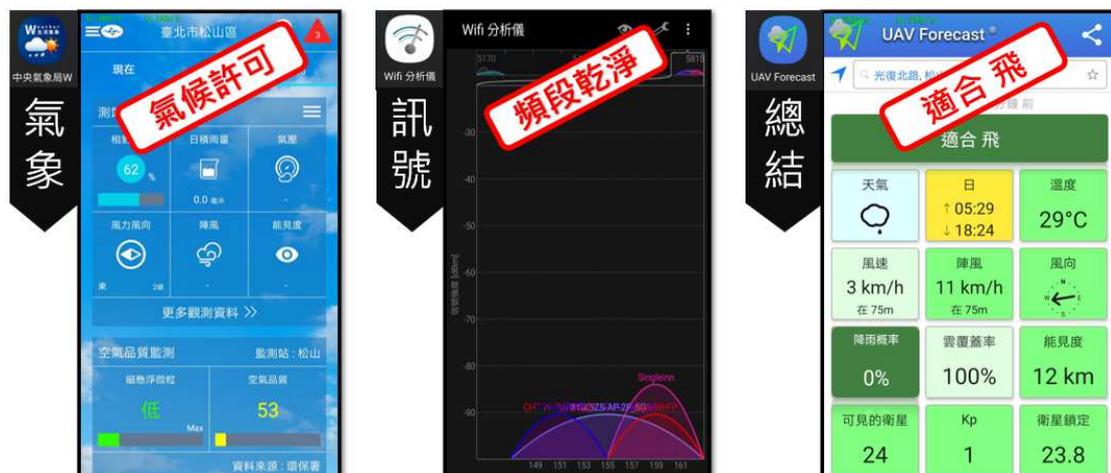


二、現場起飛前檢查：

現場執行任務，除需完善任務規劃外，到場執行任務時請再次確保任務順利完成，建議可使用簡單環境資料蒐集 APP，供飛行前做好風險控管。

(一) 周遭環境(氣象與訊號)檢查

1. 氣象檢查 APP：藉由中央氣象局所發布的 APP，名稱為「中央氣象局 W」，了解風力與風向，多少風力級別才能夠執行任務，取決於飛行器的抗風級數。了解無人機抗風級別的上限外，也需了解最大風速(km/h)為何，才不會造成無人機失控。風向可以來決定起飛時逆風、降落時順風來減緩無人機用電，也可確保低電量時能夠順利返航。
2. WiFi 訊號檢查 APP：市售無人機圖傳發射模組分 2.4GHz 和 5.8GHz 兩種，當中以 5.8GHz 為主流，建議可選擇 5.8GHz 頻道，所受干擾情況會較少。除了短距飛行選擇 5.8GHz 外，透過 WiFi 分析儀選擇使用通道最少的頻段，也能增加飛行中傳輸的穩定度並能有效提高飛行安全。
3. UAV Forecast APP：APP 簡潔明瞭地在掃描完定位地點資訊後在畫面最上方顯示「適合飛行」或「不適合飛」，可參考畫面中資訊，再確認是否能夠透過空拍機或飛手的技術來克服。此外針對不同高度的風速資訊，避免於高空風速誤判情形發生。



(二)民航局系統報到與報離：依照民航局制定的法規，執行人物前後需針對操作人員、使用的無人機、執行任務地點來做報到報離動作。

駕駛人員	無人機	起飛地點(緯度,經度)	報到時間 系統紀錄時間	報離時間 系統紀錄時間
1 葉志軒	B-AAA87019	223825.97,1202102.73	2021/08/25 07:31 2021/08/25 07:31	2021/08/25 09:03 2021/08/25 09:03

駕駛人員 **實際飛行設備** **執行任務地點** **開始執行時間 (報到時間)** **結束執行時間 (報離時間)**

(三)無人機機身檢查：現今販售的無人機開機時候會有自主的旋翼馬達、雲台、飛機 GPS 定位檢查，一旦檢查出錯會在操控面板有明確的錯誤訊息，在飛行前還需目視詳細檢查旋翼(葉片)是否有明顯的破損或變形、電池電量充足、無人機與遙控器連結完成，來確保飛行時無人機的安全。



三、執行起飛任務：

當無人機開始執行任務，就必須隨時保持警戒預防任何風險來干擾無人機的飛行，此時的飛手與觀測手必須時刻注意無人機與周遭環境可能帶來的風險，於危害造成前避免干擾之風險。

(一)起飛前確認

1. 請確認錄影模式與錄影畫質設定。
2. 請確認與開啟錄影並與電子鐘校時(與號誌時相同步需求)。
3. 校時完成後，由起降區域準備起飛。



(二)執行飛行任務：

1. 請飛手依照飛行計畫中的航線，在控制顯示器上確認無人機飛行高度到達任務高度，建議 75~120 公尺。
2. 移動到四面道路停等線與畫面邊緣保持最基本距離。
3. 開始定點蒐集人車行進的畫面。



15

(三) 蒐集過程注意事項：蒐集畫面的過程中，飛手請隨時注意顯示面板，確認以下數值。

1. 飛行速度：觀察上空陣風是否強過無人機的負荷，不同廠牌無人機顯示方式會不同，在操作無人機時必須了解顯示面板上的數值代表意義。
2. 飛行高度：維持在固定高度拍攝、蒐集畫面。
3. 飛行距離：飛手與無人機水平距離，可利用此數值參考無人機懸停與操作者水平距離。
4. 無人機與遙控器連接訊號強度：如果訊號不強，飛手可試著移動位置來檢視訊號最好的地方。
5. 無人機電池殘量：避免無人機系統自動判定低電量，造成控制權消失或無足夠電量返航，必須規劃安全電池電量內返航。
6. 無人機定位：訊號越好，對於無人機精密操控性更佳。
7. 確認更新錄影時間：錄影是否到達目標時間。



16

(四)飛機懸停注意事項：為確保分析路口畫面有效性，請將無人機穩定在一定點飛行，努力將無人機控制在所設想的錨點上，讓後續影像分析準確。

(五)觀測手注意事項：

1. 執行任務路口不一定都單純，觀測手必須隨時注意無人機與周遭動態。
2. 隨時注意飛手周遭交通動態，預防正在專心操控無人機的飛手遭受到意外，也要注意聆聽飛手是否有遇到緊急狀況，才可以隨時反應跟處理。
3. 畫面資料蒐集最佳時間為交通流量大的時間，在這交通的尖峰期，減少起落準備時間的唯一方法，是在飛手降落前先行預備好下一趟所需的電池與記憶卡，可縮短趟次間的準備時間。
4. 確保起落區域或緊急迫降區域是否空曠，以免造成意外，並記得需要讓無人機與號誌側拍攝影機完成校時作業。

四、降落-任務完成：

- 一、民航局系統進行飛航活動後登載，最後將場地復原，並移除警示牌。
- 二、記錄分析路口所有方向的號誌燈狀態，如圓形紅燈、圓形黃燈、圓形綠燈；圓形紅燈、圓形黃燈、左轉箭頭綠燈、圓形綠燈；圓形紅燈、圓形黃燈、左轉箭頭綠燈、直行箭頭綠燈、右轉箭頭綠燈。
- 三、路口比例尺量測，建議以明顯標的物為量測目標，比例尺的數量依照分析路口有幾個方向而定，例：十字路口有四向，就必須每個方向至少需要選定一個標的物進行量測。

附錄 D. 成果說明暨教育訓練

「以無人機空拍及 AI 影像辨識技術探討路口交通衝突」

研究成果說明暨教育訓練



- 一、活動時間：112 年 10 月 27 日(星期五) 10:00 至 15:00。
- 二、活動地點：交通部運輸研究所國際會議廳(臺北市松山區敦化北路 240 號地下 1 樓)。
- 三、主辦單位：交通部運輸研究所。
- 四、執行單位：訊力科技股份有限公司。
- 五、報名事宜：
 1. 報名網址：<https://forms.gle/d1MPyBbWbUiutmkEA>
 2. 報名人數：本活動採實體方式進行，報名人數限制為 80 人，上午為「成果說明」、下午為「教育訓練」課程。下午教育訓練課程，執行單位備有 10 台筆電，開放學員分兩梯次輪流上機操作(2 人共用 1 台)，每梯次 20 人，其餘學員觀摩旁聽。執行單位將於報名截止後，統一寄信通知報名成功之學員。
 3. 報名期限：112 年 10 月 25 日(星期三)下午 5 時。
 4. 費用：本活動免收報名費用。
 5. 學習時數：公務人員學習時數可分上午場 2 小時、下午場 2 小時，全程參加者可登錄終身學習時數 4 小時。
 6. 聯絡窗口：王宏生(電話:02-8226-2008 分機 1371)。
- 六、活動簡介：

本所與訊力科技股份有限公司合作進行跨領域專案研究計畫，於 107 年至 109 年間已完成路口交通衝突分析基礎研究，進行無人機空拍影像、AI 深度學習影像辨識、交通應用的整合實驗，除透過 AI 影像辨識將路口交通空拍影像，轉換為人車運動之軌跡檔，並建構一套分析軟體進行交通衝突分析，可協助分析路口

的交通衝突情形，且具備車流特性資料的蒐集與分析功能，已有階段性成果。

110 年至 112 年則辦理「以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試」3 年期計畫，透過 6 項先導測試計畫，持續發展及優化路口交通衝突分析技術。110 年與臺北市、高雄市合作「機會左轉」、「路口穿越衝突」兩項先導測試計畫，並分析臺北市、桃園市、臺南市共 4 處易肇事路口；111 年與新北市、臺中市及公路局合作「右轉衝突」、「非號誌化路口停讓衝突」兩項先導測試計畫，並分析基隆市、新竹縣、苗栗縣、彰化縣共 4 處易肇事路口；今(112)年則與桃園市、臺南市及公路局合作「機會左轉(進階分析)」、「人車衝突」兩項先導測試計畫，並分析宜蘭縣、桃園市、雲林縣共 4 處易肇事路口，透過與道路管理機關合作，驗證交通分析軟體功能之適用性，做為後續軟體改善之參考。

本所針對 112 年計畫成果舉辦成果說明與教育訓練，邀請道路管理機關與相關研究推廣單位，藉以瞭解無人機空拍作業程序、AI 影像辨識原理、分析軟體功能與操作程序等，期能於未來廣為應用於路口交通安全診斷及改善，以提升道路交通安全。每場次均會預留時間提供與會人員提問，以交流相關意見。

七、活動議程：

時 間	議 程
09:30 至 10:00	報到
10:00 至 10:10	主辦單位致詞 計畫簡介(溫基信計畫主持人)
10:10 至 10:15	系列成果影片

10:15 至 10:40	<p>成果說明(一)：</p> <p>「無人機交通路口衝突軟體應用」</p> <p>主講人：工業技術研究院資訊與通訊研究所 周業凱副組長</p>
10:40 至 11:00	茶敘休息時間
11:00 至 11:30	<p>成果說明(二)：</p> <p>「空拍影像車輛偵測之主要課題與發展方向」</p> <p>主講人：中原大學資訊工程學系 蘇志文教授</p>
11:30 至 12:00	<p>成果說明(三)：</p> <p>「無人機探勘人車流動資訊之交通安全分析方法」</p> <p>主講人：陽明交通大學運輸與物流管理學系 黃家耀教授</p>
12:00 至 12:10	Questions & Answers
12:10 至 13:00	午餐
13:00 至 13:50	<p>教育訓練課程(一)：</p> <p>「交通衝突分析軟體上機操作」(基本功能、易肇事路口情境)</p> <p>主講人：訊力科技研究團隊</p>
13:50 至 14:00	中場休息
14:00 至 14:50	<p>教育訓練課程(二)：</p> <p>「交通衝突分析軟體上機操作」(基本功能、先導測試路口情境)</p> <p>主講人：訊力科技研究團隊</p>
14:50 至 15:00	Questions & Answers
15:00	活動結束

本次成果說明暨教育訓練於 112 年 10 月 27 日於運輸研究所國際會議廳舉行，海報、成果影片與當日現場照片如下圖 1 至圖 4 所示。

以無人機空拍及 AI 影像 辨識技術探討路口交通衝突

成果說明暨教育訓練

112 年 10 月 27 日 交通部運輸研究所國際會議廳
10:00 ~ 15:00 臺北市松山區敦化北路 240 號 地下一樓 B1

時間	議程	
09:30~10:00	報到	
10:00~10:10	開幕暨致歡迎詞	(運研所長官) / 溫計畫主持人 基信
10:10~10:15	系列成果影片	
10:15~10:40	成果說明一： 「無人機交通路口衝突軟體應用」	工業技術研究院 資訊與通訊研究所 周副組長 業凱
10:40~11:00	茶敘休息時間	
11:00~11:30	成果說明二： 「空拍影像車輛偵測之主要課題與發展方向」	中原大學 資訊工程學系 蘇教授 志文
11:30~12:00	成果說明三： 「無人機探勘人車流動資訊之交通安全分析方法」	陽明交通大學 運輸與物流管理學系 黃教授 家權
12:00~12:10	Questions & Answers	
12:10~13:00	午餐	
13:00~13:50	教育訓練課程(第一梯次)： 「交通衝突分析軟體上機操作」 (基本功能、易肇事路口情境)	訊力科技股份有限公司
13:50~14:00	中場休息	
14:00~14:50	教育訓練課程(第二梯次)： 「交通衝突分析軟體上機操作」 (基本功能、易肇事路口情境)	訊力科技股份有限公司
14:50~15:00	Questions & Answers	
15:00	活動結束	

主辦單位： 交通部運輸研究所 訊力科技

圖 1 成果說明暨教育訓練海報

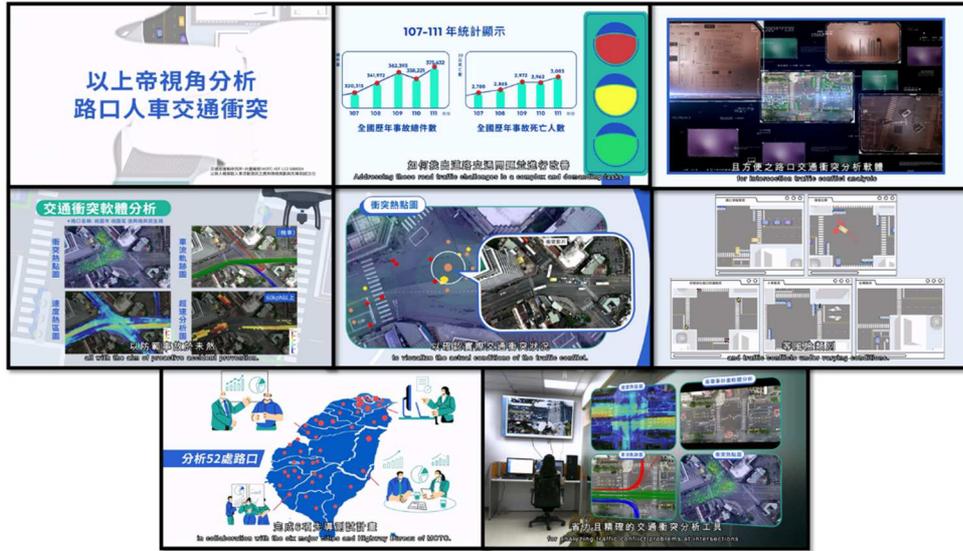


圖 2 成果影片內容截圖



圖 3 研發成果暨教育訓練現場照片



圖 4 研發成果暨教育訓練現場照片

附錄 E. 成果說明暨教育訓練成效分析

本次教育訓練於 112 年 10 月 27 日於運輸研究所國際會議廳舉行，共有 63 人報名參加，實際到場人數則依照上午與下午場分別為 57 與 55 人，但礙於無法強制參與者皆填寫滿意度與回饋問卷，回收的問卷樣本數為 30 份，超過到場一半的人有填答問卷，如表 1 所示。

表 1 教育訓練課程執行成果

報名人數	上午到場人數	下午到場人數	問卷填答人數
63	57	55	30

資料來源：本計畫整理

從問卷回收的 30 份樣本中，有 22 人為男性與 8 人為女性，主要的年齡分布為 26-35 歲、次之則為 18-25 歲，如表 2；依照問卷填答者服務單位的性質分類，以中央機關的 13 人為最多、私人企業 12 人次之，如表 3。關於問卷填答者對於了解相關技術與軟體的意願，暫時不考慮、再考慮看看、願意則各自分別佔約三分之一，如表 4。

表 2 教育訓練課程回填人數與性別統計

	18-25 歲	26-35 歲	36-45 歲	46-55 歲	56-65 歲	65 歲以上	總計
男性	3	8	4	4	3	0	22
女性	3	3	1	1	0	0	8
總計	6	11	5	5	3	0	30

資料來源：本計畫整理

表 3 填答者工作單位與性別統計

	中央機關	地方機關	私人企業	學術機構	總計
男性	10	2	9	1	22
女性	3	2	3	0	8
總計	13	4	12	1	30

資料來源：本計畫整理

表 4 進一步了解相關技術與軟體之意願

	暫時不考慮	再考慮看看	願意	總計
男性	5	10	7	22
女性	5	1	2	8
總計	10 (33.3%)	11 (36.7%)	9 (30.0%)	30 (100.0%)

資料來源：本計畫整理

表 5 為問卷填答者認為軟體功能的實用性排序，「路口軌跡」功能為最多人認為實用，「衝突熱點」功能則為次之，「車流特性」與「交通量調查」則齊名於三；表 6 為整理問卷填答者認為本軟體可以提供交通改善的功能特色，呼聲最高的為「視覺化的車流軌跡」，次之為「透過衝突熱點檢視衝突態樣」；表 7 則是說明哪些方法可以提供問卷受訪者可以較快速熟悉軟體操作；表 8 則是呈現問卷受訪者考量是否使用軟體的因素，其中高達 7 成的問卷受訪者認為「路口空拍影片取得方式」是考量因素之一，亦有 6 成的問卷受訪者「軟體操作的熟悉度」也是重要的考量因素；表 9 則說明問卷受訪者期待本軟體可以提供的幫助，呼聲最高的為「快速檢視路口交通問題」，第二多的為「大數據交通量統計分析」。

表 5 軟體功能實用性

排名	軟體功能	數量	比例
1	路口軌跡	17	56.7%
2	衝突熱點	16	53.3%
3	車流特性	15	50.0%
3	交通量調查	15	50.0%
5	衝突事件表與統計摘要	14	46.7%
6	人車衝突分析	11	36.7%
7	路口穿越衝突分析	10	33.3%
7	機會左轉分析	10	33.3%
9	非號誌化路口停讓衝突分析	7	23.3%
10	機會左轉分析(進階)	5	16.7%
10	右轉衝突分析	5	16.7%
12	速度 HeatMap	3	10.0%

資料來源：本計畫整理

表 6 幫助交通改善的功能特色

排名	功能特色	數量	比例
1	視覺化的車流軌跡	23	76.7%
2	透過衝突熱點檢視衝突態樣	18	60.0%
3	無遮蔽的交通檢視視角	14	46.7%
4	彈性的篩選比對功能	10	33.3%
5	快速產生分析統計圖表	7	23.3%
6	多架次的影片比對	5	16.7%

資料來源：本計畫整理

表 7 幫助快速熟悉操作項目

排名	功能特色	數量	比例
1	操作功能影片	23	76.7%
2	使用手冊說明	18	60.0%
3	範例介紹	16	53.3%
4	功能索引表	11	36.7%
5	討論群組	4	13.3%
5	Q&A	4	13.3%

資料來源：本計畫整理

表 8 考量是否使用軟體的因素

排名	功能特色	數量	比例
1	路口空拍影片取得方式	21	70.0%
2	軟體操作的熟悉度	18	60.0%
3	軟體分析結果的判讀能力	14	46.7%
4	價格	1	3.3%

資料來源：本計畫整理

表 9 期待分析軟體提供的幫助

排名	功能特色	數量	比例
1	快速檢視路口交通問題	26	86.7%
2	大數據交通量統計分析	19	63.3%
3	驗證人工觀察的疑慮	12	40.0%

資料來源：本計畫整理

表 10 為整理問卷受訪者對於本教育訓練不同向度的滿意度，其滿意度計算方式：非常滿意、滿意、普通、不滿意、非常不滿意分別得 100%、80%、60%、40%與 20%，進而透過平均計算整體滿意度。可以發現滿意度不論性別皆超過 85%，詳細的數據如表 10。

表 10 不同標的之滿意度

	女性	男性	總計
1. 課程之教學方式	87.5%	90.0%	89.3%
2. 課程之教材內容	87.5%	86.4%	86.7%
3. 授課教師之教學態度	90.0%	93.6%	92.3%
4. 授課教師之表達能力	87.5%	90.9%	90.0%
5. 授課教師之教學方法	90.0%	90.9%	90.7%
6. 教師教學之啟發性，	87.5%	90.0%	89.3%
7. 充分理解授課教師之教學	87.5%	90.0%	89.3%
8. 上課所使用之教室，其教學資源(如多媒體設備、電腦)學習設備(如教室空間、照明)	90.0%	86.4%	87.3%
9. 本課程提供之學習環境	90.0%	91.8%	91.3%

資料來源：本計畫整理

附錄 F. 期中審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

編號：MOTC-IOT-112-SBB004

計畫名稱：以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試
(3/3) - 斜交及多岔路口

執行單位：訊力科技股份有限公司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(一) 臺北市交通管制工程處劉副處長嘉祐		
1. 建議於時相表加入號誌時制檢核功能，以避免使用者輸入錯誤。	謝謝委員建議，本案目前係由管理員統一建置專案，人工進行號誌時相表檢核。考量目前各縣市並無使用統一規格之時相表，尚無法建立出一致性規則，因此本案仍將透過人工方式進行號誌時制時相之檢核。	同意。
2. 有關能否透過無人機空拍影像來產出路口配置部分，若受限於現行技術問題，建議系統能提供手動量測道路或車道長(寬)度等道路幾何資料之基本工具，或提供手動描繪圖層之功能。	依據空拍圖自動產出路口配置部分，在現行技術上已有部分相關文獻，惟產生之結果仍多視實際道路狀況而定，例如：在斑駁枕木紋行人穿越道線之實際路面，僅能繪製出同樣的斑駁標線。另有關新增手動量測功能部分，因開發前述功能尚需時辦理，研究團隊建議可納入 113-114 年延續計畫功能擴充之考量。	同意。
3. 因桃園市桃園區民生路、復興路交岔路口非正交，故建議未來在進行交通改善時，應套繪車輛軌跡。如	謝謝委員意見，經洽公路總局及桃園市政府交通局，復興路民生路口已完成改善方案分析，刻正辦理工程改善中。研究團隊亦期盼此路口能於本	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
有可能，請於公路總局改善完成後，於期末報告說明其改善後之變化。	年期研究時程內完成改善，並進行改善前後之分析結果比較。	
4. 建議透過人車衝突分析，以科學化方法提出行人政策之建議。	本研究可偵測及判讀人車之間的距離，供分析人員參考及進一步分析。但界定安全行為之閾值，可能需要更多的研究及討論，已超出本研究之範圍，且無足夠之路口樣本可進行分析。	同意。
(二) 交通部公路總局李副總工程司忠璋		
1. 報告書 P.15：有關所述「將空拍影像進行『晃動校正』」部分，如果在系統未技轉給其他單位之情況下，是否會因無人機的廠牌而有所不同？該如何處理？請補充說明。	該方法已經實際使用在許多不同機型、場域、天候之空拍條件下，幾乎未見因前列因素而導致的校正失敗例子。	同意。
2. 由公路總局開發的交通事故分析軟體，多是針對交通事故進行事後分析，而本研究可運用衝突點進行事前分析，這部分不論對公路總局或地方政府來說，都是好的分析技術。	感謝委員肯定。	同意。
3. 報告書 P.25 之表 2.1-1(Oriented YOLOv4 與其他選轉框方法比較表)：建議多說明這些方法和 Oriented YOLOv4 的差異。另於 Method 欄位，似無標示 Oriented YOLOv4 相關內容，	遵照辦理。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
請確認後修正。		
<p>4. 報告書 P.27：所述「…YOLOv8 的 mAP 表現不高於 YOLOv7 表現 2%，…YOLOv7 則有著較 YOLOv8 更好的偵測效果…」部分，因圖 2.1-9 是比較兩者的 mAP 值(所有偵測項目的 AP 值的平均)，而表 2.1-2 所比較的是 AP 值(單一偵測項目的平均準確率)，因此以 AP 值和 mAP 值來做比較，是否恰當?建議再釐清。</p>	<p>遵照辦理。後續將以 YOLOv7 與 YOLOv8 針對計畫目前蒐集的的小型空拍行人資料庫，進行 AP 比較。</p>	<p>同意。</p>
<p>5. 報告書 P.30-P.31：</p> <p>(1) 表 2.1-4 之表頭，建議調整為「行人及各類別的車種數量」。</p> <p>(2) 考量影像數和其它物件擺在一起，容易使讀者產生混淆，爰建議將「影像數」和其他偵測項目分開列。</p> <p>(3) 「總車輛數」建議調整為「人、車總數」，因行人並非車輛。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意。</p>
<p>6. 報告書 P.66：表 4.1-2，「P」、「R」、「AP.5」、「AP.5:.95」，應說明</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 以行人為例：</p> <p>(1) P 為 Precision，代表系統偵測判斷是行人者中的正</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見 其意義，請補充。	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	<p>確行人比例。</p> <p>(2) R 為 Recall，代表理想上應偵測出的所有行人中，能被系統偵測出的比例。</p> <p>(3) AP.5 為在偵測框與實際框交聯比在 0.5 以上，所得出的 Average Precision(平均精確度)。用以表示不同閾值參數下，由不同 Precision 與 Recall 所形成的面積，減少因參數不適當造成的不公平比較。</p> <p>(4) AP.5:.95 為在偵測框與實際框交聯比分別在 0.5、0.55、0.6、...、0.95 以上的 10 個 Average Precision 值，再取平均後的代表值。用以表示不同程度的偵測框位置偏差，形成的整體 Average Precision，以進一步考量偵測框位置偏差因素，進行比較。</p>	
<p>7. 報告書 P.73 的行人時相表，似與簡報 P.11 時相表不同，建議就時相表內各欄位之意義，於報告書內清楚說明。</p>	<p>行人時相表之設計尚在討論中，期中報告書僅呈現開發過程時之初步設計規劃，最終版本將於期末報告說明。</p>	<p>同意。</p>
<p>8. 報告書 P.80-P.81 之表 5.1-15 及表 5.1-16：</p> <p>(1) 應為「路口轉向交通量表」，請修正。</p> <p>(2) 表中橫向的「小計」列，會讓讀者誤以為是某一臨近路口運具轉向量百分比的總</p>	<p>謝謝委員建議，後續會再針對軟體及報告書用詞並進行檢視。</p> <p>另表格中的交通量皆為車輛數，未經 PCU 換算，後續報告將修改轉向交通量表，改採以 PCU 呈現。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>和(應該是100%)，但仔細計算才瞭解是每一臨近路口某項運具交通量佔整個路口該運具交通量的比例。而縱向的「小計」欄，似乎是每一個臨近路口所有運具在某一個轉向交通量的總和，佔該臨近路口所有交通量的比例?請就前述事項確認後修正。</p> <p>(3) 此表格中的交通量，是否有經過PCU的換算?請補充說明。</p>		
<p>9. 報告書 P.85：所述「(b)次要衝突『3』」，經比對圖 6.1-1 之敘述，似為次要衝突「2」，請確認後修正。</p>	<p>謝謝委員指正，期末報告將修正其內容。</p>	<p>同意。</p>
<p>10. 報告書 P.122(表 7.2-1)：有關「機車兩段待轉區動線不佳」相關議題中，建議改善方案所述「A、C 方向檢討是否可取消機車兩段左轉」部分，請研究團隊就取消後之左轉機車要如何處理，應提出相關建議對策。</p>	<p>感謝委員意見。本研究發現 A、C 方向的機慢車左轉待轉區線之設置動線不佳，但承如委員所言，是否取消機慢車左轉待轉區線部分，需要通盤考量。因此，已修正 A、C 方向的機慢車兩段左轉改善措施相關說明為「檢討機慢車左轉待轉區線之劃設方式或是否可取消」。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
11.建議後續提供彩色的路口轉向軌跡相片，方便閱讀。	遵照辦理。	同意。
12.因自行車每年的事故數量也不少，建議系統能再強化自行車的辨識準確率，以增進路口安全改善。	目前訓練影像多來自計畫指定拍攝地點，自行車在其中的數量甚至遠遠不及行人數量，因此難以取得足夠的訓練數量。	同意。
13.簡報 P.14：豎立式號誌燈之排列方式，可能會與橫式號誌燈不同，建議於號誌燈號示意圖中併同繪出豎立式號誌。	謝謝委員建議，橫排與直排僅為排列顯示狀況不同，但燈號變化一致，本計畫重點在於號誌變化與車流關係，所以目前設計應已符合計畫需求。	同意。
14.簡報 P.39：似乎並不是所有方向都會有切西瓜行為，是否就此部分需要多考慮「操作行為」？請補充說明。	分析工具以左轉車未到達路口中央處左轉作為切西瓜的判斷依據，由於該路口屬於斜交路口，左轉車輛動線可能難以達路口中央處，因此被判斷為有切西瓜行為。分析人員需要根據道路幾何來判讀分析結果之意涵。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(三) 新北市政府交通局		
無意見。	感謝說明。	同意。
(四) 臺南市政府交通局		
1. 報告書 P.101-P.102：實際拍攝的路口是否有先進行行人交通量調查？如果行人交通量太少，該如何進行行人衝突分析？	本研究的現場調查路口是由地方機關提供，應有合理且可觀察之行人量及人車衝突之行為。受限於人力成本考量，本研究也無法於調查前先辦理行人交通量調查。 經確認目前已蒐集之資料，除臺南市其中一個路口行人交通量太少外，其他路口都有足夠行人交通量，已符合本研究之分析需求。	同意。
2. 在臺南市事故發生件數較多的地點，大多位於禁航區或限航區，建議若要在臺南市進行相關事故分析時，禁航區的部分還是可以嘗試，只是需要事先多做一些申請手續並進駐塔臺。	謝謝貴局建議，禁限航區路口飛行拍攝須配合塔台調派起降，實際飛行拍攝時間亦受到諸多限制。基於成本效益考量，建議仍以非禁限航區路口做為優先擇選對象。	同意。
3. 報告書 P.84：所述「臺南市的順序為 3、7」，語意不清，請補充說明。	順序編號為 110 年度的先導測試計畫應用情境機關順序調查結果，詳細內容可查閱「以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(1/3)-建立分年測試計畫」第 6.2 節。另團隊將於期末報告補充相關內容，俾利了解其緣由。	同意。
(五) 交通部公路總局		
1. 報告書 P.121-P.122：第 7.2.4 節有關問題整理及改善建議部分，提及本研究之改	本研究工具能用以解釋事故或衝突背後之原因，分析結果之比對，除了支持公路總局第一區養護工程處中壢工務段	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
善方案，與公路總局第一區養護工程處中壢工務段所提之改善方案進行比較，但從表 7.2-1 中尚無法看出其優劣，建議可多加說明其比較結果。	的部分改善方案，並驗證了其必要性。另外，本研究亦發現兩點交通風險議題及可以改進之處(機慢車左轉待轉區動線不佳、路口加油站進出動線無導引)，可提供中壢工務段參考。	
2. 報告書第七章：說明本年度將進行 4 處易肇事路口分析，期中報告已完成桃園市桃園區復興路、民生路交岔路口，及雲林縣中山路、龍潭路交岔路口之分析。惟雲林縣中山路、龍潭路交岔路口案例部分，目前僅有問題整理，未見改善建議，建請補充。	期中報告第七章範例二之改善建議已於問題探討一併探討說明 (7.3.3 節)，期末報告將參考範例一之呈現方式，另闢章節說明改善建議。	同意。
3. 後續如有需公路總局協助之處，將全力配合辦理。	感謝公路總局配合本案分析。	同意。
(六) 臺灣無人機應用發展協會		
1. 本案所使用之無人機為典型空拍機，在精密測量時，細節上可能會產生有些失真而導致精度問題，爰建議拍攝時可另加雲台並搭配專業相機，以改善前述狀況。	謝謝建議，本計畫旨在利用無人機空拍資料，進行車流影像分析及衝突分析應用，尚未需要達到如工程結構量測或檢修維護所需之精準度。本計畫多年來使用各式無人機，包括國產客製無人機、消費型小型無人機等。經實測，於交通繁忙之路口，消費型小型機種因具備輕巧便利、高安全、快速起降、低成本、易維護、影像解析度高、影像品質穩定等優點，最適合路口空拍使用。	同意。
2. 建議人車衝突分析部	如行人綠燈允許車輛右轉，會	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>分，能否分析哪些情況允許紅燈右轉，以減少人車衝突。</p>	<p>造成人車衝突及右轉效率較差。車輛紅燈右轉適合在行人量低的路口；如行人量較大，建議應以號誌方式將人流和車流錯開。</p> <p>至於是否允許紅燈右轉部分，需要考慮路口上下游的實際情況，研究人員可以使用本研究之輸出結果，加以判斷。</p>	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(七) 臺灣無人機大聯盟		
1. 因無人機會受限於天氣、禁航區等因素，若路口旁有高樓，是否能以 IPCAM 斜拍方式，取得影像進行分析?請補充說明。	滿足拍攝的高樓條件甚為苛刻，不僅高度至少要超過30層樓，攝影機架設地點須能拍攝完整路口，斜拍取得之影片亦需重新進行幾何校正，短期內尚無法取代無人機進行道路影像拍攝。	同意。
2. 請問違規行為分析，是透過人工判斷或是系統產出?請補充說明。	本計畫之衝突分析工具，運用內建程式自動計算違規行為並產出分析結果。如違規項目涉及標線或號誌，則需要使用者輸入路口設定資料。	同意。
3. 有關整合行人號誌部分，請問是透過人工將號誌與空拍影像同步，還是直接從號誌訊號源取得資訊?目前是自動化還是半人工處理?請補充說明。	本計畫之行人號誌資訊與汽車使用之號誌資訊蒐集方式一致，採用人工側拍，並輔以路口時相表，以人工輸入時相資訊。以上補充說明將更新至期末報告中。	同意。
4. 過往交通工程改善後需等待一段時間才能驗證其改善效益，而本案可透過無人機空拍方式，進行事前、事後之路口交通衝突分析，以更快及科學化數據提出改善完成後之效益評估。	謝謝補充說明。	同意。
(八) 本所運輸安全組		
報告書第二章： (1) 第 2.1.2 節：建議內容區分為影像偵測技術發展、Yolo 影像偵測技術發展、影	遵照辦理。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>像偵測技術訓練三部分。</p> <p>(2) 第 2.1 節建議新增小結，說明依據相關文獻回顧，今年之影像偵測及追蹤技術將如何處理，以與第四章內容連結。</p> <p>(3) 第 2.2 節建議新增小結，說明交通衝突分析指標及應用與改善方案，是否參考相關文獻進行調整，以與第六章內容連結。</p> <p>(4) 第 2.4 節表 2.4-1 彙整歷年成果部分，有關無人機空拍路口交通部分，建議補充各年度所使用之無人機機型，以及其可空拍的最大的長寬範圍。</p> <p>(5) P.43:年平均每日交通量 AADT(Annual Average Daily Traffic, AADT)，請修正用詞。</p> <p>(6) P.44: 道路坡度評估(Ramp metering assessment)、特殊交通觀測(Special event</p>		

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
traffic monitoring)，請確認前述翻譯文字是否正確。		
<p>報告書第三章：</p> <p>(1) P.52-P.53：圖 3.1-2 至圖 3.1-4 呈現不同空拍高度之拍攝範圍，惟三張圖似非同一路口，缺乏相同的比較基準。建議將三張圖改以同一路口、不同空拍高度呈現。</p> <p>(2) P.55：說明多岔路口、斜交路口因動線複雜，非本期研究分析對象，與本年度研究案副標題相左，請修正。</p> <p>(3) 第 3.2 節：請補充說明易肇事路口及先導測試計畫路口如何選擇拍攝時間。例如：拍攝時間是否配合事故較多時段？或拍攝時間為上、下午尖峰時刻？請補充說明。</p>	<p>謝謝建議，說明如下：</p> <p>(1) 資料將更新至期末報告。</p> <p>(2) 將修正內容。</p> <p>(3) 易肇事路口的拍攝時間為依據道安資訊查詢網資訊，為該路口除尖峰時間外之最多肇事熱時；另先導測試路口拍攝時間，皆為上午尖峰時間 0750-0850 或下午尖峰時間 1650-1750。以上補充說明，將更新至期末報告中。</p>	<p>同意。</p>
<p>報告書第四章：</p> <p>(1) P.66：表 4.1-1 及表 4.1-2，車種分配及非專有名詞部分，請改為中文；CIoU 之 P 及 R 請改為英文全稱。</p> <p>(2) 第 4.4 節小結：請先說明本年度採用何種影像辨識技術，再說</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
明優化內容。		
<p>報告書第六章：</p> <p>(1) 第 6.2.2 節人車衝突：因觀察對象包含駕駛人及行人，R 之標題不宜使用「具風險之駕駛行為」，建議改為「具風險之用路行為」。</p> <p>(2) P.101：表 6.3-1 請註明公路總局轄管之路口，以及其所在之省道編號(如：台 1 線)。</p>	<p>(1) 感謝建議，於人車衝突之相關段落，將「具風險之駕駛行為」修改為「具風險之駕駛及用路行為」。</p> <p>(2) 感謝建議，將於期末報告補充省道編號。</p>	<p>同意。</p>
<p>報告書第七章：</p> <p>(1) P.109：圖 7.2-2 之名稱誤植為彰化縣資料(應為桃園市路口)，請修正。</p> <p>(2) 第 7.2.3 節問題探討：部分問題分析後會建議改善作法，部分問題則無。建議統一於第 7.2.4 節說明改善建議。</p> <p>(3) P.122：表 7.2-1 改善建議表中，請再檢視是否均已研提改善建議，以及改善建議內容之妥適性。例如：相關議題第 1 項，似僅提供「產生問題及原因」第 2 點所對應之「本研究建議之改善方案」，且機會左轉衝突僅以路口導引線及偏心左轉車道能</p>	<p>(1) 謝謝指正，將修正報告內容。</p> <p>(2) 感謝建議，將於期末報告將改善建議統一整理於 7.2.4 節，惟本研究主要目的為發現問題及說明背後原因，不一定每一個問題都會提出對應改善作法。</p> <p>(3) 團隊後續新增「在 A、C 方向劃設左轉的路口行車導引線，並設置偏心左轉車道。」等改善建議，將與道路主管機關討論評估改善建議之適當性。</p> <p>(4) 感謝建議，將於期末報告中標示。</p> <p>(5) 謝謝指正，將修正報告內容。</p> <p>(6) 謝謝指正，將修正報告內容。</p> <p>(7) 期末報告將彙整問題改善表，於第 7.3.4 節呈現。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>否達到改善效果。</p> <p>(4) P.123：圖 7.3-1，建議於圖上標示雲科大機車棚位置。</p> <p>(5) P.124：圖 7.3-2，圖號標示錯誤，請修正。</p> <p>(6) P.125：圖 7.3-3 之圖片左右顛倒，請修正。</p> <p>(7) P.134：第 7.3.4 節建議比照第 7.2.4 節，彙整問題改善表。</p>		
<p>報告書第八章：第 8.1.2 節與無人機協會交流有關資安部分，因民航局已於 112 年 6 月召開資安規定會議，請再與無人機協會確認後續會如何處理資安問題。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意。</p>
<p>報告書第九章：第 9.1 節無人機資安問題，請再詳細說明所涉及之後續相關資安規定。</p>	<p>無人機資安檢測規範將於 113 年 7 月正式上路。本計畫現用之無人機已註冊且在效期內，並符合民航局現行規範。未來有公告更新資安規定，將於期末報告中補充說明。</p>	<p>同意。</p>
<p>有關報告中錯字、文字修正或排版部分，請於會後洽本組修正。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意。</p>
<p>(九) 淡江大學運輸管理學系張教授勝雄 (書面意見)</p>		
<p>1. 本計畫屬多年期的計畫，研究團隊仍持續透過各種方法提升影像辨識的查全率與查準率，值得肯定。希望行人的偵測能力部</p>	<p>感謝委員肯定，團隊會持續迭代更新相關技術。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
分，可以持續進步。		
2. 報告書 5.1 節：有部分統計表、示意圖清晰度不足，難以明視其內容，建議重製，或另以附錄圖表呈現。	謝謝委員建議，將於期末報告中，使用更清晰的圖表來做說明。	同意。
3. 報告書 P.88：機會左轉(進階分析)中，如何明確定義「左轉車未到達路口中央處左轉的行為 R3」?如果路口缺乏偏心左轉車道的設計，或橫交道路路幅較寬時，其行駛路徑恐難避免。	分析工具以判斷左轉車輛之軌跡是否有通過使用者輸入設定之路口中央區域，如未通過即符合「左轉車未達路口中央處左轉的行為 R3」。 如委員所言，路口及道路幾何設計可能會使車輛行駛路徑恐難以通過路口中央處，分析人員需要根據道路幾何及實際狀況，來判讀分析結果之意涵及是否存在交通風險。	同意。
4. 報告書 P.117：「對向穿越左轉衝突之問題」，是否也提出工程改善的建議?請補充說明。	感謝委員建議，團隊已新增「在 A、C 方向劃設左轉的路口行車導引線，並設置偏心左轉車道。」等改善建議於簡報中，並於期末報告書呈現。	同意。
(十) 臺灣大學土木工程學系許教授添本 (書面意見)		
1. 對於斜交及多岔交岔口之衝突分析，是否要討論衝突角度的區分?比如銳角方向或鈍角方向的差異。	感謝委員建議，本研究有透過案例探討斜交及多岔路口之車流動線角度與正交路口的不同之處，特別是左轉車動線及機車進入兩段待轉區角度之交通行為及風險，但並未針對兩車之衝突角度，進一步將衝突類型進行區分。	同意。
2. 報告書 P.78-79：衝突事件的 TTC 及 PET，為何會兩極?即瀕臨風險及低風險最高百分比，理論上應瀕臨風險最少較為	瀕臨風險衝突事件之定義為 TTC 或 PET 小於或等於 1 秒，圖中之瀕臨風險主要為機車停等區內及其周邊的車輛密度極高所導致，這也是單以 TTC 及 PET 數值範圍做為衝	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
合理。	突嚴重程度區分之缺點。 因這些衝突車輛的車速都很低，實際上所造成的交通風險並不大，在衝突熱點圖的分析時，本研究將以速度低於10km/h的衝突事件，進行過濾及排除。	
3. 報告書 P.88：機會左轉提到違規行為〔V〕，是否需要號誌時制的對時，以區分是何時及何種違規？請補充說明。	是的，在判斷號誌相關的違規行為如闖紅燈、紅燈跨越停止線等時，會需要讀取使用者輸入之號誌時制及對時資料，本研究專案都有進行號誌時制對時。	同意。
4. 報告書 P.144：「9.2 改善影像辨識與追蹤技術」及「9.3 優化分析軟體」部分，宜進一步討論可能的改善方向及可能的作法。	謝謝委員建議，將於期末報告檢討改善方向及未來方向建議。	同意。
(十一) 臺北科技大學資訊工程學系林教授惠勇 (書面意見)		
1. 本案為三年期研究之第三年，本年度旨在針對斜交及多岔路口以無人機進行人車流探勘，並就交通衝突分析軟體進行持續優化。	謝謝委員說明。	同意。
2. 報告書第三章：對於空拍實際辦理狀況，建議除了拍攝路口、時間等說明之外，亦能提供詳細的量化數據，例如影片長度、實際用於分析部分等。	謝謝委員建議，將於期末報告中以總表的形式補充說明。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
3. 報告書第四章：對於改善影像辨識，前期建議強化行人影像之偵測與辨識，本期中報告未呈現明顯之提升，是否考慮採用其他的物件偵測網路架構。	在行人偵測上，目前YOLOv4~v8均已測試過，表現上仍以YOLOv5l6效果最佳，主要原因在該版本提供了更多特徵層來支援大尺寸影像；同公司的YOLOv8目前尚未增加類似的特殊版本。	同意。
4. 報告書第六章：對於機會左轉及人車衝突之分析，主要就分析方法、風險項目等進行說明，並提供實際路口之分析數據，是否可就部分案例進行說明。	感謝委員建議，機會左轉及人車衝突之分析結果將於期末報告呈現，預計將會比較各路口之分析數據及運用案例路口進行說明。	同意。
(十二) 臺北市交通管制工程處 (書面意見)		
1. 交通監控屬長時間監控人車流行為，報告中並未針對現行無人機續航力提出改善說明(目前續航力僅35分鐘)，建議爾後報告再針對續航力一事加以說明。	謝謝貴處建議，本計畫多年來使用各式無人機，包括國產客製無人機、消費型小型無人機等。經實測，於交通繁忙之路口，消費型小型機種具備輕巧便利、高安全、快速起降、低成本、易維護、影像解析度高、影像品質穩定等優點，惟一般消費型無人機飛行時間僅約20~30分鐘，而本年度使用之無人機續航力可達35分鐘，已較具優勢，將持續觀察市場無人機產品，若有更合適之長航時機種，將再提出說明。	同意。
2. 建議一併考量人車衝突及機會左轉等人車行為、數據及績效，是否受「路口不停讓行人大執法」及未禮讓行人罰款上修而影響；並考量計畫期間	「路口不停讓行人大執法」於5月1日實施，本計畫之現場調查時程為六至七月，未包含「路口不停讓行人大執法」前之資料，恐難以比較執法前後之影響。 另外，本研究目的為分析工具	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
內，倘有大規模執法或人車違規罰則調整之績效評估標準，如何有一致標準？請補充說明。	開發，執法之績效評估標準已超出本研究範圍。	
(十三) 社團法人中華民國交通工程技師公會 (書面意見)		
1. P.125：圖 7.3-3 上下顛倒，似乎為鏡像照片，再請確認。	遵照辦理。	同意。
2. 測試路口建議可以與地方政府合作，於工程改善後再行觀測一次，以檢視改善效益。	感謝建議，本案已持續與合作機關追蹤今年空拍路口是否能在期末前完成工程改善，惟工程改善的確切時間與改善內容都尚未明確，研究團隊會盡力配合。	同意。
(十四) 桃園市政府交通局 (書面意見)		
1. 報告書 P.111：衝突點密集區域與事故碰撞構圖好發事故點位雷同，顯示分析結果與事故發生情形一致。	謝謝貴局意見。	同意。
2. 報告書 P.122：本案建議改善方案，多處與本局易肇事路口分析結果相同(如：民生路設置偏心左轉)，目前刻正辦理改善中，另提供本局分析簡報供參	感謝貴局建議及提供簡報供參。	同意。
(十五) 主席結論：		
1. 請公路總局及縣市政府若有辦理交通工程改善前後之無人機空拍路口影片，可提供研究團隊參考。研究	遵照辦理。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>團隊可將比較改善前後之交通衝突變化情形等分析結果，回饋給道路主管機關，對於本分析軟體未來商轉有正向的幫助。</p>		
<p>2. 有關軟體授權議題，請研究團隊就未來本案軟體若提供各道路主管機關或顧問公司使用時須準備之相關事項(如：授權金額等)，預做相關準備，以利未來推廣運用。</p>	遵照辦理。	同意。
<p>3. 審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請研究團隊整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。</p>	遵照辦理。	同意。
<p>4. 本計畫經徵詢審查委員意見，期中報告初稿審查通過，請研究團隊後續依本所出版品印製相關規定撰寫報告，並納入每月工作會議查核事項進行追蹤。</p>	遵照辦理。	同意。

附錄 G. 期末審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

編號：MOTC-IOT-112-SBB004

計畫名稱：以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(3/3) - 斜交及多岔路口

執行單位：訊力科技股份有限公司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
(一) 臺北市交通管制工程處劉副處長嘉祐		
1. 報告書 P.66：建議「起飛前對時」後，拍攝號誌燈變燈情形，以利號誌同步。	感謝委員的建議，將補充內容於報告書第 3.1.2.1 節。	同意。
2. 報告書 P.86：行人時相表是否可增加時相數(例如：行人早開或早關)?時相表應有防呆機制，以減少錯誤輸入。	感謝委員建議， (1) 實際平台最多可設定 6 個時相，且可設定行人早開或早關，將補充說明及更新示意圖於報告書。 (2) 本案目前係由管理員統一建置專案，本案目前係由管理員統一建置專案，人工進行號誌時相表檢核。考量目前各縣市並無使用統一規格之時相表，尚無法建立出一致性規則，因此本案仍將透過人工方式進行號誌時制時相之檢核。	同意。
3. 報告書 P.98：圖 5.2-21 車輛數未依公路容量手冊，將轉向車當量值轉換成 PCU，請檢視後修正。另建議兩段式左轉機車交通量，應獨立計算。	(1) 已補充路口轉向交通量之 PCU 計算引用說明至報告書。 (2) 各車種 PCE 係引用「2022 年臺灣公路容量手冊」及「Beeston, L., Blewitt, R.,	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>Bulmer, S., & Wilson, J. (2021). Traffic Modelling Guidelines v4. Transport for London: London, UK.」，各數值說明如下：直行機車 0.42、直行小車 1.00、直行大車 1.80、左轉機車 0.43、左轉小車 1.05、左轉大車 2.00、右轉機車 0.45、右轉小車 1.08、右轉大車 2.70、自行車 0.2。</p> <p>(3) PCU 小數點採四捨五入至整數位。</p> <p>(4) 感謝委員提醒，惟兩段式左轉機車部分，目前臺灣公路容量手冊尚未定義其 PCE，未來建議將兩段式左轉機車獨立計算並且不納入 PCU 統計。</p>	
<p>4. 報告書 P.116-P.117：[R1] 車輛未慢速通過行穿線之門檻值為 30kph，是否可讓使用者自行定義？其依據來源為何？對左右轉向車輛之車速是否可以偵測及定義門檻值？</p>	<p>[R1]之門檻值為參考行政院 112 年 6 月 2 日頒布「行人優先交通安全行動綱領」中所述「行人及高齡友善示範區」限速 30 公里之數值且於本研究計畫工作會議討論之結果。原則上軌跡資料包含所有車輛之速率，惟目前分析工具尚未提供使用者自行定義左右轉向車輛門檻值之功能。</p>	<p>同意。</p>
<p>5. 報告書 P.174：建議未來可做路口行穿線之退縮距離、轉彎車交角及速度的關係，以了解改善前後之成效。</p>	<p>感謝委員意見。本研究目的為分析工具開發，委員建議的部分已超出本研究範圍，期望未來有其他研究團隊或學術研究可運用本計畫資料及工具，進一步探討委員所提之議題。</p>	<p>同意。</p>
<p>6. 報告書 P.130：建議未來能提供衝突量百分比、定</p>	<p>(1) 自動提供建議改善對策功能是路口改善工具之長遠願景，惟</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>義門檻值，並自動提供建議改善對策。另外，請問左轉車數量有無包括兩段左轉機車？</p>	<p>目前學術或實務上似未有類似功能之工具，建議未來能有相關工具開發委員所提之課題。</p> <p>(2) 由於本交通衝突分析平台中有很多可輸出資料項目，恐無法將全部細項於報告書中呈現，建議委員可由平台中讀取百分比等相關分析結果。</p> <p>(3) 有關門檻值之定義說明，已補充於報告書第 6.2 節(分析方法)及使用者手冊。</p> <p>(4) 左轉車數量包含四輪以上車輛與直接左轉之機車，而兩段左轉之機車則沒有納入。已補充說明於報告書。</p>	
<p>7. 報告書 P.144：表 6.4-7，C 方向[R6]、[R10]、[C2] 車輛數較高，是否再細分左轉機車或左轉汽車，對於直行機車、直行汽車的影響。</p>	<p>感謝委員建議，[R6]、[R10]、[C2] 之原始分析資料有包含車種資訊。平台提供之分析資訊量已相當多，目前並未分別呈現各車種之左轉車輛數。建議可在未來本案商轉後之服務平台，提供各車種分析結果之查詢功能。</p>	<p>同意。</p>
<p>8. 報告書 P.183：圖 7.2-4 係引用公路局簡報，請標註往北方向之圖例。</p>	<p>謝謝委員提醒，已標註往北方向。</p>	<p>同意。</p>
<p>9. 報告書 P.185：圖 7.2-6，請標註 A、B、C、D 方向，另建議與事故碰撞構圖疊圖，以利對應。</p>	<p>A、B、C、D 方向已於空拍圖 7.2-1 標記，而圖 7.2-6 係由平台輸出，不宜再另行加註其他資訊，爰建議委員可搭配圖 7.2-1 一起閱讀。</p>	<p>同意。</p>
<p>10. 報告書 P.198：圖 7.2-22 因 A、C 方向同向直行擦撞較多，建議增設 A、C 方向直行車道之路口行車導引線。</p>	<p>感謝委員建議，目前現況已有 A、C 方向直行車道之路口行車導引線(圖 7.2-1)，而公路局提供之改善方案圖(圖 7.2-22) 亦有規劃路口行車導引線，惟 A、C 方向增設偏心左</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	彎專用道設計且此路口非正交，因此車道之路口行車導引線為曲線。	
11. 報告書 P.214：圖 7.4-4 係引用公路局簡報，請標註往北方向。	謝謝委員提醒，已標註往北方向。	同意。
12. 報告書 P.216： (1) 圖 7.4-6，請標註 A、B、C、D 方向，另建議與事故碰撞構圖疊圖，以利對應。 (2) 該路口以 A、C 方向左轉穿越側撞、A 方向同向右轉擦撞事故多，請說明如何從衝突分析表中對應此一情形？ (3) 建議探討 A、C 方向實施左轉保護時相之可行性。	(1) A、B、C、D 方向已於空拍圖 7.4-1 註記，而圖 7.4-6 係由平台輸出，不宜再另行加註其他資訊，建議委員可搭配圖 7.4-1 一起閱讀。 (2) 按衝突類型區分之交通衝突，是透過平台中以互動方式在畫面中點擊交通衝突事件，再加以判斷及確認。 (3) 本研究團隊已於與道路主管機關(公路局)之交流會議中，討論過實施左轉保護時相之可行性，惟因該路口直行車流量大且無多餘空間設置左彎專用車道，因此公路局目前未考慮實施左轉保護時相。	同意。
13. 本案可減少交通工程師在蒐集交通基礎資料的部分，確實有達成效果。建議未來如有機會可與其他單位(例如：內政部國土管理署)合作，以擴增資料庫內容與實證案例。	感謝委員的肯定。	同意。
(二) 臺灣大學土木工程學系許退休教授添本		
1. 改善策略可區分為由碰撞構圖、交通衝突或其他觀察來產生，故建議可考慮依前述方式來區分改善策略，以利讀者較清楚了解	(1) 感謝委員建議，已調整引用方式。 (2) 感謝委員建議，已補充改善策略之依據。目前道路主管機關所提之改善策略係依據事故碰	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
其改善策略之緣由。另改善策略之資料來源，建議引述來自哪一份研究報告。	撞構圖或事故統計資料而產生，而本研究團隊所提之改善策略係由交通衝突及其他觀察結果而產生。	
2. 報告書 P.97、P.230：圖 5.1-20 為 TTC 的衝突熱點圖。衝突熱點除了 TTC 圖外，也可考慮以 PET 來分析路口交叉撞或左轉側撞的部分。	圖 5.1-20 為擴充多岔路口分析功能之衝突熱點示意圖。本分析平台的衝突熱點，可依使用者需求選擇衝突指標(例如：TTC 或 PET)、衝突型態(例如：同向衝突、穿越交通衝突、行人與車輛衝突、對向衝突等)，以利篩選。	同意。
3. 報告書 P.104、P.111：對於機會左轉(進階分析)之衝突，應可考慮汽機車之差別，或同向與對向之差別。汽、機車的軌跡圖若可以分開，就比較容易進行後續分析。	感謝委員建議。圖 6.1-1 是引用本計畫 110 年(第 1 年期)之計畫構想；圖 6.2-4 說明完整之衝突類別，其中已區分同向衝突([C2][C4])及對向([C1][C3])衝突。而圖例之汽機車僅為示意，在計算及分析過程中已有按車種分別紀錄。	同意。
4. 報告書 P.183、P.185、P.191：對於改善策略的產生，建議可以引用相關各路口已有改善方案的參考文獻，同時可考慮標線與號誌之間的配合。	感謝委員建議，已補充其改善策略之依據。目前道路主管機關所提之改善策略係依據事故碰撞構圖或事故統計資料而產生，而本研究團隊所提之改善策略係由交通衝突及其他觀察結果而產生。	同意。
5. 報告書 P.191：有關桃園市桃園區民生路復興路口之改善建議部份，建議將文字調整為可增加時相二之全紅時間秒數。	謝謝委員建議，本研究團隊在現場調查時，已實施時相二(遲閉)之改善方案；因觀察到清道時間結束後，仍有無法通過路口之車輛，因此建議縮短綠燈秒數、增加全紅秒數，而本研究團隊已於與道路主管機關之交流會議時提出討論前揭建議，惟最終沒有被採納。	同意。
6. 建議以現有之資料，未來可供後續學術建立新的衝	謝謝委員建議。本研究取得之空拍影像及軌跡資料，已有進行資料共	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
突理論(包含潛在衝突、 實際衝突及衝突嚴重度 等)，進行研究。	享計畫，提供學術研究單位進行分 析運用。目前已有單位提出申請， 並將資料應用於論文或計畫案的研 究。	
7. 簡報 P.29：軌跡線若是在 同一個號誌時相畫的，會 有很多交叉點，而時間差 要在某個範圍之內才算是 衝突，建議未來可以有時 間上的區分。	感謝委員建議，目前平台可讓使用 者設定欲繪製的時間範圍及號誌週 期區間，未來將研擬以時相區分的 輸出功能。	同意。
(三) 中華民國交通工程技師公會		
1. 本案的研究成果豐富，且 有考量未來在實務上的應 用。實務上委託辦理交通 工程改善設計的主要工作 有資料蒐集、事故碰撞構 圖、研擬路口相關改善設 計等，惟就目前一個路口 的改善預算上，較難再加 上額外的工作。目前以事 故碰撞構圖的方法，大概 可以找到路口 70-80%的 問題，若要額外再以無人 機的方法，發現剩下 20- 30%問題，以成本考量來 說，較不具效益。另無人 機會受禁航區、限航區等 限制，導致無法使用無人 機拍攝路口。	感謝公會的說明。	同意。
2. 若以無人機空拍僅分析一 個路口改善，就目前各機 關提供的預算來說，可能 在實務推動上會比較困 難。但如果本研究案未來	感謝公會的建議，研究團隊亦期盼 能有路口進行改善前後之比較，惟 本年度選擇之易肇事路口分析，皆 因改善方案變化較小或尚未完成交 通工程改善，爰本研究團隊與運研	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
用在評估路口之改善效果(事前事後比較)上，可能會比較有效益，並可藉此檢討相關規範及門檻值之合理性。	所經評估後，尚無辦理前揭路口之後續分析作業。	
(四) 淡江大學運輸管理學系張教授勝雄(書面意見)		
1. 報告書 P.125：所述「圓頭綠燈」建議改為「圓形綠燈」，以符合道路交通標誌標線號誌設置規則之用詞。	遵照辦理。	同意。
2. 報告書 P.126：文中之問題討論多使用「較多」一詞來顯示問題的嚴重程度，建議可提出更明確的行為比例，以方便後續實務操作之應用。	謝謝委員意見，文中之「較多」是指部分影片中發現約超過30%之車輛有發生風險或違規相關行為，惟同一路口各影片中所出現相關行為的比例可能有所不同，因此在敘述上未有採用明確的用詞。 已於報告書補充說明「較多」之意涵。	同意。
3. 報告書 P.174：退縮行穿線的位置，固可增加車輛接觸行穿線時的角度，提高車輛駕駛人注意到行人的機率。但若人行道的位置無法適當配合，是否也會增加行人未走在行穿線的機率？	同意委員之觀點，人行道的位置確實有可能增加行人未走在行穿線的機率，例如：圖 6.4-26 之 A 方向。另一可行解法為將路口轉角之人行道外推，也可讓轉彎車輛在接觸枕木紋行人穿越道線時之角度增加、轉彎車輛減速，以提升行人安全。	同意。
4. 報告書 P.177：所述「...將於期末報告書說明。」，此段文字似有誤，請修正。	遵照辦理。	同意。
5. 報告書 P.196：清道時間結束後仍無法通過路口的車輛偏多是否與搶黃燈有	根據研究團隊的觀察，清道時間結束後仍無法通過路口的車輛偏多，主要原因為左轉車輛已抵達路口中	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
關?直接延長清道時間， 是否即可解決問題?	央處等待機會，但因對向直行車流 量大，左轉車輛無法於綠燈結束前 順利通過而停留在路口。當下一時 相綠燈開始時會造成交通衝突，綠 燈時間的利用率也降低，而此現象， 一般來說似與搶黃燈較無相關。根 據研究團隊的分析經驗，延長清道 時間應可解決此問題。	
6. 報告書 P.197：有關「機 車兩段左轉待轉區動線不 佳」議題，若 A 方向設 置偏心左轉專用道並搭配 左轉專用時相，則應無與 待轉機車衝突的問題，但 也無法改善進入待轉區時 角度過大、動線不佳的問 題。建議可考慮是否讓機 車於左轉時相直接左轉。	謝謝委員意見，該路段為單向二車 道，內線車道並未禁行機車，若搭 配偏心左彎專用車道及左轉專用時 相，提供機車直接左轉，確實是可 以考慮的解法。	同意。
7. 報告書 P.210：有關「道 路未對齊」議題之建議改 善方案，B 方向改單行 道只出不進，仍然會與 D 方向的左轉車衝突， 似乎無法改善現有問題? 此外，是否有平行的道路 可配合單行道的設置?請 補充說明。	(1) 感謝委員建議，B 方向改單行 道只出不進，係指車流可以由 B 方向離開路口，但不能從 B 方向進入路口，因此可排除 B 方向直行車與 D 方向左轉車 衝突，這對於路口之車流動線 應能有所改善。 (2) B 方向旁有平行道路，應可配 合設置單行道，惟在巷弄設置 單行道，尚需經當地居民取得 共識方可配合設置另一方向之 單行道，因此目前未有進一步 詳細討論此方案之相關配套。	同意。
8. 報告書 P.225：有關「待 轉區動線設計不佳」議 題，所述「機車左轉量	感謝委員建議，直接左轉或縮減週 期時間等都是可行的改善方案，惟 道路主管機關因有其他考量，因此	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
大，有溢出待轉區至行穿線之情況」，除了檢討待轉區的大小外，建議亦可考慮直接左轉，或縮減號誌週期時間等不同的方案，再依據評估結果做適當選擇。	目前尚未有最終的改善方案。	
(五) 臺北科技大學資訊工程學系林教授惠勇 (書面意見)		
1. 報告書 P.63：運用拍攝時鐘及號誌燈號進行同步為很好的想法，但建議仍需進行空拍機飛行期間，實際燈號變換之精準度驗證。	感謝委員建議，目前在無人機飛行期間，已用手機或攝影機側拍實際燈號，且拍攝號誌轉換兩次以上。透過手機與無人機拍攝影像及時鐘進行對時校正，基於影像每秒幀數 30 張，其準確度應可達 0.033 秒。	同意。
2. 報告書 P.64：對於無人機飛行及攝影的最佳參數說明，宜提供現有設定下的潛在缺點，做為未來空拍機採用之依據。	無人機飛行及攝影最佳參數係依無人機規格及實際場域驗證後歸納所得，其飛行高度、拍攝範圍、解析度等皆與無人機鏡頭有密切關聯，須依據無人機規格而調整。目前採用 6K 解析度雖可取得較高的影像品質，日後或可做為其他研究用途，惟目前影像分析時需進行影像校正及寬高比例調整。依比例來看，4K 影像仍較符合影像分析所需，亦可做為其他空拍機採用依據。高度部分需依據實際拍攝需求進行高度調整，範圍可從 60~120 公尺，惟訓練資料影像來源主要基於 70~85 公尺之飛行高度，因此建議在同樣高度範圍進行拍攝以取得最佳效果。	同意。
3. 報告書 P.74-P.75(第 3.3 節)：無人機資安檢測為近幾年相當受到重視的議題，惟報告書中對於資安	感謝委員建議，有關 112 年 12 月 1 日民航局會議更新之最新進度與相關資訊，將於期末報告第 3.3 節補充說明。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
項目敘述較為簡略，建議可針對目前使用狀況及符合程度進行說明。		
4. 報告書 P.79：影像及物件辨識在車輛偵測技術上逐年改善，宜說明表 4.1-2 的數據是否符合應用需求，亦應提供運算即時性的相關資料。	(1) 由於長寬比越大之物體，越容易因微小的角度變化明顯降低交聯比，因此表 4.1-2 數據中的大客車已近似於貨車的車輛貼合度；從後續衝突分析上，也發現明顯降低因車輛位置不貼合所造成的錯誤衝突判斷。 (2) 由於本案主要採離線、非即時分析，因此並未特別著墨在運算即時性的分析上。基本上，由於未更換骨幹網路與及偵測主架構，因此運算效率與原 YOLOv4 應不會有顯著差別。	同意。
5. 報告書 P.238-P.242：空拍號誌燈箱已實際架設，對於實際位置應於影像中清楚標示（例如圖 8.1-1），惟在圖 8.1-2~圖 8.1-8 亦無法清楚辨識空拍號誌燈箱位置。	感謝委員建議，已於報告書圖片標示號誌燈箱位置。	同意。
(六) 勤益科技大學林特聘教授正堅（書面意見）		
1. 報告書 P.29-P.30： (1) 所述「在前期的計畫中，研究團隊提出適用於車輛的 6 參數迴歸模型，更進一步避免角度不連續的問題。為了實現高性能的物體檢測，研究團隊基於由國內發展出的 YOLOv4 架構，開發新的車輛偵測	(1) 該車輛偵測技術主要為去年度之報告內容，其對應之詳細論文將補充於參考文獻中。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>技術來生成具有方向性，可以更好地擬合空拍影像中車輛位置的可旋轉矩形框」，宜說明確切新的車輛偵測技術為何？</p> <p>(2) 在實際應用中，當無人機姿態改變之後，相關偵測到的物件座標如何處理？</p>	<p>(2) 影片拍攝上已事先要求維持垂直拍攝路面，所有瞬間的機身傾斜，皆會在車輛偵測前先透過與首張關鍵畫面間的運動校正，來達到所有影片畫面維持在相同的 2 維座標空間中，以維持車輛座標的一致與連續性。</p>	
<p>2. 報告書 P.64：表 3.1-2(無人機飛行及攝影機最佳參數設定表)中，顯示在 120 公尺高度下拍攝長寬範圍約 157*88 公尺，請說明不同的路口是否適用？另外是否應該優先分析路口情形，再反推拍攝高度？</p>	<p>配合不同應用情境將調整不同的飛行高度，例如：今年度針對人車衝突情境分析，飛行高度則調整為 75 公尺，以利清晰捕捉行人與車輛之影像；而機會左轉衝突情境，飛行高度為 120 公尺，以利拍攝汽機車進出不同路口之左轉情形。</p> <p>將修改報告書之相關說明：無人機拍攝建議高度因應不同情境類型，可於 60~120 公尺間配合調整。</p>	<p>同意。</p>
<p>3. 報告書 P.79：表 4.1-2(四種計算預測框與實際框疊合率方式的偵測表現)，顯示機車的結果仍然不佳，請說明如何改善？</p>	<p>單張的機車偵測結果還會透過追蹤機制來補償失真情況，透過內插機車位置，形成完整的連續機車軌跡。同樣機制亦應用在四輪車輛軌跡之產生。</p>	<p>同意。</p>
<p>4. 實際應用中未有行人及腳踏車的偵測結果，請補充說明。</p>	<p>腳踏車之訓練與偵測為過去年度之工作項目，爰今年度並未針對腳踏車部分，進行額外的訓練測試。</p> <p>行人部分之偵測，已列舉並新增部分資料於報告書第 4.4 節。</p>	<p>同意。</p>
<p>(七) 交通部公路局李副總工程師忠璋 (書面意見)</p>		

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
1. 非常感謝運研所及研究團隊邀請本局參與今年度的研究案。	謝謝委員。	同意。
2. 報告書 P.90：圖 5.1-8(路口車速與數量分布圖)中，有關縱軸之車輛數百分比，請補充說明是個別車種自身的佔比或對於全車種的佔比。	感謝委員建議，該百分比計算為各車種在不同時速下對於「全車種」之佔比，將補充說明於報告書。	同意。
3. 報告書 P.92：圖 5.1-12、圖 5.1-13，統計表內各項數據皆以百分比呈現，無法看到曝光量，這種呈現方式正確嗎?還是系統也有以數值的表示方式，請補充說明。另外各個不恰當的轉向態樣之百分比，其加總都不等於 100%，有的是大於 100%，請檢視後修正或說明原因。	(1) 圖 5.1-12、圖 5.1-13，兩張圖右上角皆有切換按鈕，可切換以數值呈現或百分比呈現。另 5.1.4 節主要說明今年度的研究針對分析軟體輸出之統計圖表部分，輸出資料新增以百分比呈現之功能。 (2) 圖 5.1-12、圖 5.1-13，是分別呈現機會左轉分析及穿越衝突分析之違規行為車輛比例，沒有包含違規行為之車輛，因此其加總不會相等於 100%。	同意。
4. 報告書 P.100：圖 5.1-24，圖的標題是「加速度」，但圖例的單位卻是「速率 KPH」，請檢視後修正。	感謝委員提醒，此乃誤植為先前功能名稱，標題應為速度熱區圖，已於修正報告書。	同意。
5. 報告書 P.113：[V8]接近路口處變換車道(跨越雙白線)的違規行為，若是在直行車輛前方沒有機會左轉的車輛，這類違規行為比較不會發生，建議圖例可調整情境狀況。	感謝委員建議，已調整圖例以說明真實狀況。	同意。
6. 報告書 P.116：[R1]車輛	謝謝委員建議，[R1]係指轉彎車未	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
未慢速通過行穿線，對應到圖 6.2-5 係指車輛行經路口不能超過 30 公里/小時。這在非號誌化路口是合理的，但在號誌化路口而行車方向是綠燈的情形時，應該不太能適用，建議再將情境細分應該比較好一點。	慢速通過行穿線，並不包含綠燈情形下之直行車。已於報告書修正圖例及相關說明。	
7. 報告書 P.117：違規行為[V3]之文字，建議調整為「轉向車輛未禮讓行人」，比較符合圖 6.2-6 之圖例。	感謝委員建議，已將[V3]文字調整為「轉向車輛未停讓行人」。	同意。
8. 報告書 P.145-P.176(第 6.4.2 節)：建議在各個路口之車輛通過行穿線時角度表格中，所述之欄位名稱「平均值」調整為「角度平均值」。	遵照辦理。	同意。
9. 報告書 P.176：一般國內在設置行人穿越庇護島時，主要是考量部分行人無法在行人綠燈時間結束前通過路口，爰利用中央分隔島做為臨時暫停之保護空間。報告中所述「國外有兩段行穿線搭配不同時相之設計」，要先考量行人交通量及庇護島的空間是否足夠，如果庇護島空間不足恐讓行人在更不安的空間暫停。另外，若採不同時相，也可能會有	感謝委員提供資訊。同意庇護島的空間大小需要考量行人交通量，惟目前調查地點的行人交通量不多，應可忽略因庇護島空間不足對行人帶來的額外風險。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
時相太多導造路口運作效 率降低之情形產生。		
(八) 交通部公路局 (書面意見)		
1. 本計畫所調查拍攝之路 口，是否會受尖、離峰車 (人)流時段不同，導致可 能會有不同之分析結果及 改善建議?	(1) 所有透過現場調查的分析，都 有可能因調查時間、調查日期 不同而導致有不同的分析結 果。 (2) 本案挑選現場調查時段的原則 為： 甲、易肇事路口的拍攝時間為 參考交通部道安資訊查詢 網提供之資訊，選擇該路 口之肇事熱時。 乙、先導測試路口拍攝時間為 上午尖峰時間 0750-0850 或下午尖峰時間 1650- 1750，應有足夠代表性， 以反映路口情況。	同意。
2. 報告書 P.109：表 6.2-1 中，有關[R3]左轉車未到 達路口中央處左轉(過彎 「切西瓜」)，列為「機 會左轉：具風險之駕駛及 用路行為」之分析項目， 惟依道路交通管理規則第 102 條第 5 項，該項應屬 違規行為，建議改列為違 規行為分析項目。	感謝委員建議。查道路交通管理規 則 102 條第 5 項：「左轉彎時，應距 交岔路口三十公尺前顯示方向燈或 手勢，換入內側車道或左轉車道， 行至交岔路口中心處左轉，並不得 占用來車道搶先左轉」，惟路口中央 區域之界定尚未有明確準則，且鮮 少有開罰案例，因此本研究將其歸 類為風險之駕駛及用路行為。	同意。
3. 報告書 P.226-P.237：就擇 定之 4 處易肇事路口進行 分析，其中宜蘭縣中山 路、神農路、舊城南路為 多岔路口，幾何條件相較 其他 3 處路口複雜，目前	謝謝委員建議，從旨揭多岔路口案 例中發現，其設計方式是以四岔路 口另加一方向之獨立時相，似乎未 有考慮多岔路口之車流及幾何特 性，因此在交通衝突分析中發現許 多有待改善之衝突問題，惟目前可	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
僅提供部分改善建議，未來如遇幾何條件更複雜之路口，是否能提供完整之改善建議？	運用之改善方案，可能無法全部解決此案例的問題。建議未來道路主管機關應盡可能避免產生類似多岔路口之路型，以利後續管養及維護用路人安全。	
(九) 臺北市交通管制工程處 (書面意見)		
1. 報告書 P.148、P.152、P.156、P.160、P.172：所述「改善路口設計提升行人走於行穿線上之意願」，建議補充更具體之改善方式。	謝謝委員建議，已於報告書補充更具體的改善方式，例如：提供人行道、人行道外推、增加行人庇護島等。	同意。
2. 報告書 P.145-P.176 (第 6.4.2 節)：建議可於路口之行人軌跡圖中，補充車輛轉彎軌跡圖，可以更容易看出路口衝突點位，也有利於後續改善方案之評估。	感謝委員建議，已於報告書補充車流軌跡圖。	同意。
(十) 本所運輸安全組(書面意見)		
1. 報告書第五章：請補充 5.2 節(研提推廣應用模式)之相關內容，尤其是未來推廣應用的部分。例如：未來技(商)轉後，可以協助的業務或方向有哪些？協助地方政府進行易肇事路口分析？如何針對特定議題進行分析？	遵照辦理。	同意。
2. 報告書第六章： (1) P.103：表 6-1 與所述與 110 年度調查合作機關意願(臺南市、公路局)之相關內容似不符，請檢視	遵照辦理。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>後修正。</p> <p>(2) P.121-P.173(6.3 節、6.4 節)：所述「建議可將轉彎夾角的人行道外推，增加車輛轉彎半徑以提高車輛接觸行穿線時的角度」或「建議設置庇護島或退縮行穿線方式並配合號誌改善以減少衝突行為」等改善建議，請說明是建議改善哪一個位置之相關設施(如：A 方向之人行道或行人穿越道線)。</p> <p>(3) 有關 6.4 節內「車輛通行穿線時角度」之表格部分，其表頭名稱現為「平均值」，請修正為「角度平均值」，以利讀者了解。</p>		
<p>3. 報告書第七章：</p> <p>(1) P.177：所述「另外兩個地點之分析結果將於期末報告書說明」，請刪除。另請通盤檢視本報告書內是否有類似之文字內容後修正。</p> <p>(2) P.199：所述「研究團隊尚未取得地方機關提供之正式時制」似有誤，請確認。</p>	遵照辦理。	同意。
<p>4. 請將報告內較口語的用詞(如：右專、左專、圓頭綠燈、雙白線、雙黃線、</p>	遵照辦理，已將期末報告內文較口語的用詞，調整說明如下： (1) 圓頭紅燈→圓形紅燈。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>導引線)，調整為道路交通標誌標線號誌設置規則或交通工程規範等內容所列之法規用語，以利讀者了解。</p>	<p>(2) 圓頭黃燈→圓形黃燈。 (3) 圓綠→圓形綠燈。 (4) 直箭綠→直行箭頭綠燈。 (5) 左箭綠→左轉箭頭綠燈。 (6) 右箭綠→右轉箭頭綠燈。 (7) 雙黃線→分向限制線或雙向禁止超車線(視標線繪設位置而定)。 (8) 黃虛線→行車分向線。 (9) 轉彎導引線、導引線→路口行車導引線。 (10) 雙白線→雙邊禁止變換車道線。 (11) 左專→左彎專用車道。 (12) 右專→右彎專用車道。 (13) 行穿線→枕木紋行人穿越道線。 (14) 偏心左轉車道→偏心左彎專用車道。 (15) 機車待轉區、待轉區、兩段式機車左轉等待區→機慢車左轉待轉區線。 (16) 左彎待轉區線。 (17) 道路邊緣線→路面邊線。 (18) 紅線→禁止臨時停車線。 (19) 汽車號誌→行車管制號誌。 (20) 行人號誌→行人穿越道號誌。 (21) 導桿→交通桿。</p>	
<p>5. 有關報告中錯字、文字修正或排版部分，請檢視後修正。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意。</p>
<p>6. 請將報告內所述之日期格式或相關內容，調整為一致之格式。</p>	<p>遵照辦理，將調整報告書： (1) 內文若未特別說明即以民國年表示，若有引用國外論文、需</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>使用西元年份則會加上西元之文字。參考文獻的年份格式，則依原本之書寫格式。</p> <p>(2) 日期格式部分，皆已調整為 000 年 00 月 00 日。</p>	
7. 請將「交通衝突分析軟體使用手冊」，放在本報告附錄。	遵照辦理。	同意。
(十一) 主席結論		
1. 請綜整本 3 年期計畫之研究成果，並說明各大項之累積成果、本技術之限制、未來應用等內容，另請檢附使用手冊供相關人員使用本工具。	遵照辦理，已將使用手冊補充於報告書附錄。	同意。
2. 本計畫定位為發現路口交通衝突之工具開發，建議將研究成果與研究限制交代清楚，以讓使用者可更正確的使用此分析工具。	遵照辦理，已補充於使用手冊。	同意。
3. 審查會議各委員、與會單位及所內研提之口頭及書面意見，請訊力科技股份有限公司(研究團隊)整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。	遵照辦理。	同意。
4. 本計畫經徵詢審查委員意見，期末報告初稿審查通過，請訊力科技股份有限公司(研究團隊)於 112 年 12 月 22 日(星期五)前提送期末報告修正定稿。	遵照辦理。	同意。

附錄 H. 111 年度計畫期末審查意見規劃於本 (112)年度工作項目

一、無人機領域

1. 評估空拍號誌燈箱可行性

本計畫已於 112 年 6 月 28 日進行臺南市佳里區佳東路、進學路口評估空拍燈箱規劃方式之實際效果，委請臺南市號誌承辦商山崙企業有限公司協助進行架設 LED 燈號朝向天空安裝、拉線、與號誌訊號同步，其燈號安裝位置請參考圖 1 紅框位置。



圖1 空拍號誌燈版架設位置圖

該 LED 燈面面積大小為標準燈面，本次實驗配合當地號控設備環境，將控制線並聯於紅燈燈號控制線，透過無人機飛行不同高度進行測試，飛行高度由 60 公尺~120 公尺高，於陰天測試環境下，皆可由肉眼看出燈號轉換時間點，如圖 2 至圖 8。因此後續若透過此方式可減去側拍號誌燈號變化之作業程序，以簡化飛行作業記錄燈號變化程序，然而此方式需額外委託當地號控廠商進行外拉控制線，建議以最簡易方式進行，譬如接線於行人專用號誌，惟須配合當地號控設備

環境(是否皆有行人專用號誌)與當時介接是否正常工作之不確定因數、增加前期與號控廠商溝通時間、廠商拉線與測試作業時間等需求，亦須納入考量。



圖2 無人機空拍號誌燈於飛行高度60公尺

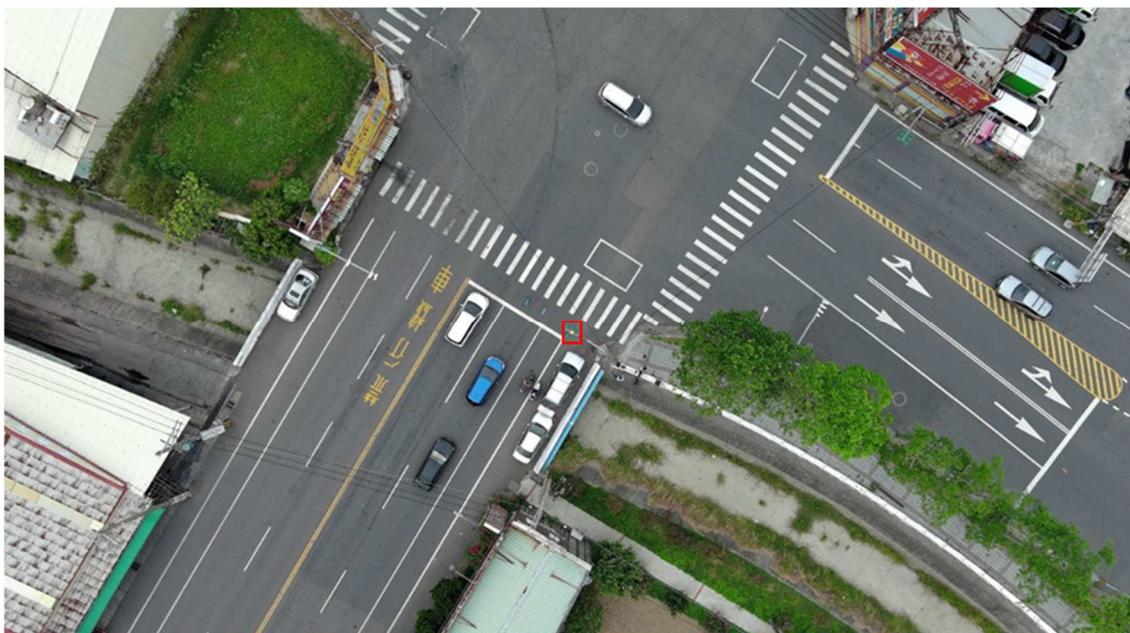


圖3 無人機空拍號誌燈於飛行高度70公尺



圖4 無人機空拍號誌燈於飛行高度80公尺



圖5 無人機空拍號誌燈於飛行高度90公尺



圖6 無人機空拍號誌燈於飛行高度100公尺



圖7 無人機空拍號誌燈於飛行高度110公尺



圖8 無人機空拍號誌燈於飛行高度120公尺

2. 與無人機協會交流空拍方式

本計畫已於 112 年 1 月 16 日與台灣無人機應用發展協會張理事長進行會議討論與請益，整理該協會針對無人機資安議題之結論如下：

- 一、現況因數位發展部未公布方法，因此尚無任何一家臺灣無人機廠商可支援此資安議題。
- 二、通過此資安檢測需費用，無人機廠商尚需評估未來對應做法。
- 三、現況臺灣無人機應用發展協會建議無人機廠家與本計畫，因應地面交通空中勘察之無人機，應尋訪廠家發展「專屬空中影像拍攝機型」以符合未來建立常態模式。於此，協會可以配合長期協助。

依 112 年 6 月 19 日民航局會議說明，無人機一般資安檢測規範將於 113 年 7 月正式上路。目前本計畫使用之無人機，已註冊且在效期內，已符合民航局現行規範，故本(112)年度不受影響。未來完成資安檢測的機型會公告在民航局網頁，後續採用機型將列為重要參考依據。詳見 3.3 節「無人機資安議題」。

二、分析軟體技術

1. 強化行人影像偵測

112 年本計畫會嘗試將當前幀與其前後幀影像進行合併，呈現行人移動中的殘像以提高其外觀複雜性，一方面增加偵測上的特徵豐富度；另一方面凸顯移動中行人與靜止背景的不同處。期望能提升移動中行人的辨識度、降低路面靜止的車阻、水溝蓋遭誤認為行人的可能性。行人偵測預計將獨立於其他車輛偵測機制，採用 4K 以上影像分析，避免小物件在外觀特徵資訊上的進一步減少。考量 4K 以上影像在訓練與預測上的高度資源耗費，每張影像將區分為左右兩張影像進行訓練，並將左右張的預測結果重新合併為單張結果。

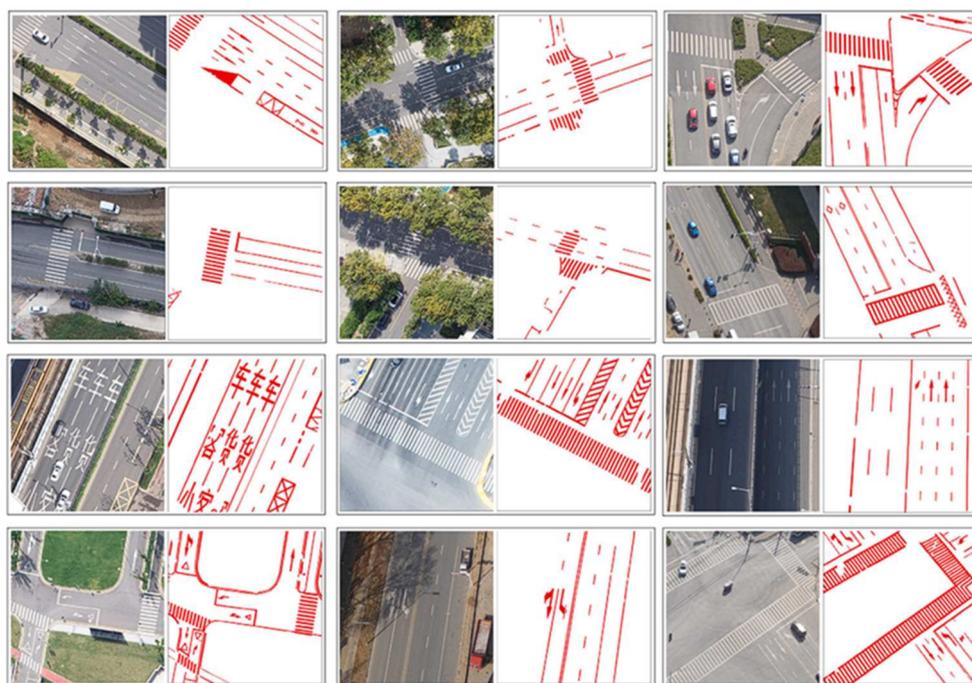
然而，在嘗試過將前中後三張空拍灰階影像，疊合成單張影像的 RGB 通道影像等偵測方法不見顯著成效後，目前本計畫改以單張的灰階底圖影像取代原 RGB 彩色影像中的藍色頻影像進行訓練，希望透過引入已去除移動人車前景，保留了道路等靜態背景內容的底圖影像，可以提供深度網路做為參考，取出前景的移動行人，如 4.3 小節所示。雖然在結果上增加了誤偵，讓查準率降低到了 0.710，但也讓查全率大幅提升到相對更高的 0.757。由於本計畫案會透過影片穩定化來固定攝影機拍攝範圍，因此可合理地取得穩定的底圖內容，但在訓練與實際偵測上皆須重新納入底圖資訊，需要增加額外的處理手續與自動化過程。期望透過後續增加訓練影像並調整網路結構，能進一步改善針對行人的偵測效果。

2. 評估以空拍影像繪製路口現場圖之可行性

由於自駕車、車聯網等新興技術的興起，精密的電子道路地圖越來越受到重視，這些高精度的地圖資訊往往需要透過車載光達來進行大量資料收集與地圖建置，因此相關技術在近年越來越獲得重視。透過移動車載光達建立出的 3D 點雲，會先經過平面過濾取出建物以外的地面範圍，有時也會搭配可見光攝影機取得行經路面之彩色影像，取樣出類似於空拍影像的平面路面區域影像。由於空拍機在收集成本上遠高於車載光達，因此目前多數的自動繪製線道技術都是應用在光

達收集的 3D 點雲資料上，並且大多數技術是來自中國，缺乏開源程式與資料庫。雖然應用對象有所不同，但無論是車載光達的平面點雲資料或空拍機拍攝的彩色影像，基本上都是基於二維圖像的概念進行後續的線道分析處理，因此仍可做為研發的參考方向。

H. Guan 等人於西元 2022 年提出了一種名為 ACapsFPN (Attentive Capsule Feature Pyramid Network) 的新型道路標線提取方法，該方法利用了深度學習中的注意力機制和膠囊網路技術，能夠提供高分辨率和語義強的道路特徵表示，直接從空拍影像中提取道路標線。作者認為膠囊網路比一般 CNN 網路更能精確地捕捉不同特徵之間的空間關係，也能夠更好地學習物體的局部信息，並將這些局部內容組合成完整物體內容，從而提高了線道識別的準確性與可靠性。圖 9 為其部分路面線道繪製結果。

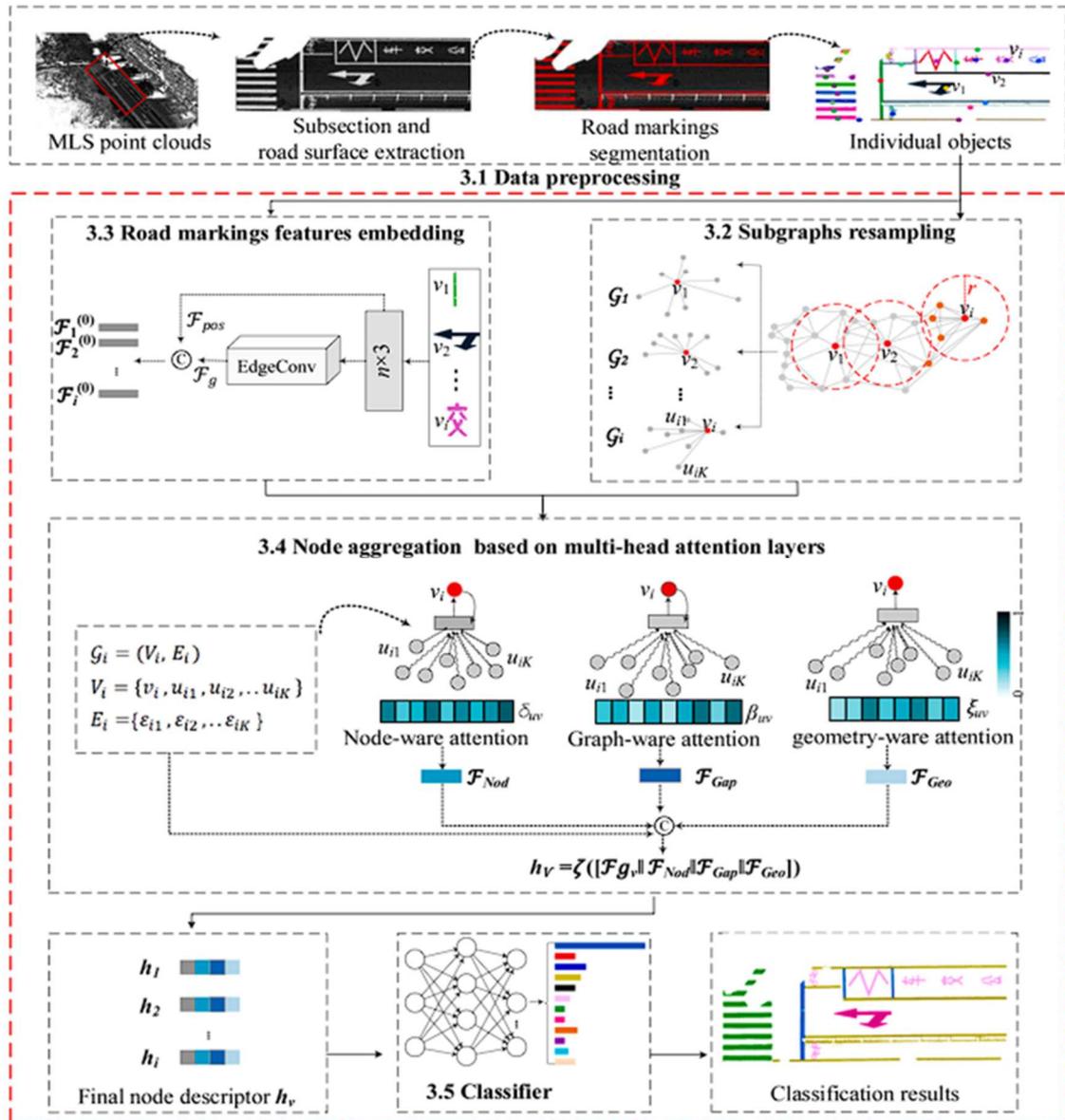


資料來源：H. Guan et al. (2022)

圖 9 基於 ACapsFPN 的路面線道繪製結果

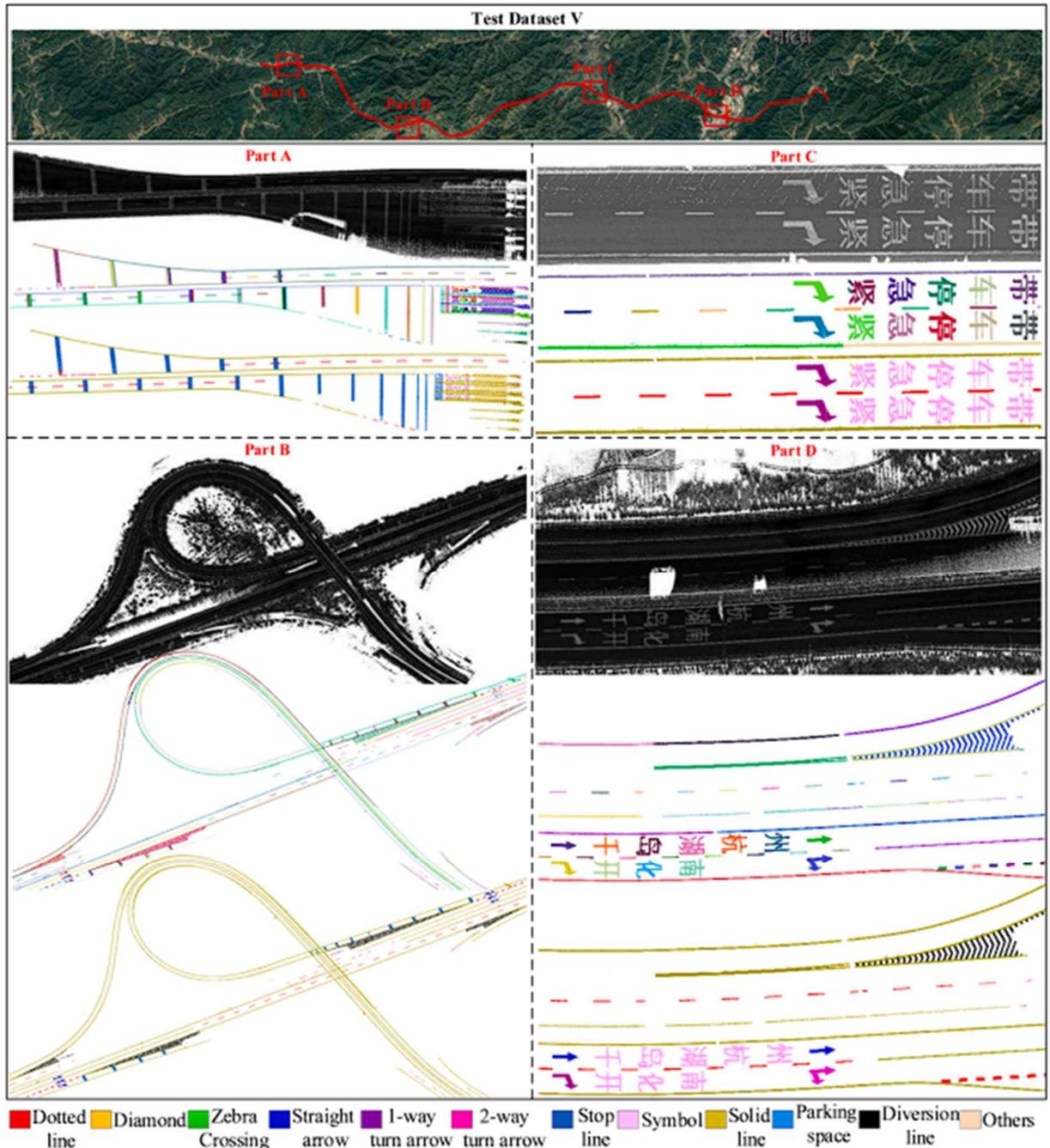
雖然前述方法可以偵測出空拍畫面中的線道位置，但基本上不具備區分線道種類之能力。同年稍後，L. Fang 等人(2022)提出了一種基於圖注意力網路(Graph Attention Network)的新型道路標線分類方法，並將其應用在光達點雲資料中，以便對道路標線進行準確的分類。作

者們提出的網路架構能夠自適應地學習不同像素點之間的關係，從而提高了對不同道路標線的區分能力；圖注意力網路能夠捕捉全局特徵，配合多尺度特徵提取技術，能夠實現將非連續的線道進行統一分類的目的。圖 10 與圖 11 分別為其流程圖與線道繪製結果。



資料來源：L. Fang, T. Sun, S. Wang, H. Fan, J. Li (2022)

圖 10 由 L. Fang 等人所提出方法的流程



資料來源：L. Fang, T. Sun, S. Wang, H. Fan, J. Li (2022)

圖 11 由 L. Fang 等人所提方法的分類結果

綜上所述，目前在自動繪製線道在技術上確實具備可行性；但另一方面，包含開源程式與資料庫等相關的研究資源，不如其他深度學習領域般容易取得，需要一定的重新研發與驗證時間。

3. 分析軟體輸出資料增加百分比

分析軟體的輸出統計圖表，其輸出方式可讓使用者透過介面選擇百分比或實際數值呈現。詳見 5.1.4 節「輸出資料增加百分比資訊」之說明。

三、其它

1. 軟體使用手冊補充相關說明

本(112)年為增進使用者對軟體操作之便捷性與理解，進行了使用手冊的結構與內容修訂工作。鑒於使用手冊資料量豐富，並含多項圖表及索引，將完整手冊收錄於附錄中供讀者參考。

本次修訂後的使用手冊，將不再以紙本形式附加於報告，而是將其電子檔案上傳至分析軟體下載區域，以便使用者能夠隨時獲取最新資訊。此舉可提高資料的易取得性，也符合環保節能的原則。

此外，回應去(111)年度審查提出的建議與意見，本計畫亦對手冊內容進行了相應的補充與完善。具體補充內容包括但不限於：

(1) 影像處理輸出

- i. 物件偵測誤差說明：為了讓使用者對於影像處理可能出現的誤差有更完整的理解，在使用手冊附錄中的「影像處理輸出手法」提供詳細的說明與解析。
- ii. 軌跡資料格式說明：影像處理所產出的軌跡檔案，將包含如車輛 ID、路口代號、車種代號及軌跡位置等重要資訊。這些資訊形成的 metadata 將有助於進行更深入的交通分析。關於這些資訊的詳細內容與格式，在使用手冊附錄的「影像處理輸出手法」給予以說明。
- iii. 軌跡完整度評估說明：由於本案仍處於研發階段，如無人機空拍的機種選擇、深度學習模型的應用，以及路口特徵的認定，皆有可能因開發過程的進行而有所調整。在這種情況下，為了能夠更有效地評估軌跡的實用性，

本計畫定義出幾項評估指標，透過這些評估指標，可以在不需要人工標註正確答案(ground truth)的情況下，對軌跡檔進行初步的評估。藉此確認在特定機種、模型、以及路口環境下，影像處理的實用性如何，並進一步評估是否需要對深度學習模型進行優化調整。在使用手冊附錄中的「專案路口軌跡完整度評估」說明評估指標以及路口專案的評估值。

(2) 交通衝突分析軟體

- i. 納入四向停車(All-way stop)的輸入說明：在使用手冊第十章「進階分析情境：非號誌化路口」的背景與分析說明，簡明地說明如何在軟體中進行設定，以便將特定路口定義為四向停車(All-way stop)。
- ii. 比例尺量測的誤差說明：在執行無人機空拍任務的同時也會執行比例尺量測(利用測距輪進行量測並記錄)，以便在進行交通分析時能將影像對應到實際的距離，有關比例尺的量測方式和驗證方式，在使用手冊附錄的「比例尺與秒差計算方法」提供詳細的說明。
- iii. 軟體設定說明：考量到本案仍處於研發階段，軟體開發以功能導向為主，這可能導致對該軟體不熟悉的使用者較難了解各功能的設定參數和使用方式。為了讓使用者能更順利地進行分析，在使用手冊的第五章「基本設定與分析」提供更詳盡的說明。