110-067-3496
MOTC-IOT-109-SBB006

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

中華民國 110 年 7 月

110-067-3496
MOTC-IOT-109-SBB006

路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較

著者：溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、張開國、葉祖宏、賴靜慧、孔垂昌

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 7 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較/ 溫基信, 王宏生, 黃家耀, 胡守任, 蘇志文, 張開國, 葉祖宏, 賴靜慧, 孔垂昌著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 110.7
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-322-7 (平裝)

1.交通安全、2.交通流量、3.交通事故、4.遙控飛機

557 110011064

路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較

著　　者：溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、張開國、葉祖宏、賴靜慧、孔垂昌
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 110 年 7 月
印 刷 者：全凱數位資訊有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：500 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組·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 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011000961　　ISBN：978-986-531-322-7（平裝）
著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-322-7 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011000961</td><td>運輸研究所出版品編號
110-067-3496</td><td>計畫編號
109-SBB006</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：運輸安全組
主管：葉祖宏
計畫主持人：張開國(前主管)、葉祖宏
研究人員：賴靜慧、孔垂昌
聯絡電話：(02)23496861
傳真號碼：(02)25450429</td><td colspan="2">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</td><td>研究期間
自 109 年 3 月
至 109 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：無人機、深度學習、車流軌跡、衝突熱區</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

依據交通部統計，國內交通事故 30 日死亡人數 108 年 2,865 人，較 107 年增加 85 人，其中有 6 成發生於交岔路口。為能在交通事故發生前診斷出交通衝突問題，並研擬預防性交通工程改善措施，有效防制路口交通事故發生，本計畫延續 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」及 108 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」之研究成果，利用人車流動空拍影像軌跡擷取進行影像分析，透過交通衝突分析軟體進行示範路口衝突分析，並進一步將衝突分析結果及衝突事件的分類，與本所「各肇事型態的交通工程改善設計範例」研究計畫的肇事型態進行連結，銜接衝突事件分析結果與交通工程改善措施研擬工作。

人車流動空拍影像之人車辨識與追蹤技術及交通衝突分析軟體功能，亦在本計畫實作過程中，持續精進與充實，包括為了分析路口鄰近路段的交通行為，重新訓練人車辨識與追蹤模型。於分析軟體方面則新增衝突事件過濾器升級、進出口方向判斷優化，以及衝突熱點影片索引回放等功能，讓使用者操作上可更便利。

此外，本計畫系統性地彙析空拍影像之文獻及國內交通領域之應用需求以及對應之相關技術，並透過座談綜整專家及各界之意見，研提人車流動空拍影像之交通應用情境架構與內容，包括適合分析的 7 項基本應用情境及 6 項進階應用情境。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>110 年 7 月</td><td>424</td><td>500</td><td>凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本計畫之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Applications and Comparisons of Traffic Conflict Analysis Using UAV Aerial Videography for Intersections

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-531-322-7 (pbk.)	1011000961	110-067-3496	109-SBB006

DIVISION: Safety Division
DIVISION DIRECTOR: Tsu-Hurng Yeh
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kai-Kuo Chang, Tsu-Hurng Yeh
PROJECT STAFF: Ching-Huei Lai, Chui-Chang Kung
PHONE: 886-2-23496861
FAX: 886-2-25450429

PROJECT PERIOD

FROM March 2020
TO December 2020

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, Traffic Flow Trajectory, Conflicts Frequency Heatmap

ABSTRACT:

According to statistics from the Ministry of Transportation and Communications, the number of fatalities in traffic accidents within 30 days was 2,865 in 2019, an increase of 85 people from 2018. Of these, 60% occurred at intersections. This study aims to diagnose traffic conflicts before traffic accidents occur and to develop preventive traffic engineering improvement measures to effectively prevent the occurrence of traffic accidents at intersections. This research is an extension of the research results of the "Development of Road Traffic Flow and Accident Risk Detection and Analysis Tools" from 2018 and the "Development of UAV Traffic Photography and Conflict Analysis Technology at Intersections" from 2019. This study uses aerial videography to capture the trajectories of pedestrians and vehicles and performs traffic conflict analysis for intersections using traffic conflict analysis software. The classifications of traffic conflict types are further analyzed and linked with the "Examples of Traffic Engineering Improvement Design for Various Types of Traffic Accidents" study by this Institute to derive the traffic engineering improvement measures from conflict analysis results.

The detection and tracking technology of pedestrian and vehicle trajectory aerial videography and the functions of the traffic conflict analysis software are also continuously improved and enriched during the implementation of this research. The study explored the traffic behavior at intersections to retrain the detection and tracking models for pedestrians and vehicles. New functions include a filter function for specific conflict types, identification of incoming and outgoing directions of traffic at intersections, and playback of conflict events. This enhances the ease of use.

In addition, this research systematically analyzed the literature on aerial photography and the domestic application requirements in the transportation field and the corresponding related technologies. Through a forum collecting opinions from experts and different fields, the traffic application scenarios of the aerial photography of pedestrians and vehicles were discussed, including seven basic application scenarios and six advanced application scenarios.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
July 2021	424	500

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 計畫緣起.....1
1.2 研究內容與工作項目.....2
1.3 研究流程.....2
第二章 文獻回顧.....5
2.1 國內無人機法規更新.....5
2.1.1 各國無人機法規比較.....5
2.1.2 無人機管理注意事項.....7
2.1.3 法人能力審查及活動申請.....11
2.2 影像式車流分析技術.....15
2.2.1 針對空拍影像之四輪車輛偵測技術.....15
2.2.2 適用於機車、行人等小物件之偵測技術.....24
2.2.3 多物件間追蹤技術.....26
2.2.4 主要執行函式邏輯說明.....26
2.3 交通衝突技術.....29
2.3.1 衝突之定義.....29
2.3.2 交通衝突理論之發展.....29
2.3.3 交通衝突型態.....30
2.3.4 交通衝突指標.....34

2.3.5 交通衝突分析工具.....36
2.4 混合車流情境之交通安全工程設計.....41
2.5 前 2 期研究之成果回顧.....44
第三章 空拍影像資料蒐集.....51
3.1 無人機作業流程及適用機型說明.....51
3.1.1 無人機空拍攝影作業流程.....51
3.1.2 無人機適用機型比較.....56
3.1.3 路口空拍任務概況.....62
3.2 易肇事路口場地篩選與實拍.....63
3.2.1 地點評估.....63
3.2.2 空拍記錄.....64
3.3 分流式指向線路口場地篩選與實拍.....68
3.3.1 地點評估.....68
3.3.2 空拍記錄.....69
3.4 非號誌化路口場地篩選與實拍.....70
3.4.1 地點評估.....70
3.4.2 空拍記錄.....71
第四章 影像式車流分析技術.....73
4.1 改善 SCRDET 缺失以偵測四輪車輛.....73
4.2 引進 YOLOv4 以偵測行人、自行車、機車.....76
4.3 實驗測試結果.....76

4.4 實驗分析 86
第五章 交通衝突分析軟體改善精進功能 87
5.1 交通衝突型態分類調整 88
5.1.1 衝突型態與肇事型態回顧 88
5.1.2 交通衝突型態分類及肇事型態對應 92
5.2 衝突事件過濾功能升級 98
5.3 路口進出口方向判定優化 103
5.4 衝突熱點影片索引回放功能 104
5.5 車流軌跡繪製功能 106
5.6 路口轉向速度統計功能 108
第六章 交通工程改善前、後之分析 113
6.1 案例一：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口 113
6.2 案例二：桃園市桃園區三民路三段及永安路口 124
6.3 案例三：臺南市永康區中華路及勝華街口 131
6.4 案例四：新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口 138
第七章 交通安全及行為分析 149
7.1 分流式指向線效益評估 149
7.1.1 分流式指向線 149
7.1.2 車流軌跡圖 150
7.1.3 車輛橫向分布圖 152

7.1.4 指標一：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離 155
7.1.5 指標二：潛在衝突 155
7.1.6 指標三：衝突分析 157
7.1.7 小結 158
7.2 非號誌化路口資料蒐集 158
第八章 交通應用情境架構與內容 165
8.1 人車流動空拍影像軌跡擷取之科技盤點 165
8.1.1 國外使用空拍影像之應用軟體技術 165
8.1.2 技術前緣及限制 166
8.2 交通應用情境 170
8.2.1 基本應用情境 170
8.2.2 進階應用情境 173
8.3 基本應用情境之內容項目及評估 176
8.3.1 基本應用情境(1)：路口轉向交通量調查 176
8.3.2 基本應用情境(2)：路段交通量調查 178
8.3.3 基本應用情境(3)：屏柵線與周界交通量調查 179
8.3.4 基本應用情境(4)：行人交通量調查 179
8.3.5 基本應用情境(5)：車輛起迄調查 179
8.3.6 基本應用情境(6)：旅行時間調查 180
8.3.7 基本交通應用情境(7)：交岔路口車輛延滯調查 180
8.3.8 基本應用情境(8)：現點速率調查 182

8.3.9 基本應用情境(9)：停車特性調查 183
8.3.10 基本應用情境(10)：道路幾何特性調查 184
8.3.11 基本應用情境(11)：交通衝突分析 185
8.4 軟體架構及內容的未來發展 188
8.5 專家學者座談會結論整理 189
8.5.1 交通基本應用情境整理 189
8.5.2 交通進階應用情境整理 191
8.5.3 交通其他應用情境整理 193
8.5.4 路口轉向交通量調查方法整理 195
8.5.5 道路幾何特性調查輔助功能 196
第九章 結論與建議 199
9.1 結論 199
9.2 建議 201
參考文獻 205
附錄 A. 分析軟體使用手冊 211
附錄 B. 無人機路口空拍影像蒐集標準作業流程 247
附錄 C. 教育訓練辦理情形 265
附錄 D. 教育訓練簡報 269
附錄 E. 軟體版權說明 319
附錄 F. 無人機規格 323
附錄 G. 分析軟體硬體電腦規格表 327

附錄 H.　專家學者座談會.....329
附錄 I.　期中報告審查意見處理情形表.....343
附錄 J.　期末報告審查意見處理情形表.....363
附錄 K.　期末報告審查簡報.....375

圖 目 錄

圖 1.3-1 本計畫研究流程圖 3
圖 2.1-1 無人機註冊 8
圖 2.1-2 無人機人員測驗 9
圖 2.1-3 無人機檢驗 10
圖 2.1-4 無人機活動區域 11
圖 2.1-5 法人活動申請 3 階段 12
圖 2.1-6 飛航安全通報 13
圖 2.1-7 無人機操作限制 14
圖 2.2-1 Tian 等人提出之 CTPN(Connectionist Text Proposal Network)架構圖 16
圖 2.2-2 帶有不同旋轉比例的 ANCHOR 表示法 16
圖 2.2-3 RROIPooling 示意圖 17
圖 2.2-4 R^2CNN 架構圖 17
圖 2.2-5 R^2CNN 偵測過程(a)原圖，(b)RPN 的輸出結果，(c)正矩形框與旋轉框回歸，(d)經過 Inclined NMS 輸出後的結果 18
圖 2.2-6 RRPN(左)與 R^2CNN(右)偵測結果 18
圖 2.2-7 SCRDet 架構圖 19
圖 2.2-8 比較錨框步幅 16 與 8 的示意圖 20
圖 2.2-9 (上)原圖，(下)RPN 產生出來的熱區圖 21
圖 2.2-10 MDA-Net 輸出熱區圖 22
圖 2.2-11 候選框(proposal)，實際框(ground truth)與預測框(predict box)關係 23
圖 2.2-12 偵測結果:(左)未引進 IoU Smooth loss; (右)採用 IoU Smooth loss

.....24
圖 2.2-13 Pascal 架構 GPU 下的偵測表現比較，AP50 代表偵測重疊率在50%以上的平均查準率(Average Precision).....25
圖 2.2-14 YOLOv3-CSPnet 效能圖 25
圖 2.3-1 安全階層金字塔圖 30
圖 2.3-2 交岔路口交通衝突分析圖 31
圖 2.3-3 四種交通衝突型態圖 32
圖 2.3-4 TTC 計算公式及示意圖 (a) 90 度直角碰撞、(b) 追撞、(c) 對撞.....35
圖 2.3-5 PET 計算公式及示意圖 35
圖 2.3-6 SSAM 交通衝突指標之計算定義 38
圖 2.3-7 SSAM 交通衝突類型與衝突角度.....39
圖 2.3-8 SSAM 驗證報告之衝突數與交通事故數之關係 39
圖 2.4-1 停等區前端機車流向導引小箭標.....41
圖 2.4-2 機車進入停等區提示標線 42
圖 2.4-3 車道化停等區及相關標線設計 42
圖 2.4-4 肇事型態分類圖.....43
圖 2.5-1 衝突分析軟體架構圖 45
圖 2.5-2 以表格型式輸出分析結果 46
圖 2.5-3 衝突角度示意圖 47
圖 2.5-4 路口衝突事件統計摘要 49
圖 2.5-5 車流特性-路口車速分布圖及轉向交通量.....49
圖 2.5-6 TTC 衝突熱點圖.....50
圖 3.1-1 無人機空拍攝影作業流程 51

圖 3.1-2 無人機攝影預設條件 53
圖 3.1-3 無人機畫面設定示意圖 54
圖 3.1-4 主要道路橫向置中、次要道路縱向置中 54
圖 3.1-5 次要道路橫向置中、主要道路縱向置中 55
圖 3.1-6 起飛地點設置 55
圖 3.1-7 客製國產無人機示意圖 58
圖 3.1-8 客製國產無人機酬載安裝與實測說明 59
圖 3.1-9 市售小型無人機示意圖 60
圖 3.1-10 測試市售小型無人機 Parrot 61
圖 3.2-1 A1 路口空拍畫面(改善前) 64
圖 3.2-2 A1 路口空拍畫面(改善後) 64
圖 3.2-3 A2 路口空拍畫面(改善前) 65
圖 3.2-4 A2 路口空拍畫面(改善後) 65
圖 3.2-5 A3 路口空拍畫面(改善前) 66
圖 3.2-6 A3 路口空拍畫面(改善後) 66
圖 3.2-7 A4 路口空拍畫面(改善前) 67
圖 3.2-8 A4 路口空拍畫面(改善後) 67
圖 3.3-1 臺中市北屯區文心路四段與北屯路交岔口：路側及路口空拍畫面 69
圖 3.4-1 桃園市桃園區成功路二段與朝陽街一段交岔路口：路口空拍畫面 71
圖 4.1-1 通過(a)修改後方案和(b)原始方案估算參數的情況比較 74
圖 4.1-2 (上)修改方案在訓練時期的損失下降趨勢，以及(下)原始方案 75
圖 4.3-1 車輛訓練集中的 5 個路口場景 77

圖 4.3-2 注意力通道結果示意圖 79
圖 4.3-3 傳統 IoU 示意圖 80
圖 4.3-4 傾斜框 IoU 示意圖，灰色區域為兩者重疊區域 81
圖 4.3-5 平均查準度之計算方法與案例 82
圖 4.3-6 (a) Ours，(b)SCRDet，(c) R^2-CNN，(d)RRPN，紅色虛線內為失偵或誤偵結果 84
圖 4.3-7 車輛矩形框偵測結果:(a) Ours、(b)SCRDet、(c) R^2CNN、(d)RRPN 84
圖 4.3-8 YOLOv4 偵測結果 86
圖 5.1-1 交通衝突類型分類 90
圖 5.1-2 肇事型態分類 92
圖 5.1-3 肇事碰撞事故構圖箭頭 93
圖 5.2-1 篩選條件功能圖(108 年研究) 99
圖 5.2-2 篩選條件功能圖(本計畫) 99
圖 5.2-3 篩選條件範例 100
圖 5.2-4 竹北市自強北路及勝利七、八街路口所有衝突熱點圖 101
圖 5.2-5 進階條件篩選示意圖 101
圖 5.2-6 竹北市自強北路及勝利七、八街路口衝突熱點進階篩選結果 102
圖 5.2-7 衝突型態數量統計結果 102
圖 5.3-1 108 年研究進出口判斷方法示意圖 103
圖 5.3-2 本計畫進出口判斷方法示意圖 104
圖 5.4-1 導入衝突熱點影片索引回放功能流程優化示意圖 105
圖 5.4-2 衝突熱點影片索引回放功能示意圖 106
圖 5.5-1 汽車車流軌跡繪製功能示意圖 107

圖 5.5-2 機車車流軌跡繪製功能示意圖 107
圖 5.6-1 路口判斷線設定示意圖 108
圖 5.6-2 路口車種速率分析及車速數量分布示意圖 109
圖 6.1-1 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後空拍圖 114
圖 6.1-2 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口時制圖 114
圖 6.1-3 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口建議改善措施 115
圖 6.1-4 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善不全比較圖 115
圖 6.1-5 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後 C 路段進口車輛軌跡圖 116
圖 6.1-6 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後衝突熱區圖 117
圖 6.1-7 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口衝突嚴重程度分類圖 118
圖 6.1-8 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口衝突車種分類圖 118
圖 6.1-9 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口同向直行減速衝突熱區圖 119
圖 6.1-10 停等追撞示意圖 120
圖 6.1-11 追撞改善設計流程 120
圖 6.1-12 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口 B 與 D 路段同向直行減速衝突 121
圖 6.1-13 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口 B 路段左轉汽車停等圖 122
圖 6.1-14 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口 B 與 D 路段汽車軌跡圖 122
圖 6.1-15 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口建議號誌時制圖 123
圖 6.2-1 桃園市桃園區三民路三段及永安路口空拍圖 124

圖 6.2-2 桃園市桃園區三民路三段及永安路口議改善措施 125
圖 6.2-3 桃園市桃園區三民路三段及永安路口 D 路段路段進口車輛軌跡圖 126
圖 6.2-4 桃園市桃園區三民路三段及永安路口改善後衝突熱區圖 126
圖 6.2-5 桃園市桃園區三民路三段及永安路口衝突嚴重程度分類圖 ... 127
圖 6.2-6 桃園市桃園區三民路三段及永安路口衝突車種分類圖 127
圖 6.2-7 桃園市桃園區三民路三段及永安路口 C 路段進入之同向直行減速衝突熱區圖 129
圖 6.2-8 桃園市桃園區三民路三段及永安路口 C 路段進入之車輛軌跡 130
圖 6.2-9 車道預告標誌「輔 1」 130
圖 6.3-1 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善前後空拍圖 131
圖 6.3-2 臺南市永康區中華路及勝華街路口議改善措施 132
圖 6.3-3 臺南市永康區中華路及勝華街路口 A 路段進入之車輛軌跡圖 133
圖 6.3-4 臺南市永康區中華路及勝華街路 C 路段進入之車輛軌跡圖 .. 133
圖 6.3-5 臺南市永康區中華路及勝華街路口 D 路段進入之車輛軌跡圖 134
圖 6.3-6 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善前後衝突熱區圖 134
圖 6.3-7 臺南市永康區中華路及勝華街路口衝突嚴重程度分類圖 135
圖 6.3-8 臺南市永康區中華路及勝華街路口衝突車種分類圖 135
圖 6.3-9 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善後同向兩車左轉衝突熱區圖 136
圖 6.3-10 臺南市永康區中華路及勝華街路口臺 1 線北向車流之潛在問題

.....137
圖 6.3-11 左轉導引設計流程與範例 C.....137
圖 6.4-1 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後空拍圖...138
圖 6.4-2 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口建議改善措施.....139
圖 6.4-3 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後 A 路段進口車輛軌跡圖.....140
圖 6.4-4 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後 C 路段進口車輛軌跡圖.....141
圖 6.4-5 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後衝突熱區圖.....141
圖 6.4-6 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口衝突嚴重程度分類圖.....142
圖 6.4-7 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口衝突車種分類圖...142
圖 6.4-8 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善後同向直行減速衝突熱區圖.....144
圖 6.4-9 右轉側撞 144
圖 6.4-10 取消慢車道設計準則 145
圖 6.4-11 取消慢車道設計準則範例 C.....146
圖 6.4-12 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口 B、D 路段進入之車流軌跡圖.....147
圖 7.1-1 汽機車衝突示意圖 149
圖 7.1-2 汽車車流軌跡圖 151
圖 7.1-3 機車車流軌跡圖 151
圖 7.1-4 機車車流軌跡圖（右轉）.....152

圖 7.1-5 汽車右轉與機車直行之車流軌跡圖 152
圖 7.1-6 所有車輛之行駛位置分布 153
圖 7.1-7 直行機車與右轉汽車之行駛位置分布 154
圖 7.1-8 直行機車與右轉汽車與道路邊線之平均距離 155
圖 7.1-9 直行機車與右轉汽車衝突分布圖 157
圖 7.2-1 成功路二段/朝陽街路口圖 159
圖 7.2-2 成功路二段/朝陽街路口空拍圖 159
圖 7.2-3 車種速率分佈(成功路/朝陽街北側) 160
圖 7.2-4 車種速率分佈(成功路/朝陽街南側) 160
圖 7.2-5 車種速率分佈(成功路/朝陽街東側) 161
圖 7.2-6 車種速率分佈(成功路/朝陽街西側) 162
圖 7.2-7 桃園市成功路二段/朝陽街口碰撞構圖 162
圖 7.2-8 桃園市成功路二段/朝陽街口衝突熱點圖 163
圖 7.2-9 桃園市成功路二段/朝陽街口衝突型態統計圖 163
圖 8.2-1 人車流動空拍影像之交通應用情境架構 170
圖 8.3-1 路口轉向交通量調查輸出範例 177
圖 8.3-2 道路幾何調查表範例 184
圖 8.4-1 衝突分析軟體功能擴充規劃 188
圖 8.4-2 交通分析軟體可擴充架構模組圖 189

表 目 錄

表 2.1-1 各國無人機法規之進展 6
表 2.1-2 各國無人機法規比較 6
表 2.1-3 無人機管理重點列表 7
表 2.3-1 交通衝突類型與衝突類別 33
表 2.5-1 107 年研究及 108 年研究之成果列表 44
表 3.1-1 無人機現場拍攝重點列表 52
表 3.1-2 最佳拍攝影像設定表 53
表 3.1-3 無人機型式規格及實測結果比較 57
表 3.1-4 本年度交通衝突分析的路口 62
表 3.2-1 易肇事路口場地評估表 63
表 3.3-1 分流式指向線路口評估表 68
表 3.4-1 非號誌化路口評估表 70
表 4.1-1 θ、θ_p、t_θ 分別表示實際框、候選框角度範圍，t_θ 表示網路學習預測角度偏移量的範圍 75
表 4.3-1 各類別的車種數量 77
表 4.3-2 車輛偵測結果評估指標 78
表 4.3-3 車輛分類結果的混淆矩陣 80
表 4.3-4 預測對象與結果之排列組合 81
表 4.3-5 各類車種查全率與查準率結果 82
表 4.3-6 為各方法在不同 IoU 閥值下的平均精度比較 83
表 4.3-7 行人、自行車、機車偵測結果之混淆矩陣 85
表 5.1-1 交通衝突類型與事故型態關係 91

表 5.1-2 同向衝突與對應之肇事型態 95
表 5.1-3 對向衝突與對應之肇事型態 96
表 5.1-4 穿越交通衝突與對應之肇事型態 97
表 5.1-5 行人相關衝突與對應之肇事型態 98
表 5.6-1 交通衝突分析軟體功能比較表 110
表 6.1-1 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後衝突態樣表 119
表 6.2-1 桃園市桃園區三民路三段及永安路口衝突態樣表 128
表 6.2-2 桃園市桃園區三民路三段及永安路口同向直行減速衝突進口表 129
表 6.3-1 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善前後衝突態樣表 136
表 6.4-1 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後衝突態樣表 143
表 7.1-1 潛在衝突比較表 156
表 7.1-2 北屯太原路口西側兩車右轉切入衝突衝突列表 157
表 8.1-1 無人機空拍技術盤點 167
表 8.1-2 影像分析技術盤點 169
表 8.2-1 基本交通應用情境 173
表 8.2-2 進階交通應用情境 175
表 8.3-1 路口轉向交通量調查之相關技術成熟度與限制 178
表 8.3-2 交岔路口車輛延滯調查之相關技術成熟度與限制 182
表 8.3-3 現點速率調查之相關技術成熟度與限制 183
表 8.3-4 道路幾何特性調查之相關技術成熟度與限制 185
表 8.3-5 交通衝突分析之相關技術成熟度與限制 186
表 8.3-6 基本交通應用情境之技術的成熟度及限制 187

表 8.5-1 交通基本應用情境軟體開發評估 190
表 8.5-3 交通進階應用情境軟體開發評估 191
表 8.5-5 交通其他應用情境之可行性初步分析 193
表 8.5-7 路口轉向交通量調查方法整理 195
表 8.5-8 道路幾何特性調查方法整理 197

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

依據交通部統計，國內交通事故 30 日死亡人數 108 年 2,865 人，較 107 年增加 85 人，其中有 6 成發生於交岔路口[1]；混合車流路口道路與交通工程設計範例統計我國 105 年至 107 年的事故資料，其中發生於「交岔口內與其附近」之事故比例為 58.9%[27][64][5];美國研究分析顯示都會區與郊區交通事故中，分別超過 1/2 與 1/3 發生集中於交岔路口範圍內，在澳洲則分別為 43%及 11%[2]。為有效防制路口交通事故發生，降低交通事故傷亡人數與嚴重程度，各國政府無不致力於交通安全防制的課題。

為能在交通事故發生前診斷出具潛在交通事故風險的問題，本所於 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」[3]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，並自行撰寫程式計算碰撞時間(Time to collision, TTC)、後侵佔時間(Post encroachment time, 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 1.384 km/h，但對過小物件因特徵點不足（如行人、自行車與機車）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」[4]在 107 年研究的基礎上增加大型車取樣數，並使用 YOLOv3 深度學習技術改善行人、自行車、機車的物件偵測，即導入 SORT 追蹤技術，同時導入美國聯邦公路管理局(FHWA)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。

本計畫延續 108 年研究之成果，以 6 處示範路口，利用人車流動空拍影像軌跡擷取進行影像分析，透過交通衝突分析軟體進行路口衝突分析，並進一步將衝突分析結果及衝突事件的分類，與本所「各肇事型態的交通工程改善設計範例」（許添本等人，2019）[5]研究計畫的肇事型態進行連結，銜接衝突事件分析結果

與交通工程改善措施研擬工作。

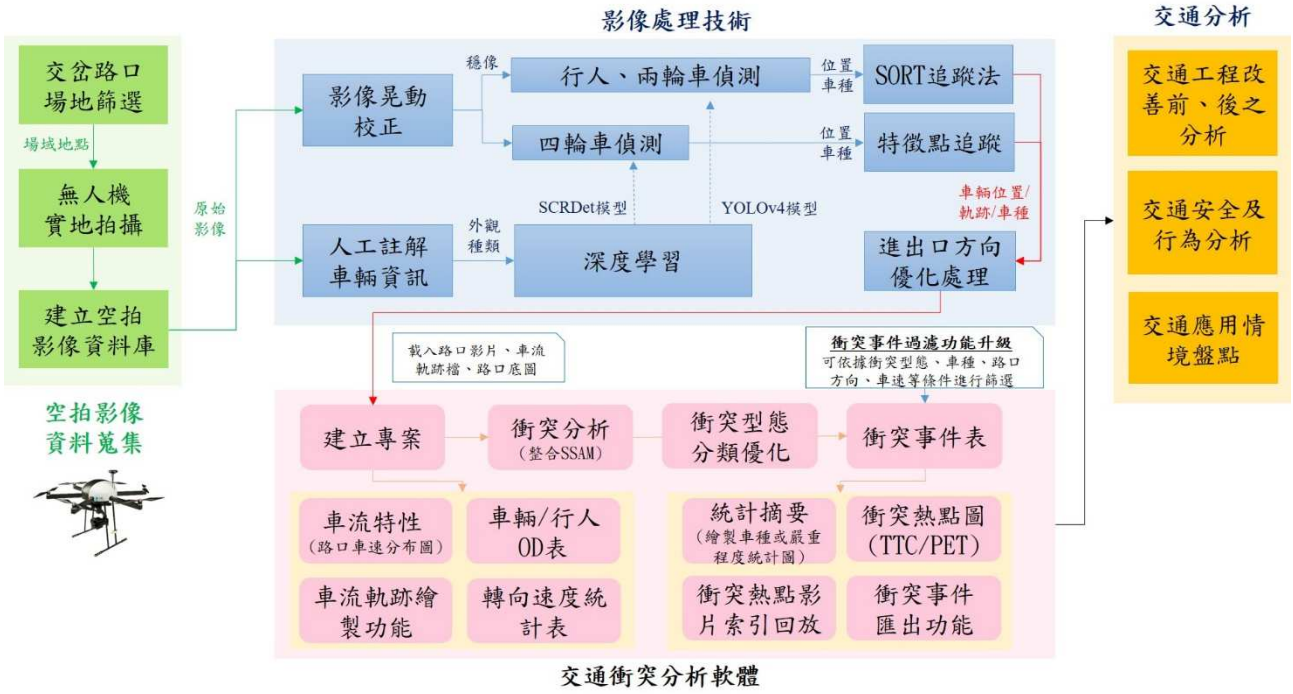
1.2 研究內容與工作項目

本計畫的工作內容，主要可以分為五大項目：

1. 充實交通衝突分析軟體功能，以 108 年研究之交通衝突分析軟體為基礎，探討與修正相關功能與分析參數，加強分析結果之視覺化呈現。
2. 對示範路口進行交通衝突分析，解析交通工程改善前、後之交通衝突變化，探討交通工程規劃與設計的效益。
3. 對示範路口進行交通安全及行為分析，解析分流指向線效益評估及非號誌化路口資料蒐集分析評估。
4. 系統性地彙析空拍影像文獻及國內交通領域之應用需求以及對應之相關技術，並透過座談綜整專家及各界之意見，研提人車流動空拍影像之交通應用情境架構與內容。
5. 持續研發人車流動空拍影像之人車辨識與追蹤技術，改善 108 年研究之空拍影像辨識與追蹤技術瓶頸，以提升精確度 。

1.3 研究流程

本計畫之研究流程如圖 1.3-1 所示，主要分為四大部分：無人機空拍影像蒐集、車流影像分析、交通衝突分析以及交通分析，首先採用無人機進行路口空拍影像資料蒐集，將蒐集之影像進行模型訓練，並整合追蹤方法，經由車流影像分析可產出車流軌跡資料，最後透過交通衝突分析軟體產生對應之衝突分析及各式統計結果，進行交通工程改善前、後分析，以及交通安全與行為分析。此外，為了解無人機空拍影像的應用潛力與限制概況，本計畫同時亦進行空拍影像之交通應用情境架構與內容的初步盤點。



資料來源：本計畫繪製

圖 1.3-1 本計畫研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 國內無人機法規更新

108 年研究已對國內、外法令規章進行初步的整理探討。以我國為例，為明確遙控無人機之管理範圍，明定遙控無人機於建築物外開放空間之飛航活動依民用航空法（下稱民航法）第 9 章之 2 規定專章管理；所稱之建築物外開放空間，係參酌建築法第 4 條規定，建築物為定著於土地上或地面下具有頂蓋、樑柱或牆壁，供個人或公眾使用之構造物或雜項工作物。

以下比較各國無人機法規，及說明我國民航法-遙控無人機專章、無人機管理規則注意事項。

2.1.1 各國無人機法規比較

隨商用與消費用無人機市場快速崛起，國際主要國家也開始陸續修訂、鬆綁或制定相關法規。雖目前國際在無人機法令上尚無統一標準，各國間無人機法規仍有所差異，但國際主要國家仍希冀讓法規能與時俱進，以此帶動無人機產業蓬勃發展。表 2.1-1 列出目前國際上相關無人機規範及管轄單位，表 2.1-2 列出各國無人機法規比較，其中我國的民航法「遙控無人機專章」，於 2020/3/31(二)正式上路。

另外，關於美國公部門，公告禁用大疆創新 DJI 狀況，美國內政部（DOI）於 2020/1/29(三)正式簽署第 3379 號部長命令[67]，停止非緊急無人機系統的機隊運作。根據參考資料[68][69][70][71]，目前停飛中國製大疆創新 DJI 的部門，包含美國陸軍（USA）、移民及海關執法局（ICE）、美國內政部（DOI）。未來規劃停飛的部門，包含聯邦部門和機構(請見 2019 美國安全無人機法（或稱美國無人機安全法[72]）、2020 財政年度的國防授權法)，而大疆創新 DJI 將在美生產新無人機，規避制裁風險[73]。臺灣無法規限制無人機產地，或禁用特定製造商。

表 2.1-1 各國無人機法規之進展

國家	規範名稱	何時實施	管轄單位
歐盟	Regulation (EU) 2018/1139	2018.9.11	歐洲航空安全局 (EASA)
美國	The Small UAS Rule (Part 107)	2016.8.29	美國聯邦航空總署 (FAA)
中國大陸	民用無人駕駛航空器經營性飛行活動管理辦法（暫行）	2018.6.1	中國大陸民用航空局飛行標準司
日本	Japan's safety rules on Unmanned Aircraft (UA)/Drone	2015.12.10	日本民航局
中華民國	民航法「遙控無人機專章」	2020.3.31	中華民國交通部民用航空局

資料來源：國家政策研究與資訊中心，及本計畫繪製

表 2.1-2 各國無人機法規比較

國家	歐盟	美國	中國大陸	日本	中華民國
註冊重量	250g	250g(0.55 磅)	250g	200g	250g
人員操作證	年滿 14 歲	年滿 16 歲	申請時判定	申請時判定	年滿 18 歲
檢驗重量	25 公斤以上	25 公斤以上	7 公斤以上	申請時判定	25 公斤以上
操作限制	視距內、日間、離機場至少 5 公里	視距內、日間、離機場至少 8 公里	視距內、日間、離機場至少 5 公里	視距內、日間、離機場 6~24 公里	視距內、日間、離機場 6~15 公里
高度	500 英呎 (152.40 公尺)	400 英呎 (121.92 公尺)	120 公尺 (393.70 英呎)	150 公尺 (492.13 英呎)	400 英呎 (121.92 公尺)

資料來源：本計畫繪製

2.1.2 無人機管理注意事項

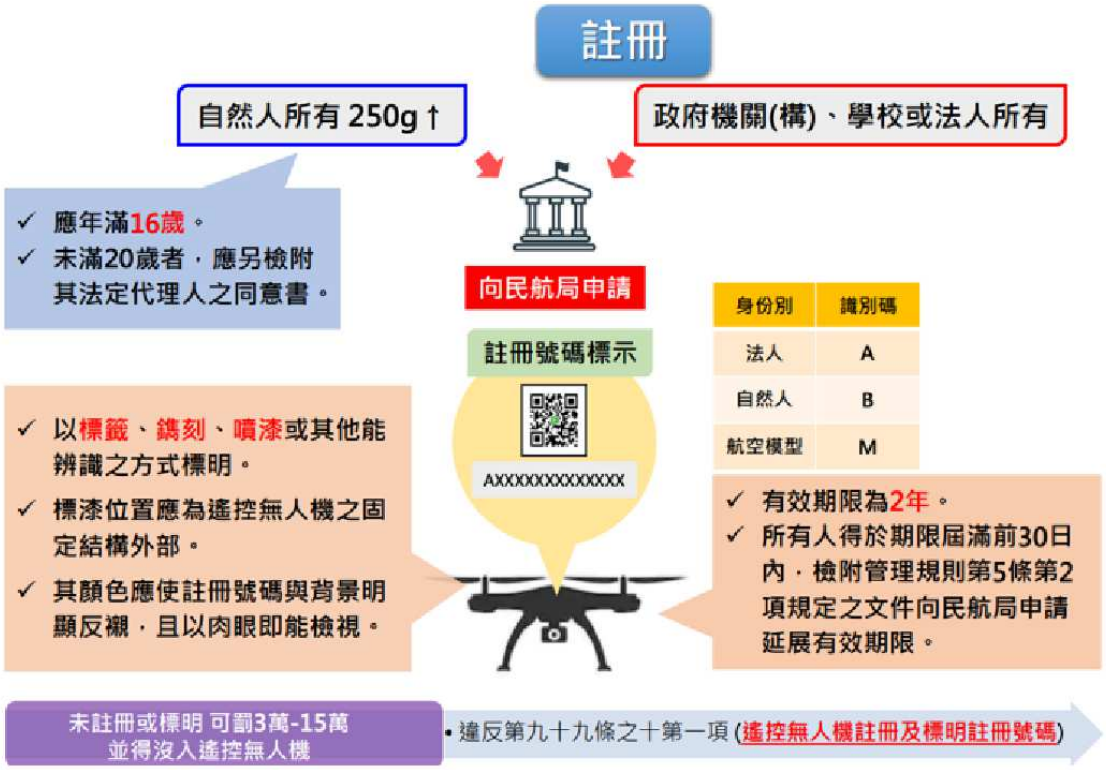
民航法第九十九條之十七，明定授權主管機關應訂定遙控無人機相關應遵行事項之管理規則，其內容包括：遙控無人機分類、註冊（銷）、射頻識別、檢驗、認可、維修與檢查、試飛、操作人員年齡限制、體格檢查與測驗給證、換（補）證、飛航活動之申請資格、設備與核准程序、操作限制、活動許可、費用收取、製造者與進口者之登錄及責任、飛航安全相關事件之處理及通報及其他應遵守事項等。管理注意事項請參考表 2.1-3。

表 2.1-3 無人機管理重點列表

遙控無人機註冊	自然人所有最大起飛重量 250 公克以上者。
	政府機關(構)、學校或法人所有者，應辦理註冊。
人員操作證	最大起飛重量 2 公斤以上具導航設備者。
	操作政府機關(構)、學校或法人之遙控無人機，須經測驗取得操作證。
	未具導航設備且 15 公斤以上之遙控無人機。
遙控無人機檢驗合格證	最大起飛重量 25 公斤以上具導航裝置之遙控無人機，應辦理檢驗。
	不具導航裝置（航空模型）不須辦理檢驗。

資料來源：本計畫繪製

註冊為遙控無人機管理之基礎，並可利用註冊程序對遙控無人機所有人進行教育與警示，以達安全使用之宣導，註冊程序並非全面禁止民眾使用遙控無人機或扼殺遙控無人機相關產業。註冊最低重量與操作風險程度及使用對象有關，爰參酌美國聯邦航空總署對人體產生傷害程度之計算結果及美國聯邦航空法規對小型無人機註冊內容，明定自然人所有之最大起飛重量 250 公克以上之遙控無人機、政府機關（構）、學校或法人所有之各類遙控無人機均應辦理註冊，並將註冊號碼標明於遙控無人機明顯位置，請見圖 2.1-1。

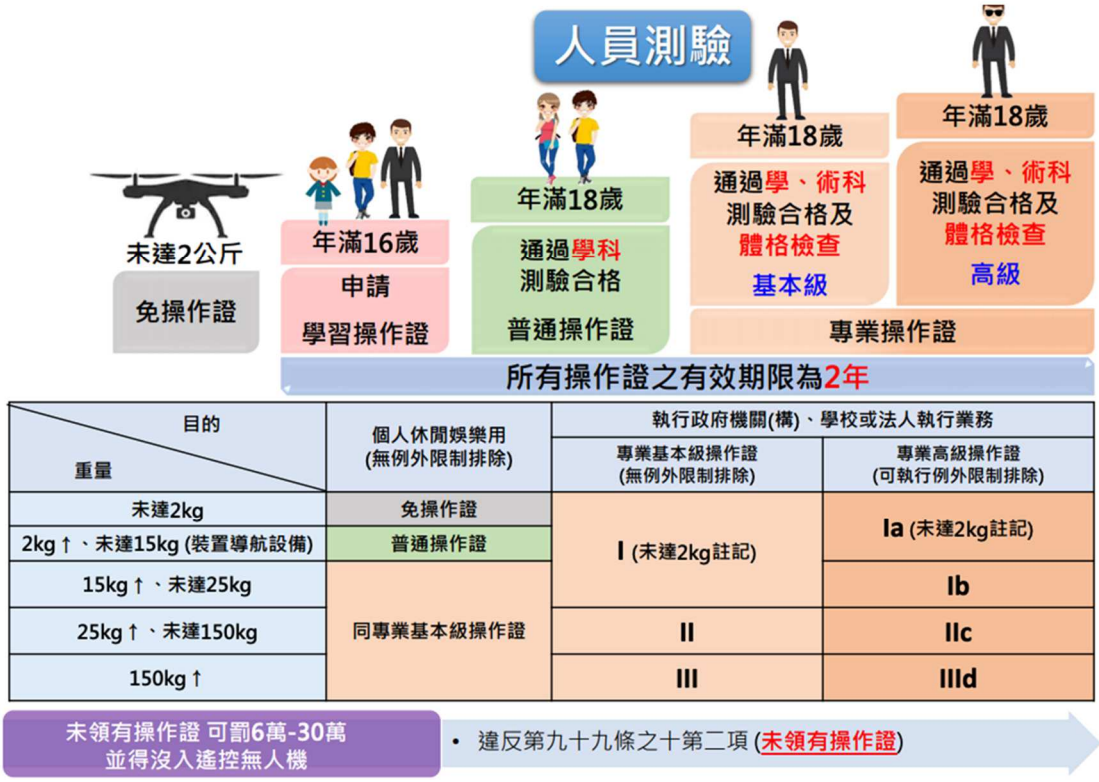


資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-1 無人機註冊

另為保障飛航安全、地面上生命與財產安全及操作人之技能水準，針對系統較為複雜之遙控無人機，規範操作人操作政府機關（構）、學校或法人所有之遙控無人機、最大起飛重量達一定重量以上之遙控無人機及其他經民航局公告者，應經測驗合格，發給操作證後，始得操作遙控無人機，請見圖 2.1-2。

高級操作證可執行例外限制排除，共分三組註記，第一組距地面或水面 400 呎區域、視距外操作、夜間飛行；第二組投擲或噴灑物件；第三組人群聚集或室外集會遊行上空活動。

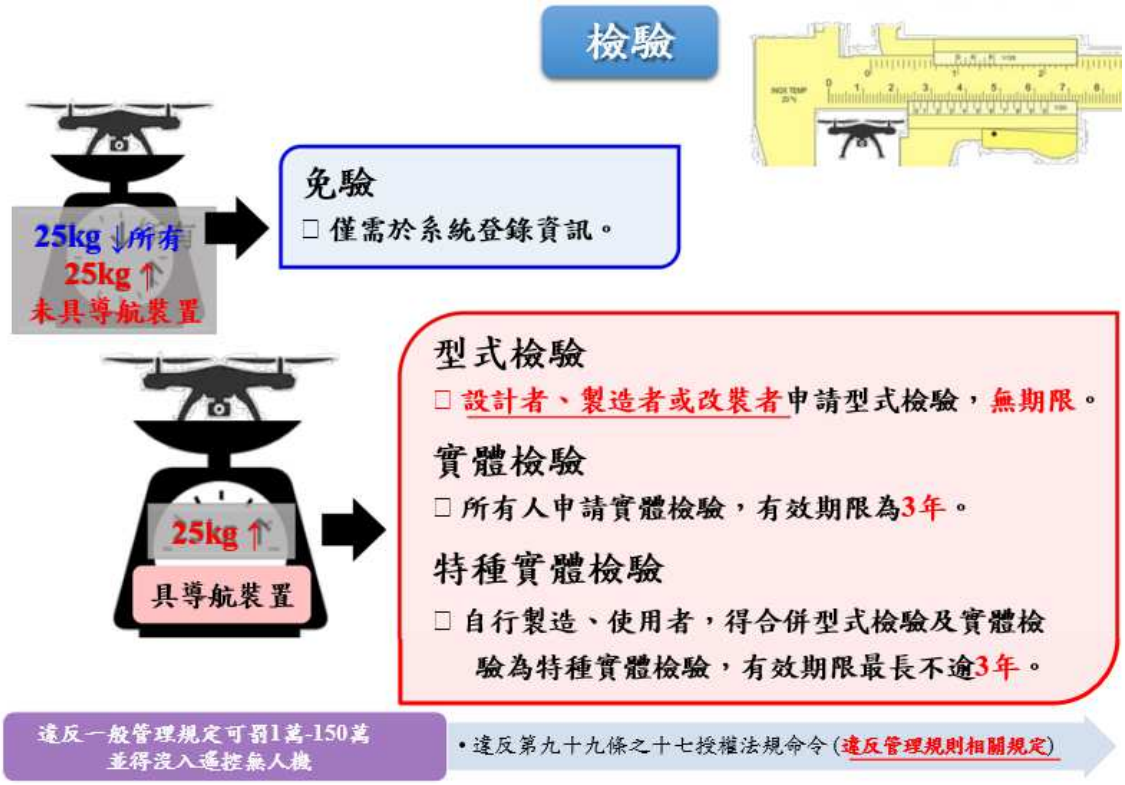


資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-2 無人機人員測驗

為確保遙控無人機之安全及可靠性，明定遙控無人機之設計、製造、改裝應申請檢驗之規定；另國外進口遙控無人機，明定其應經檢驗合格或認可之規定。復考量部分遙控無人機形式構造簡單，與有人航空器之航空產品裝備及其零組件規模不同，故針對國內設計、製造、改裝及國外進口者，其形式構造簡單之遙控無人機得免經檢驗或認可，請見圖 2.1-3。

先進國家已開始著手研訂遙控無人機之器材檢驗基準，為便利我國產業取得產品認證及出口其他國家之商機，民航局將參考國際標準制定我國檢驗基準，或核定採用國際間通用技術規範。



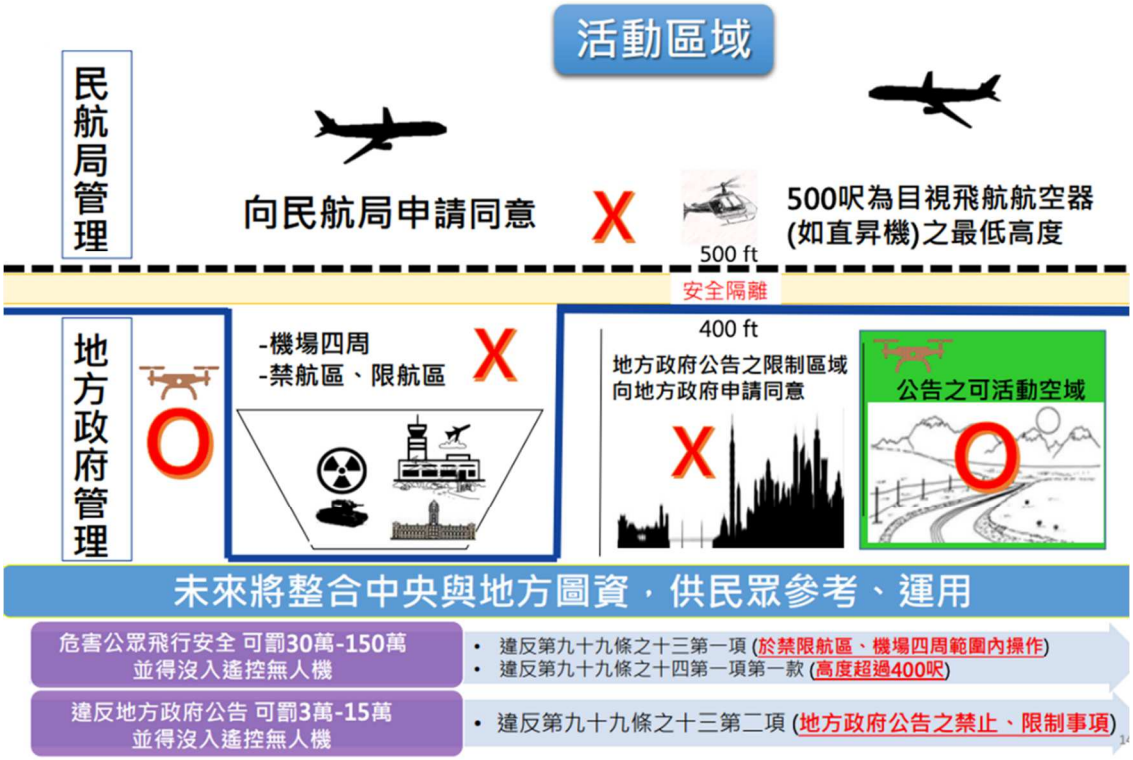
資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-3 無人機檢驗

使用遙控無人機從事飛航活動，需於適當劃設之允許活動區域內為之，區分為中央管理與地方管理兩種區域。在中央，民用航空局依據飛航或國家安全需要，於禁航區、限航區及航空站、飛行場四周之一定距離內劃設禁止活動範圍。在地方，直轄市、縣（市）政府依據公益及社會安全需要，因地制宜公告禁止或限制遙控無人機活動之區域、時間及其他管理事項。地方政府轄管區域內，如經濟部、法務部或國防部等機關有禁止或限制遙控無人機飛航活動需要者，得提請直轄市、縣（市）政府列入公告內容，請見圖 2.1-4。

針對禁止、限制區域內之活動管理，係採取「原則禁止、例外開放」立場，政府機關（構）、學校或法人為業務需要，於中央或地方所劃設之禁止、限制區域內從事遙控無人機飛航活動，應向民航局或地方政府申請，經同意後為之。

遙控無人機未經同意於禁止或限制區域內活動者，政府機關（構）或管理人可採取適當措施予以制止或排除。



資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-4 無人機活動區域

故政府機關(構)、學校及法人(公司、社團法人、財團法人)所有的無人機不限重量均需完成線上註冊，並將註冊號碼標明於無人機上，註冊號碼效期為 2 年。操作法人所擁有的無人機，無論重量其操作人員均需持有專業操作證。

2.1.3 法人能力審查及活動申請

法人如為執行其設立目的、營業項目等所需作業，利用電子憑證登入「遙控無人機管理資訊系統」至「能力審查」申請功能進行填報並上傳作業手冊，經民航局能力審查後始得從事遙控無人機活動，能力審查核准效期為 2 年，並得於屆期前 30 日內以民航局指定之資訊系統申請延展。核准後可辦理紅區飛行或操作限制排除之飛航活動申請，法人活動申請 3 階段請見圖 2.1-5。



資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-5 法人活動申請 3 階段

完成能力審查後才能進行活動申請，活動申請時需繳交同意文件、切結書、承諾書、保險證明等。政府機關（構）、學校或法人經申請核准後從事相關操作限制之活動，每次核准期間為 3 個月或 1 年（政府機關），期間內可依核准事項進行活動，期滿前可重新提出申請（請於活動 15 日前提出申請，如有涉及軍事航空管理區域，請於 30 日前提出申請。）。最後於每次活動前、後，請於指定時間內至遙控無人機管理資訊系統進行報到及報離登載。因具有複雜作業及頻繁操作等業務特性，故於從事相關操作限制之活動前，應投保責任保險，其最低投保金額為重傷 150 萬、死亡 300 萬。目前已有南山、華南、富邦、台產、兆豐、和泰、泰安、明台、第一、新光、國泰世紀、新安、台壽保及旺旺友聯等 14 家產險公司販售遙控無人機責任險商品，相關投保事宜請洽詢上述產險公司。

如有從事非屬相關操作限制之活動，雖沒有強制投保，惟基於操作人、所有人及他人風險考量，建議政府機關（構）、學校或法人主動投保。所有人或操作人於操作遙控無人機發生飛航安全相關事件時，應於發生或得知消息後 24 小時內，登入管理資訊系統至「飛安事件填報」通報民航局，請見圖 2.1-6。



資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-6 飛航安全通報

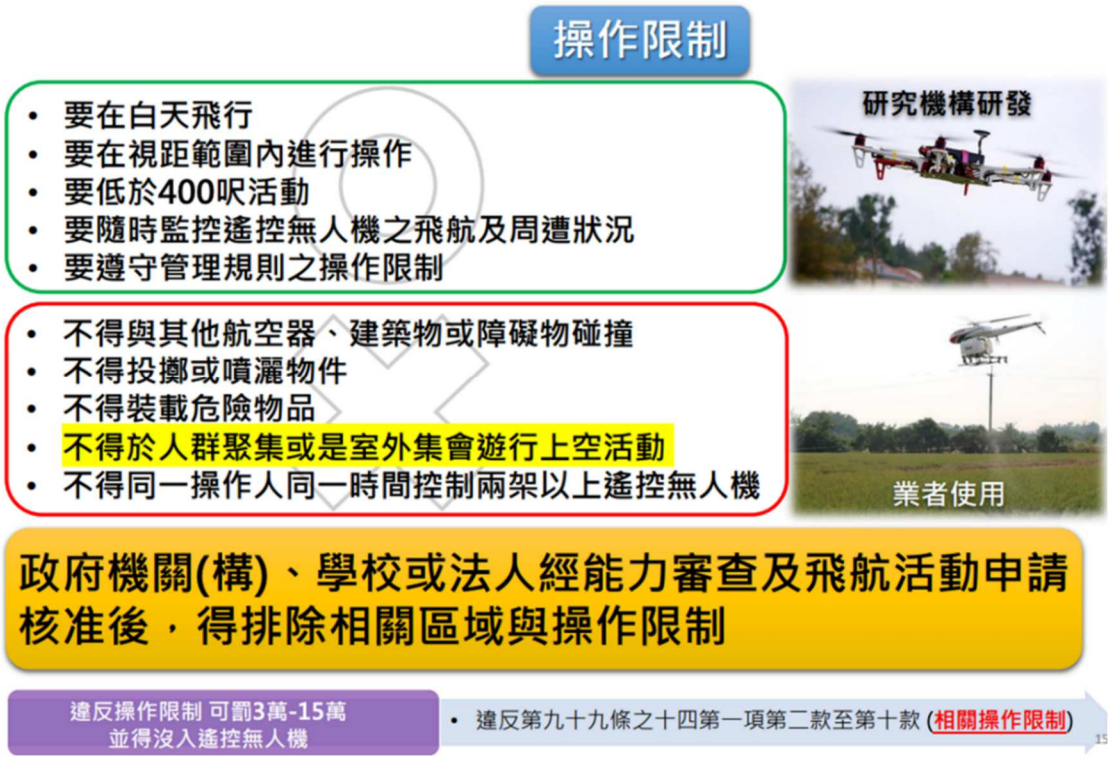
為保障遙控無人機之安全，民航法對於可能衍生風險的各項操作行為，民航法第九十九條之十四，從事遙控無人機飛航活動應遵守下列規定，請見圖 2.1-7，訂有 10 項操作規定，其中前 8 項為具體限制，後 2 項為操作應注意事宜。針對 8 項具體操作限制，亦採取「原則限制、例外允許」的立場，政府機關（構）、學校或法人經申請向民航局申請核准者，得不受其限制。政府機關（構）、學校或法人完成安全審查並經核准後（效期 2 年），從事操作限制活動前，應依其活動性質、地域與相關程序向民航局申請許可，始得從事。此外，人群聚集或室外集會遊行上空之活動，為便利地方政府、警察機關有效掌控任務規模與起迄時間，並應先取得活動場地直轄市、縣（市）政府及相關中央主管機關同意。

1. 遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面四百呎。
2. 不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。
3. 不得裝載依第四十三條第三項公告之危險物品。
4. 依第九十九條之十七所定規則之操作限制。
5. 不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。
6. 不得於日落後至日出前之時間飛航。
7. 在目視範圍內操作，不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。
8. 操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。

9. 操作人應隨時監視該遙控無人機之飛航及其周遭狀況。
10. 應防止遙控無人機與其他航空器、障礙物接近或碰撞。

並依據遙控無人機管理規則第 28 條，增加以下 4 種操作人從事遙控無人機飛航活動時應遵守之限制：

1. 應遠離高速公路、快速公（道）路、鐵路、高架鐵路、 地面或高架之大眾捷運系統、建築物及障礙物 30 公尺以上。
2. 不得於移動中之車輛或船艦上操作遙控無人機。
3. 最大起飛重量未逾 25 公斤且裝置導航設備之遙控無人機最大飛行速度每小時不得超過 87 海浬或 160 公里。
4. 延伸視距飛航者，最大範圍為以操作人為中心半徑 900 公尺、相對地面或水面高度低於 400 呎內之區域，且目視觀察員應與遙控無人機保持目視接觸，並提供操作人必要之飛航資訊。



資料來源：交通部民用航空局無人機專區

圖 2.1-7 無人機操作限制

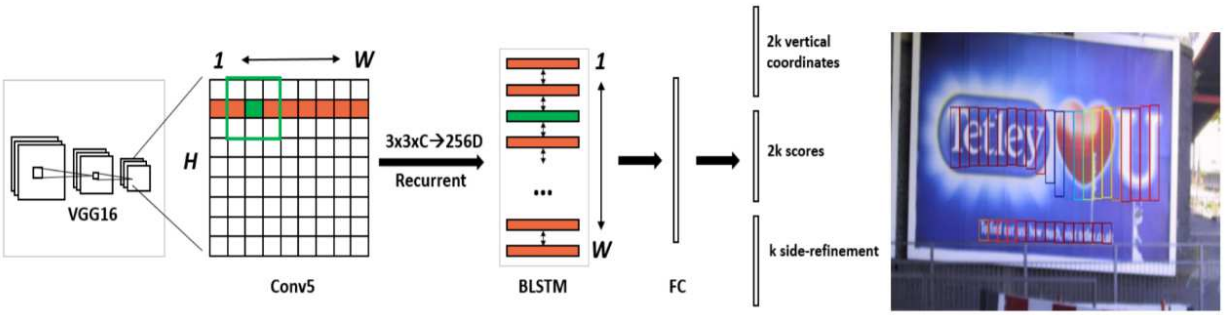
2.2 影像式車流分析技術

在 108 年研究中的車輛偵測技術，主要根據對象大小採用了兩種完全不同的策略方法。對於小客車、貨車、巴士、聯結車等四輪車輛，為了能取出其矩形輪廓，採用了經典的 Mask R-CNN[6]深度學習架構偵測出四輪車輛的輪廓範圍，再透過最小外接矩形的計算，擬合出可貼合車身四邊的方向性矩形(Oriented Bounding Box)，以有效描述出實際車輛範圍，另一方面，對於行人、自行車、機車等小型對象，則採用了基於 YOLOv3 架構[7]的偵測方法。YOLOv3 自從 2018 年被發表以來，一直是十分熱門的偵測架構。其主要原因在於其偵測架構易於修改、偵測效率甚高且維持了不錯的偵測準確性，特別是對小型物件的偵測表現相當好，因此在 108 年研究中引進了 YOLOv3 架構以偵測兩輪車輛與行人。之後，利用經典的 SORT 演算法[48]對其進行車輛追蹤，再根據追蹤後形成的人車中心點軌跡，沿著軌跡趨勢重新估計人車所佔之方向性矩形範圍。

2.2.1 針對空拍影像之四輪車輛偵測技術

雖然在 108 年研究的偵測與追蹤結果已經有不錯的表現，但在系統整合性與偵測效率上仍有相當大的改進空間。首先，Mask R-CNN 架構對於 GPU 記憶體大小有著較高需求，且無法直接產生方向性矩形的偵測結果，必需透過多餘的擬合步驟產生矩形的車輛範圍，為了減輕系統複雜度並朝向方法單一化的目標前進，本計畫引進具方向性的物件偵測方法(oriented object detection)，直接針對空拍影像偵測具有旋轉方向的車輛區域。

具方向性的物件偵測等相關研究最早應用在光學文字辨識(Optical Character Recognition, OCR)中，主要用來辨識自然場景圖像中的文字(Scene Text)識別信息，其難度遠大於掃描文件上的文字，因為在自然場景下的文字有非常豐富的表示法，例如：文字大小，字體，顏色，亮度，旋轉，變形…等等，早在 2016 年 Tian 等人[49]提出利用 CNN 提取特徵，學習完特徵後送入雙向 Long short-term memory (LSTM)，學習每一行文字的序列特徵後，經過類似 Faster R-CNN 的 RPN 網路獲得文字區域，如圖 2.2-1 所示。

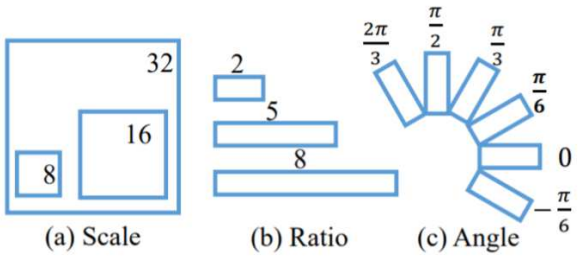


資料來源：[49]

圖 2.2-1 Tian等人提出之CTPN(Connectionist Text Proposal Network)架構圖

之後，2017 年 Ma 等人提出了 RRPN(Rotation Region Proposal Networks)[50]，其主要架構沿用 Faster R-CNN 的 RPN 構想並做了 3 點改進：

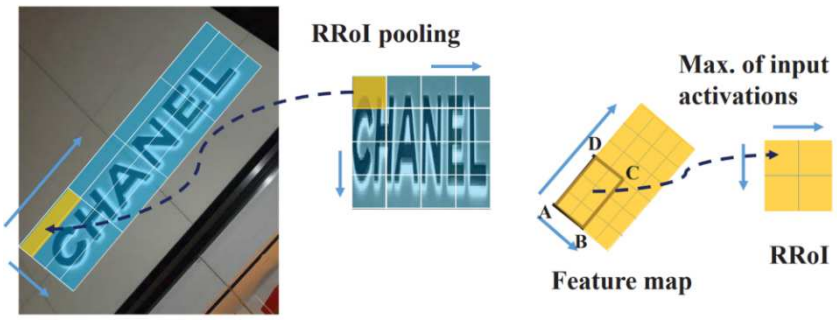
1. 提出了基於旋轉特性的候選框(proposal)區域，並在原本 4 個參數的錨框(anchor)增加了角度參數。相較於原本 RPN 層多了傾斜的候選框，該層輸出包含候選框的類別以及旋轉矩形框的回歸，如圖 2.2-2。



資料來源：[50]

圖 2.2-2 帶有不同旋轉比例的Anchor表示法

2. 相較於原本的 ROIPooling，RRPN 提出 RROIPooling(圖 2.2-3)可以對任意的長寬比，大小及角度區域進行池化，轉換成固定大小的特徵圖。

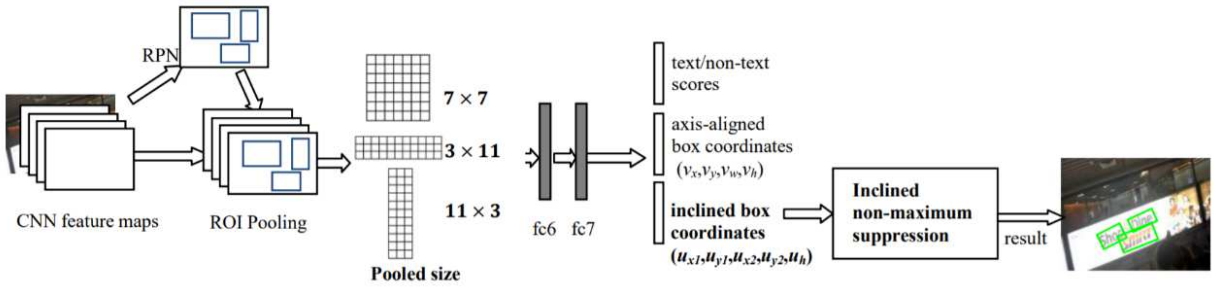


資料來源：[50]

圖 2.2-3 RROIPooling示意圖

3. 提出了旋轉框交集的算法：此演算法已由 OpenCV 函式庫實現(Implement)。

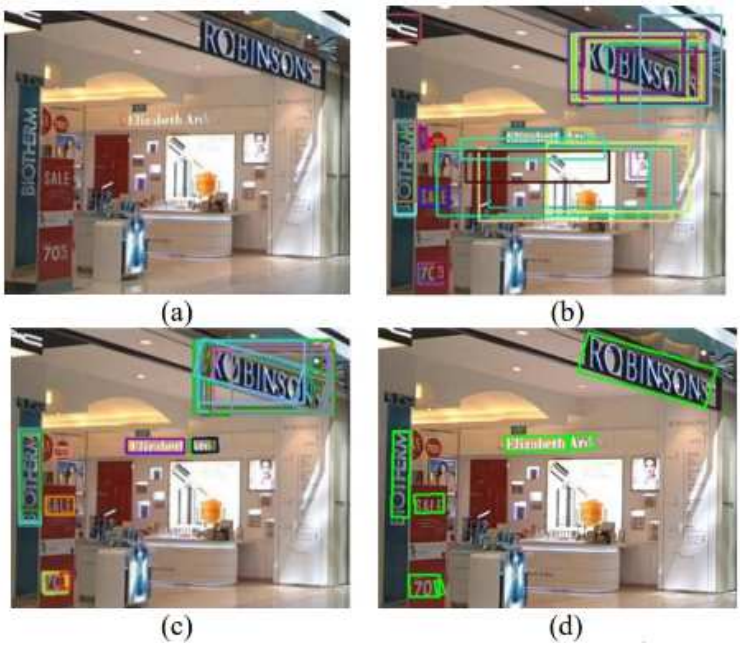
RRPN 由於採用旋轉的候選框，因此更能適應任意方向的文字偵測，相較於 CTPN 能夠表現的更好。2017 年 Jiang 等人提出 R^{2}CNN (Rotational Region CNN)[51]。此篇論文指出了原始的 RPN 網路是有能力生成文本候選框和方向訊息，雖然使用角度去代表方向是較直接的做法，但此篇論文認為某些特殊角度對偵測目標非常不穩定，例如角度 90^o 與-90^o 候選框的位置一樣，但是角度則是天壤之別，這可能造成神經網路難以適應學習。



資料來源：[51]

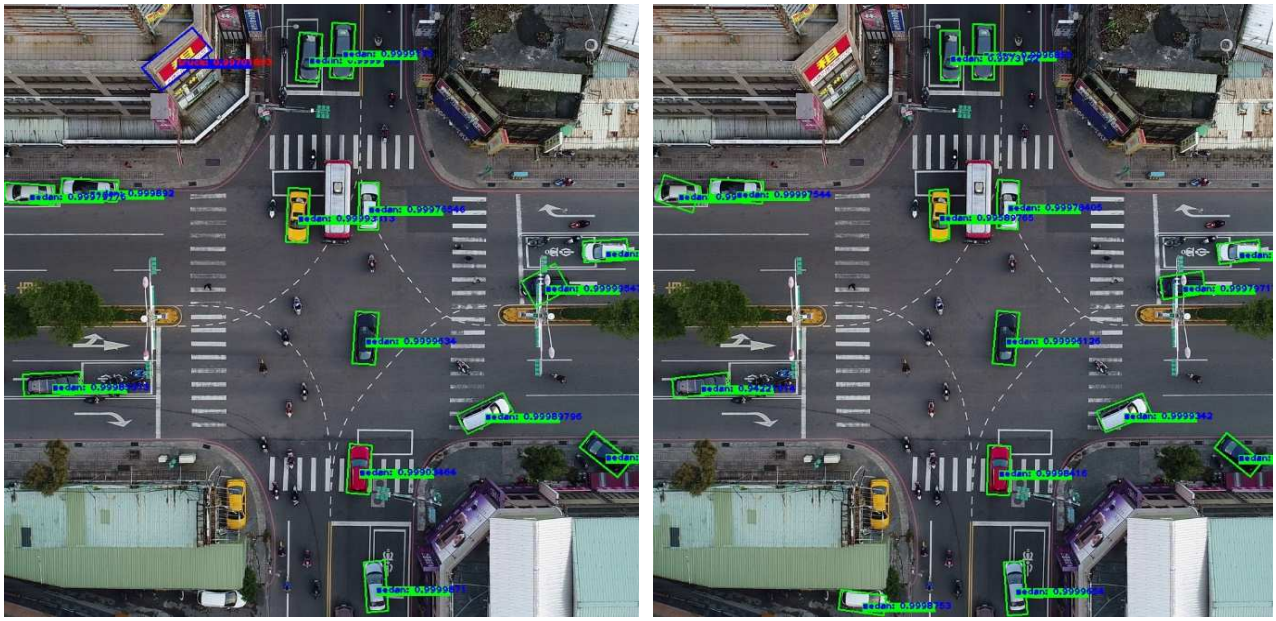
圖 2.2-4 R^{2}CNN架構圖

最終，此篇論文修改了 Faster R-CNN 的 ROIPooling，由原本池化至固定大小 7 x 7 的特徵圖，修改成 7 x 7、3 x 11 以及 11 x 3 以進行特徵融合後回歸分類結果，最後使用 RRPN 的傾斜非極大值抑制(Inclined IOU NMS)得到傾斜取行框，如圖 2.2-5 所示。綜合上述論文，本計畫將 RRPN 與 R^{2}CNN 應用於路口車流空拍圖，偵測結果如圖 2.2-6 所示。



資料來源：[51]

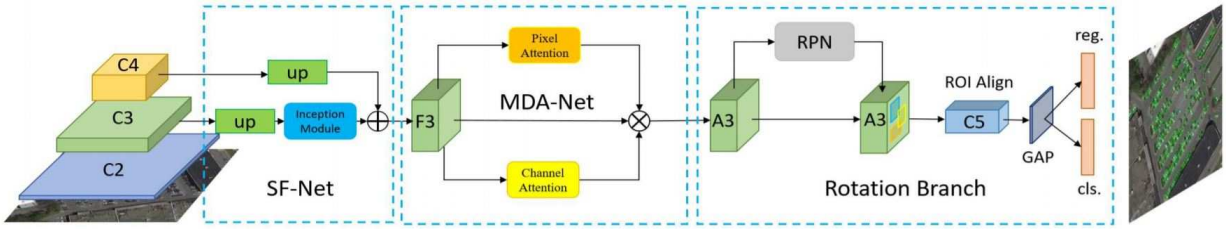
圖 2.2-5 R^2CNN 偵測過程(a)原圖，(b)RPN的輸出結果，(c)正矩形框與旋轉框回歸，(d)經過Inclined NMS輸出後的結果



資料來源：本計畫繪製

圖 2.2-6 RRPN(左)與R^2CNN(右)偵測結果

由於針對旋轉文字的偵測方法在車輛偵測上效果不佳，十分容易產生因旋轉而未能擬合車輛邊界的問題，因此希望引進能針對一般具方向性物件進行偵測的方法。其中，SCRDet[52]是基於 Faster R-CNN 基礎進行改良的方法，其主要架構可分為以下幾個部分:精細採樣與特徵融合網路層(Finer Samepling and Feature Fusion Network, SF-Net)、多維度特徵注意力網路層(Multi-Dimensional Attention Network, MDA-Net)、旋轉分支網路(Rotation Branch)、以及損失函數(Loss function)。

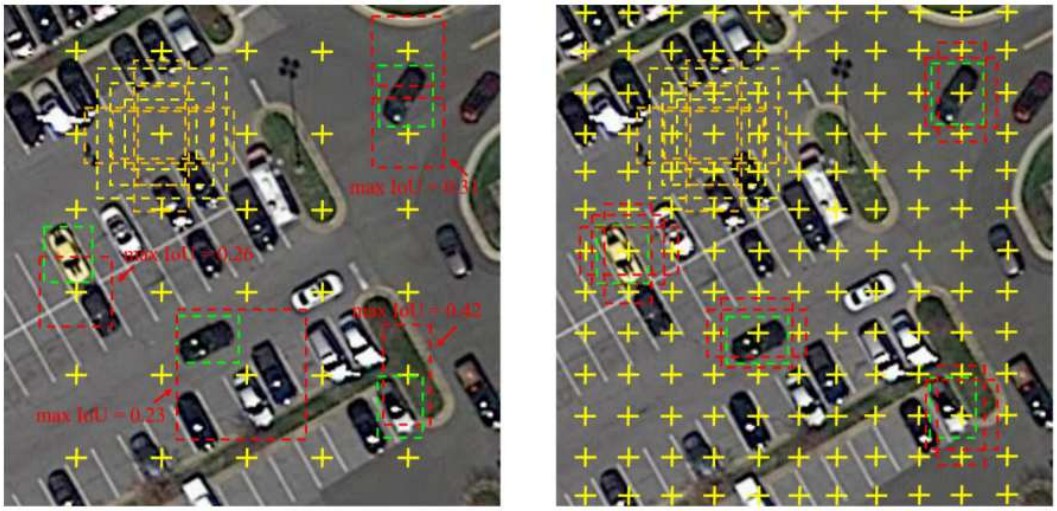


資料來源：[53]

圖 2.2-7 SCRDet架構圖

1. 精細採樣與特徵融合網路層:

在原始 Faster R-CNN 中並沒有特徵融合的想法，但近年來特徵金字塔網路(feature pyramid networks, FPN)在各大模型被廣泛使用。主要想法是利用底層(low-level)特徵圖去保留小物件的位置訊息，在頂層(high-level)特徵圖則保留高級語意資訊也就是較大物件的位置訊息，最後將底層和頂層進行組合，取出可廣泛涵蓋大小物件的混合訊息。另外，為解決空拍圖裡的物件比一般攝影機的拍攝角度下來的小，進而造成採樣不足的問題，這裡透過 Zhu 等人[53]提出的期望最大重疊算法(expected max overlapping, EMO)。此演算法會依照物件的實際位置分布，通過計算物件與所有錨框 IOU 的最大期望值，提升錨框匹配物件的能力，最終提升偵測物件的能力。如圖 2.2-8 所示 SCRDet 比較了錨框步幅(stride)等於 16 與 8 時在 DOTA 資料集中影像示意圖，可以看出較小的 S_A 可以更好的捕捉小物件，而這對檢測具有相當正面的幫助。



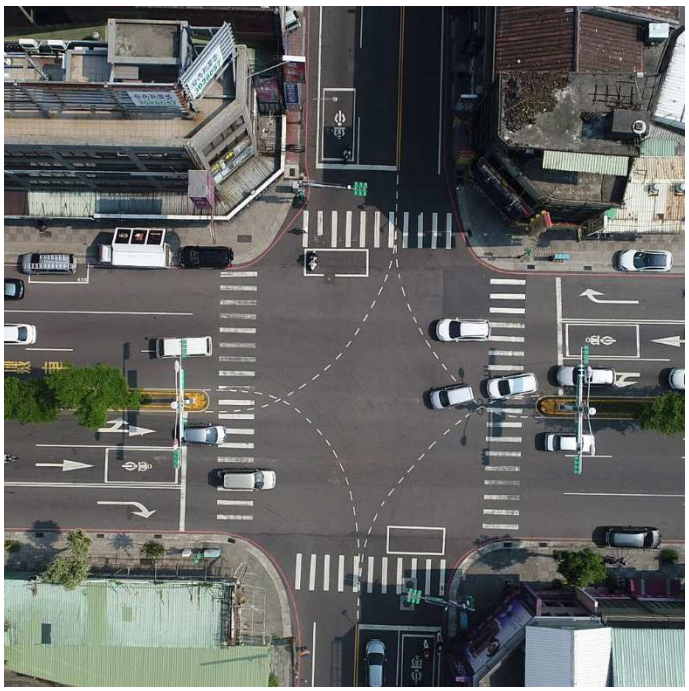
(a) $S_A = 16$ (b) $S_A = 8$

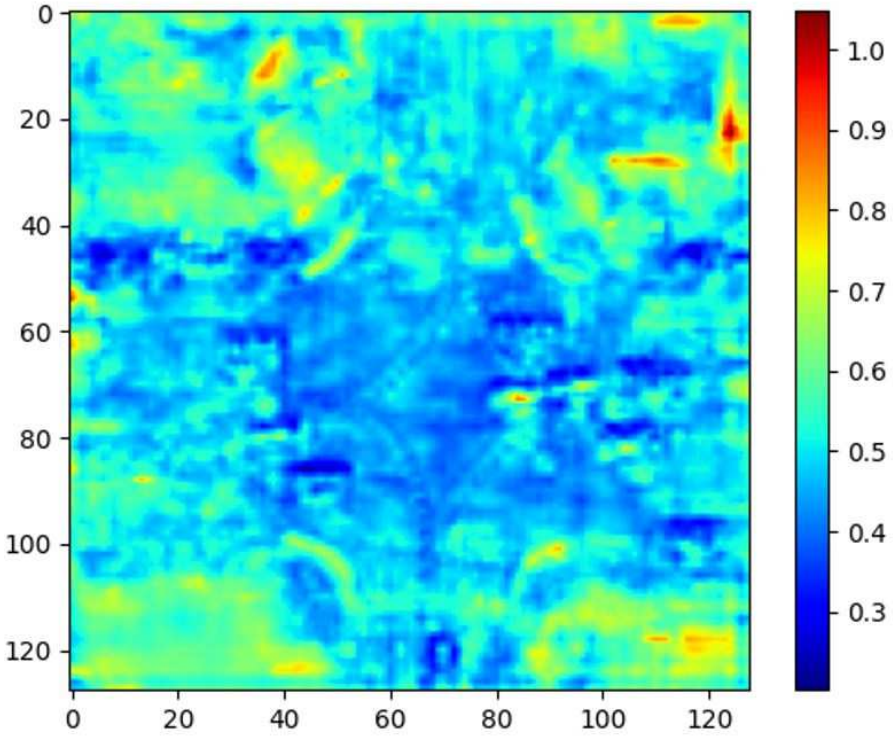
資料來源：[54]

圖 2.2-8 比較錨框步幅16與8的示意圖

2. 多維度特徵注意力網路層:

雖然空拍圖大幅降低了物件與物間之間遮擋的問題，但也在細節上提高了場景的複雜程度，容易導致 RPN 產生過多雜訊(noise)，這會使得物件間的邊界過於模糊，如圖 2.2-9 所示，嚴重的話會增加失偵(miss detection)或誤偵(false detection)的機率。



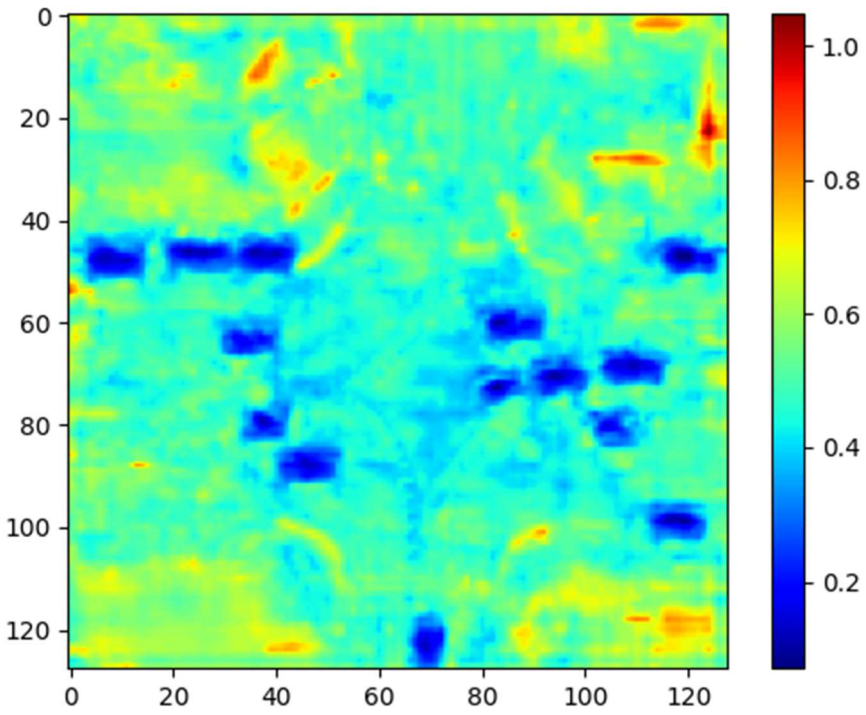


資料來源：本計畫繪製

圖 2.2-9 (上)原圖，(下)RPN產生出來的熱區圖

近年來，注意力(Attention)機制在深度學習領域中發展快速，特別是應用在自然語言處理與電腦視覺方面。目前在電腦視覺方面，大多是使用遮罩(mask)來形成注意力機制。遮罩原理在於利用一層新的權重，將圖片數據中特別關鍵的特徵標示出來，通過訓練學習，讓深度神經網路學到每一張新圖片中需要關注的區域，也就形成注意力(Attention)。簡單來說，比如當你在路上逛街時發現有人在放風箏，此時你的注意力都放在這風箏上，天空此時就成為了背景。由於同樣背景的特徵在神經網路裡並無明顯差異性，神經網路並不會特別去觀察此區域，而只會著重在具備不同表現的風箏特徵上。注意力機制的神經網路在近來開始顯得重要，一方面是這種神經網絡能夠自主學習注意力機制，另一方面則是注意力機制能夠反過來幫助理解神經網絡重點觀察的世界。

為了利用注意力機制去突顯物件特徵並且降低過多雜訊的背景資訊，SCRDet 中設計了一個監督式多維注意力(supervised multi-dimensional attention)學習網路。此網路包含兩個注意力通道，分別是像素注意力(Pixel Attention)與通道注意力(Channel Attention)，圖 2.2-10 為 MDA-Net 根據像素注意力與通道注意力得到特徵圖。



資料來源：本計畫繪製

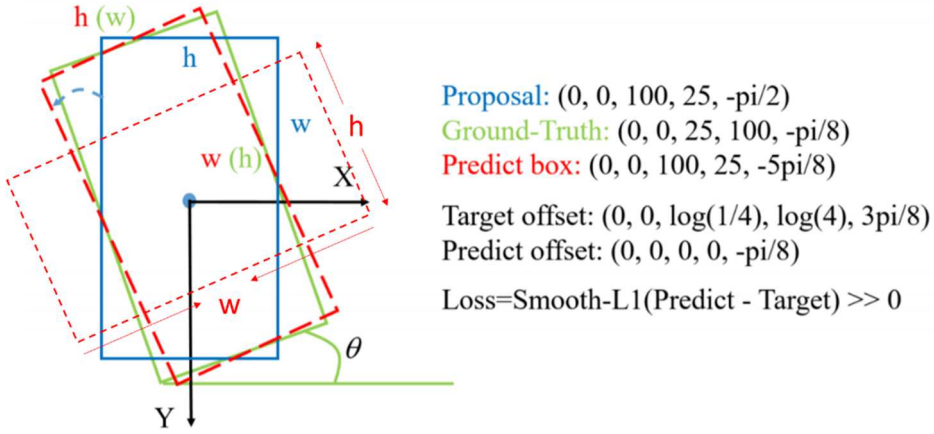
圖 2.2-10 MDA-Net輸出熱區圖

3. 旋轉分支網路:

將前述的特徵圖送入 RPN 與錨框進行匹配後會得到候選框，由於此時的候選框並不具有角度資訊，因此本計畫在每個候選框添加了第 5 個參數 θ 作為角度資訊，並重新定義此候選框使用以下 5 個參數值:中心點(x, y)、 寬(w)與高(h)和角度(θ)，以便表示任一具方向性的矩形框。

為了更有效的利用正樣本進行訓練，本計畫利用 RRPN 中提出的旋轉非極大值抑制(Rotation NMS)，在候選框與 Ground truth 的交集大於 0.7 者定義其為正樣本，小於 0.3 者則為負樣本，介於 0.3 至 0.7 之間者則需符合角度差小於 15° 才算是正樣本，負樣本則不參與訓練。

4. 損失函數的定義:

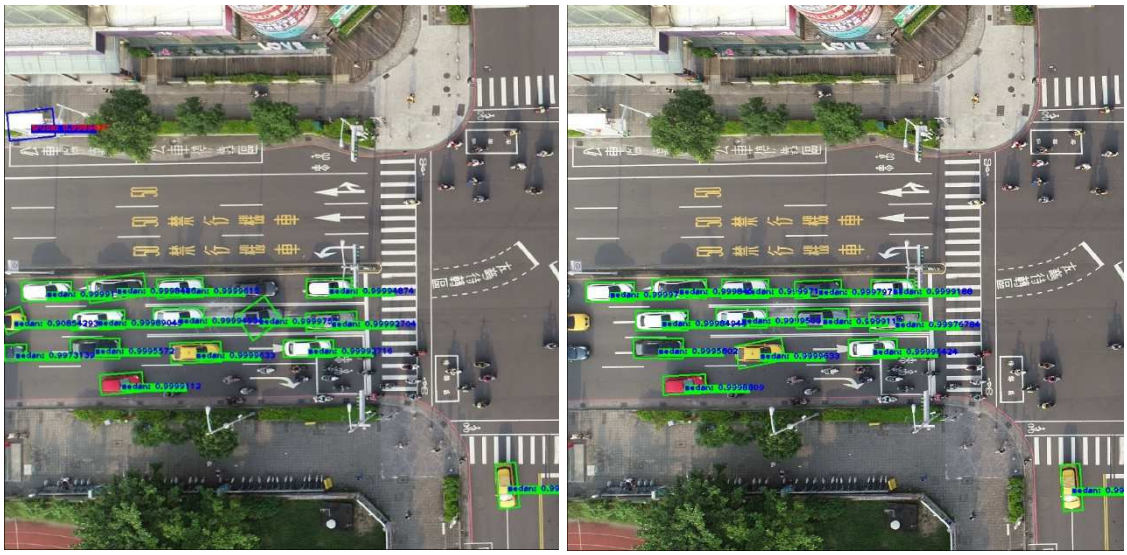


資料來源：本計畫繪製

圖 2.2-11 候選框(proposal)，實際框(ground truth)與預測框(predict box)關係

以圖 2.2-11 為例，在理想的狀況下，本計畫期望藍色實線的候選框(proposal)能回歸計算出紅色粗虛線的預測框(predict box)位置。若預測框的位置與實際框(ground truth)位置非常接近，則理想上損失函數應該要接近於 0。假設實際的角度 θ=-π/8，候選框角度為-π/2。由於預測框的偏移量(predict offset)是相對於候選框，因此換算後的預測框角度為 θ-π/2＝-5π/8，如圖中紅色細虛線框的位置。因此，計算損失函數時可能會因為候選框角度的問題而增大，並導致訓練計算損失值突然的變大，也會導致整體網路架構難以學習。為此，本計畫增加了針對 IoU (Intersection over Union)的損失函數，分攤僅考量了 5 項參數間差異所可能造成的風險。由於 IoU 只考慮重疊面積在整體面積的占比，因此可以避免損失函數

因角度變動增大的問題。

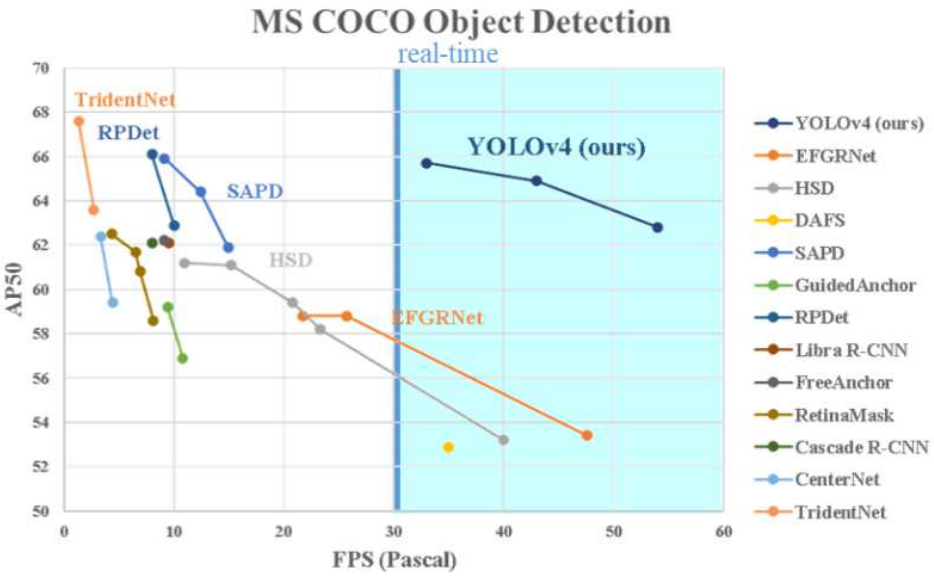


資料來源：本計畫繪製

圖 2.2-12 偵測結果:(左)未引進IoU Smooth loss; (右)採用IoU Smooth loss

2.2.2 適用於機車、行人等小物件之偵測技術

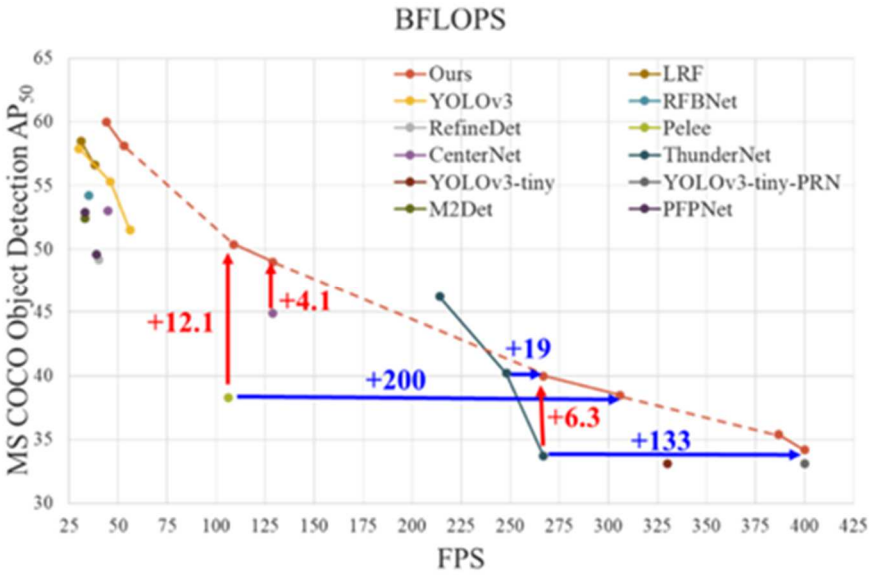
在 108 年研究中，YOLOv3 由於對小物件有著較好的偵測表現而被選為行人與兩輪車輛的偵測架構。然而在今年(2020 年)4 月底時，最新的 YOLOv4 架構[54]帶著長足的進步正式地發表了。新的 YOLOv4 架構是由 Alexey Bochkovskiy 與我國中央研究院資訊科學所所長廖弘源及其博士後研究學者王建堯所共同發表，可說是國內學者在深度學習領域的一項重大貢獻。新的 YOLOv4 主要是透過對近幾年來大量發展的偵測架構進行了全盤性的分析與測試，作者將各種架構與技巧區分為在訓練中提升準確度但不會犧牲速度的贈品包(Bag of Freebies, BoF);與在偵測中犧牲部分速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 2.2-13 所示。



資料來源：[54]

圖 2.2-13 Pascal架構GPU下的偵測表現比較，AP50代表偵測重疊率在50%以上的平均查準率(Average Precision)

108 年研究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 2.2-14)；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：[55]

圖 2.2-14 YOLOv3-CSPnet效能圖

2.2.3 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 2016 年由 Bewley 等人所提出之 SORT 演算法[19]即為其中經典方法之一。此方法透過卡曼濾波器將追蹤中之多個目標對象，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[20]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。2017 年，一個基於 SORT 的新追蹤方法 Deep SORT 被提出[21]，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，作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。

2.2.4 主要執行函式邏輯說明

在程式實作上，考量到深度學習領域變化快速，幾乎每 1~2 年就會有突破性的發展，且偵測方法本身的發展平台相互不同且不見得支援 Windows，因此本團隊把單張畫面的物件偵測方法獨立成分開的模組，例如 YOLOv3 與 Mask R-CNN 皆由獨立程式產出偵測結果，記錄每張畫面的車輛座標與種類等資訊，再由主程式讀入整部影片的偵測結果，分別針對兩輪車輛(包含行人)與四輪車輛進行完整的軌跡追蹤等處理。最後將兩類軌跡整合輸出為 CSV 格式的軌跡紀錄。以下分別列舉主要執行函式:

1. 影像穩定化部分

所有空拍影片需先經過穩定化處理，以便讓所有影片畫面上的像素點都對齊(aligned)落在同樣的 2D 平面座標。首先將每張畫面轉成灰階，再利用 OpenCV

中的 findTransformECC 函式找出每張畫面與影片首張畫面間的轉換矩陣(warp matrix)參數，再透過 warpPerspective 函式根據前述矩陣參數，將每張彩色畫面中的點轉換並內插置新的位置，產生對齊了第一張影像的穩定化影像內容。由於 108 年研究是以路口衝突為目標進行研究，為了避免深度學習計算上的浪費，因此針對對齊後的影片畫畫面，會由使用者指定範圍並統一輸出成 1024×1024 的影片。如原影片為 4K 影片，則會先縮小為 1080p 影片後再行裁切輸出。

2. 四輪車輛軌跡追蹤部分

由於 Mask R-CNN 對車輛範圍是以遮罩(mask)形式描述，因此每張畫面的偵測結果難以用數據方式存放，而改以遮罩圖透過不同遮罩顏色來指定不同種類車輛，背景則以黑色表示。程式首先會載入 1024×1024 的穩定化路口影片與及由 Mask R-CNN 產生的對應遮罩影片。使用者須針對路口各方向車道劃定邊界線，以作為車輛進出各路口的判定依據。此邊界線須連續劃定，最終形成一封閉的輪廓，以便透過車輛在輪廓的內部或外部來判定車輛出入，稱之為路口輪廓區域。之後，針對每張遮罩影像，先轉成二值化影像(binary image)以區分背景與車輛區域，並透過 OpenCV 函式 findContours 找出每個獨立車輛輪廓。為了以矩形擬合車輛輪廓，透過 minAreaRect 函式取得每個輪廓的最小外接矩形，此矩形因能具備旋轉性質，故可更加適當有效的代表車輛範圍資訊。車種資訊則可根據遮罩影像中，對應輪廓的顏色來進行判定。

為了避免車輛追蹤時對路旁停車進行不必要的追蹤，進而造成記憶體與比對的負擔，因此追蹤程序僅針對前一張畫面還在路口外，但此刻畫面已進入路口內的車輛進行追蹤，直到車輛離開路口的瞬間才將軌跡資訊紀錄並輸出至 CSV 檔。進出路口的判斷方式是以四輪車輛是否完全進入路口為準，透過 pointPolygonTest 函式判斷四輪車輛矩形的四個代表角點是否全在路口輪廓區域內。若為是，則車輛已進入路口；若為否，則代表車輛至少已有一部分離開路口。針對前一張畫面中每部進入路口車輛，會透過 goodFeaturesToTrack 函式取出矩形內的多個車輛特徵點，之後利用 calcOpticalFlowPyrLK 函式計算每個特徵點在此刻畫面的對應位置，並利用 estimateRigidTransform 函式預測前張路口內某車輛 V 的此刻畫面位置 P，再與此刻畫面的四輪車輛偵測結果位置 D 做比較。若預測位置與此刻畫面中某個偵測位置有最高且明顯的重疊，則認定車輛 V 的此刻位置為 D。相對地，若不存在任何一個偵測位置可與 P 相匹配(明顯的重疊)，則認定車輛 V 的此刻位置為 P。若連續 3 張畫面都無法成功匹配，則代表此車輛可能已經追蹤失敗，將去除前面 3 張的追蹤結果後，輸出之前記錄的軌跡至

CSV 檔。最後，未能被前張畫面車輛匹配的偵測車輛，則可視為是新進入路口之車輛，從下一張畫面開始將對其進行追蹤。

在判定進出口上，主要是根據車輛軌跡首尾的中心位置進行判斷。若中心位置最靠近某方向車道的邊界線，便以該邊界線作為對應出入口。每部四輪車輛軌跡會在車輛判定離開路口或追蹤不到時，將"車輛 ID、進入路口時間(frame)、離開路口時間(frame)、進入路口編號、離開路口編號、車種、第 1 筆車輛位置、第 2 筆車輛位置、..."等記錄成一列資訊並存至 CSV 檔案中。其中，每筆車輛位置包含了車輛 4 個角點的(x, y)座標，車種則透過軌跡中所有單一畫面上追蹤到的車種資訊進行投票，取出現率最高的車種作為代表。

3. 行人、兩輪車輛軌跡追蹤部分

在行人、兩輪車輛軌跡追蹤方面，主要先透過 YOLOv3-CSP 產生影片中每張畫面的行人/車輛偵測結果，再透過 SORT 演算法進行追蹤處理。跟 Mask R-CNN 在追蹤上需借鏡原影片畫面，以進行特徵點選取與比對不同；SORT 在追蹤上主要依賴前後畫面中偵測對象間的相對距離關係，且不須尋找可能的車輛轉向等移動資訊，因此實際上不須載入原影片內容亦可完成。

程式首先會載入 YOLOv3-CSP 產生的行人/車輛偵測結果，此偵測結果為一個文件檔，包含了畫面編號、物件偵測位置、物件類別、物件類別信心度等數據。其中，物件偵測位置包含了物件框左上角座標(x1,y1)與右下角座標(x2,y2)。為了進行追蹤，先對中心點落在路口輪廓區域內的物件對象啟用追蹤器(tracker)，每個追蹤器包含了物件偵測位置(x1,y1,x2,y2)與物件類別信心度 5 個數據，透過 SORT 中的 tracker.update 函式來更新各物件的所屬軌跡關係，與及軌跡的起始與結束狀態。由於 SORT 可以容忍物件短時間未被偵測，因此軌跡中可能缺少部分物件位置資訊。因此，還須利用 Python 的 interpolate 函式針對缺漏軌跡資訊進行內插計算，以填補出完整的軌跡資訊。最後，同樣透過軌跡中所有單一畫面上的物件類別資訊進行投票，取出現率最高的類別作為代表。在判定進出口與輸出軌跡格式上，都與四輪車輛的判定方式完全相同。

2.3 交通衝突技術

2.3.1 衝突之定義

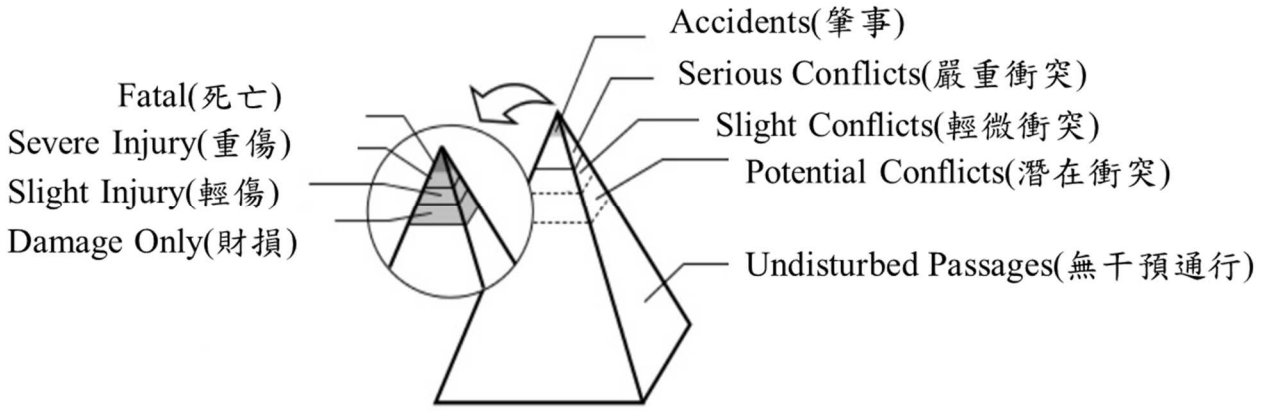
交岔路口是車流匯集及轉換方向之處所，當駕駛者將車輛由原車道轉換至另一車道，或行駛進入交岔路口時，會與其他車輛發生分流、併流、穿越等行為，同時用路人彼此之行車軌跡將產生合併、分離或交岔等情況而產生衝突區。

交岔路口之交通衝突研究起源，係美國通用汽車公司[22]（General Motors Corporation）於西元 1967 年發表的「交通衝突技術（TCT,Traffic Conflict Technique）」，其利用此技術衡量路口潛在的危險性。之後歐美各國陸續開發適合該國的交通衝突技術。過去曾有許多研究對於交岔路口之交通衝突做出定義，美國通用汽車公司[22]將其定義為：「交通衝突之產生為駕駛者採取煞車或迂迴閃避的應變措施，以避免碰撞的一種交通事件」。Amundsen[23]於 1977 年將其定義為「兩位或多位道路使用者於時空上彼此逼近，若雙方均不改變其移動方向，則將會發生碰撞之風險情況」。

2.3.2 交通衝突理論之發展

交通衝突技術（Traffic Conflict Technique, TCT）最早可追溯在美國五十年代開始發展，後來持續由其他國家延伸並修改。在原來的 TCT 中，沒有任何技術設備，交通情況由人類觀察員觀察、記錄和分析。交通衝突可以是任何潛在的事故情況，常見有兩類交通衝突：駕駛員的迴避行為和交通違規行為。在原來的 TCT 衝突中只計算事故的數量，後來發現衝突的重要性及嚴重程度，所以將其納入考慮來評估交通狀況的不安全性。Hydén[24] 於 1987 年提出安全階層金字塔(Safety pyramid)也指出相同的概念，如圖 2.3-1 所示，研究認為交通的組成複雜，可視為一連串的道路事件，道路事件數量與其安全上的嚴重程度層級有關，不同嚴重程度與發生頻率可預期有一具體關係。金字塔底層代表輕微平常的事件，發生頻率越高，相對碰撞事件在金字塔頂端，嚴重程度高但發生頻率低。在這個正向關係下，可以透過觀察及紀錄嚴重程度較低的交通衝突事件，去預測嚴重程度較高但發生頻率低的交通事故事件數量。另外， Tarko (2009) [25]指出碰撞頻率和嚴重程度是評估道路安全的直接措施，但實際的碰撞數據則因樣本數量過少，缺乏碰撞的過程細節而被認為較無可信度。Sacchia (2013)[26]等人於 2013 年的研究也指出，減少衝突與減少碰撞的實驗數據呈現高度正相關，說明減少交通衝突確

實可以協助道路主管機關預防碰撞事故的發生。

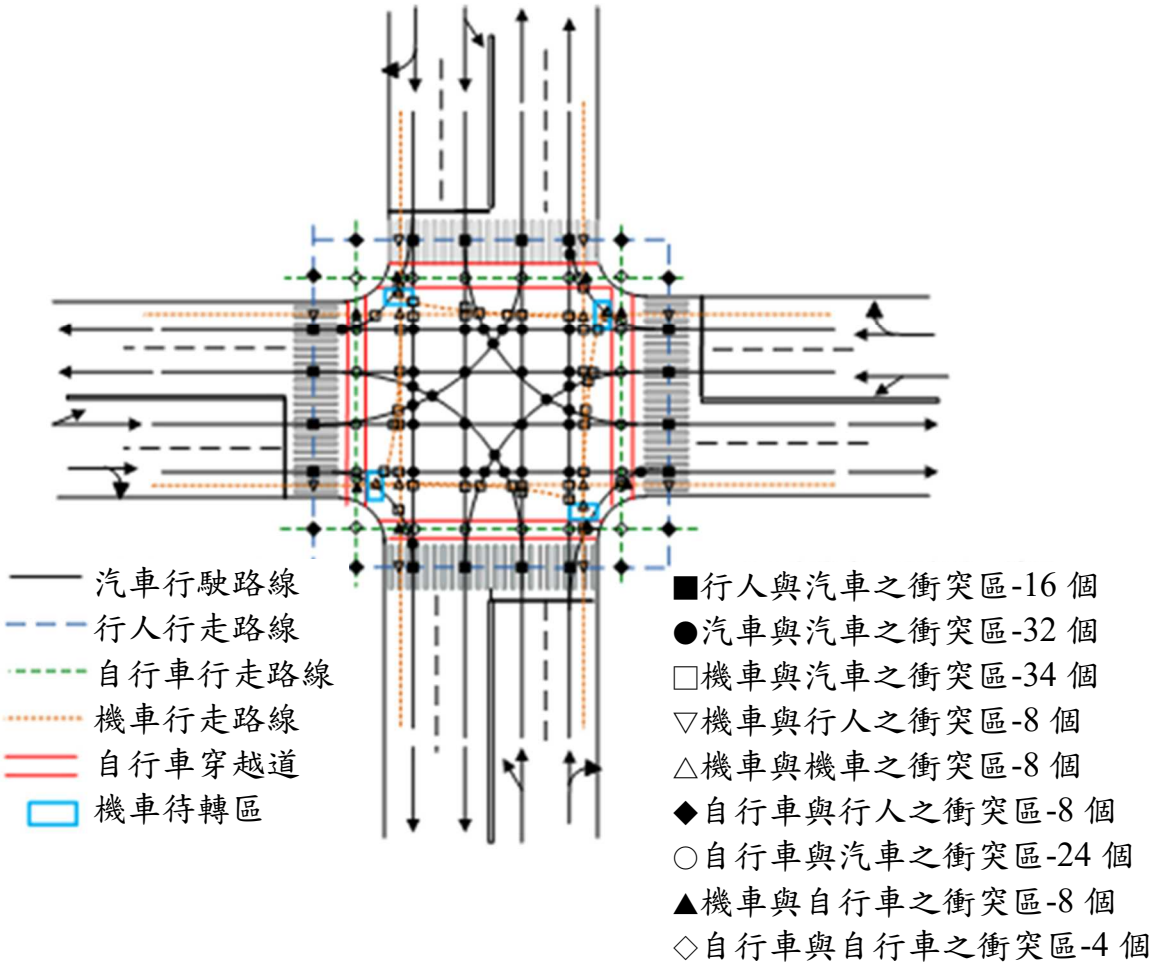


資料來源：[24]

圖 2.3-1 安全階層金字塔圖

2.3.3 交通衝突型態

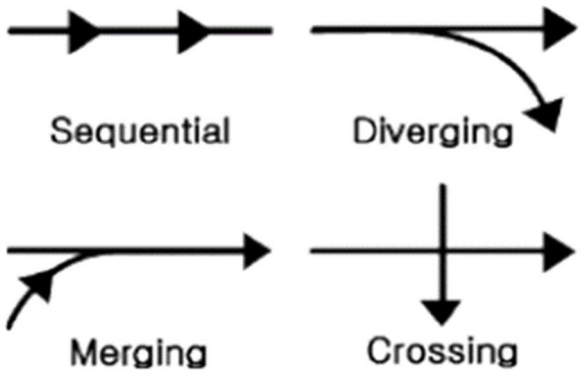
交通衝突是交通安全潛在危險之根源，許添本等人(2018)研究[27]指出，交通衝突涉及交通工具與用路人之行為，其中包含駕駛本身、駕駛的車輛、道路環境狀況等，都與衝突發生之過程相關。以往分析衝突時，多以衝突發生的時間、地點、型式，做為衝突分析的方法。一般而言，最常發生衝突之關鍵，在於突然變換車道、緊急煞車等行為，在必要的時刻駕駛可能會採取避免造成意外傷亡之預防性動作，以降低潛在的風險。應用交通衝突技術可做為診斷評估路口潛在衝突的工具，以預防事故發生，本節以各類道路使用者在穿越路口的動線為例，分析單向雙車道的交岔路口之交通衝突，如圖 2.3-2 所示。由圖中可看出，在沒有交通號誌管制的路口，行人與汽車的衝突區有 16 個，各方向的汽車與汽車的衝突區有 32 個，機車與汽車的衝突區有 34 個，機車與行人的衝突區有 8 個，機車與機車的衝突區有 8 個，自行車與行人的衝突區有 8 個，自行車與汽車的衝突區有 24 個，機車與自行車之衝突區有 8 個，自行車與自行車的衝突區有 4 個。



資料來源：[28]

圖 2.3-2 交岔路口交通衝突分析圖

交通衝突理論應用在交岔路口的設計，可依據車流交岔、併入及分出三種情形，將交通衝突型態分類為同向直行衝突(sequential confinct)、分流衝突(diverging conflict)、匯流衝突(merging confict)及穿越衝突(crossing conflict)[29]，如圖 2.3-3 所示，茲簡介如下：



資料來源：[29]

圖 2.3-3 四種交通衝突型態圖

1. 同向直行衝突(sequential confinct)：發生於二車輛依序前進，亦即一車跟隨另一車時。事故僅會發生於後車較前車快時。
2. 分流衝突(diverging conflict)：發生於車流分流時（由單一方向分離成二道方向不同之車流），車流由空間較小壅塞較高的狀態轉移至空間較大壅塞較低之狀態，故通常被認為是四種衝突中問題最小的。但可以注意到分流區本身即為為瓶頸，車輛會傾向因進行轉向動作而形成減速，因而可能使得上游車輛於接近分流區時遇到車速較低之下游車輛，令本類衝突與跟車衝突較為類似。
3. 匯流衝突(merging confict)：當來自於不同車道或方向之車流匯流時產生，匯流區本身即為瓶頸，並且迫使車流由空間較大壅塞較低之狀態轉移至空間較小壅塞較高的狀態。
4. 穿越衝突(crossing conflict)：發生於來自不同方向之車輛試圖於同一位置跨越彼此的行駛路徑。本類衝突被認為是最危險的衝突類型，是為交岔路口設計之主要考量點。

將交通衝突理論運用在交岔路口的安全評估分析，衝突將可分為同向衝突、對向左轉衝突、穿越交通衝突、紅燈右轉衝突、行人與車輛衝突、次衝突等六類[30]。許添本等人（1999[31]將交通衝突理論的應用，擴及路口及路段兩個部分，因此將道路中所發生的交通衝突，做進一步的整理及分類如下：

1. 同向衝突：發生在第一部車（即前行車）減速或改變方向時，跟隨其後的車輛處於可能碰撞的危險狀態，此時第二部車以煞車或迂迴閃避的動作，避免

發生碰撞後繼續行駛。此類衝突可分為同向左轉衝突、同向右轉衝突、同向直行減速衝突與同向變換車道衝突。

2. 對向衝突：發生在對向駛來的車輛採取左轉或偏移時，使直行的車輛處於可能與之碰撞的危險狀態，在交岔路口經常發生。此類衝突可分為對向左轉衝突、與對向偏移衝突。
3. 穿越交通衝突：發生在第一部車轉向或直行穿越幹道時，使幹道上的車輛處於可能產生碰撞的情況，而採取煞車或迂迴閃避的動作，避免發生碰撞後繼續行駛。此類衝突可分為直行穿越衝突、與左右轉穿越衝突。
4. 行人與車輛衝突：當車輛通行時必須與行人的流動相交錯，可能引起碰撞的危險，使駕駛人必須採取煞車或迂迴閃避的動作。此類衝突可分為同向行人與車輛衝突、與橫向行人與車輛衝突。

交通衝突的發生與交通事故有非常密切的關係，而不同的交通衝突類型，可能導致不同的交通事故，因此可將衝突類型再細分為衝突類別（許添本等人，1999[31]），如表 2.3-1 所示：

表 2.3-1交通衝突類型與衝突類別

交通衝突類型	**主要衝突類別**
同向衝突	同向左轉衝突
	同向右轉衝突
	同向直行減速衝突
	同向變換車道衝突
對向衝突	對向左轉衝突
	對向偏移衝突
穿越交通衝突	直行穿越衝突
	左右轉穿越衝突
行人與車輛衝突	同向行人與車輛衝突
	橫向行人與車輛衝突

資料來源：本所 108 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」計畫(修改自[31])

2.3.4 交通衝突指標

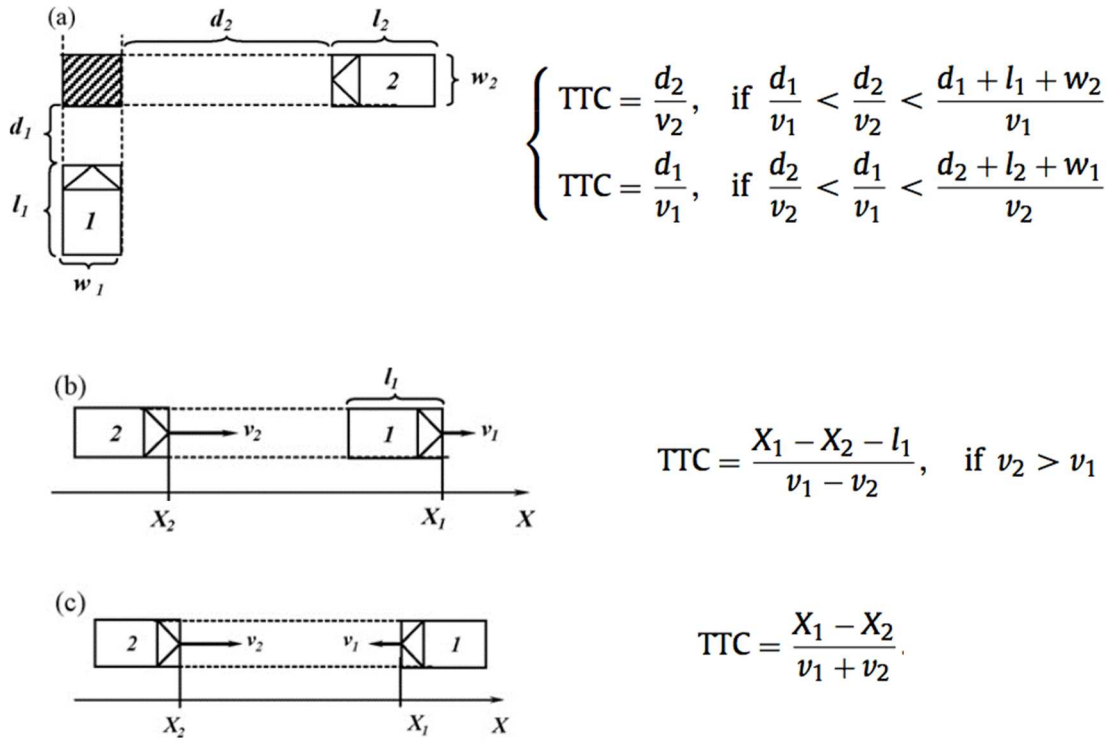
衝突事件的定義涵蓋範圍廣且模糊。美國運輸研究委員會的交通安全委員會根據醫學上對替代事件的定義延伸，提出以衝突替代肇事評估交通安全須滿足兩條件[28]：

1. 替代事件為可觀測的非碰撞事件。
2. 替代事件和肇事相關，且可轉換。

透過判斷衝突點後，即可針對可能發生肇事的衝突點為建立衝突指標，並以該指標判斷路口安全性。關於替代事件的選擇，常見的方式為描述車輛互動的時間空間關係。以下介紹二常見的交通衝突指標(Conflict indicators)：

1. 碰撞時間(Time to collision, TTC)

碰撞時間的定義為兩車維持當前速度與行駛方向不變的情況下，兩車碰撞所需的時間 (Hayward, 1972)[32]。此指標為連續型，即每個時點均能產生一筆資料，實務上常以記錄時間中所得秒數最低的碰撞時間為參考。此指標僅限於該時點處於即將碰撞(near miss)狀態下的車輛，並非所有車流交會都會產生 TTC 值。Laureshyn et al. (2010)[33]整理出兩車不同角度下產生衝突，TTC 的計算需考慮碰撞類別及碰撞點，90 度直角碰撞(right-angle collision)、追撞(rear-end collision)、對撞(head-on collision)的 TTC 計算公式，示意圖如圖 2.3-4 所示:

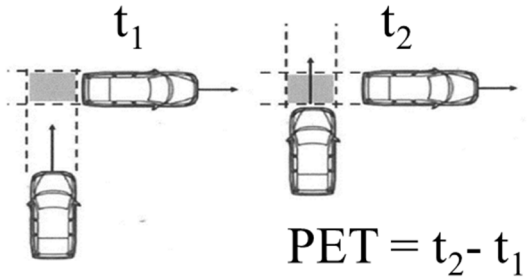


資料來源：[33]

圖 2.3-4　TTC 計算公式及示意圖 (a) 90 度直角碰撞、(b) 追撞、(c) 對撞

2. 後侵占時間(Post encroachment time, PET)：

後侵占時間的定義為兩車軌跡交會，車輛一方通過衝突區(軌跡交會點)與另一方通過衝突區的時間差。後侵占時間對於軌跡相交的事件，必能產生一後侵占時間資料。右轉側撞的後侵占時間計算公式及示意圖如圖 2.3-5 所示：



資料來源：[33]

圖 2.3-5 PET 計算公式及示意圖

除了較常用的 TTC 及 PET 外，尚有其他研究因應不同的情景而提出適用的交通衝突替代指標。Zheng et al. (2014)[34]提出交通衝突指標可大致分成兩大類：時間接近度(temporal proximity) 及空間接近度(spatial proximity)，考慮時間接近度的衝突指標包括：碰撞時間(Time to collision, TTC), 後侵占時間(post encroachment time, PET), 距離事故發生時間(time to accident，TA), 距離停止線時間(time to stop line), 安全減速時間(deceleration to safety time), 剎車時間(braking time) 等等；考慮空間接近度的衝突指標包括：與潛在碰撞點之剩餘距離(Remaining distance to potential point of collision)，剎車距離比例(proportion of stopping distance, PSD) 等等。

其他被提出過的替代指標，可參考 Laureshyn et al. (2017)[35]及 Johnsson et al. (2018)[36]的文獻回顧論文，當中分析了 200 餘篇相關文獻並整理出約 20 個指標，發現目前並沒有指標能全面反映碰撞風險的所有重要面向，因此建議應根據問題的特性，採用多個指標的組合進行分析評估。Mahmud 等人(2018)[37]也對衝突替代指標進行回顧，發現過去文獻約有 40 個指標被提出，但這些指標都是針對以小汽車為主依照車道行駛規範的交通車流(lane-based traffic)，但在發展中國家，交通車流尚包含大量的行人、非機動車輛、機車等，在這些車輛或移動物並不按照車道規範移動，因此混合車流的環境更為複雜，而過去根據小汽車車流而設計的指標是否適用在混合車流的情景中，或者這些指標是否需要修改，是一個需要進一步探索的重要議題。例如，Tageldin et al. (2015)[38]分析了中國上海的一個車流密度極高的交岔路口，當中包括了自行車、機車與小汽車等車流，發現迴避性動作如減速度(deceleration)、減速度變化率(jerk)、橫擺角速度(Yaw rate) 可做為這種複雜無序的交通環境的適合指標，Chen et al. (2017)[39]分析了交岔路口的行人及小汽車車流衝突，發現相對碰撞時間(Relative Time to Collision, RTTC) 和後侵占時間(PET) 是有效的衝突指標。

2.3.5 交通衝突分析工具

在交通安全的評估工具方面，本計畫將採用 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)[40]軟體的開源程式碼進行交通衝突分析的部分計算，SSAM 是美國聯邦公路管理局(FHWA)開發的軟體（Gettman and Head, 2003[41]; Gettman et al., 2008[42]），這是一項結合微觀車流模擬進行交通安全評估的工具，此軟體於 2017 年推出第三代(SSAM Version 3.0)[40]，改寫程式碼架構以改善計算效能，並開放原始碼供大眾使用及進行研究。以下將就 SSAM 的背景、功能及相關研究進行

說明。

1. SSAM 背景及功能介紹

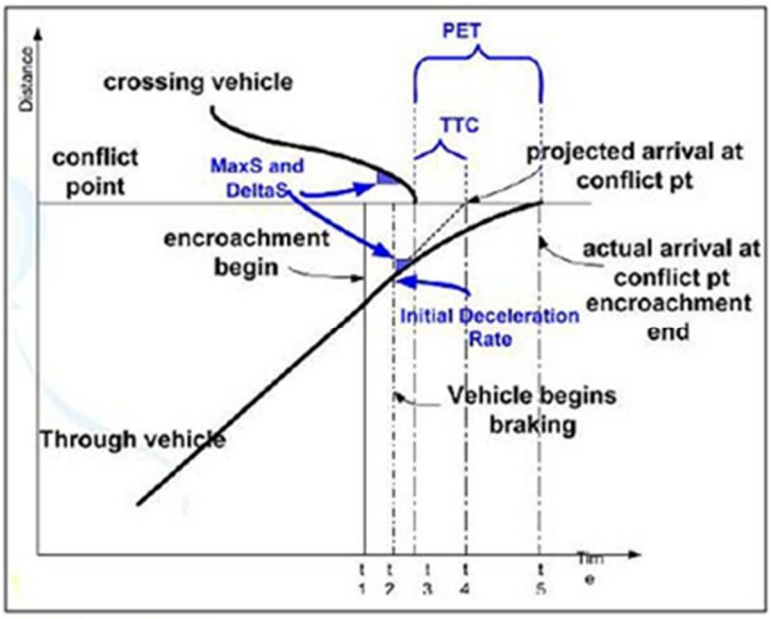
美國聯邦公路管理局(FHWA)開發出 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) [40]軟體，是一項融入多種事故指標，對微觀車流模擬模式(microscopic traffic simulation model)的結果進行交通安全評估的工具，由軌跡檔計算車流的交通衝突情況。SSAM 能支援多種微觀車流模擬的軌跡格式輸出檔（其副檔名為.trj），包括 VISSIM、AIMSUN、 Paramics 和 TEXAS 等四個車流模擬軟體，軌跡檔的基本格式為一固定時間戳記（time stamp）排序，依序表列各時間戳記之所有車輛數據，其中包含車輛之車種、座標、尺寸、速率與加速度等資訊。SSAM 的運作原理是透過系統事先設定好的事故指標門檻值，讀取車輛軌跡資料，分析車與車之間的互動，當分析出的數值達到門檻值時，即紀錄為一筆交通衝突事件(conflict event)，並輸出交通衝突時間的交通衝突指標數值。此外，SSAM 亦同時輸出衝突發生地點、兩車之間的速度、角度等資訊，以利使用者判斷交通衝擊型態。Gettman 等人(Gettman et al., 2008)於 2008 年[42]的報告進一步測試並確認 SSAM 能適用於交通事故風險之評估。

SSAM 於 2017 年推出第三代(SSAM Version 3.0)[40]，改寫程式碼架構以改善計算效能，並開放原始碼供大眾免費使用及進行研究。此版本提供可直接使用之執行檔及可供大眾編譯之原始碼，後者經編譯後可透過命令提示字元執行，二者均可輸出交通衝突之數量、種類、嚴重程度以及發生之時間地點，以外亦均可將軌跡檔轉為可讀性較佳之逗點分隔格式（Comma-Separated Values，CSV）。SSAM 採用的事故替代指標如下:

(1) 碰撞時間(Minimum time-to-collision, TTC)
(2) 後侵占時間(Minimum post-encroachment time, PET)
(3) 起始減速率(Initial deceleration rate, DR)
(4) 最大速度(Maximum speed, MaxS)
(5) 最大速度差(Maximum relative speed difference, DeltaS)
(6) 衝突事件位置(Location of the conflict event, CLSP, CLEP)
(7) 最大事後速度差(Maximum “post collision” DeltaV, MaxDeltaV)

各項指標的計算邏輯及定義，如以下圖 2.3-6 兩車之時空軌跡圖所示，兩台車移動軌跡如產生交通衝突，記錄衝突事件過程中的 TTC、PET 等指標，因此

一件衝突事件只有一筆的紀錄。



資料來源：[40]

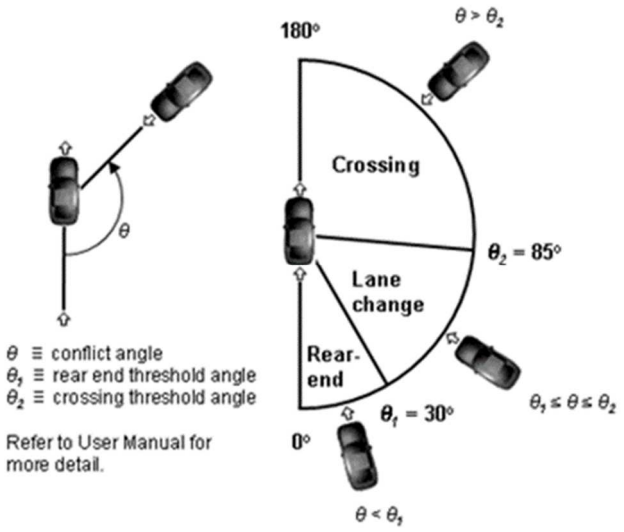
圖 2.3-6 SSAM交通衝突指標之計算定義

SSAM 提供交通衝突事件的過濾功能，根據定義，任二車之間均可計算出 TTC 與 PET 值，但其值極大者顯不具衝突發生之風險。上述替代指標中 SSAM 主要使用交通衝突指標 TTC 與 PET 做為判定衝突是否發生之依據，SSAM 可讓使用者設定門檻值範圍，衝突指標於門檻值範圍內之衝突事件予以記錄，範圍以外之衝突事件則不記錄。

SSAM 將交通衝突事件進行分類，依據衝突事件發生時兩車之間的衝突角度（conflict angle），將衝突事件歸類為以下三種型態：

(1) 穿越型（crossing）
(2) 車道變換型（lane-changing）
(3) 追撞型（rear-end）

衝突角度為當二車逼近至衝突點時的角度差。當角度小於 30 度則視其為追撞型，當角度大於 85 度則視其為穿越型，介於二者之間則為車道變換型，如圖 2.3-7 所示。以上衝突型態分類的衝突角度門檻值為預設值，使用者可於軟體內自由調整。



資料來源：[40]

圖 2.3-7 SSAM 交通衝突類型與衝突角度

SSAM 的模式計算理論已經於過去的技術報告書有充分的探討(Gettman et al., 2008)， 進行理論驗證、現場驗證和敏感度分析。現場驗證分析了 83 個市區交岔路口，運用現場實測資料在 VISSIM 建立微觀車流模擬，再使用 SSAM 進行交通衝突分析，衝突分析的衝突數量再與實際的交通事故歷史數據進行比對，結果顯示兩者在統計上呈顯著相關，每小時總衝突數與每年交通事故數之統計關係式如下圖 2.3-8，其相關性（R-Squared）為 0.41，驗證衝突數量與今天事故數為正向關係，衝突數越多、交通事故數越多。

然而這個方程式的目的只是說明衝突數量與交通事故數量呈一正向關係，因衝突數量受車流模擬的方式、建模技巧、分析時段、車流組成等以及判斷衝突事件的指標及其門檻值都有極大關係，因此衝突數與事故數之比例在不同的分析研究中可能有很大的差別。

$$\frac{Crashes}{Year} = 0.119 \times \left(\frac{Conflicts}{Hour} \right)^{1.419}$$

資料來源：[42]

圖 2.3-8 SSAM 驗證報告之衝突數與交通事故數之關係

2. SSAM 相關研究

近年來有不少應用 SSAM 於各種交通安全的研究，搭配微觀車流模擬模式廣泛用於道路設計，評估不同道路設計方案的安全性。Huang. et al. (2013)[43]探討 VISSIM 模擬軟體與 SSAM 進行交通衝突估計的準確性，並以 10 個號誌化路口的對象，分析 SSAM 提供之結果是否與實際觀察之交通衝突情況相符。VISSIM 模式先進行校估以重現車流特性績效指標如流量、速率、旅行時間等，再透過 SSAM 計算衝突數量，並以傳統影像觀察所得之交通衝突安全分析為實況資料（ground truth），比較兩者所得交通衝突數量之誤差，結果顯示 SSAM 產生的交通衝突數與觀察到的交通衝突數之間有合理的配適度，總衝突數及追尾衝突（rear-end conflicts）數的平均絕對百分比誤差(mean absolute percent error, MAPE)為 18% 及 20%，顯示衝突預測模式有可接受的預測能力；交岔衝突（crossing conflicts）及車道變換衝突（lane-change conflicts）的 MAPE 誤差為 31%及 38%，衝突預測模式的預測能力只達到中等水準。類似的相關研究包括 Fan et al. (2013)、Wang and Stamatiadis (2013)、Guo et al. (2019)等。

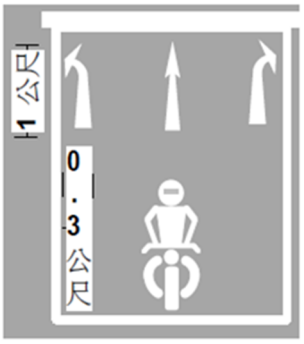
在號誌時制設計的應用上，Stevanovic et al. (2013) 提出優化號誌時制以改善號誌化幹道的安全，提出 VISSIM 為基礎的基因演算法去同時提升交通效率及降低交通衝突的數量，並以一條 12 個路口的幹道為例進行測試，發現透過優化號誌時制，在不大幅降低交通效率的情況下最多可降低 9%的交通衝突數。然而，進一步的模擬實驗發現在號誌時制的設計的目標上，需要在交通效率與安全之間作平衡和取捨，增加號誌週期長度能降低交通衝突數，但同時會導致更長的等待時間。

Vasconcelos et al. (2014a)[44]驗證 AIMSUM 模擬模式搭配 SSAM 進行路口安全分析的能力，針對四叉優先通行路口（four-leg priority intersection）、單車道圓環（single-lane roundabout）以及交錯四叉路口（four-leg staggered intersection），探討在不同交通量下，比較模擬之衝突數量與事故預測模型（accident prediction models，APM）所計算之事故數量間之差異，結果發現隨著年平均每日交通量增加，衝突與事故增加趨勢大致相同。進一步比較數個路口的模擬衝突數與實地觀察衝突數，發現模擬之衝突數有所低估但呈系統性，結果仍可重現衝突數的變化趨勢以及辨認出路口的高風險區域。Vasconcelos et al. (2014b) 探討了常規的單車道（single-lane）、雙車道（two-lane）以及非常規的渦輪型圓環（turbo-roundabouts）的圓環比較三者於效率與安全上的優劣，運用 AIMSUM 進行模擬及 SSAM 進行安排評估分析，結果顯示渦輪型圓環較少發生交通衝突，但一旦發生則較為嚴重。

2.4 混合車流情境之交通安全工程設計

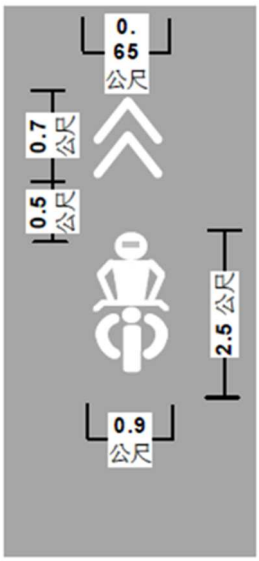
交通衝突技術的主要目的是交通事故風險的評估，可用作交通工程改善前、改善後的績效的評估工具。然而，交通衝突分析主要是透過自動化的方式發現交通安全的潛在問題，未能提供交通安全工程的改善建議。因此需要與國內既有的肇事分析文獻結合，將交通衝突型態與肇事型態進行連結，找出對應的工程改善方案。國內探討肇事分析及交通工程改善的研究報告，以本所及許添本等人[5][45]的長期研究成果為最重要的參考資料來源，以下簡要回顧這一系列研究所提出的交通工程改善設計方法。

機車是國內的主要交通工具，而機車在道路上有安全上的問題，造成極大的社會成本，因此近年國內有推動許多混合車流情境之機車交通安全創新改善方法。許添本等人[5][45]歸納主要的機車安全議題，並依交岔口及路段兩部分，找出主要肇事碰撞問題加以分析，提出混合車流的交通安全設計。在交岔口的部分，改善方式包含號誌時制設計、機車停等設計、及機車左轉設計；路段的部分，改善方式包含車道配置設計、漸變銜接設計、及巷道出入口設計。另外，創新提出了提升機車交通安全之道路布設方式-車道化機車停等區，包含「停等區前端機車流向導引小箭標」(圖 2.4-1)、「機車進入停等區提示標線」(圖 2.4-2)、「分離式導引箭頭指向線」(圖 2.4-3)等，將結果整理為混合車流交通安全設計的準則，並研擬試辦研究，做為提升我國機車交通安全之基礎。



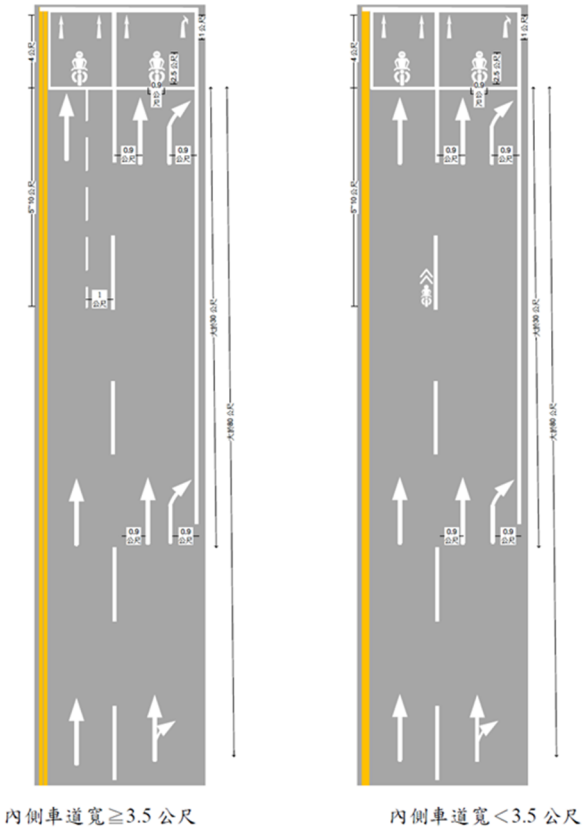
資料來源：[5]

圖 2.4-1停等區前端機車流向導引小箭標



資料來源：[5]

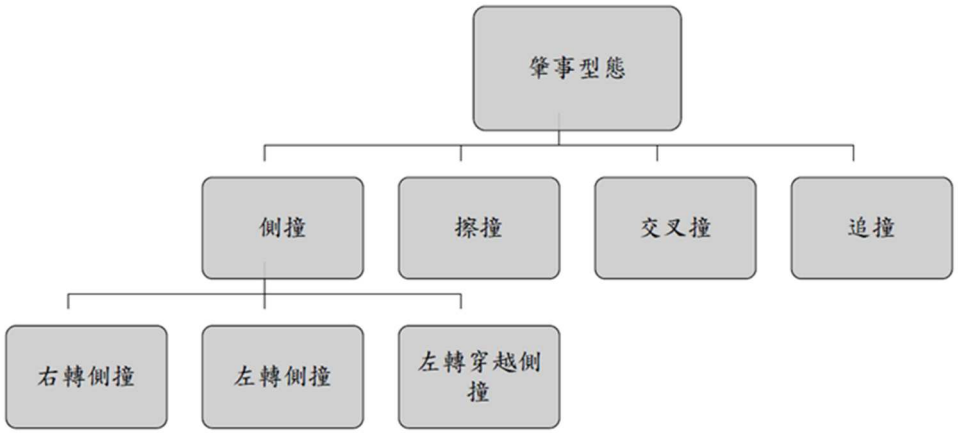
圖 2.4-2 機車進入停等區提示標線



資料來源：[5]

圖 2.4-3 車道化停等區及相關標線設計

因目前國內既有之交通工程設計參考工具，未能針對既有路口發生特定的型態交通事故提出改善方案，許添本等人(2020)[5][45]進行了多年期研究計畫「混合車流路口道路與交通工程設計範例」，致力發展各肇事型態的交通工程改善設計範例，可直接應用於路口特定肇事型態的改善。在最近一期的研究「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」[5]中，發現「非號誌化路口」的主要肇因分析可歸類為路口視距不足、行車速度較快、交岔口路權不明顯 、主線與支線路幅差距大、無足夠左轉待轉空間、照明不足等六項，並研擬措施進行交通改善。另外，報告書亦提出了「各肇事型態的交通工程改善設計範例」，以肇事改善為出發點，並以路口常見的肇事型態為應用對象，包括右轉側撞、左轉側撞、左轉穿越側撞、擦撞、追撞與交岔撞等六項常見之肇事型態(圖 2.4-4)，發展交通安全導向的交通工程設計範例，整合各項交通工程設施的設計與配置，形成各類型路口的設計藍圖，供道路管理單位與道路設計者使用。



資料來源：[5]

圖 2.4-4肇事型態分類圖

2.5 前 2 期研究之成果回顧

彙整 107 年研究[3]及 108 年研究[4]之成果，含無人機交通觀測技術、影像車流分析技術、及交通衝突分析技術，請參考表 2.5-1。

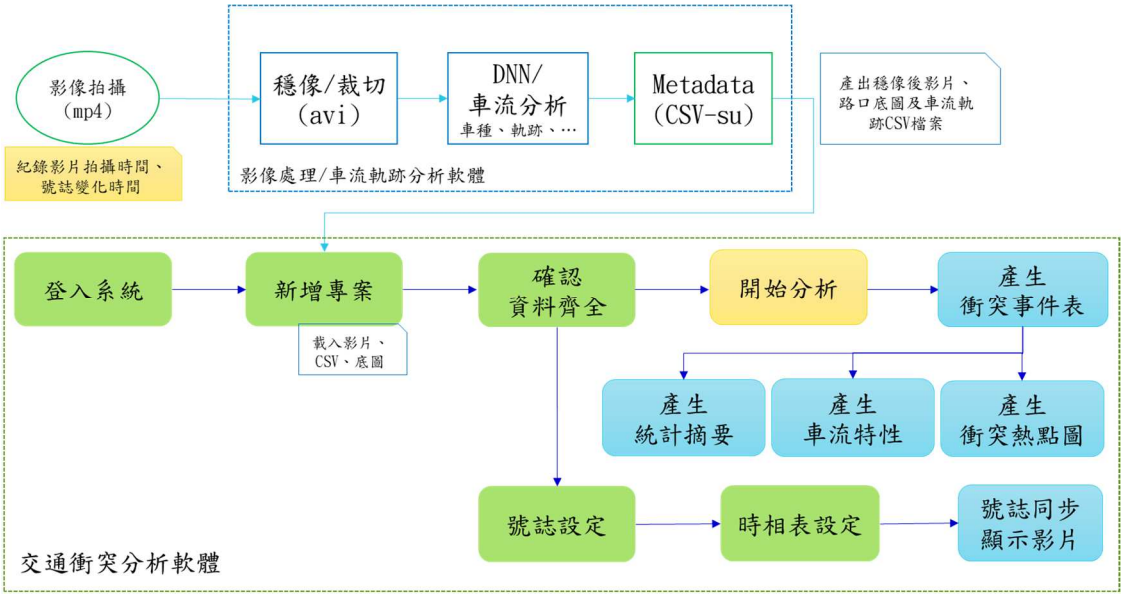
表 2.5-1 107年研究及108年研究之成果列表

技術	項次	107 年研究成果	108 年研究成果
無人機交通觀測技術	最適拍攝參數	無人機拍攝結論: 1. 飛行高度 75 公尺 2. 拍攝角度垂直地面 3. 4K 30fps 錄製	無人機拍攝結論: 1. 限航區拍攝方式 2. 號誌時相拍攝及對時
影像車流分析技術	四輪以上車種	1. 採用 Mask R-CNN 深度學習架構 2. 小轎車、貨車、巴士 90%以上 3. 貨車、聯結車效果不佳	1. 採用 Mask R-CNN + region tracking 深度學習架構 2. 小轎車、巴士之查全率與查準率(Recall & Precision)達 99% 3. 貨車查全率與查準率分別達 99%與 91.8%
	行人、自行車、機車	1. 採用 Mask R-CNN 深度學習架構 2. 像素面積太小，效果不佳	1. 採用 YOLOv3 + SORT 2. 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% 3. 自行車易與機車混淆，但因機車與自行車之一般騎乘車速有明顯差異，可由軌跡平均車速差異性區分自行車與機車，將自行車查全率由 55.9%提升至約 80%水準
交通衝突分析技術	衝突指標	TTC、PET 指標（自行計算）	1. SSAM V3.0 開源程式 2. TTC、PET 等衝突指標資訊
	使用者篩選功能	預設 TTC、PET 門檻	1. 嚴重程度 2. 衝突類型 (Conflict types) 3. 車種 4. 車流方向
	分析結果	衝突熱區圖	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
	國內車流情境	未測試	經測試可分析汽機車混合車流、內輪差等問題

資料來源：本計畫繪製

以下說明交通衝突分析軟體 108 年研究成果。本計畫開發之交通衝突分析軟體工具，目的是透過無人機對路口進行空拍攝影，經影像蒐集及分析後產生車流軌跡資料，再將車流軌跡資料進行交通衝突分析，藉以評估路口的交通事故風險。

交通衝突分析軟體架構如圖 2.5-1，藉由專案管理的模式，讀取車流軌跡分析軟體之輸出，包括路口影片、路口底圖及車流軌跡檔等，確認資料皆完備後就可進行交通衝突分析作業。交通衝突分析採用 SSAM 開源軟體進行衝突事件的計算，其結果以衝突事件表方式呈現，輸出每一個衝突事件發生時的屬性等資訊；使用者可透過參數進行結果篩選，包括衝突型態、進出路口及車種等條件，進行衝突事件過濾，以利分析人員針對不同類型的衝突事件作進一步分析。此外，系統可將衝突事件表進行統計摘要、車流特性及衝突熱點之圖表輸出，統計摘要包含前述衝突事件的數量、衝突型態、相關車種及嚴重程度等來顯示統計結果，車流特性則以經過該路口之直行車平均車速及車輛數來顯示結果，最後的衝突熱點，將分別繪製分析結果產生的 TTC 及 PET 熱點圖，透過該衝突熱點圖，可快速找出該路口易發生衝突區域，進而輔助交通管理人員檢視各種交通指標之設計。



資料來源：108 年研究繪製

圖 2.5-1 衝突分析軟體架構圖

以下針對衝突分析軟體輸出結果之呈現型式逐一說明：

1. 表格型式：如圖 2.5-2 顯示所有分析的資料，依據 SSAM 分析結果輸出，並

將資料分為事件資訊及車輛資訊兩大類，事件資訊主要說明發生衝突的時間、地點、衝突相對車速、角度及類型等，車輛資訊則分別說明發生衝突的兩車種(或行人)的資料，包括長度、寬度、頭向、位置、種類及進出口方向等，由於資料較多，不易於一分頁瀏覽，故設計較詳細的車輛資訊以摺疊展開方式呈現，利於查詢及觀看。


匯出分析結果 Show 10 entries Search:

發生時間(秒) tMinTTC	X坐標 xMinPET	Y坐標 yMinPET	TTC(秒)	PET(秒)	最大車速 (m/s) MaxS	相對車速 (m/s) DeltaS	衝突角度(度) ConflictAngle	衝突類型 ConflictType
87.987	17.875	17.38	4.9	3.404	0.33	0.113164	-5.65251	同向直行減速衝突
168.168	38.621	31.416	3.3	0.901001	4.34	1.01568	1.61697	同向直行減速衝突

	VID	Length	Width	Heading	VminTTC	xCSP	yCSP	xCEP	yCEP	VehType	In	Out
First:	237	3.64576	1.46912	258.137	3.33	38.621	31.416	37.84	27.698	c	D	B
Second:	239	3.55502	1.52153	259.754	4.34	39.622	38.302	38.94	34.529	c	D	B

274.974	34.815	22.297	2.1	2.40301	3.15	2.7046	28.8537	其他衝突
279.179	36.861	24.827	3.5	4.30402	2.13	2.83798	-133.367	其他衝突
284.984	37.708	31.427	4.8	1.901	14.3	14.0161	-126.63	其他衝突
283.883	38.214	25.278	3.2	3.103	4.14	4.3278	147.827	其他衝突
284.184	40.194	34.122	0.000003	0	23.22	1.02	-6.70465	同向右轉衝突
291.791	34.551	14.036	4.2	1.10101	3.52	0.813351	5.62994	其他衝突

Showing 1 to 8 of 8 entries Previous 1 Next

資料來源：本計畫繪製

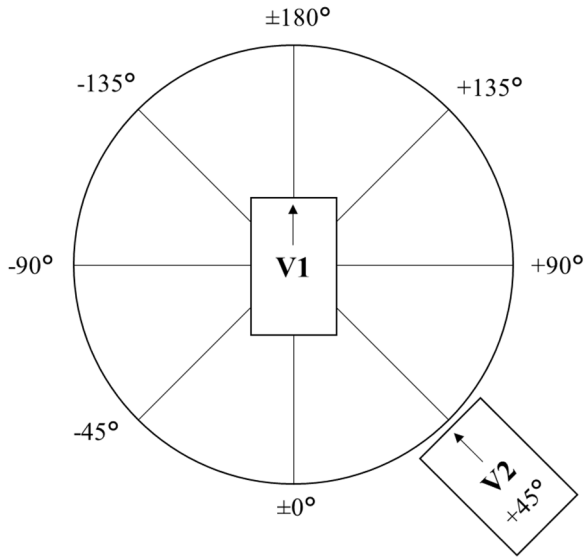
圖 2.5-2 以表格型式輸出分析結果

除此，亦可透過匯出分析結果，以 Excel 等軟體開啟分析結果，可利於事後編輯、觀看以及延伸分析處理。以下將分述兩種資訊之欄位資料。

(1) 事件資訊：

① 發生時間(秒)：英文代碼 tMinTTC，表示在觀察到最小 TTC 值時，衝突發生的時間點。
② X 座標：英文代碼 xMinPET，表示在觀察到最小 PET 值時，衝突的 x 座標位置。
③ Y 座標：英文代碼 yMinPET，表示在觀察到最小 PET 值時，衝突的 y 座標位置。
④ TTC(秒)：衝突發生過程中觀察到的最小 TTC 值。
⑤ PET(秒)：衝突發生過程中觀察到的最小 PET 值。
⑥ 最大車速(m/s)：英文代碼 MaxS，表示衝突事件過程中任一車輛之最大速度。
⑦ 相對車速(m/s)：英文代碼 DeltaS，表示衝突發生時兩車輛之速度差。
⑧ 衝突角度(度)：英文代碼 ConflictAngle，表示衝突角度是衝突事件發

生時兩車行進方向之夾角角度，如圖 2.5-3 所示，角度從-180° 至+180°，負值表示第二輛車從左側接近第一輛車，正值表示從右側接近。



資料來源：SSAM 軟體

圖 2.5-3 衝突角度示意圖

⑨ 衝突型態：交通衝突型態主要分為 (1)同向衝突、(2)對向衝突、(3)穿越交通衝突、(4)行人與車輛衝突、(5)其他衝突，本計畫因應肇事型態調整，詳細請參見 5.1 交通衝突型態分類調整。

(2) 車輛資訊：

① VID：第一輛車(第二輛車)的識別碼，可用以查詢車種類別或其他相關資訊，匯出時以 FirstVID /SecondVID 表示之。
② Length：第一輛車(第二輛車)的長度，單位為公尺，匯出時以 FirstLength(SecondLength)表示之。
③ Width：第一輛車(第二輛車)的寬度，單位為公尺，匯出時以 FirstWidth(SecondWidth)表示之。
④ Heading：車頭方向用來表示第一輛車(第二輛車)在衝突中的行進方向，此角度數值以 x-軸逆時針來表示，0°代表往右，90°代表往上，180°代表往左，270°代表往下，匯出時以 FirstHeading(SecondHeading)表示之。
⑤ VMinTTC：在 tMinTTC 發生時的第一車輛(第二車輛)之速度，單位為 m/s，匯出時以 FirstVMinTTC(SecondVMinTTC)表示之。

⑥ xCSP：在衝突事件起始點(CSP-Conflict Starting Point)的第一輛車(或第二輛車)之 x 座標。此起始點位置係在最小 TTC 碰撞時間之車輛位置，匯出時以 xFirstCSP (xSecondCSP)表示之。

⑦ yCSP：在衝突事件起始點(CSP-Conflict Starting Point)的第一輛車(或第二輛車)之 y 座標。此起始點位置係在最小 TTC 碰撞時間之車輛位置，匯出時以 yFirstCSP (ySecondCSP)表示之。

⑧ xCEP：在衝突事件結束點(CEP-Conflict Ending Point)的第一輛車(或第二輛車)之 x 座標。此結束點位置係在 TTC 門檻值下最後時間點或後侵占時間之車輛位置，匯出時以 xFirstCEP (xSecondCEP)表示之。

⑨ yCEP：在衝突事件結束點(CEP-Conflict Ending Point)的第一輛車(或第二輛車)之 y 座標。此結束點位置係在 TTC 門檻值下最後時間點或後侵占時間之車輛位置，匯出時以 yFirstCEP (ySecondCEP)表示之。

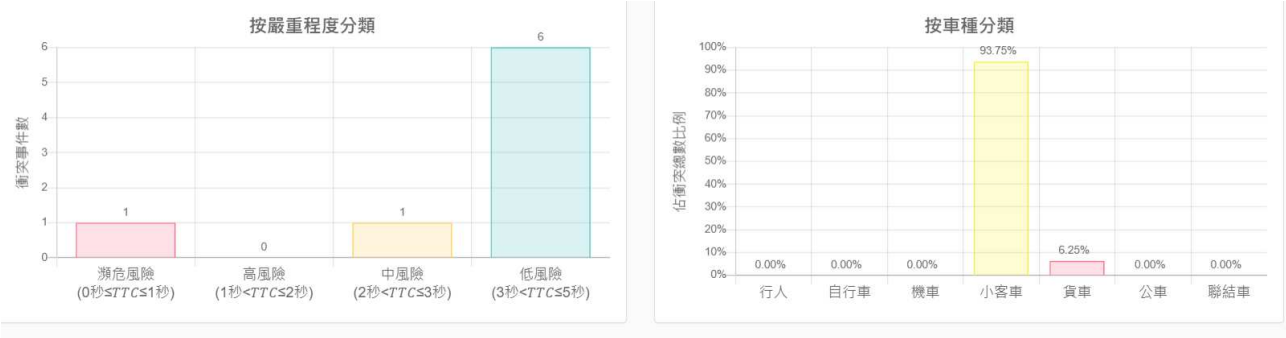
⑩ VehType：車輛種類，包括行人(p)、自行車(u)、機車(m)、小客車(c)、貨車(t)、巴士(b)、聯結車(l)等，匯出時以 FirstVehType (SecondVehType)表示之。

⑪ In：車輛進入方向，依據車流軌跡影像分析結果，分為 A、B、C、D 四個方向，匯出時以 FirstIn (SecondIn)表示之。

⑫ Out：車輛駛出方向，依據車流軌跡影像分析結果，分為 A、B、C、D 四個方向，匯出時以 FirstOut (SecondOut)表示之。

2. 圖表型式：統計數據以圖表型式呈現，可幫助使用者迅速了解一個概念，且更易深入掌握分析重點。軟體中有兩個主要的部分以圖表型式呈現，分別如下：

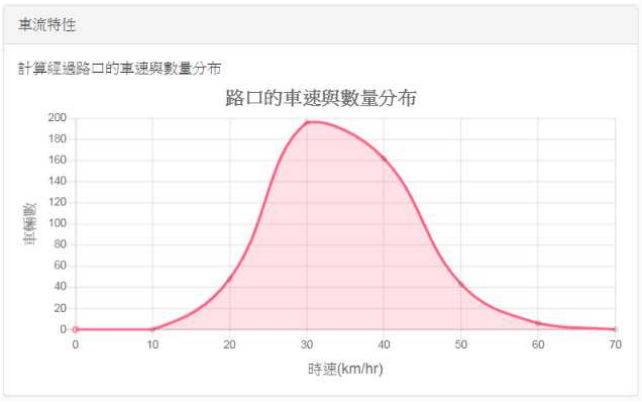
① 統計摘要：提供使用者快速掌握分析結果，統計數據依據嚴重程度或車種來繪製不同圖表，如圖 2.5-4 可得知該路口可能的衝突中，主要為低風險之衝突，且衝突中有 93.75%都有小客車有關聯，透過長條圖呈現分析統計結果，可讓交通管理者更清楚掌握各路口可能發生衝突的事件分布，以利進行交通管理的研擬與對策計畫的執行，有效改善路口衝突狀況。



資料來源：本計畫繪製

圖 2.5-4 路口衝突事件統計摘要

② 車流特性：為了解經過路口的車輛及車速之統計關係，計算經過該路口之所有直行車輛之車速，可讓管理者快速掌握該路口平均車速是否過快、是否因此潛藏一些危機，或較易造成嚴重之衝突事件等，期能透過車流特性與統計摘要，使得交通管理單位能較清楚掌握這些交通資訊，協助評估交通衝突之成因，如圖 2.5-5。



OD表

入口方向	出口方向	轉向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	B	左轉	27	3	15	30	0	0	0	**75**
	C	直進	1	3	396	246	14	2	3	**665**
	D	右轉	30	12	68	23	0	0	0	**133**
	小計		**58**	**18**	**479**	**299**	**14**	**2**	**3**	**873**
B	C	左轉	22	1	18	14	0	0	1	**56**
	D	直進	0	0	228	44	4	0	3	**279**
	A	右轉	25	5	76	14	3	0	0	**123**
	小計		**47**	**6**	**322**	**72**	**7**	**0**	**4**	**458**
C	D	左轉	24	3	26	16	1	0	0	**70**
	A	直進	0	0	420	223	17	0	5	**665**
	B	右轉	20	1	65	12	1	0	0	**99**
	小計		**44**	**4**	**511**	**251**	**19**	**0**	**5**	**834**
D	A	左轉	36	3	38	24	5	0	0	**106**
	B	直進	2	0	242	48	1	0	3	**296**
	C	右轉	32	4	50	16	1	0	0	**103**
	小計		**70**	**7**	**330**	**88**	**7**	**0**	**3**	**505**
總計			**219**	**35**	**1642**	**710**	**47**	**2**	**15**	**2670**

資料來源：本計畫繪製

圖 2.5-5 車流特性-路口車速分布圖及轉向交通量

3. 影像型式：透過影像型式呈現衝突熱點，該功能融合路口底圖與衝突事件發生位置，首先過濾經由分析軟體產生的衝突事件表，可得出 TTC 衝突事件及 PET 衝突事件兩種類別，每個衝突事件除了 TTC/PET 數值外，亦紀錄衝突發生的位置，也就是(x, y)座標，經由座標與路口底圖像素轉換，可將該衝突熱點繪製於路口底圖上，本軟體採用核密度估計(KDE-Kernel Density

Estimation)將數據可視化，透過這個方法可讓衝突熱點以類似高度分布曲線方式呈現熱點，而不僅只繪製單點，更易讓使用者掌握衝突熱點的區域。同時亦提供斑點圖，可清楚描繪每一個事件發生的位置，此外，為利於管理者掌握各嚴重程度之區域分布，可依不同嚴重程度，包括瀕危風險([TTC 或 PET] ≤1)、高風險(1<[TTC 或 PET]≤2)、中風險(2<[TTC 或 PET] ≤3)及低風險(3<[TTC 或 PET] ≤5)等，進行衝突熱點繪製，並於該嚴重程度旁標註數量，以利更直接了解各種衝突次數，如圖 2.5-6，該圖係以密度分布圖+斑點圖型式，並選擇所有風險程度來呈現 TTC 衝突熱點，透過影像可快速得知該路口最易發生衝突的區域及風險程度分布位置。



資料來源：本計畫繪製

圖 2.5-6 TTC 衝突熱點圖

第三章 空拍影像資料蒐集

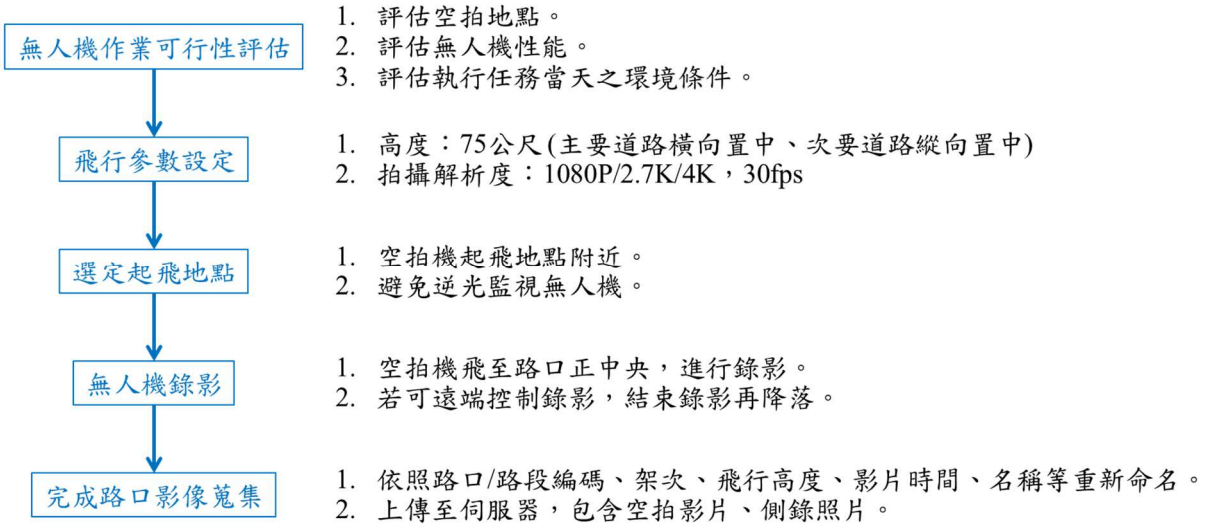
本章首先說明「無人機作業流程及適用機型說明」，包含 3.1.1 無人機空拍攝影作業流程、3.1.2 無人機適用機型比較、3.1.3 路口空拍活動申請狀況。

接著依據「易肇事交通工程改善前/後、分流式指向線、非號誌化」三大類路口，進行場地篩選與實拍，包含 3.2 易肇事路口交通工程改善前/後、3.3 分流式指向線路口、3.4 非號誌化路口，並區分地點評估及空拍記錄，以下將逐一說明。

3.1 無人機作業流程及適用機型說明

3.1.1 無人機空拍攝影作業流程

無人機空拍攝影作業流程，請見圖 3.1-1，包含無人機作業可行性評估 (空拍地點、無人機攝影適用機型、環境條件)、飛行參數設定、選定起飛地點、無人機錄影、完成路口影像蒐集，再進行影像處理、交通衝突分析及產生衝突事件作業，將於後續章節說明。另外，無人機與路口攝影機的優缺點，已於 107 年研究之期末報告書中說明。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-1 無人機空拍攝影作業流程

以下將針對無人機拍攝作業流程詳細說明。

1. 無人機作業可行性評估

無人機空拍任務之前需針對空拍地點、無人機性能及空拍環境進行評估，因此於 107 年研究整理表 3.1-1 說明無人機現場作業重點，以做為後續拍攝之依據。

表 3.1-1 無人機現場拍攝重點列表

1. 評估空拍地點	查詢是否位於禁限航區[46][47]。若於限航區，申請方式請見 2.1.3 法人能力審查及活動申請。
	確認距離鐵路、高架橋、交流道等設施，達 300 公尺以上。
	選擇合適之起飛地點。需要 5 公尺 x 5 公尺寬敞面積，飛行路徑遠離電線、高壓電塔、無線電高塔或高樓。
2. 評估無人機性能	無人機抗風能力及進場速度，至少達蒲福風級 4 (5.5~7.9 m/s)
	懸停飛行能力，垂直小於 1 公尺，水平小於 2.5 公尺。
	飛行及拍攝時間：約 20~60 分鐘。
	中小型，軸距約 35~75 公分。
	飛行高度至少 75 公尺。
	影像解析度為 1080P、2.7K、4K。
	攝影機三軸穩像，無曲面效果且攝影角度大。
3. 評估環境條件	風速 9 m/s 以下；風向儘量和鐵路、機場禁限航區等危險區域相反。
	天氣預報，雨天、強風、起霧、冰雪，不建議飛行採集。

資料來源：本計畫繪製

2. 飛行參數設定

107 年研究已歸納出最佳拍攝影像設定，依本計畫採用長時效型無人機進行長時間之交岔路口影像蒐集，建議一般路口飛行高度約 75 公尺；長大型路口，例如「新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街」，飛行高度約 90 公尺。拍攝解析度可為 1080P、2.7K、4K，建議以 4K 為優先選擇。最佳拍攝影像參數設定，可參考表 3.1-2 之整理。

表 3.1-2 最佳拍攝影像設定表

無人機	中小型無人機
飛行高度	75 公尺
風速	9 m/s 以下
解析度	4K，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	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

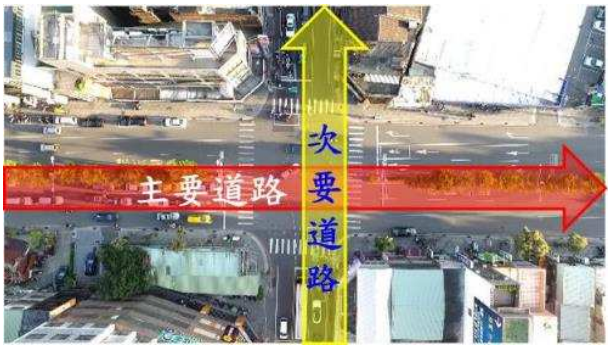
資料來源：本計畫繪製



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-2 無人機攝影預設條件

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，詳見 107 年研究 5.1 節，故一般路口以主要道路為橫向，而非以正北方為拍攝方向，請見圖 3.1-3。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-3 無人機畫面設定示意圖

畫面設定方式，一般路口為主要道路橫向置中、次要道路縱向置中，但在部分路口因主要道路寬度或十字路口較大，可以採用以下兩種方法執行拍攝。

(1) 飛行高度提升至 90~110 公尺，為本計畫採用方法。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-4 主要道路橫向置中、次要道路縱向置中

(2) 將次要道路橫向置中、主要道路縱向置中，以涵蓋超寬路口。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-5 次要道路橫向置中、主要道路縱向置中

3. 選擇起飛地點

(1) 首先選擇空拍機起飛地點附近較為空曠之處，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。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-6 起飛地點設置

(2) 應避免選擇逆光位置，會造成無人機拍攝畫面陰暗不易後續影像分析。

4. 無人機錄影

空拍機應飛至路口正中央，並到達適當高度後再進行錄影。若可遠端控制錄影，宜結束錄影後再降落。

5. 完成路口影像蒐集

完成錄影後可依照路口/路段編碼、架次、飛行高度、影片時間、名稱等重新命名。上傳至伺服器，包含空拍影片、側錄照片。

3.1.2 無人機適用機型比較

本計畫導入二款無人機進行實際拍攝作業，驗證適合機種，以利後續路口影像蒐集工作使用，無人機規格及實測比較結果請參考表 3.1-3。市售小型無人機因便宜且取得方便，加上機身輕巧，並具備快速起降特性，較適用於交通路口空拍，惟飛行時間較短，拍攝時間約 15-20 分鐘，無法連續長時間蒐集影像；國產無人機展開後體積較大，雖可折疊收納，然攜帶仍稍微不便，但因飛行時間較長可達 35-45 分鐘，利於較長時間之影片蒐集，惟解析度僅 2.7K，若有更精細的辨識需求，則稍嫌不足。

表 3.1-3 無人機型式規格及實測結果比較

機型	客製國產無人機	市售小型無人機
示意圖		
飛行時間	35~45 分鐘。	約 15~20 分鐘。
軸距	75 公分，體積小可背包攜帶。	24 公分，體積小可背包攜帶。
重量	約 5.0 公斤。	約 0.3 公斤。
單價	約 15 萬元。	約 3 萬元。
解析度	2.7K 線性 30fps。	4K 30fps
最大可抗風速	8 m/s	8 m/s
優點	飛行時間較長。	機身輕巧，具備快速起降之特性；可遠端啟動錄影功能。
缺點	成本高;收折體積仍較市售無人機大，攜帶稍不便;影像較易晃動。	飛行時間較短。
實際運用情形說明	空拍影像可用於車流分析。	空拍影像可用於車流分析。

資料來源：本計畫繪製

針對二款無人機詳細說明如下：

1. 客製國產無人機

本計畫導入客製國產無人機，主要是展延其飛行時間至 45 分鐘，而於搭載三軸雲台及運動相機(Gopro)之後仍有 35 分鐘的飛行時間，因此可適用於執行資料蒐集、檢測、偵查以及航空拍攝等多種空中任務。然因外掛攝影機非一體成型，易受陣風影響，影像品質較不穩定。

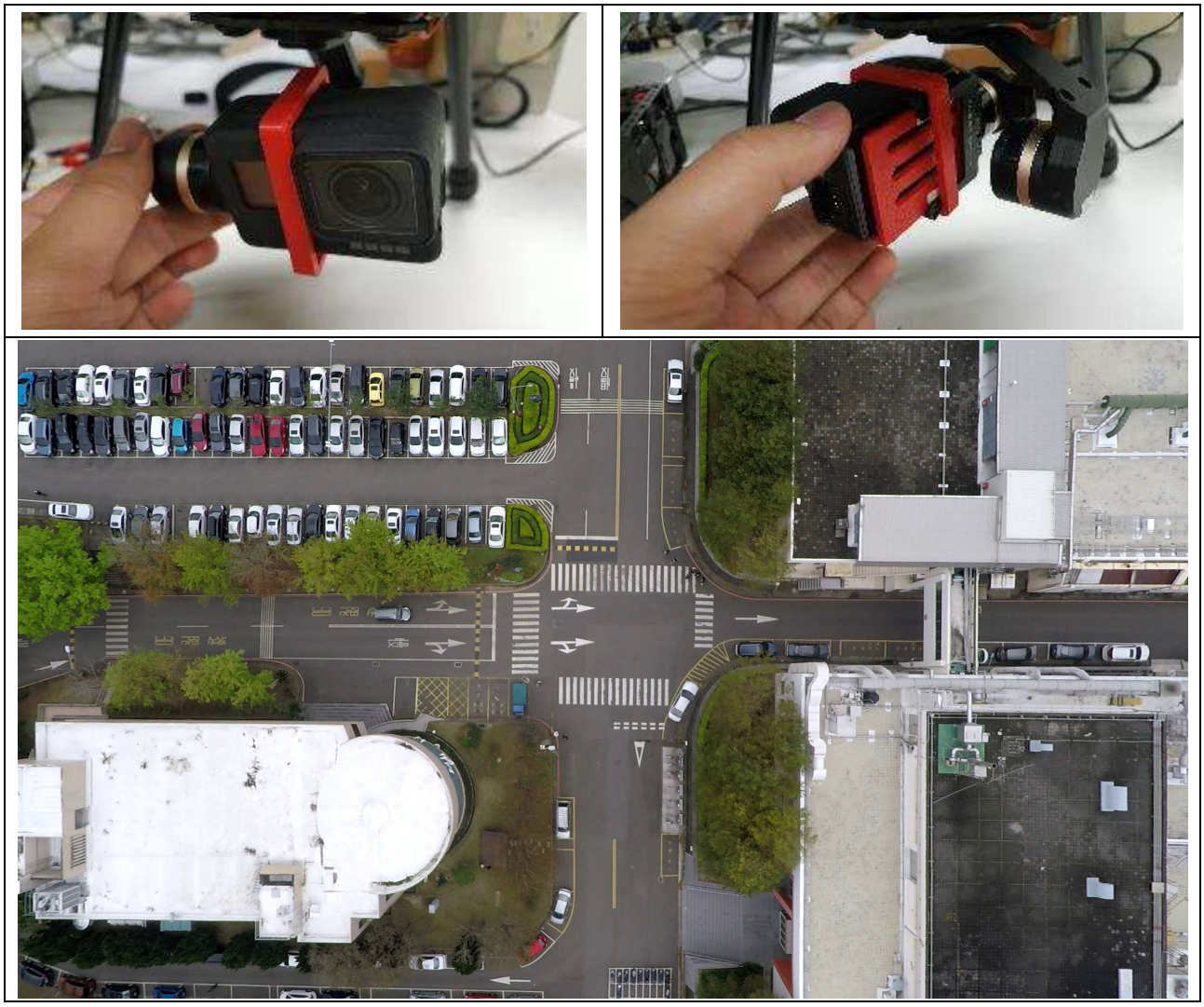
該機型具備可折疊碳纖維機體，結構強固體積小且重量輕，收折後長寬高尺寸約為 26 公分 x 20 公分 x 12 公分。其外觀請參考圖 3.1-7。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-7 客製國產無人機示意圖

客製無人機酬載安裝及測試狀況說明，如圖 3.1-8，首先使用 3D 列印轉接座將 GoPro HERO 4 安裝至雲台，接著，使用 915 數傳以及 4G 圖傳完成飛行高度 75 公尺的飛行測試，經測試可拍攝 30~35 分鐘影像。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-8 客製國產無人機酬載安裝與實測說明

2. 市售小型無人機

法國無人機品牌 Parrot 於 2018 年 6 月推出可摺疊航拍機 ANAFI，高舉可拍攝 4K HDR 影片、首創 180 度俯仰雲台相機，以及具無損變焦等功能，頓時成為市場熱話。

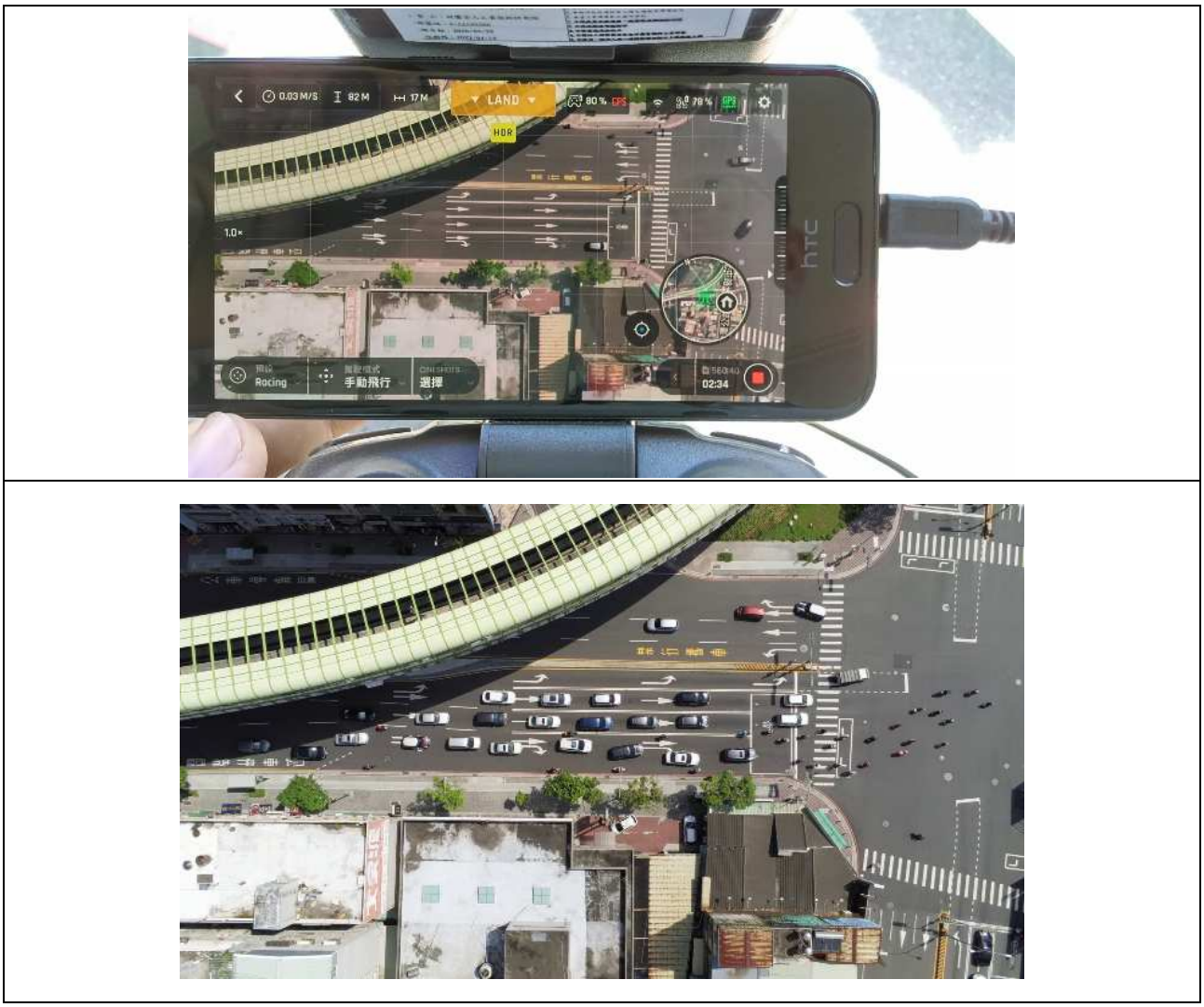
ANAFI 摺疊後尺寸為 244x67x65 毫米，放入收納盒後，它的大小與一瓶 750 毫升的礦泉水相若，可扣掛在背包，相當便攜，ANAFI 的開關鍵及電量顯示燈號同在機頂，操作較為方便。

ANAFI 的機身設計概念來自大自然飛蟲，ANAFI 的鏡頭就如飛蟲的頭部，視野無阻，航拍時槳翼不會入鏡，俯仰 180 度調整角度時相當靈活；機件就集中在「胸部」，有助縮短走線，減輕機身重量電池設於「腹部」。且可遠端啟動錄影功能，待無人機起飛至欲拍攝的定點與高度後，再啟動錄影即可，此功能可排除無人機起飛及降落時的拍攝畫面，不致使影片過於冗長。本計畫採用 Parrot 進行路口影像之拍攝，請參考圖 3.1-10。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-9 市售小型無人機示意圖



資料來源：本計畫繪製

圖 3.1-10測試市售小型無人機Parrot

3.1.3 路口空拍任務概況

本年度進行交通分析之路口，包含 4 處易肇事路口、1 處分流式指向線路口及 1 處非號誌化路口，相關地點及拍攝時間整理如表 3.1-4。

表 3.1-4 本年度交通衝突分析的路口

編碼	易肇事路口名稱	調查日期/時間
A1	新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交岔路口	改善前 2019/05/14 08:17~09:21 改善後 2019/12/17 08:15~09:15
A2	雲林縣斗六市大學路三段與中山路交岔路口	改善前 2019/05/14 16:52~18:01 改善後 2019/10/15 17:00~17:50
A3	臺南市永康區中華路與勝華街交岔路口	改善前 2019/08/26 17:08~18:32 改善後 2019/11/26 16:34~17:30
A4	桃園市桃園區三民路三段與永安路交岔路口	改善前 2020/03/30 16:27~17:38 改善後 2020/07/23 16:23~17:21
編碼	分流式指向線路口名稱	調查時間
B3	臺中市北屯區文心路四段與北屯路交岔路口	2020/06/02 07:58~09:43
編碼	非號誌化路口名稱	調查時間
C2	桃園市桃園區成功路二段與朝陽街一段交岔路口	2020/07/21 08:36~10:05

資料來源：本計畫繪製

3.2 易肇事路口場地篩選與實拍

3.2.1 地點評估

本計畫由第 36、37 期「臺灣地區易肇事路段改善計畫」之改善地點中，選擇 6 處路口進行評估，由於本項分析工作需要改善前、後資料，故經確認改善重點及改善時程後，擇定 4 處路口進行影像蒐集工作，評估結果如表 3.2 1，黑色粗體為擇定之路口。

表 3.2-1 易肇事路口場地評估表

路口來源：第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫				
編碼	路口名稱	建議起飛地點	改善措施重點	評估結果
A1	**新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交岔路口**	**中油臺大站旁停車場**	• **標線調整(增設機車待轉區，勝利七街西端車道擴大、路肩縮小** • **號誌改善(三燈調整為五燈)** • **路口時相改善，評估幹道早開遲閉可行性**	**可有改善前後資料，可分析使用。**
A2	**雲林縣斗六市大學路三段與 中山路交岔路口**	**雲林客運斗六停車場**	• **增加右轉轉用道** • **車道預告指示牌(右轉車輛請靠外側行駛)**	**可有改善前後資料，可分析使用。**
A3	**臺南市永康區中華路與勝華街交岔路口**	**中華廣場夜市停車場**	• **增設左彎專用道、左轉號誌、預告號誌 1 組** • **增設輔 1 標誌 1 面、安全島縮減**	**可有改善前後資料，可分析使用。**
路口來源：第 37 期臺灣地區易肇事路段改善計畫				
A4	**桃園市桃園區三民路三段與 永安路交岔路口**	**民族公園**	• **取消機慢車兩段式左轉標誌** • **磨除機車待轉區標線**	**桃園市交通機關 3 月時回覆尚未進行改善工程，故可分析使用。**
A5	桃園市龜山區萬壽路二段與 大同路交岔路口	美而美早餐店廣場	• 大同路標線型人行道劃設綠底 • 萬壽路二段雙線增設左轉專用車道	已於 2019/12 完工，無法蒐集到改善前影像，故不使用。
A6	桃園市八德區中華路與茄苳路交岔路口	老客馥粥品後面廣場	• 改善 LED 燈號	評估對白天交通影響極小，故不使用。

資料來源：本計畫繪製

3.2.2 空拍記錄

第一階段空拍任務拍攝改善前路口交通狀況，第二階段空拍任務拍攝改善後路口交通狀況。

1. A1 新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交岔路口

第一階段空拍任務，5 月初因天候取消兩次後，於 2019/5/14(二)上午 08:17~09:21 空拍完成。飛行高度 A 架次 75 公尺，B、C 架次 90 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-1 A1路口空拍畫面(改善前)

第二階段空拍任務，確認路口改善計畫施工完成後，於 2019/12/17(二)上午 08:15~09:15 空拍完成。飛行高度 90 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-2 A1路口空拍畫面(改善後)

2. A2 雲林縣斗六市大學路三段與中山路交岔路口

第一階段空拍任務，5 月初因天候取消兩次後，於 2019/5/14(二)下午 16:52~18:01 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-3 A2 路口空拍畫面(改善前)

第二階段空拍任務，確認路口改善計畫施工完成後，於 2019/10/15 (二)下午 17:00~17:50 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-4 A2 路口空拍畫面(改善後)

3. A3 臺南市永康區中華路與勝華街交岔路口

第一階段空拍任務，因等候交通部民用航空局核可，機場限航區限高 60 公尺申請，及梅雨季、颱風季等天候干擾，於 2019/8/26(一)下午 17:08~18:32 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-5 A3路口空拍畫面(改善前)

第二階段空拍任務，確認路口改善計畫施工完成後，於 2019/11/26(二)下午 16:34~17:30 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-6 A3路口空拍畫面(改善後)

4. A4 桃園市桃園區三民路三段與永安路交岔路口

第一階段空拍任務，於 2020/3/30(一)下午 16:27~17:38 在小陣雨中空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-7 A4 路口空拍畫面(改善前)

第二階段空拍任務，確認路口改善計畫施工完成後，於 2020/07/23(四)下午 16:23~17:21 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.2-8 A4 路口空拍畫面(改善後)

3.3 分流式指向線路口場地篩選與實拍

3.3.1 地點評估

本計畫依「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」[45]研究成果，經評估後，以臺中市北屯區文心路四段與北屯路交岔路口做為分流式指向線之分析地點，就右轉汽車與直進機車進行衝突分析。路口擇選評估結果請見表 3.3-1，黑色粗體為擇定之路口。

表 3.3-1 分流式指向線路口評估表

編碼	路口名稱	建議起飛地點	評估結果
B1	高雄市三民區博愛一路與十全路交岔路口	信義房屋人行道	綠區，路口有快慢車道，不易觀察右轉汽車與直進機車問題。
B2	臺中市南屯區向上路與文心路一段交岔路口	文心森林公園廣場	臺中機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
B3	**臺中市北屯區文心路四段與北屯路交岔路口**	**大生大藥局人行道**	**綠區，路口方正，適合分析。**
B4	臺中市北屯區北屯路與太原路三段交岔路口	無適合起飛點	綠區，國票綜合證券人行道狹窄，不適合起降飛行。
B5	臺中市東區旱溪西路一段與振興路交岔路口	東門橋人行道狹窄	綠區，近臺電中東變電所，不建議飛行。
B6	臺中市北區雙十路一段與精武路交岔路口	臺體、臺中公園、週邊停車場廣場	中 85_國軍營區禁航區，臺中機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
B7	臺中市南區國光路與復興路三段交岔路口	復興停車場廣場	臺中機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
B8	臺中市北區三民路三段與五權路交岔路口	慈恩九村人行道	中醫大附設醫院直昇機飛行場禁航區、中 8_臺中氣象站禁航區，及臺中機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。

資料來源：本計畫繪製

3.3.2 空拍記錄

B3 臺中市北屯區文心路四段與北屯路交岔路口之調查時間為 8:00~9:00，為避免逆光監視無人機，空拍任務起飛地點移至大生大藥局對面騎樓，於 2020/6/2(二)上午 07:58~09:43 空拍完成，空拍任務以法製無人機 Parrot ANAFI 飛行高度 80 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.3-1 臺中市北屯區文心路四段與北屯路交岔口：路側及路口空拍畫面

3.4 非號誌化路口場地篩選與實拍

3.4.1 地點評估

本計畫依「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」[5]研究成果，經評估後，以桃園市桃園區成功路二段與朝陽街一段交岔路口做為非號誌化路口之分析地點，進行衝突分析。路口擇選評估結果請見表 3.4-1，黑色粗體為擇定之路口。

表 3.4-1 非號誌化路口評估表

編碼	路口名稱	建議起飛地點	評估結果
C1	桃園市桃園區成功路二段與中央街交岔路口	北科大附屬桃園農工人行道	綠區，非標準四向路口(T 字路口)
C2	**桃園市桃園區成功路二段與朝陽街一段交岔路口**	**東門停車場廣場**	**路口方正，適合分析**
C3	臺北市中正區濟南路二段與臨沂街交岔路口	週邊人行道	機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
C4	臺北市信義區吳興街與 吳興街 269 巷交岔路口	週邊人行道	地政及災害應變中心直昇機飛行場禁航區，機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
C5	臺北市信義區嘉興街與嘉興街 175 巷交岔路口	路口狹窄，無適合起飛點	地政及災害應變中心直昇機飛行場禁航區，機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
C6	臺北市信義區忠孝東路五段 236 巷 3 弄與虎林街 132 巷交岔路口	路口狹窄，無適合起飛點	機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
C7	臺北市中正區晉江街與金門街交岔路口	週邊人行道	機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
C8	臺北市大安區忠孝東路四段 77 巷與敦化南路一段 190 巷交岔路口	週邊人行道	機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。
C9	臺北市信義區信義路五段與松勇路交岔路口	週邊人行道	地政及災害應變中心直昇機飛行場禁航區，機場限航區，空拍限高 60 公尺，不建議飛行。

資料來源：本計畫繪製

3.4.2 空拍記錄

C2 桃園市桃園區成功路二段與朝陽街一段交岔路口之調查時間為2020/7/21 8:36~10:05，空拍任務起飛地點為東門停車場廣場，空拍任務為法製無人機 Parrot ANAFI 空拍影像，飛行高度均為 75 公尺。



資料來源：本計畫繪製

圖 3.4-1 桃園市桃園區成功路二段與朝陽街一段交岔路口：路口空拍畫面

第四章 影像式車流分析技術

本計畫在車流軌跡抽取上，大致沿用了 108 年研究的偵測架構與影像穩定、車輛追蹤等部分技術；主要差異則是以 SCRDet 取代 Mask R-CNN 與矩形擬合機制，並引進了更先進的 YOLOv4 以取代 108 年研究的 YOLOv3 架構。在四輪車輛方面，由於 Mask R-CNN 無法產生原生的矩形範圍，需要透過擬合方式來取得最小外接矩形，因此較容易產生矩形範圍上的誤差。相對地，SCRDet 直接偵測出具方向性的矩形範圍，應能獲得更確切的矩形邊界。在研究 SCRDet 的過程中，同時也發現了其方法上的不完備，因此提出以下的改善方案。

4.1 改善 SCRDet 缺失以偵測四輪車輛

在前面 2.2 節中，已詳細介紹過 SCRDet 的架構與缺失。由於 SCRDet 中並未預設多個不同角度的候選框(proposal)產生預測框(predict box)，因此所有候選框本身並不具備可變的角度資訊，每個候選框的角度 θ 皆預設為-π/2、水平邊長定義為 w，垂直邊長定義為 h。而對應的預測框則是以逆時針方向對候選框進行旋轉，旋轉後的預測框其中一邊會與 x 軸形成範圍落在[0、-π/2)的銳角 θ，並將該邊定義為 h；另一邊則定義為 w。前述的旋轉角度定義方式與 OpenCV 中定義旋轉矩形的角度相同。每個預測框的五個參數分別為中心位置(x, y)、寬度 w、高度 h 和角度 θ，並設計出如下的回歸方程式：

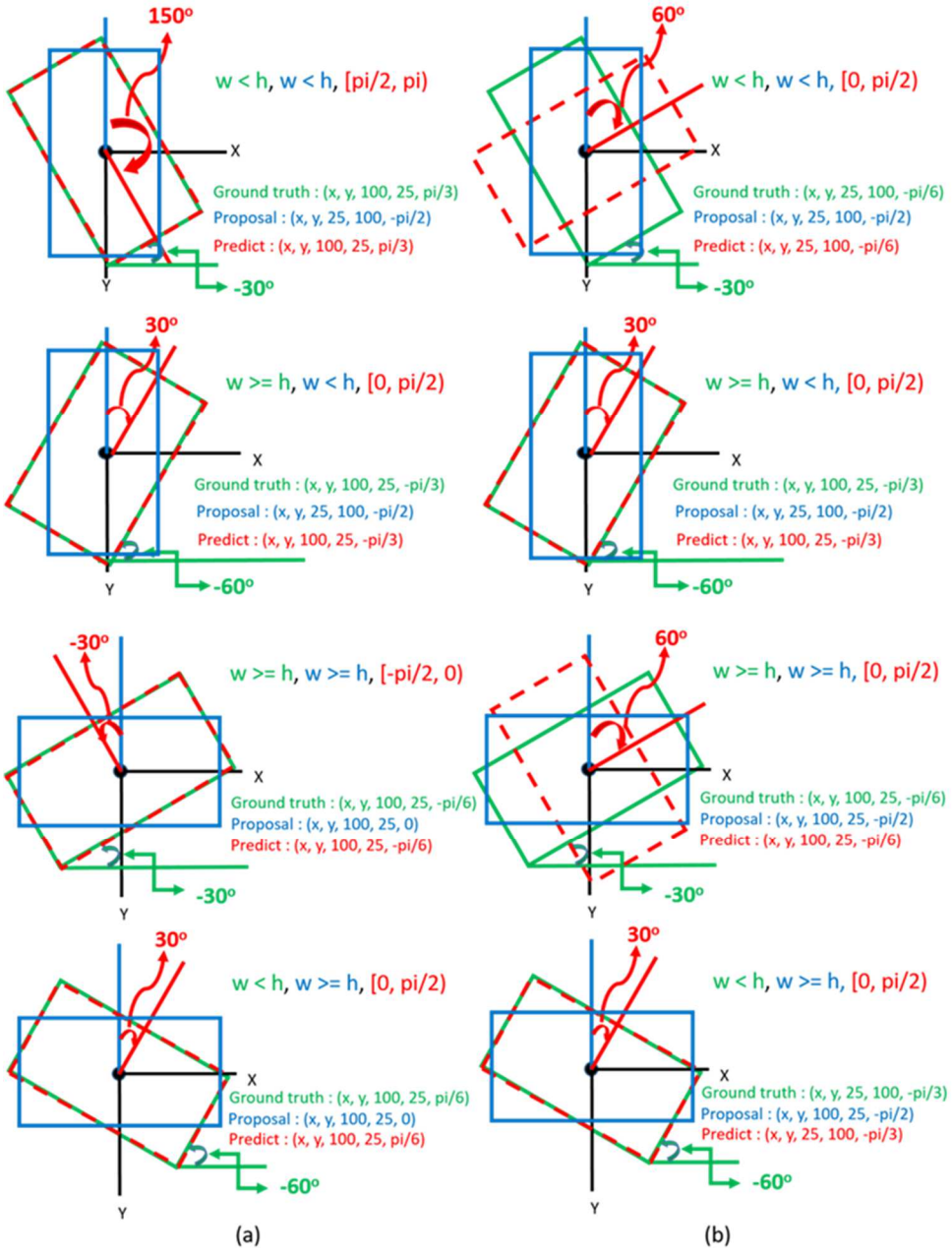
$$\begin{aligned} t_x &= (x - x_p)/w_p, \\ t_y &= (y - y_p)/h_p, \\ t_w &= log(w/w_p), \\ t_h &= log(h/h_p), \\ t_\theta &= \theta - \theta_p \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} t'_x &= (x' - x_p)/w_p, \\ t'_y &= (y' - y_p)/h_p, \\ t'_w &= log(w'/w_p), \\ t'_h &= log(h'/h_p), \\ t'_\theta &= \theta' - \theta_p \end{aligned} \quad (2)$$

其中 x、x_p 與 x'分別對應人工標註出的實際框(groundtruth)、候選框和預測框的 x 參數(同樣適用於 y、w、h 和 θ 等其他參數)。從以上回歸方程式可得知網路在學習預測框與預設候選框間的差值 t'，是根據已知實際框與預設候選框間的差值 t，並希望透過改變預測框參數來讓 t'與 t 越接近越好。

在理想情況下，本計畫希望預測框的角度 θ、中心點 x、y 與及長寬 w、h 等 5 個參數都非常接近實際框。但是，由於預測框的寬是利用與候選框水平邊間夾角來定義(候選框不會旋轉)，因此產生角度 θ 限定在[0, -π/2)區間且 $w > h$ 或 $w <$

h 都可能發生的模稜兩可(ambiguous)情況。換句話說，可能出現預測框的角度接近實際結果，但 w、h 卻彼此互調的問題發生。圖 4.1-1 (b)顯示了部分預測框和實際框的 w、h 參數彼此無法匹配的情形。即便預測框經過學習後獲得與實際框一致的參數，但因為無法確定 w、h 來自長邊或短邊，使得預測框範圍(紅色虛線框)可能無法在有限的角度範圍內與實際框(綠色實現框)疊合，進而學習到了錯誤的特徵內容。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.1-1 通過(a)修改後方案和(b)原始方案估算參數的情況比較

由於這類錯誤僅發生在 $w<h$ 的定義情況，因此將 w 強制設為長邊的長度，h 強制設為短邊的長度。假如實際框長邊為 w(也就是 $w<h$)，則將角度加上 π/2；反之，則角度不變。另外，候選框的部分也針對特殊角度做了修正，當候選框水平邊的長度大於垂直邊(此時 $w > h$)，候選框角度 θ 由原本-π/2 改為 0°，以修正此情況不應存在-π/2 的問題，如表 4.1-1 所示。

表 4.1-1 θ、θ_p、t_θ分別表示實際框、候選框角度範圍，t_θ表示網路學習預測角度偏移量的範圍

$\text{Ground truth}_{w,h}$	$\text{Proposal}_{w,h}$		θ	θ_p	t_θ
w >= h	w >= h	➡	[-pi/2, 0)	- (0)	→ [-pi/2, 0)
w >= h	w < h	➡	[-pi/2, 0)	- (-pi/2)	→ [0, pi/2)
w < h	w >= h	➡	[0, pi/2)	- (0)	→ [0, pi/2)
w < h	w < h	➡	[0, pi/2)	- (-pi/2)	→ [pi/2, pi)

SCRDet 中的總損失函數由邊界框參數損失，注意力損失和分類損失三者構成。由於邊界框參數中存在前述不當假設，引發預測框與實際框可能不匹配的問題，因此後來原作者才引入了 IoU 以減輕前述問題影響。

為了實際證明本計畫的修正具有效果，圖 4.1-2 顯示了修改前後的訓練損失值(loss value)分布。不難發現修改後 h、w 和 θ 的損失值，明顯下降得更快且更低。此外，h 和 w 的損失值也變得十分穩定，不會隨著角度的損失值而變化。

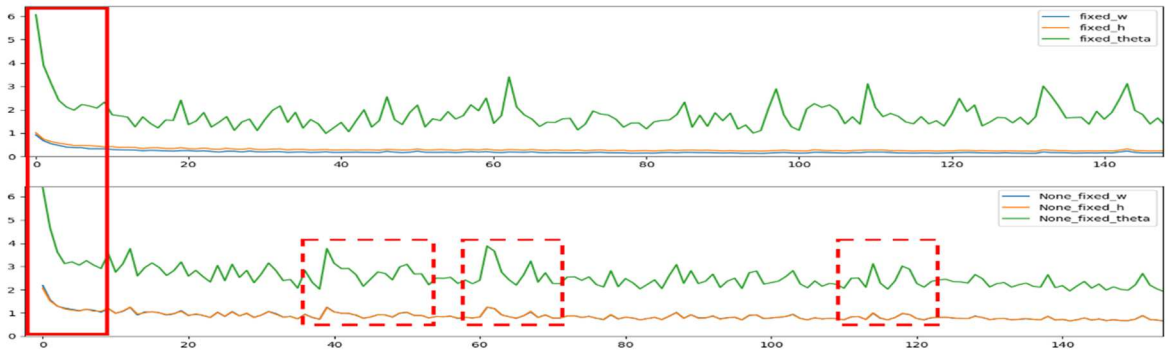


圖 4.1-2 (上)修改方案在訓練時期的損失下降趨勢，以及(下)原始方案

4.2 引進 YOLOv4 以偵測行人、自行車、機車

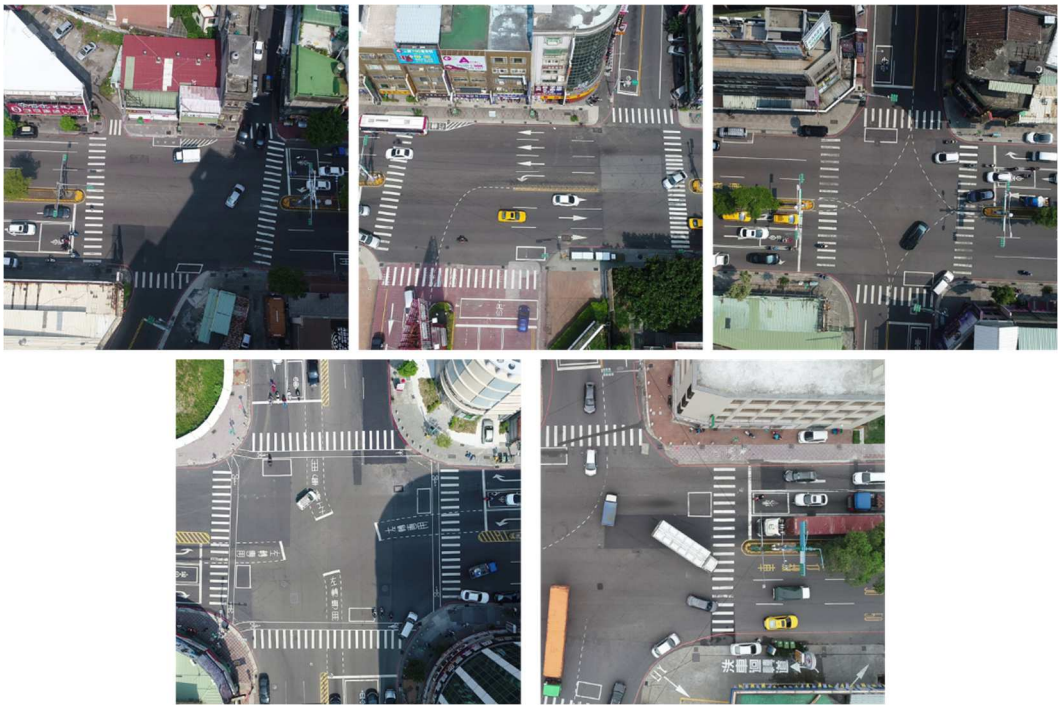
隨著物件偵測技術的快速發展，較為困難的小物件偵測與及更高的偵測速度在近年來越發受到重視。YOLOv4 繼承了該系列高效的偵測速度，可以在 Nvidia 1080ti 等消費級顯卡上以 30fps 達到即時偵測，另一方面更打破了過去眾人對 Faster R-CNN、Mask R-CNN 等二階段偵測方法具備較高準確性的觀點，在快速與準確性上都同樣達到了高峰。

本計畫重新利用 YOLOv4 針對過去蒐集的訓練資料進行了訓練，並將輸入的影像尺度從 108 年研究 YOLOv3 的 512 × 512 提升到 1024 × 1024。相對於採二階段偵測架構的 SCRDet，YOLOv4 對 GPU 硬體的需求明顯較低，更適合用於處理交通影片等大量資料。然而目前可在空拍影像中偵測出具方向性矩形框的偵測架構，多半是基於二階段偵測架構方法修改，缺乏以 YOLO 系列架構進行修改之方法，因此本計畫現階段針對較大型、長度不一的四輪車輛仍採用基於 SCRDet 改善的偵測方法；對於較難偵測但同類中大小相似的行人、自行車、機車，則採用 YOLOv4 來偵測其中心位置。

4.3 實驗測試結果

本計畫所有實驗環境皆於 Ubuntu 16.04 作業系統，搭載 Intel Core i7-8700k，記憶體 32G，顯示卡 NVIDIA GTX1080Ti 11G 的電腦環境下執行，並針對 1024 × 1024 大小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 5 個不同的路口進行空拍錄至影像，每部影片每間隔 3 幀取 1 張影像，共選出 946 張影像(從中挑選 789 張訓練，157 張測試)，影像原始解析度為 3840 × 2160。在選定路口 ROI 範圍(2048 × 2048)後縮小為 1024 × 1024，並透過人工標記車輛位置，以做為訓練與測試的資料。各路口場景如圖 4.3-1 所示，訓練與測試資料中各類別的車種數量資訊如表 4.3-1。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-1 車輛訓練集中的5個路口場景

表 4.3-1各類別的車種數量

	影像數	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	總車數
訓練資料	789	9019	912	212	74	76	10293
測試資料	157	1783	178	45	14	11	2031

資料來源：本計畫繪製

為了能從多個方面有效評估車輛偵測結果，本節採用了多種影像處理與深度學習領域中常用的評估指標，包含混淆矩陣、查準率、查全率、重疊率、平均查準率等[80]，如表 4.3-2 所示。各指標之數學定義與具體涵義則將於後續內文進行介紹。

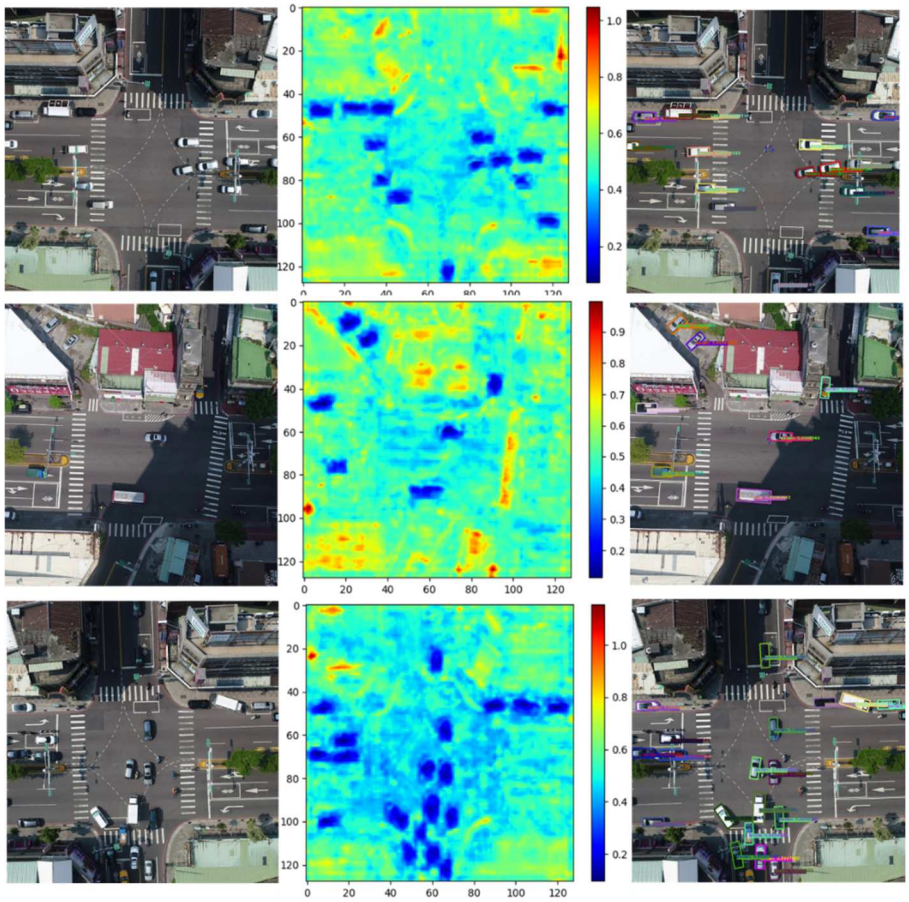
表 4.3-2 車輛偵測結果評估指標

指標名稱	公式	用途
混淆矩陣(confusion matrix)	-	透過表格窮舉所有分類結果數量，對角線為正確之分類情形，其他為分類錯誤情形，用於概觀所有分類情況
查準率(precision)	$\frac{TP}{TP+FP}$ (TP、FP 定義請參考表 4.3-4)	評估偵測結果中，正確的偵測目標比例
查全率(recall)	$\frac{TP}{(TP+FN)}$ (TP、FN 定義請參考表 4.3-4)	評估所有應偵測目標中，能被正確的偵測出的比例
重疊率(Intersection over Union, IoU)	$\frac{Area\ of\ Intersection}{Area\ of\ Union}$ (詳細定義請參考圖 4.3-3)	物件的偵測範圍與實際範圍的面積重疊率，經常配合平均查準率用於評估在保有一定重疊率前提下之偵測效果
平均查準率(Average Precision)	(詳細定義請參考表 4.3-5)	透過信心度對所有 N 個偵測結果排序後，針對每個第 k 名之正確結果計算其前 k 名的查準率，最後取平均值。是深度學習領域中，最常用於呈現整體偵測表現之評量方法。若查準率與查全率皆為 1，則平均查準率亦會為 1。

資料來源：本計畫繪製

在訓練樣本中，由於真實影像中路口公車以及聯結車經過的比例較少，使得各類別的占比難以均衡，容易造成分類結果不佳，因此本計畫透過人工篩選較特別的路段，進行空拍攝影，例如較多聯結車經過的路口。雖然在數量上還是相差甚遠，但透過資料增強(data augmentation)等方式(例如將圖像上下左右顛倒訓練)，

還有在網路架構上的特別設計(例如使用注意力通道，如圖 4.3-2)，和降低錨框步幅的設定，都有利於提升分類結果。為了因應車輛長寬比大小的不同，本計畫在錨框設定步幅為 8，初始基礎錨的大小設定為 256，錨的尺度設定從 2^{-4} 等比到 2^{1}，錨的長寬比設定[1/1，1/2，1/3，1/4，1/5，1/6，1/7，1/9]。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-2 注意力通道結果示意圖

本計畫比較測試集在這些交通路口的分類情況，由於空拍影像在訓練時的類別數量極為不平均，一般路口轎車所占比例超過 9 成，在有足夠的訓練資料下，轎車的訓練結果在本實驗中有著比較好的分類結果，然而其他類別訓練樣本不充足的情況，分類的結果可能沒有轎車好。不過在實驗分類結果比預期來的好，主要原因是在多維度特徵注意力網路層利用注意力機制，使網路更關注影像有標記的區域。

表 4.3-4 列出了車輛分類結果的混淆矩陣。黑色數字代表各車種正確偵測分類(correct detection and classification)的數量；紅色數字代表可偵測出但分類錯誤(correct detection but false classification)的車輛數；綠色數字代表失偵(miss

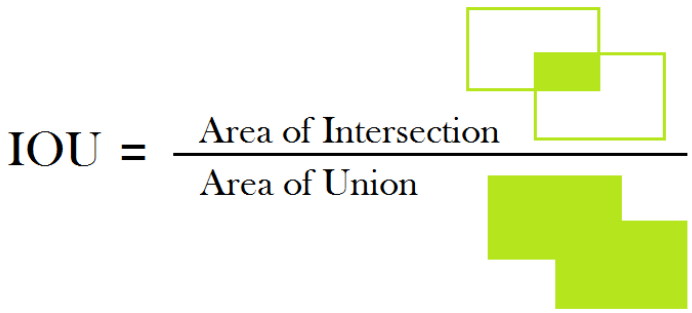
detection)的車輛數；最後藍色數字代表誤偵(false detection)的車輛數。由於聯結車頭和聯結車身在車輛數上遠較其他車輛來得更少，因此無法獲得充分訓練。由表 4.3-4 可見，聯結車頭和聯結車身的誤偵率均高於其他情況。另一方面，占車輛總數約 90%的小轎車，由於其訓練資料豐富，因此誤偵率和失偵率均能明顯低於 1%。未來若能逐步增加聯結車的訓練資料，相信可以進一步大幅減少其誤偵與失偵情況。

表 4.3-3 車輛分類結果的混淆矩陣

	偵測分類						
實際種類		小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未成功偵測
	小轎車	1778	3	0	0	0	2
	貨車	3	174	0	0	1	0
	巴士	0	0	45	0	0	0
	聯結車頭	0	0	0	13	0	1
	聯結車身	0	0	0	0	11	0
	其他	4	3	0	1	3	N/A

資料來源：本計畫繪製

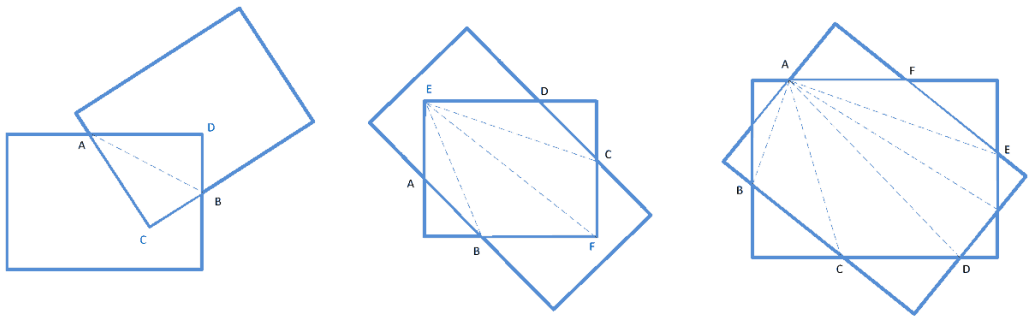
由於 TTC、PET 等交通衝突指標需要準確的車輛位置資訊，為了瞭解偵測物體與實際物體範圍間的重疊率，傳統上常利用 IoU (Intersection over Union)做為評估依據，如圖 4.3-3 所示。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-3 傳統IoU示意圖

但由於空拍影像中的車輛普遍具備方向性，因此需透過將重疊區域拆解成多個三角形區域加總[77]，來計算出可正確應用在本計畫實驗數據的 IoU，如所示。計算完偵測框與實際框間的 IoU 後，判斷重疊率是否高於特定閥值(例如 IoU 大於 0.5)，滿足條件才代表偵測到物體。在此，本計畫採用了平均查準率(Average Precision, AP)值來當作偵測分類結果的衡量指標之一。表 4.3-4 為預測對象與結果之排列組合，查準率(precision)與查全率(recall)定義分別如(7)、(8)所示。



資料來源：[77]

圖 4.3-4 傾斜框IoU示意圖，灰色區域為兩者重疊區域

表 4.3-4 預測對象與結果之排列組合

	預測為目標對象 (Positive)	預測為非目標對象 (Negative)
預測正確(True)	TP (True Positive)	TN (True Negative)
預測錯誤(False)	FP (False Positive)	FN (False Negative)

資料來源：本計畫繪製

$$\text{Precision} = TP/(TP+FP) \tag{7}$$

$$\text{Recall} = TP/(TP+FN) \tag{8}$$

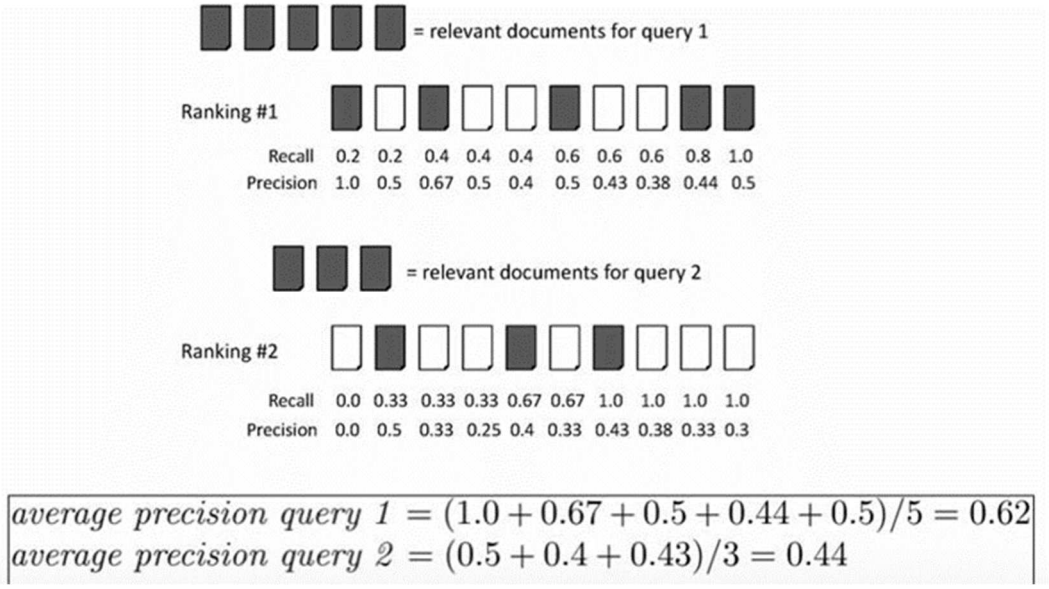
以 IoU＝0.75 當作閥值為例，大於此閥值且正確分類為 TP，否則為 FP。表 4.3-5 為各類車種的查全率、查準率與平均查準率統計結果。其中查全率代表了實際為該車種的車輛中，有多少比例能被偵測分類出來;查準率則代表了偵測分類為該車種的車輛中，有多少比例確實是該車種。

表 4.3-5 各類車種查全率與查準率結果

	查全率(Recall)	查準率(Precision)
小轎車	0.997	0.997
貨車	0.978	0.967
巴士	1.000	1.000
聯結車頭	0.929	0.929
聯結車身	1.000	0.786

資料來源：本計畫繪製

為了進一步驗證修正版本比原始 SCRDet 與其他方法偵測出的矩形框還要貼合車體。本計畫利用不同 IoU 閥值下的平均查準度來進行統計平均。平均查準率是深度學習領域中最常用於評估整體偵測表現的指標。由於存在著太多的偵測指標與及信心度等閥值，為了有效評估不同方法在不同參數閥值下的表現，因此需要單一的評估數值去呈現整體的偵測表現。為此，可以先透過 IoU 來判定偵測位置需要多準確才算正確偵測，再透過信心度對所有 N 個偵測結果排序後，針對每個第 k 名之正確結果計算其前 k 名的查準率，最後取平均值。



資料來源：[81]

圖 4.3-5 平均查準度之計算方法與案例

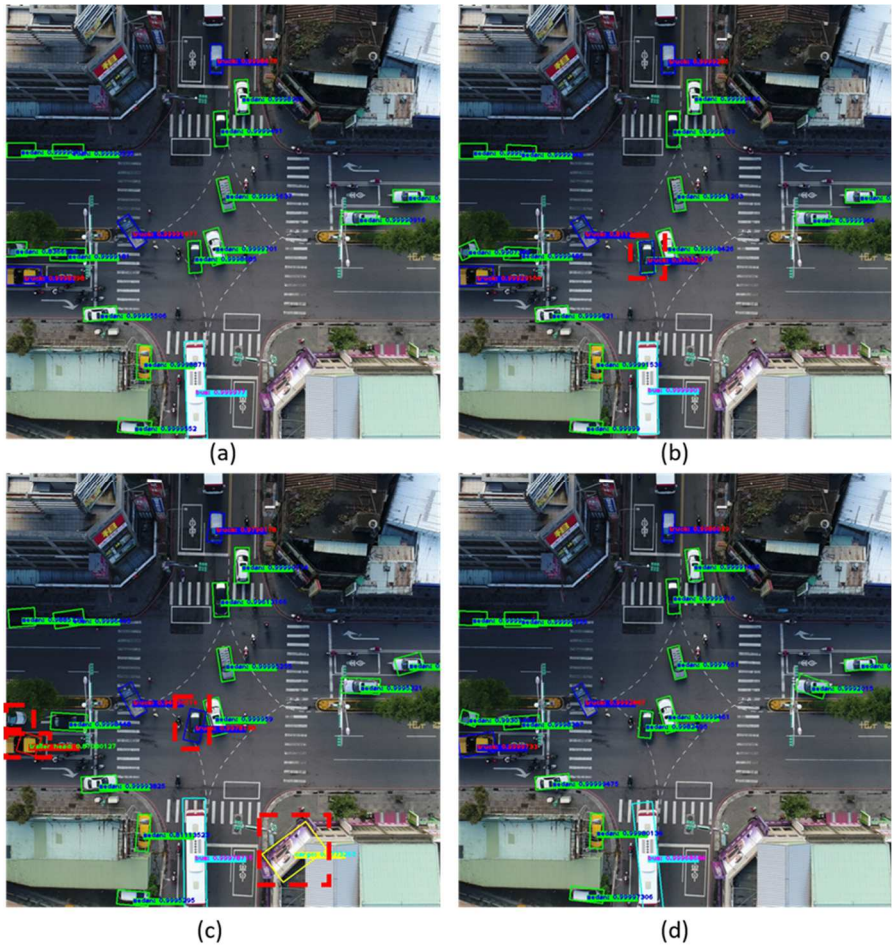
由於排序後前 k 名的查全率，只會隨著 k 增大而逐步遞增，而偵測結果排名越往前聚集，平均查準率也會越加提高，因此平均查準率的結果能同時反映查準率與查全率的影響。表 4.3-6 顯示了四種方法的實驗結果，AP_{50}、AP_{75}、AP 分別代表了 IoU 為 0.50、0.75 以及變動閥值(取 AP_{50}、AP_{55}、AP_{60}、...、AP_{90}、AP_{95} 之平均值)下的平均查準率統計結果。

表 4.3-6 為各方法在不同 IoU 閥值下的平均精度比較

	AP_{50}	AP_{75}	AP
本計畫	**0.93955**	**0.89037**	**0.73050**
SCRDet	0.91345	0.83313	0.66618
R^2CNN	0.93686	0.71555	0.58628
RRPN	0.83964	0.53453	0.47045

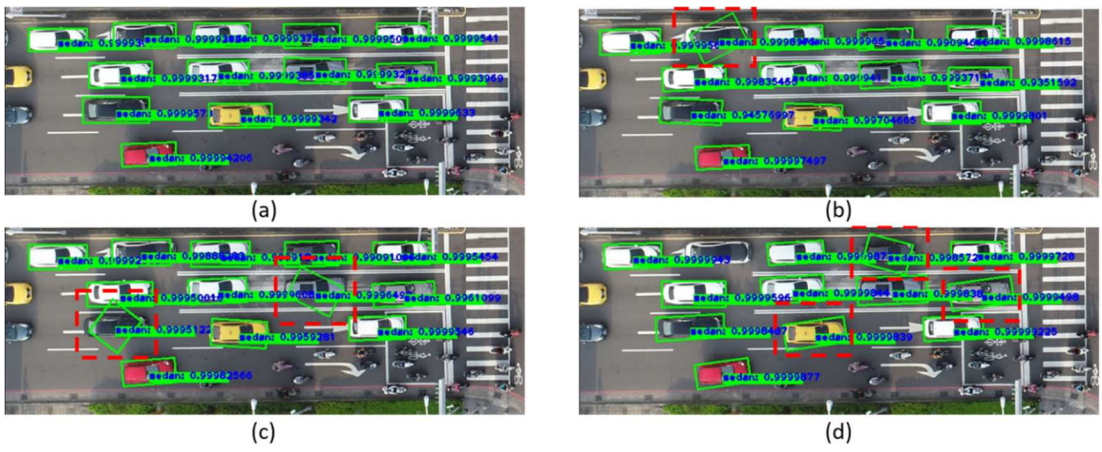
資料來源：本計畫繪製

雖然在 AP_{50} 下本計畫改良的版本與 R^2CNN 相差不到 1%，卻比原 SCRDet 版本的 AP_{50} 高出 2%。當 IoU 閥值設置為 0.75 時，本計畫的修改版本開始明顯優於其他三個方法，且在整體 AP 情況下也是如此，皆大幅領先第二名的原 SCRDet 版本約 5~6%，這表明本計畫改進的 SCRDet 版本普遍具備較高的 IoU，能更加地擬合正確的車體範圍。圖 4.3-6 為各方法的分類結果，紅色虛線內為各方法錯誤分類的結果。圖 4.3-7 顯示了其中一張測試影像結果，可以明顯發現各方法在此測試影像上產生的錯誤。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-6 (a) Ours，(b)SCRDet，(c) R^2-CNN，(d)RRPN，紅色虛線內為失偵或誤偵結果



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-7 車輛矩形框偵測結果:(a) Ours、(b)SCRDet、(c) R^2CNN、(d)RRPN

在利用 YOLOv4 偵測行人、自行車、機車方面，由於測試影像中包含了許多與訓練資料不同樣態的人行道與騎樓，造成許多騎樓停放機車被遮蔽半部車身、或是人行道上無法被人眼辨識出的行人，因此在排除非道路區域後，表 4.3-7 統計了行人、自行車、機車偵測結果之混淆矩陣，其中包含 2368 輛機車、114 輛自行車、290 位行人。在 2368 輛機車中，有 92.2%(2184 輛)可以被正確地偵測為機車；5.7%(136 輛)無法被偵測；其餘可能被誤分為其他行人或自行車。在自行車方面，43.0%(49 輛)可以被正確地偵測為自行車；29.8%(34 輛)無法被偵測；有 20.2%(23 輛)與 7.0%(8 輛)分別被誤分自行車與行人。在行人方面，69.3%(201 人)可以被正確地偵測為行人；21.4%(62 人)無法被偵測；其餘可能被誤分為其他車輛。

YOLOv4 對於機車的偵測有著相當好的準度，在沒有追蹤輔助的前提下，單張偵測就可以達到九成以上的偵測率。自行車與行人在不考慮分類的情況下，失偵率分別約為三成與兩成，這也意味著透過後續的追蹤處理，可以進一步明顯改善其偵測率。

表 4.3-7 行人、自行車、機車偵測結果之混淆矩陣

	偵測分類				
實際種類		機車	自行車	行人	未成功偵測
	機車	**2184**	**26**	**22**	**136**
	自行車	**23**	**49**	**8**	**34**
	行人	**11**	**16**	**201**	**62**
	其他	**16**	**7**	**28**	**N/A**

資料來源：本計畫繪製

此外，發生誤偵最頻繁的是行人，高達 28 次。這是由於空拍影像中的行人，較容易與路上坑洞、水溝蓋等斑點狀圖樣混淆。這類錯誤由於始終發生在固定位置，因此無法形成空間上的長程軌跡，影響有限。資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-8 為 YOLOv4 部分偵測結果，綠色框為機車、暗紅色框為自行車、粉紅色框為行人。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-8 YOLOv4偵測結果

4.4 實驗分析

在本計畫中，針對 SCRDet 在預測框上的角度設計缺失，進行了理論與實驗上的討論與改進，以便偵測並分類空拍影像中的四輪車輛。這使得修改過的版本在偵測分類與及車體擬合程度上有著明顯更佳的表現。透過固定車輛矩形邊長大小的對應關係，一方面修正了角度參數在理論上的正確性，更有助於避免與角度參數與 w、h 參數相互干擾，進而提升 w、h 參數在回歸計算時的穩定度，加速並改善損失值的收斂情形。但是當偵測對象的 w、h 參數彼此非常相近時(也就是車輛接近正方形時)，角度的估算仍有可能發生失敗。未來希望透過完善車輛角度的表示方法，以進一步改善並克服此一問題。

第五章 交通衝突分析軟體改善精進功能

交通衝突分析軟體，使用流程如圖 5-1，首先經由影像分析軟體產出車流軌跡及路口底圖，再經由交通衝突分析軟體計算產出衝突事件表，從而整理統計摘要並繪製衝突熱點圖，本計畫依據示範路口的衝突分析結果，檢討衝突分析軟體功能，並加以調整與改善。



資料來源：本計畫繪製

圖5-1 交通路口車流影像衝突分析流程圖

本計畫依據路口衝突分析結果及實際需求，完成以下功能擴充或升級：

1. 交通衝突型態分類調整：針對衝突型態分類予以調整，108 年研究有部分衝突歸類於其他衝突，顯示分類方法確有改善空間，本計畫已參考「各肇事型態-交通安全工程改善設計範例」、「美國交通衝突技術手冊」等進行衝突型態分類調整，以利結合所內計畫之改善建議措施；
2. 衝突事件過濾功能升級：針對衝突事件，108 年研究結合美國聯邦公路管理局(FHWA) SSAM 分析軟體，產生 TTC/PET 衝突事件，然而有部分事件風險極低、兩物件相對速度過低或非計畫關注之事件，需給予條件進行濾除，本計畫已完成衝突事件過濾功能升級，可篩選出更適切之衝突事件，貼近路口交通表現；
3. 路口進出口方向判定優化：針對車輛進出口方向之判斷，108 年研究僅以四條界線劃分路口方向，單一路口並未區分出入口方向，造成某些車輛判斷誤差，本計畫亦已完成改善；
4. 衝突熱點影片索引回放功能：為利於分析查看衝突事件之效率，設計衝突熱點影片索引回放功能，提供使用者依據衝突熱點圖可快速點選衝突事件，連結觀看衝突事件之車輛經過之影片內容，藉以分析可能發生衝突的原因；
5. 車流軌跡繪製功能：為進行分流指向線效益評估，須繪製各車種或行進方向

之車流軌跡，以利了解分流指向線之效果；

6. 路口轉向速度統計：為分析非號誌化路口，需進行路口車輛轉向速度統計與圖表繪製，以利快速了解該路口車輛行為及速度表現。

以下將分六個章節詳細說明各功能之設計與調整作法。

5.1 交通衝突型態分類調整

交通衝突技術的主要目的是交通事故風險的評估，可用作交通工程事前事後的改善績效評估工具。然而，交通衝突分析本身只能用於發現交通潛在問題，如要運用於交通工程改善建議，必須與其他既有的肇事分析結合，透過將交通衝突型態與肇事型態進行連結，找出對應的工程改善方案。

為將精準分析路口之安全隱患，本計畫將交通衝突依其特性進行分類，以利透過各類交通衝突事件之頻次及熱區分析路口何處存在何種問題。本計畫軟體之精進旨在透過調整型態分類使其得以涵蓋更多情境，並且針對後續改善進行探討。本章先回顧交通衝突型態的分類方式，以及國內常見的肇事型態的類別，提出交通衝突類型與肇事型態分類之對應，使交通衝突分析的結果得以稼接既有交通安全工程設計規範。

5.1.1 衝突型態與肇事型態回顧

文獻上對於衝突有數種分類形式（conflict types），以下列舉常見的三種分類方式。

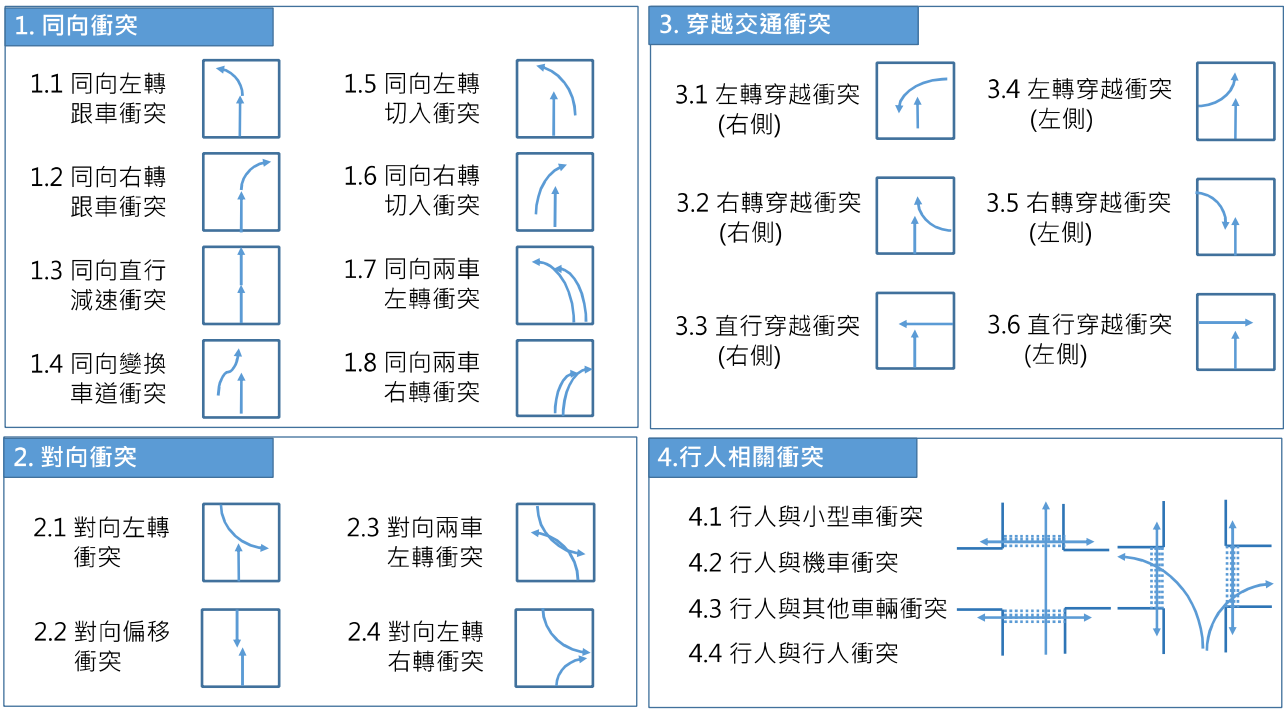
第一種為透過二車於衝突點的夾角進行分類，由小至大分為穿越型（crossing）、車道變換型（lane-changing）、追撞型（rear-end）三類。以美國聯邦公路管理局(FHWA)開發之衝突分析軟體 SSAM（Gettman, D. et al., 2008[42]）為例，當角度小於 30 度則視其為追撞型，當角度大於 85 度則視其為穿越型，介於二者之間則為車道變換型，請參閱圖 2.3-7。

第二種分類法（Thompson et al., 2009[29]）依據車流交岔、匯入及分出三種行進動線，將交通衝突型態分類為同向直行衝突(sequential confinct)、分流衝突(diverging conflict)、匯流衝突(merging confict)及穿越衝突(crossing conflict)四個類型，請參閱圖 2.3-3。

第三種分類法為美國聯邦公路管理局於 1989 年制定之交通衝突技術手冊[56]（以下簡稱美國 TCT 觀察人員手冊），其透過衝突二車進入路口之臨近方向與車輛動線（maneuver），將交通衝突分為以下六大類型，各類型中有一個或多個衝突類別。

1. 同向衝突 （Same-Direction Conflicts）：
   由衝突二車之前車減速或轉向造成後車處於追撞危險中時發生。
2. 對向左轉衝突（Opposing Left-Turn Conflict）：
   直行車與對向左轉車處於對撞或側撞（broadside collision）危險中時發生。
3. 穿越交通衝突 （Cross-Traffic Conflicts）：
   衝突雙方其一轉入或穿越具路權之第二車之行進動線，並使第二車處於追撞、側撞或擦撞（sideswipe collision）危險中時發生。
4. 行人與車輛衝突（Pedestrian Conflicts）
   行人跨越具路權車輛前方造成潛在撞擊危險時發生。
5. 紅燈右轉衝突（Right-Turn-On-Red Conflicts）
   紅燈右轉車輛與橫向幹道上另一車輛處於擦撞、側撞或追撞之危險中時發生。
6. 次衝突（Secondary Conflicts）
   由衝突中的迴避行為造成第三車衝突而產生。

本計畫綜合以上 3 種交通衝突分類方式，以美國 TCT 觀察人員手冊[56]分類標準為主、SSAM[2][29]分類為輔，建構一套適合國內路口交通衝突之分類方法，涵蓋各種國內常發生的肇事類型。本計畫提出之交通衝突類分類圖所示如圖 5.1-1，共有 4 大衝突類型：類型 1 為同向衝突，類型 2 為對向衝突、類型 3 為穿越交通衝突、類型 4 為行人相關衝突，另再細分為 22 項衝突類別。本計畫之衝突型態分類方式主要參考美國 TCT 觀察人員手冊[56]的衝突類型 1~4，為便於觀察人員於現場觀察車流並進行交通衝突事件的登錄作業，其分類方式是依兩車進入路口之相對臨近方向，其餘類型 5 與 6 為特殊情境不在本計畫中採用。



資料來源：本計畫整理

圖 5.1-1 交通衝突類型分類

國內有不少事故（肇事）型態的相關研究，許添本等人曾於 1999 年[57] 將國內經常發生的事故大致分為 4 大類（追撞、側撞、對撞、交岔撞），並與交通衝突類型的類型（同向衝突、對向衝突、穿越交通衝突、行人與車輛衝突）及各類別進行對應，如表 5.1-1 所示，可看出衝突類型與事故型態屬於多對多的關係，而非一對一的直接關係，其原因是交通衝突事件屬於事前的，肇事是車輛碰撞發生後的記錄，而衝突事件有可能演變為不同型態的碰撞事故，衝突事件是肇事的替代指標，與肇事不存在直接的因果關係。

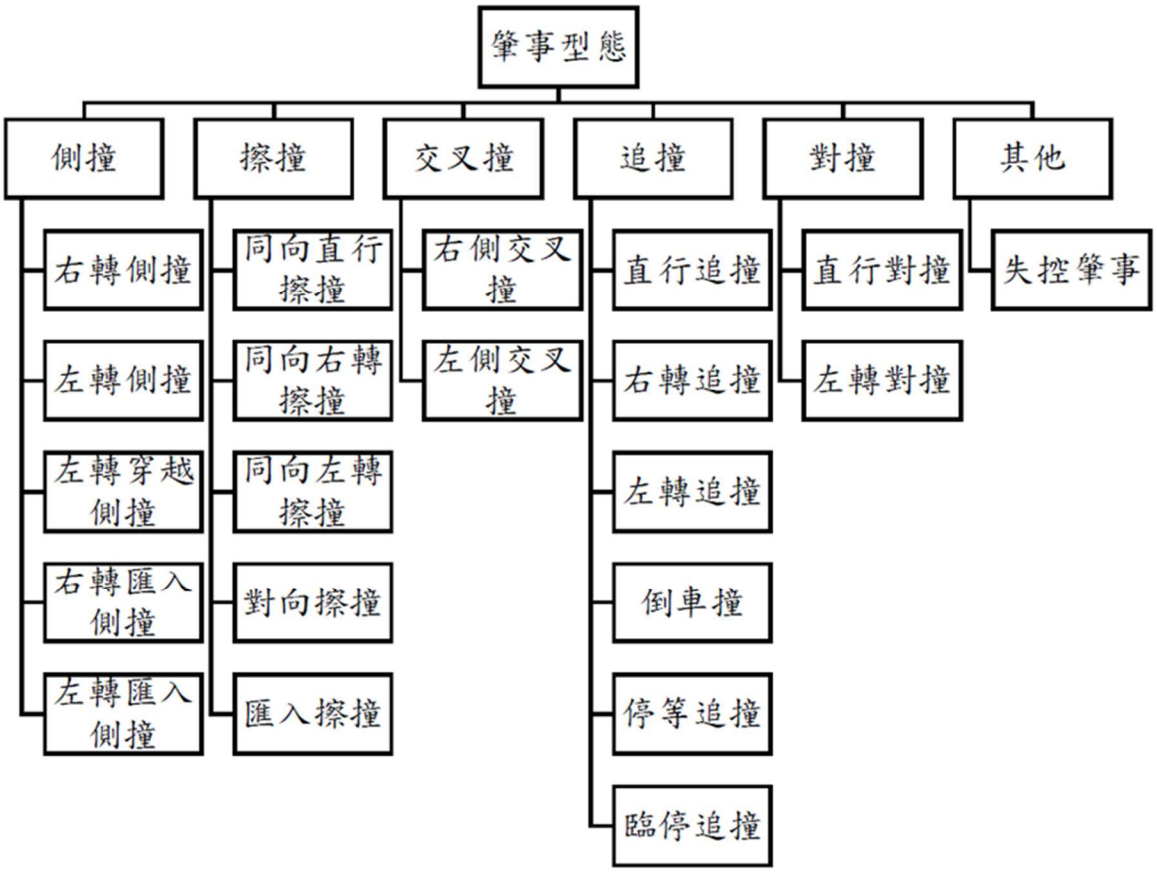
表 5.1-1交通衝突類型與事故型態關係

交通衝突類型	**主要衝突類別**	**事故型態**
同向衝突	同向左轉衝突	追撞
	同向右轉衝突	追撞或側撞
	同向直行減速衝突	追撞或側撞
	同向變換車道衝突	追撞或側撞
對向衝突	對向左轉衝突	對撞或擦撞
	對向偏移衝突	對撞或擦撞
穿越交通衝突	直行穿越衝突	交岔撞
	左右轉穿越衝突	側撞或擦撞
行人與車輛衝突	同向行人與車輛衝突、橫向行人與車輛衝突	

資料來源：[5]

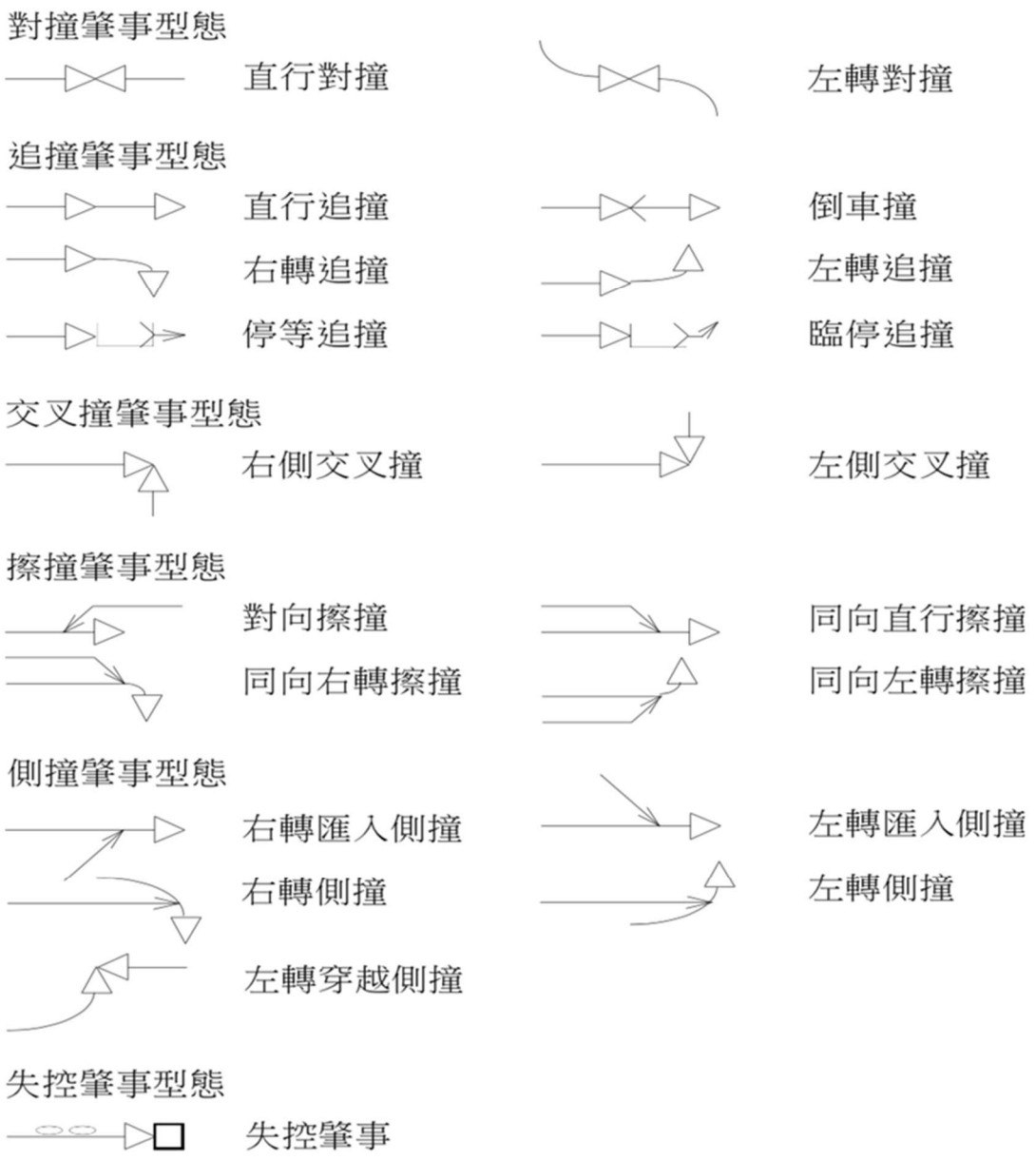
5.1.2 交通衝突型態分類及肇事型態對應

近年國內的研究有將肇事型態進行更仔細的分類，提供了衝突類型與肇事型態對接的可能性。肇事型態的分類，本計畫參考易肇事路口分析的系列相關研究，依照最新的「各肇事型態的交通工程改善設計範例」[5]，經其對臺灣現有肇事型態統整，肇事可因不同碰撞方式區分為側撞、擦撞、交岔撞、追撞、對撞及其他，再因造成碰撞之兩車流動線進行細分，如圖 5.1-2 所示。這些肇事型態可以標註在底圖上建構出肇事碰撞事故構圖，使用的箭頭如圖 5.1-3 所示。



資料來源：[5]

圖 5.1-2 肇事型態分類



資料來源：[5]

圖 5.1-3肇事碰撞事故構圖箭頭

本計畫將圖 5.1-1 之交通衝突類型及圖 5.1-3 之肇事碰撞事故箭頭作對應，以衝突類型出發共分 4 大類，包括同向衝突、對向衝突、穿越交通衝突、及行人相關衝突，交通衝突各類別的圖示、定義、及對應之肇事型態統整結果如表 5.1-2 至表 5.1-5 所示。值得注意的是，交通衝突主要是依照兩車的進入路口之臨近方向進行歸類，而國內的肇事型態則有依照二車的進入路口（如同向擦撞、交岔撞）或依照二車的交會點（如左轉穿越側撞）進行歸類，因此兩者的命名方式在部分情況下是有所區別。例如，圖 5.1-3 的左轉穿越側撞，簡圖對應圖 5.1-1 的對向

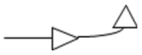
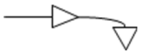
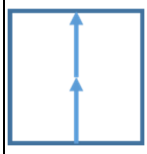
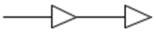
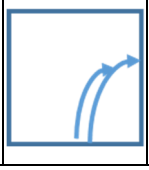
左轉衝突；而圖 5.1-1 另有左轉穿越衝突，簡圖則對應圖 5.1-3 的交岔撞。

第 1 大類的同向衝突指兩輛由相同臨近方向進入路口的車輛所產生的交通衝突，衝突類別 1.1~1.4 是參考美國交通衝突技術手冊[56]，衝突類別 1.5~1.8 是本計畫提出，分別對應 8 種的肇事型態。第 2 大類對向衝突是指兩輛由對向進入路口的車輛所產生的交通衝突，衝突類別 2.1 是參考美國交通衝突技術手冊[56]，另本計畫根據兩車的其他轉向組合(左轉、直行、右轉)提出衝突類別 2.2~2.4。第 3 大類的穿越衝突，是指兩輛由呈 90 度的臨近方向進入路口而在路口中發生的交通衝突，命名方式以南向進入的直進車輛為第一車輛，東向（右側）或西向（左側）進入路口車輛為第二車輛，再依第二車輛的轉向分為左轉穿越衝突、右轉穿越衝突、直行穿越衝突，共有六個組合，這些組合是參考自美國交通衝突技術手冊[56] 。穿越交通衝突是對應肇事型態的交岔撞，而交岔撞只有分兩類：右側交岔撞、左側交岔撞，因此將右側的衝突（類別 3.1~3.3）對應右側交岔撞，左側的衝突（類別 3.4~3.6）對應左側交岔撞。第 4 大類的行人相關衝突，類別 4.1~4.3 是參考自美國交通衝突技術手冊[56] ，為軟體中交通衝突事件歸類的完整性，本計畫另增類別 4.4 行人與行人衝突，因行人與行人之間的衝突不具危險性，此分類目的是將行人與行人的衝突排除在其他衝突類型以外，不會進一步分析。因行人的影像偵測仍在持續開發中，行人相關衝突尚不納入本計畫交通衝突的分析範圍。

以上分類已對應「各肇事型態的交通工程改善設計範例」[5] 中大部分的肇事型態，未有納入對應的有：直行對撞、倒車撞、停等追撞、臨停追撞、右轉匯入側撞、左轉匯入側撞、失控肇事，這些肇事型態在現實情況中不常發生，無法運用路口衝突分析找出。

表 5.1-2 至表 5.1-5 的對應是依照簡圖的相似度而訂定，後續尚需進行測試及調整。

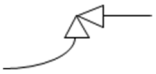
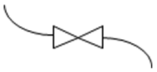
表 5.1-2 同向衝突與對應之肇事型態

	類別	簡圖	定義	對應之肇事型態
1.1	同向左轉跟車衝突		直行車跟隨左轉車時，因左轉車減速或直行車車速過高而產生衝突。	左轉追撞 
1.2	同向右轉跟車衝突		直行車跟隨右轉車時，因右轉車減速或直行車車速過高而產生衝突。	右轉追撞 
1.3	同向直行減速衝突		直行車跟隨另一直行車時，因前車減速或後車車速過高而產生衝突。	直行追撞 
1.4	同向變換車道衝突		變換車道之車輛與另一輛同方向直行車產生衝突。	同向直行擦撞 
1.5	同向左轉切入衝突		左轉車動線跨越直行車動線而產生。	左轉側撞 
1.6	同向右轉切入衝突		右轉車動線跨越直行車動線而產生。	右轉側撞 
1.7	同向兩車左轉衝突		於相近時間自同一路段進入路口二輛左轉車因動線過近而產生。	同向左轉擦撞 
1.8	同向兩車右轉衝突		於相近時間自同一路段進入路口二輛右轉車因動線過近而產生。	同向右轉擦撞 

資料來源：本計畫繪製

註：對應之肇事型態圖例參考自各肇事型態-交通安全工程改善設計範例（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[5]）。

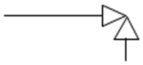
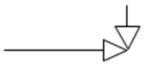
表 5.1-3 對向衝突與對應之肇事型態

	類別	簡圖	定義	對應之 肇事型態
2.1	對向左轉衝突		左轉車與對向直行車於相近時間進入路口而使動線可能重疊時產生之衝突。	左轉穿越側撞 
2.2	對向偏移衝突		一輛直行車與對向另一輛直行車同時過於靠近中心而產生衝突。	對向擦撞 
2.3	對向兩車左轉衝突		二左轉車於相近時間左轉而在路口發生衝突。	左轉對撞 
2.4	對向左轉右轉衝突		右轉車與對向左轉車於相近時間轉入同一鄰近路段而產生衝突。	無

資料來源：本計畫繪製

註：對應之肇事型態圖例參考自各肇事型態-交通安全工程改善設計範例（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[5]）。

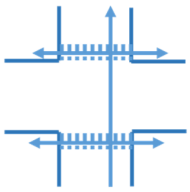
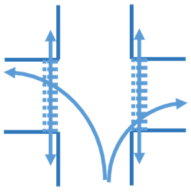
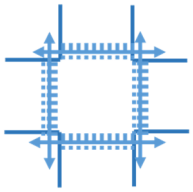
表 5.1-4 穿越交通衝突與對應之肇事型態

	類別	簡圖	定義	對應之肇事型態
3.1	左轉穿越衝突(右側)		直行車進入路口時與右方鄰近路段左轉車產生衝突。	右側交岔撞 
3.2	右轉穿越衝突(右側)		直行車進入路口時與右方鄰近路段右轉車產生衝突。	
3.3	直行穿越衝突(右側)		直行車進入路口時與右方鄰近路段直行車產生衝突。	
3.4	左轉穿越衝突(左側)		直行車進入路口時與左方鄰近路段左轉車產生衝突。	左側交岔撞 
3.5	右轉穿越衝突(左側)		直行車進入路口時與左方鄰近路段右轉車產生衝突。	
3.6	直行穿越衝突(左側)		直行車進入路口時與左方鄰近路段直行車產生衝突。	

資料來源：本計畫繪製

註：對應之肇事型態參考自各肇事型態-交通安全工程改善設計範例（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[5]）。

表 5.1-5 行人相關衝突與對應之肇事型態

	類別	簡圖	定義	對應之肇事型態
4.1	行人與小型車衝突		1. 各車種直行車或轉向車與橫向行人衝突。 2. 各車種轉向車與同向行人衝突。	無
4.2	行人與機車衝突			無
4.3	行人與其他車輛衝突			無
4.4	行人與行人衝突		行人與行人衝突	無

資料來源：本計畫繪製

註：各肇事型態-交通安全工程改善設計範例[5]並未考慮行人相關衝突。

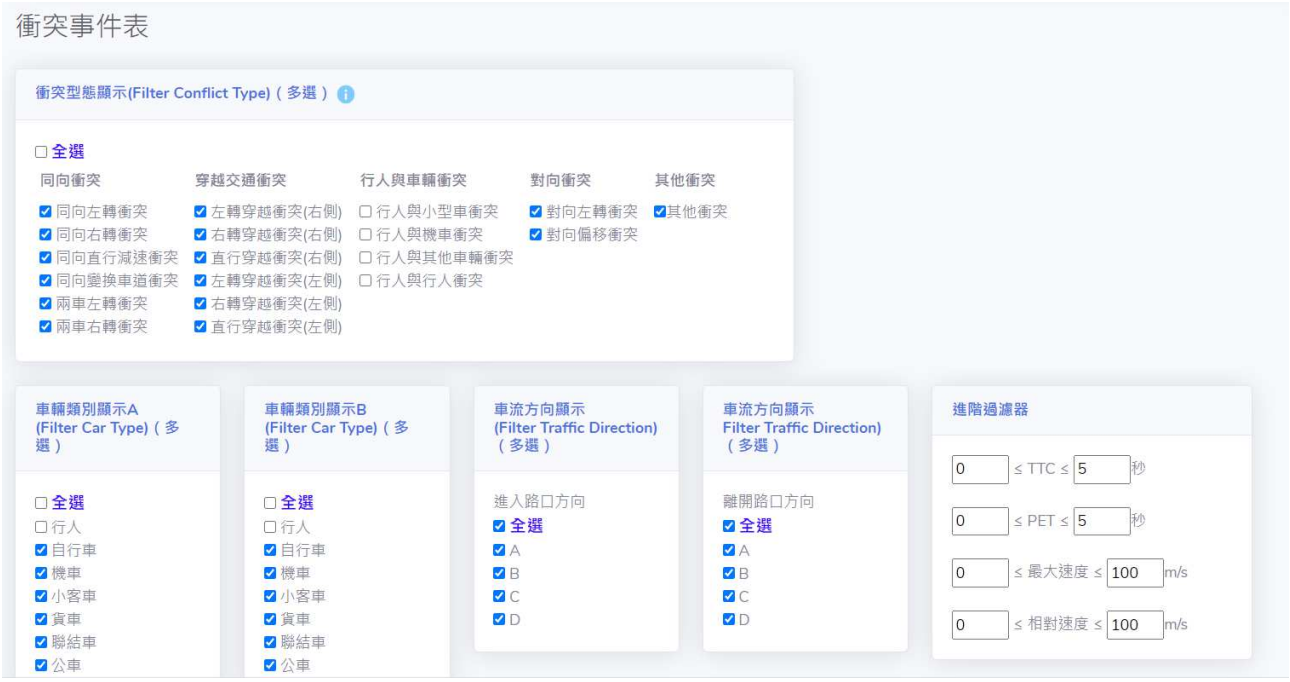
5.2 衝突事件過濾功能升級

108 年研究結合美國公路管理局(FHWA) SSAM 分析軟體，產生 TTC/PET 衝突事件，並提供基本篩選條件(如圖 5.2-1)，包括衝突型態、車輛類別及車輛進入方向、車輛出口方向等四大區塊，以利查看欲觀測的衝突問題，本計畫擴充篩選條件為六大區塊，增加一進階過濾器(如圖 5.2-3)，六大區塊分別為衝突型態顯示、車輛類別顯示 A、車輛類別顯示 B、車流方向顯示(進入路口方向)、車流方向顯示(離開路口方向)，以及進階過濾器；其設計邏輯為每個獨立區塊內條件為"OR"，區塊與區塊間條件為"AND"，進階選項內的條件皆為"AND"，包括 TTC 時間、PET 時間、最大速度及相對速度等條件，其中最大速度表示衝突事件過程中任一車輛行進時之最大速度，相對速度表示衝突發生時兩車輛之速度差。



資料來源：[4]

圖 5.2-1 篩選條件功能圖(108年研究)



資料來源：本計畫繪製

圖 5.2-2 篩選條件功能圖(本計畫)

舉例來說，若想篩選出從 AC 路口進入之小客車與機車之同向衝突與對向衝突，則勾選條件如圖 5.2-3，首先勾選衝突型態中所有的同向衝突與對向衝突，然後選擇車輛類別 A 為小客車、車輛類別 B 為機車，接著選擇車流進入路口方向為 A、C，出口方向則全選，進階選項則為預設條件，如此則能篩選出符合條件之所有衝突事件。



資料來源：本計畫繪製

圖 5.2-3 篩選條件範例

進一步說明 108 年研究與本計畫過濾器的差異，假如想觀察小客車與機車的同向右側衝突，則可勾選汽車、機車，以及同向右側衝突三個選項，並勾選所有路口方向，則可找到此路口對應這些條件的所有衝突事件。然而 108 年研究的分析系統因為只有一個車輛類別區塊，故系統會尋找「小客車-小客車」、「小客車-機車」及「機車-機車」三種組合，若希望能找出確切的兩個車種(小客車-機車)進行分析，108 年研究篩選出來的結果無法滿足此需求。因此，本計畫將車種區分成兩個獨立的條件，才能滿足確切條件的篩選；此外，108 年研究很多衝突事件發生在斑馬線區域，應是行人與車輛之衝突，然而實際上除非違規，否則應較少發生行人與車輛的衝突，故也可透過濾除與行人相關的衝突，來觀察真正需要關心的問題；最後，有部分事件之相對速度較低，較不造成危險性，或需要針對 TTC/PET 的時間進行進階條件設定，以利濾除風險較低的事件，則可於進階選項區塊中進行條件設定。

接下來以新竹縣竹北市自強北路及勝利七、八街路口為例，說明過濾器升級的益處。首先，若選擇全部條件，有 1,067 個衝突事件，TTC 衝突熱點分布如圖 5.2-4。



資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 5.2-4 竹北市自強北路及勝利七、八街路口所有衝突熱點圖

若要對此路口衝突事件提出改善計畫，相對困難，此時可透過條件過濾篩選，例如可先移除行人及低速衝突事件，設定參數如圖 5.2-5 所示，不選擇行人，並將速度選擇大於 1.5 m/s (5.4 km/hr)以上，以濾除低速情形。



資料來源：本計畫繪製

圖 5.2-5 進階條件篩選示意圖

由上述條件篩選衝突事件，將得到如圖 5.2-6 的結果，如此可更清楚的知道該路口的衝突事件主要落在哪些區域，則能依據這些衝突事件及其型態提出改善計畫。

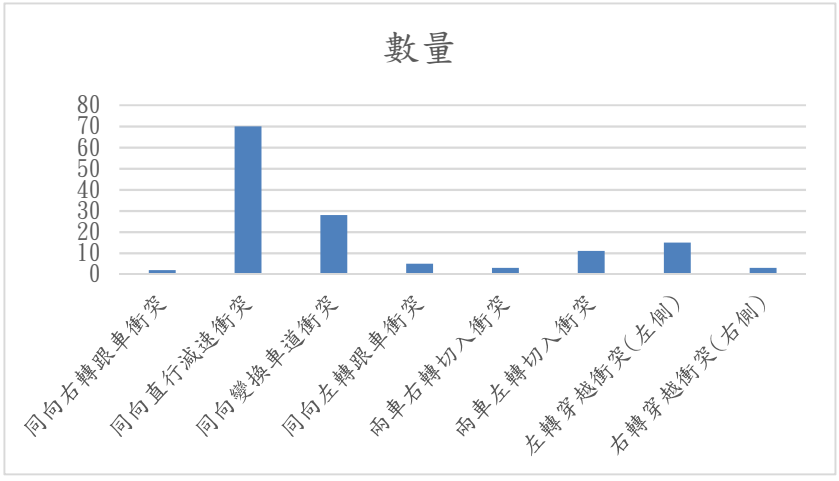


資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 5.2-6 竹北市自強北路及勝利七、八街路口衝突熱點進階篩選結果

承上，若認為左下角路口的狀況最為嚴重，則可調整進出口方向，只篩選 A 進入口的衝突，其衝突型態統計結果(如圖 5.2-7)，由圖表可見同向直行減速衝突數量最多，則能針對同向直行減速衝突進行分析檢討，並提出對應的改善建議措施。

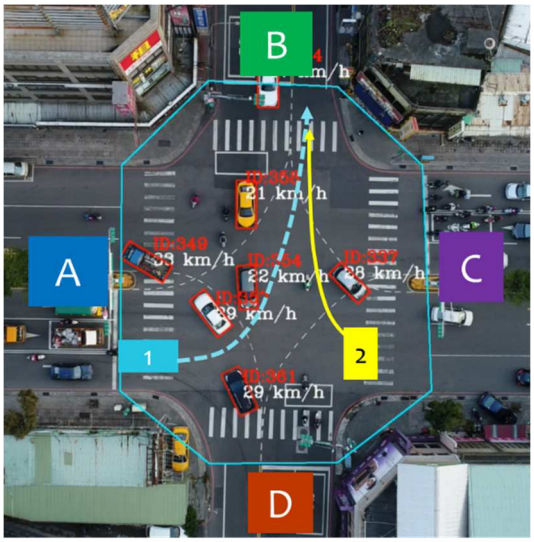


資料來源：本計畫繪製

圖 5.2-7 衝突型態數量統計結果

5.3 路口進出口方向判定優化

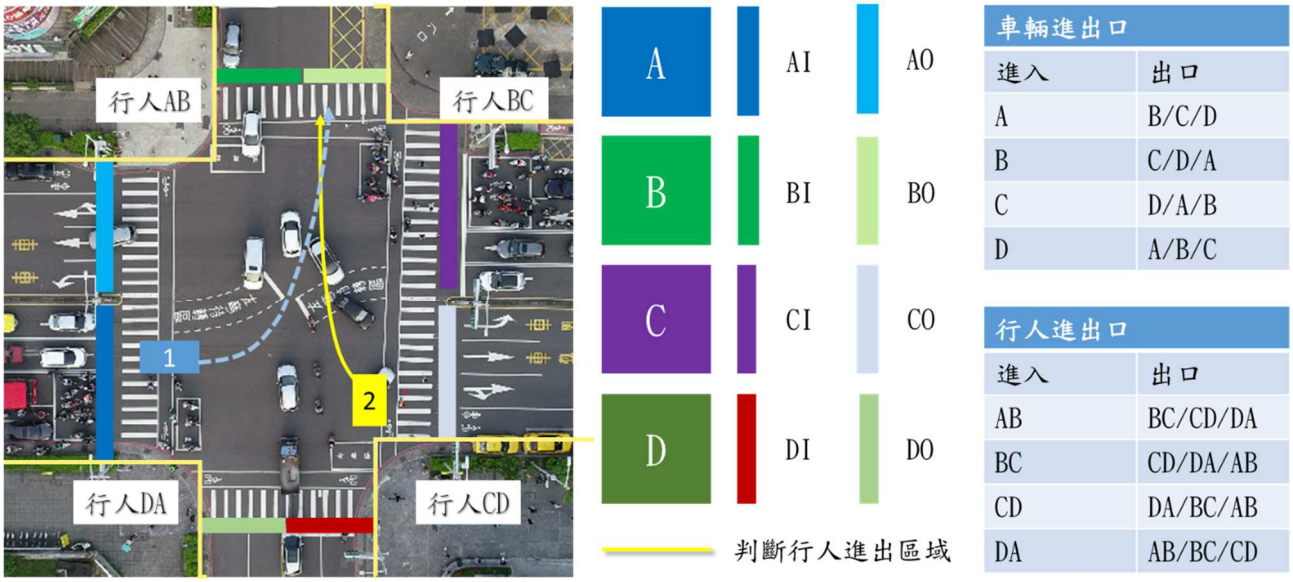
針對車輛進出口方向之判斷，108 年研究判斷方法如圖 5.3-1，使用者先自訂四條界線劃分路口方向，由左方以順時鐘方向依序繪製，訂定路口方向為 A、B、C、D，然後由車流軌跡的起訖位置座標，決定其路口方向，如車輛 ID 1 的車子起點最靠近 A 路口，終點最靠近 B 路口，則為 A 進 B 出。由於單一路口並未區分出入口方向，恐造成某些車輛判斷誤差，如車輛 ID 2 的車子，起點較靠近 C 路口，但此處非進入路口方向之車道，卻因此誤判為 C 進 B 出(正確應為 D 進 B 出)。



資料來源：本計畫繪製

圖 5.3-1 108年研究進出口判斷方法示意圖

因此本計畫修改進出口方向之判斷方法，如圖 5.3-2，將每一路口方向拆分為入口及出口兩種方向，使用者自訂八條線段，劃分路口方向，由左方以順時鐘方向依序繪製，訂定路口方向為 AI/AO、BI/BO、CI/CO、DI/DO，I 表示入口，O 表示出口，然後由車流軌跡的起訖位置座標，決定其路口方向，以上述車輛 ID 2 為例，起點雖較靠近 C 路口，但此處為 CO，則系統會判定較接近 DI 線段，故將進出口方向判斷為 D 進 B 出。此外，由於行人移動軌跡與車輛大不相同，故也已將行人進出口方向及統計表獨立計算與顯示，行人進出口方向將為 AB、BC、CD、DA 四個區域。



車輛進出口	
進入	出口
A	B/C/D
B	C/D/A
C	D/A/B
D	A/B/C

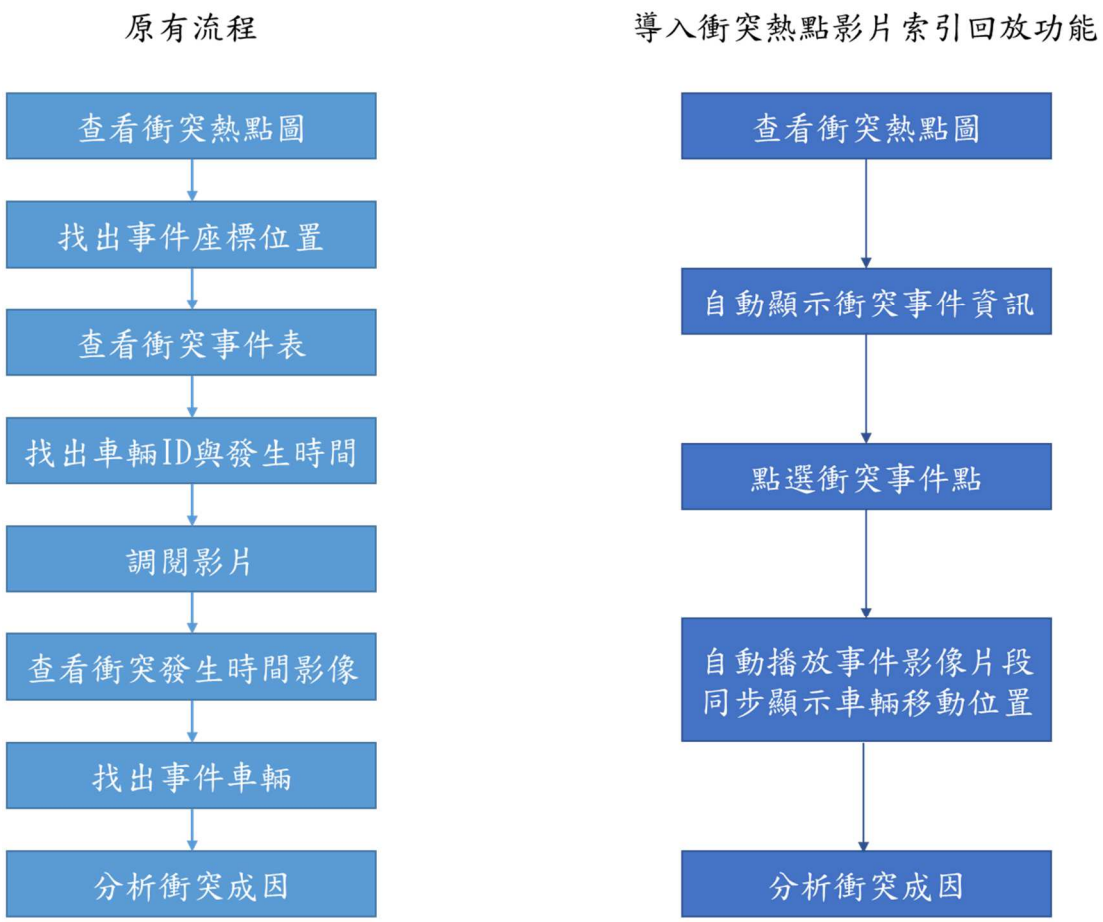
行人進出口	
進入	出口
AB	BC/CD/DA
BC	CD/DA/AB
CD	DA/BC/AB
DA	AB/BC/CD

資料來源：本計畫繪製

圖 5.3-2 本計畫進出口判斷方法示意圖

5.4 衝突熱點影片索引回放功能

本計畫為提升使用者查看衝突事件之效率，設計衝突熱點影片索引回放功能，提供使用者可於衝突熱點圖上，直接點選衝突事件，系統自動顯示衝突事件詳細資訊，並連結播放該事件車輛經過之影片內容，藉以觀察可能發生衝突的原因。圖 5.4-1 說明原有流程與導入衝突熱點影片索引回放功能之差異，若 108 年研究要進行衝突熱點與事件分析時，至少需 8 個步驟，且須不停的從不同的介面或工具中切換，才能找到對應的衝突事件資訊與發生的經過，相當耗工費時；導入衝突熱點影片索引回放功能後，只要輕鬆地在同一個軟體介面上操作，就能自動顯示衝突事件詳細資訊，並且能自動播放事件影像片段，同時以不同顏色方框標註車輛位置，大幅提升檢視及分析效率。



資料來源：本計畫繪製

圖 5.4-1 導入衝突熱點影片索引回放功能流程優化示意圖

以下說明衝突熱點影片索引回放功能操作流程：

1. 透過篩選條件分析衝突事件，並產生衝突熱點圖(TTC/PET)，如圖 5.4-2。
2. 滑鼠移至任一衝突事件點位，下方表格則顯示該衝突事件詳細資料，如衝突型態、發生時間、TTC/PET 時間、衝突角度、最大車速、相對車速、物件 ID、種類、長度、寬度及進出口方向等，可快速了解該衝突事件。
3. 點選該衝突事件，右方影片會開始進行播放，透過影片回放，可進一步掌握衝突事件發生的經過，並藉以分析原因。為利於觀看，本功能以不同顏色方框將車輛顯示，清楚呈現事件經過。



衝突型態	發生時間(秒)	TTC(秒)	PET(秒)	衝突角度(度)	最大車速(m/s)	相對車速(m/s)	ID	種類	長度	寬度	進入	離開
兩車右轉切入衝突	19.419	2.1	0.701	-30.2899	2.28	1.41166	36	小客車	4.38945	1.92873	D	C
							43	小客車	4.66775	1.95581	D	C

資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

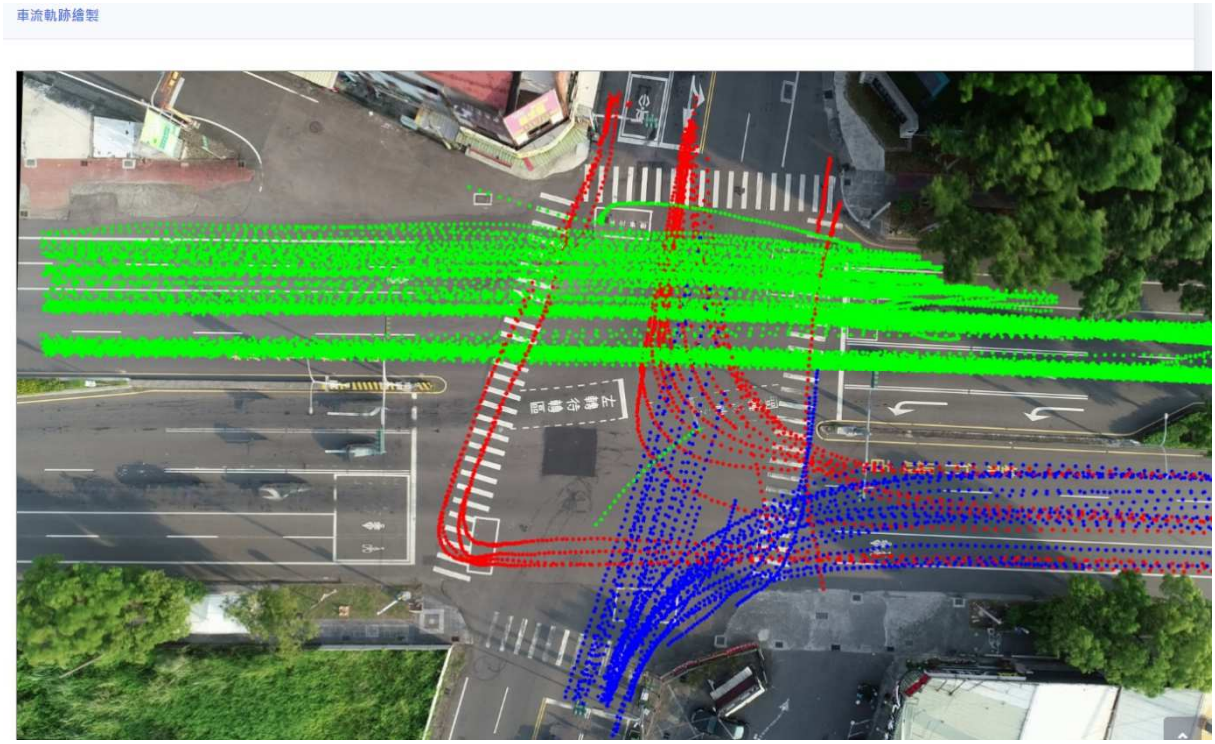
圖 5.4-2 衝突熱點影片索引回放功能示意圖

5.5 車流軌跡繪製功能

為進行分流指向線效益評估，須繪製各車種或行進方向之車流軌跡，以利了解分流指向線之效果。

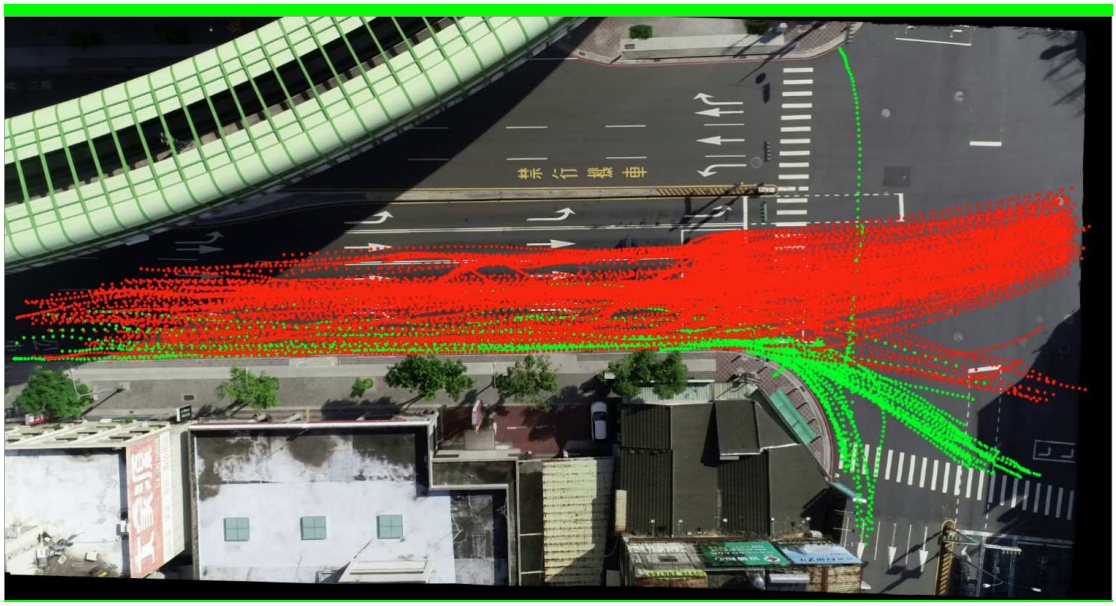
以下說明車流軌跡繪製功能操作流程：

1. 可設定紅、綠、藍三條軌跡線之行進方向及車輛類型挑選後進行分析，
2. 分析後呈現欲檢視的三條車流軌跡繪製圖，如圖 5.5-1 汽車車流軌跡線繪製圖及圖 5.5-2 機車車流軌跡線繪製圖。



資料來源：本計畫繪製

圖 5.5-1 汽車車流軌跡繪製功能示意圖



資料來源：本計畫繪製

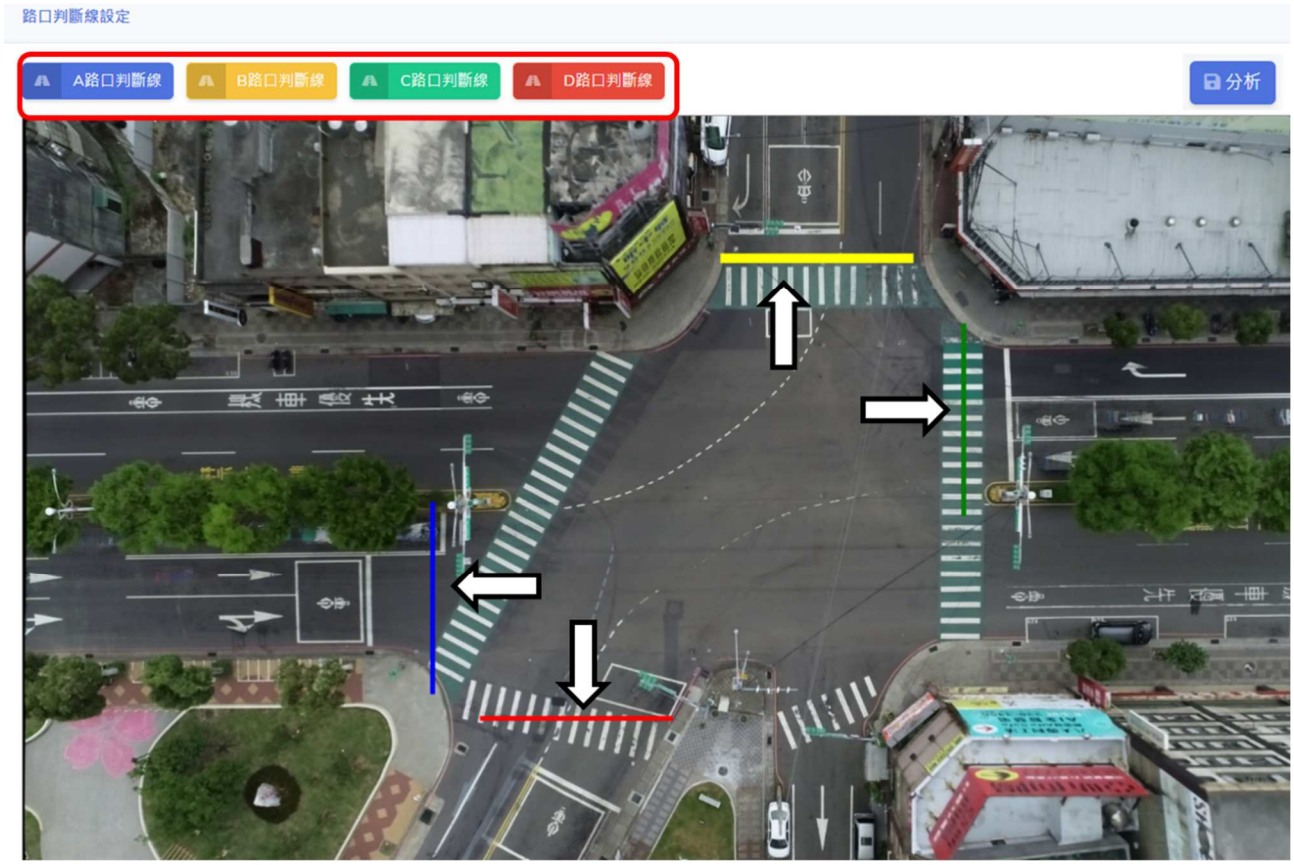
圖 5.5-2 機車車流軌跡繪製功能示意圖

5.6 路口轉向速度統計功能

為分析非號誌化路口，需進行路口車輛轉向速度統計與圖表繪製，以利快速了解該路口車輛行為及速度表現。

以下說明路口轉向速度統計功能操作流程：

1. 設定「A 路口判斷線」、「B 路口判斷線」、「C 路口判斷線」、「D 路口判斷線」後，將於下方路口圖片中顯示藍、黃、綠、紅四條線，並依序放置對應之路口，如圖 5.6-1。
2. 將路口判斷線依序設定好位置後，點選分析，即可得到 A、B、C、D 四個路口的車種速率分析表及車速與數量分布表，如圖 5.6-2。



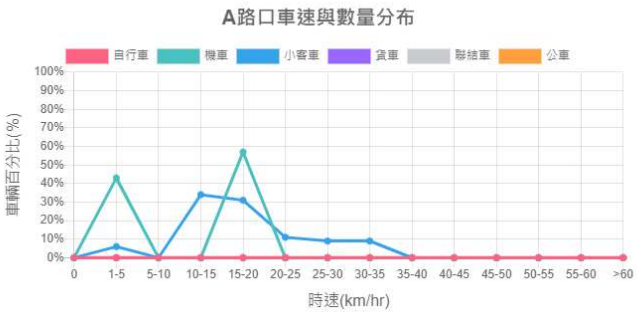
資料來源：本計畫繪製

圖 5.6-1 路口判斷線設定示意圖

A路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(A to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	1.106	15.098	N.A.	N.A.	N.A.	14.196
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0.082	4.706	N.A.	N.A.	N.A.	5.704
計數(輛)	N.A.	2	29	N.A.	N.A.	N.A.	31
直行(A to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	29.245	N.A.	N.A.	N.A.	29.245
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	2.717	N.A.	N.A.	N.A.	2.717
計數(輛)	N.A.	N.A.	6	N.A.	N.A.	N.A.	6
右轉(A to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.287	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	13.287
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	6.214	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	6.214
計數(輛)	N.A.	5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	9.806	17.524	N.A.	N.A.	N.A.	16.237
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	7.607	6.931	N.A.	N.A.	N.A.	7.613
計數(輛)	N.A.	7	35	N.A.	N.A.	N.A.	42

A路口車速與數量分布



資料來源：本計畫繪製

圖 5.6-2 路口車種速率分析及車速數量分布示意圖

整理本計畫交通衝突分析軟體與 107 年、108 年研究分析軟體之比較如表 5.6-1。

表 5.6-1交通衝突分析軟體功能比較表

研究年別	107 年	108 年	109 年
計畫名稱	道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用	路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發	路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較
影像式車流分析	以四輪車為主，採用 Mask RCNN 架構	採用複合式影像分析技術，包括 YOLOv3 及 Mask RCNN，可針對行人、自行車、機車、四輪車進行	• 改善 SCRDet 的偵測效果並取代 Mask RCNN • 引進 YOLOv4 取代 YOLOv3 • 全畫面影像分析，能了解車輛於路段之行車軌跡，分析數據更完整。 • 進出口方向判定優化，每個路口區分進入方向與出口方向，提升判斷準確率。
交通衝突分析	• 自行計算 TTC/PET 指標 • 依據指標數據繪製衝突熱區	• 整合 SSAM 計算 TTC/PET 衝突指標； • 可依嚴重程度繪製衝突熱區，並能以密度分布圖及斑點圖型態來呈現 • 具備完整衝突分析資料	• TTC/PET 衝突指標計算方法同 108 年。 • 新增衝突熱點影片索引回放功能，提供使用者點選衝突熱點，連結相關影片播放，快速掌握衝突事件詳細資訊，提升分析效率。 • 衝突型態分類優化，可結合改善措施建議計畫運用。 • 新增衝突事件進階過濾功能，可篩選出適切之衝突事件，更貼近路口交通表現
統計摘要	統計車輛數	以圖表型式顯示不同車種及嚴重程度之衝突數量或比例	• 同 108 年，可依據風險程度及車種顯示衝突數量或比例。

資料來源：本計畫繪製

表 5.6-1交通衝突分析軟體功能比較表(續)

研究年別	107 年	108 年	109 年
交通量分析	無	於統計摘要中顯示路口車輛 OD 統計表	• 於主功能頁面新增交通量分析項目，並將路口轉向車輛交通調查及行人交通量調查歸納於該功能顯示。 • 擴增 OD 表統計方式，並將行人數量獨立顯示，例如:行人數量總數填寫在“小計”，個別數字以 “-” 表達(如 A-B、A-C、A-D), 迴轉車輛應歸類到左轉車流
車流特性	統計十字路口平均車速與轉向資訊	可繪製十字路口平均車速及數量分布	• 可選擇不同直行車入口方向(ABCD)，並能依據不同車種繪製其平均車速，以利了解各路口方向及車種之速度差異與關聯性。 • 新增路口轉向速度計算與統計，並依據計算結果繪製路口車種行向速率交岔分析表及車輛速度分布圖
車流軌跡繪製功能	影像分析軟體提供車流軌跡影片	影像分析軟體提供車流軌跡影片	衝突分析軟體提供使用者可選擇不同進入路口、行進方向及車種等條件進行車流軌跡繪製，利於了解路口車流表現。
號誌同步顯示	無號誌資訊，須依據空拍影像推測紅綠燈變化，且須以獨立程式完成影片呈現。	具備號誌時相紀錄，並提供號誌與時相設定介面，可利於完成號誌同步顯示影片	同 108 年

資料來源：本計畫繪製

第六章 交通工程改善前、後之分析

本章為案例分析，選擇 4 處案例路口進行交通工程改善前、後之安全評估，均為易肇事路段改善計畫圈列之改善地點，當中之改善措施引用自「臺灣地區易肇事路段改善計畫」報告書，本計畫是以案例分析之角度探討改善措施之實施及成效，並未參與改善措施之研擬。

本計畫之分析流程說明如下：

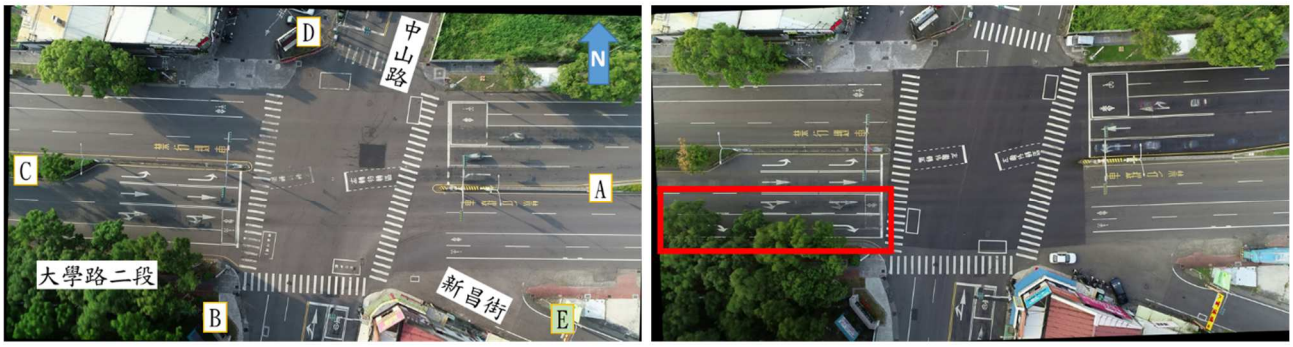
1. 案例基本資料：包括現場調查的路口空拍圖、拍攝時間，肇事紀錄資料，以及檢視易肇事路段改善計畫改善項目之執行與現場調查觀察之異同。
2. 檢視改善措施成效：透過車流動線、衝突熱區、衝突統計摘要、衝突態樣等四項分析資料在改善前後之變化，判斷改善措施帶來之影響，分析改善措施是否對車流有產生預期之效果，達到改善措施之目的。
3. 探討其他未改善或潛在問題：運用衝突分析及車流動線等工具，找出其他未改善或潛在的交通安全風險，並參考第 5.1 節之交通衝突型態分類，對應「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」之肇事碰撞事故構圖箭頭及肇事型態，找出合適之交通安全工程改善設計，提出建議改善方向。

6.1 案例一：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口

1. 基本資料

(1) 觀測資料

改善前後拍攝日期分別為 2019/5/14、2019/10/15，影像長度分別為 15、19 分鐘，飛行高度均為 75 公尺。改善前後空拍圖如圖 6.1-1 所示，本路口為長約 100 公尺，寬約為 60 公尺之五岔路口（4+1）。大學路東與西側路段分別編號為 A 與 C，中山路南與北路段分別編號為 B 與 D，新昌街路段編號為 E。號誌週期經側拍影像計時後測得 163 秒，時制如圖 6.1-2 所示。



（a）改善前　　（b）改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-1 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後空拍圖



資料來源：本計畫繪製

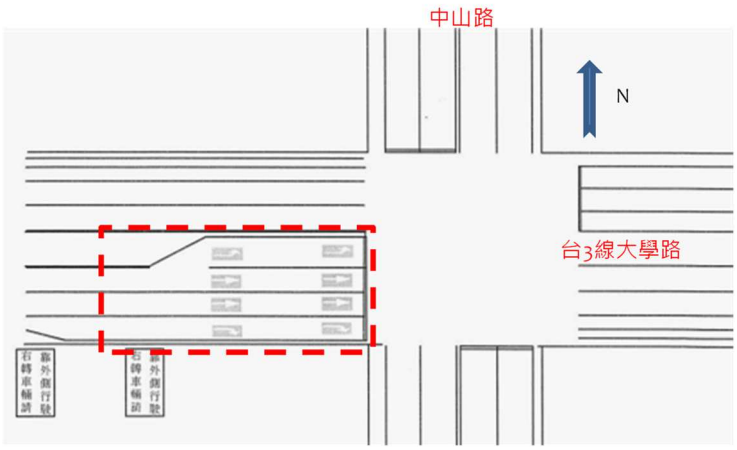
圖 6.1-2 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口時制圖

(2) 肇事資料

根據第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[74]，106 年全年 A1 及 A2 肇事紀錄總計有 11 次肇事、 0 人死亡、14 人受傷，主要肇事型態為 16 車與車-側撞、11 車與車-對向擦撞、12 車與車-同向擦撞，主要肇事原因為 6 未依規定讓車、23 駕駛人-未注意車前狀態、8 左轉彎未依規定，主要肇事時段為 8、17、19。其中肇事型態與原因係依據道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知[75]分類。

(3) 易肇事路段改善計畫建議措施與實際改善措施

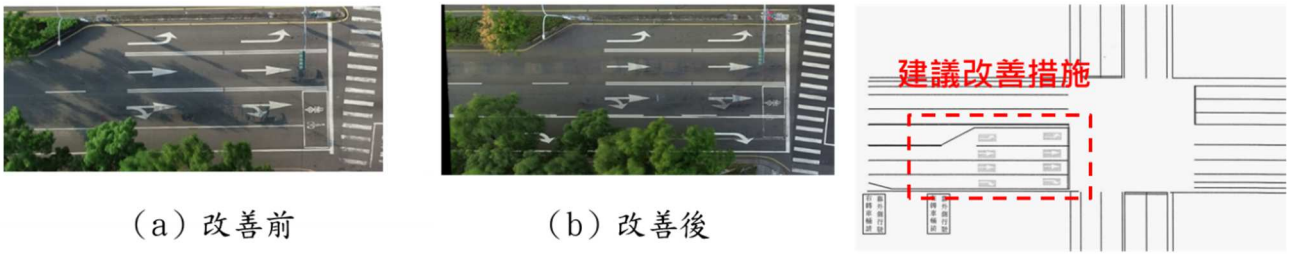
如圖 6.1-3 所示，該期改善計畫建議之改善措施為增加大學路西側（路段 C ）右轉專用道、車道預告指示牌 :「右轉車輛請靠外側行駛」，並且將外側第二車道改為直行車道。



資料來源：第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[74]

圖 6.1-3 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口建議改善措施

實際改善項目為鋪面重鋪與標線補繪、C 路段進口外側車道機車優先道改為右轉車道（如圖 6.1-1 框格內所示）。號誌時制沒有調整，無法確定是否尚有其他改善措施如交通標誌。對比實際改善項目發現該路段外側第二車道仍為直行與右轉混流車道，並未改為直行專用道，如圖 6.1-4 所示。



（a）改善前　　（b）改善後

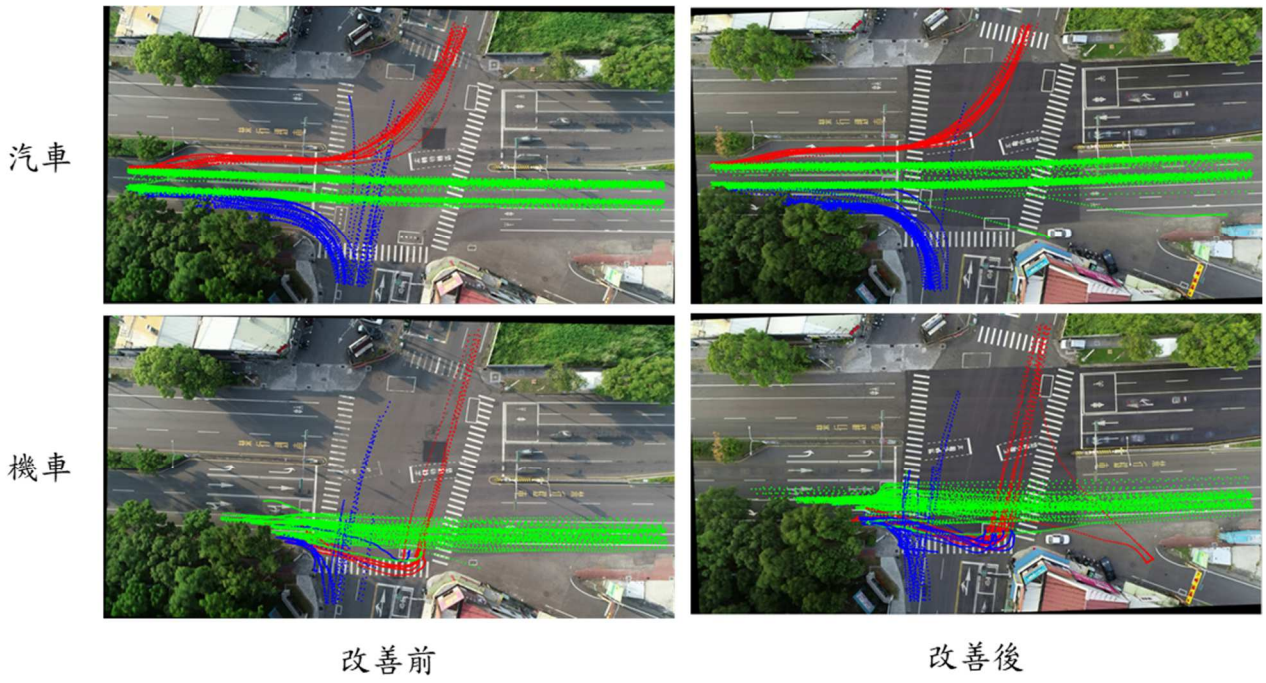
資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-4 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善不全比較圖

2. 改善措施成效

(1) 改善措施對車流型態與動線之影響

如圖 6.1-6 所示，改善前 C 路段進口外側為直行與右轉共用道之機慢車道，由 C 路段進入之直行與二段式左轉機車均會使用該車道。改善後該車道為右轉專用道，但機車直行與二段式左轉仍會使用最外側車道，故可斷定改善措施對機車車流動線之影響不明顯。

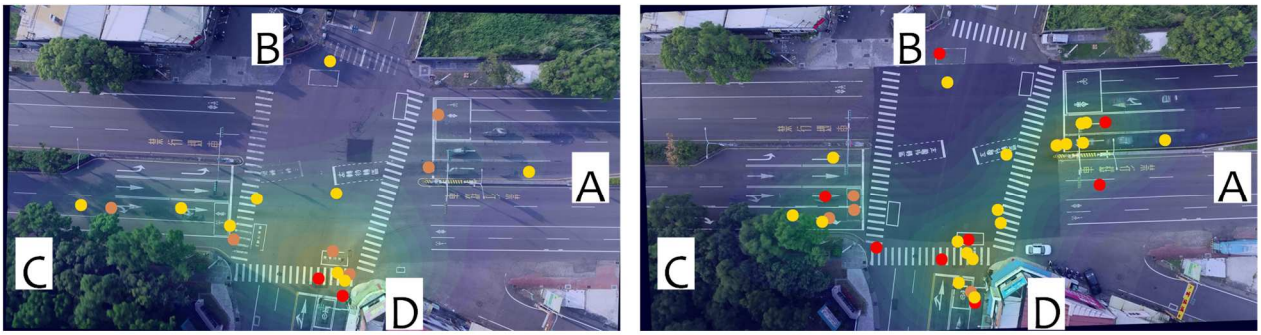


資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-5 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後C路段進口車輛軌跡圖

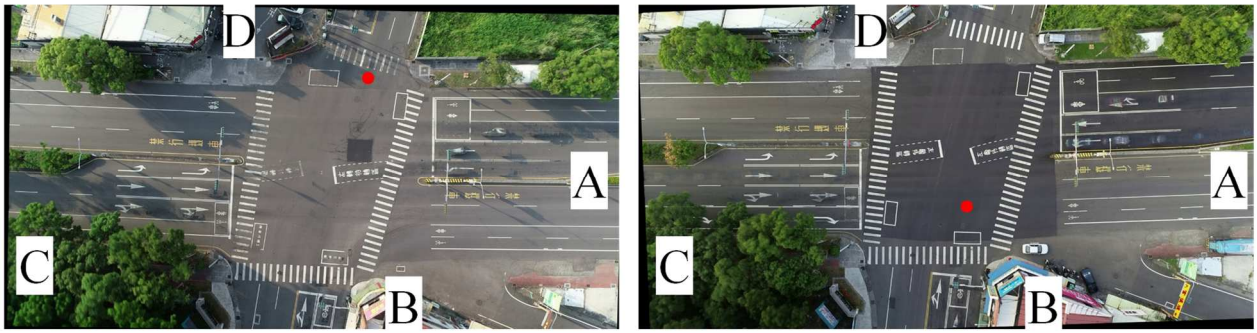
(2) 改善前後衝突熱區

在此考慮瀕危風險([TTC 或 PET] ≤ 1)、高風險(1 < [TTC 或 PET] ≤ 2)、中風險(2 <[TTC 或 PET] ≤ 3)的交通衝突事件，且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，以排除因影像偵測誤差或車速過低造成的衝突事件誤判。 TTC 衝突熱區圖、PET 衝突熱區圖如圖 6.1-6 所示，當中 TTC 衝突事件判定主要適用於各種方向的衝突如 90 度直角碰撞、追撞、對撞（請參考圖 2.3-4 之示意圖），意即可用於分析同向衝突、穿越交通衝突、對向衝突；而 PET 衝突事件判定主要適用於 90 度直角碰撞 （請參考圖 2.3-5 之示意圖），較適用於穿越交通衝突。可發現 PET 衝突熱區圖的衝突點較少，原因是在號誌化路口各車流轉向有專用時相的情況下，較不會發生穿越交通衝突。比較改善前後之熱區圖差異不大，惟改善後衝突總數稍增。



改善前　　改善後

(a) TTC 衝突熱區圖



改善前　　改善後

(b) PET 衝突熱區圖（只限穿越交通衝突）

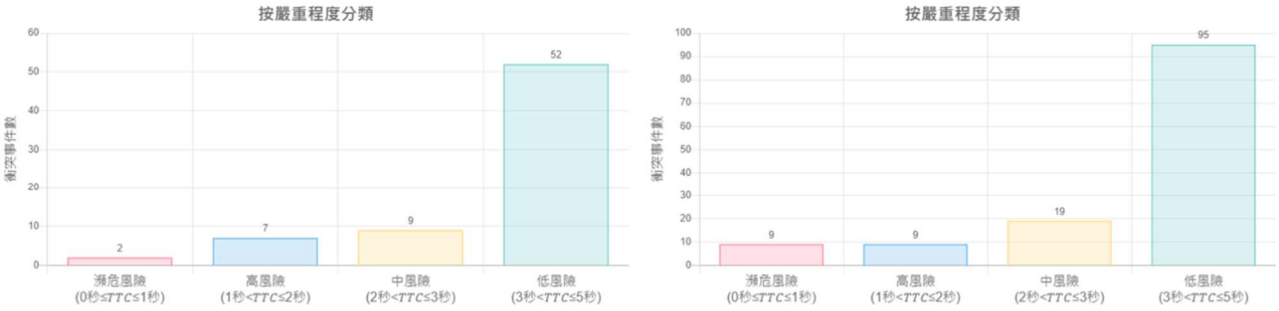
資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.1-6 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後衝突熱區圖

(3) 改善前後交通衝突統計摘要

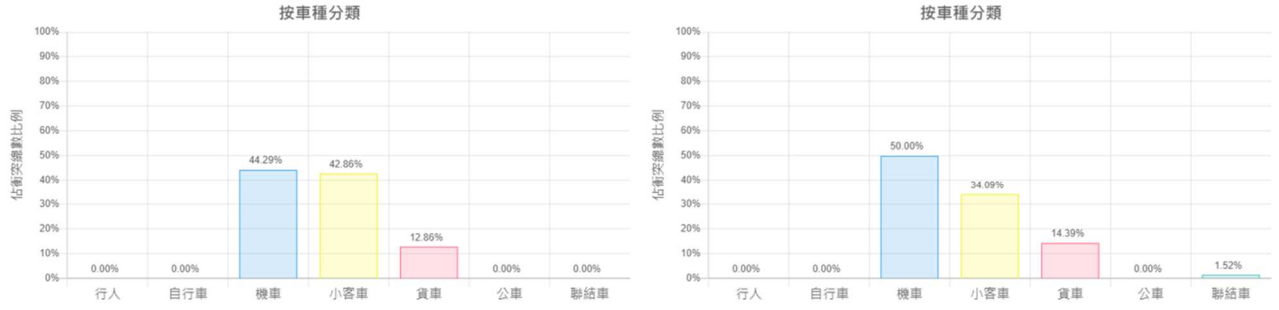
在此僅考慮二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據嚴重程度（所有風險等級均考慮）與車種分別進行統計摘要，如圖 6.1-4 與圖 6.1-5 所示，改善前之衝突數為 15 分鐘之影像資料，改善後之衝突數為 19 分鐘之影像資料。改善前後嚴重程度差異不大、車種均以機車為主，惟改善後衝突總數稍增。



（a）改善前　　（b）改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-7 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口衝突嚴重程度分類圖



（a）改善前　　（b）改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-8 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口衝突車種分類圖

(4) 改善前後交通衝突態樣

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據衝突類別統整如表 6.1-1 所示。綜上所述，本案例路口的交通衝突分析發現無嚴重之交通安全問題，衝突以同向直行減速衝突為主。易肇事路段改善計畫對於車流行為也沒有顯著影響，C 進口外側改為右轉車道而同向右轉跟車衝突確有減少，但改善前已很少。

表 6.1-1 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前後衝突態樣表

衝突類型	衝突類別	改善前		改善後	
		衝突次數	衝突次數/總交通量	衝突次數	衝突次數/總交通量
同向衝突	1.1 同向左轉跟車衝突	0	0.0000	1	0.0007
	1.2 同向右轉跟車衝突	2	0.0015	1	0.0007
	1.3 同向直行減速衝突	11	0.0084	16	0.0119
	1.4 同向變換車道衝突	1	0.0008	2	0.0015
	1.7 同向兩車左轉衝突	3	0.0023	8	0.0059
	1.8 同向兩車右轉衝突	1	0.0008	9	0.0067

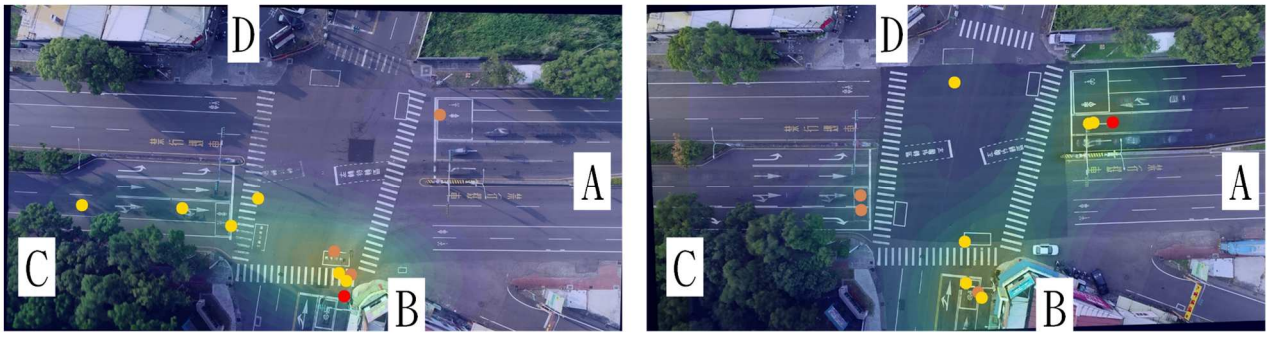
註：總交通量包括路口所有車種及轉向的轉向交通量

資料來源：本計畫統整

3. 其他未改善或潛在問題

(1) 未改善之問題及原因

在本路口中、高、瀕危風險之衝突事件中，無論改善前後均以「同向直行減速衝突」為主。如圖 6.1-9 所示，該類別衝突主要分布位於鄰近停止線處如圖，該態樣與交通安全工程改善設計範例[5]內所描述之追撞（圖 6.1-10）較接近。追撞改善設計流程如圖 6.1-11 所示，惟本路口之同向直行減速衝突似乎均不適用各改善範例。

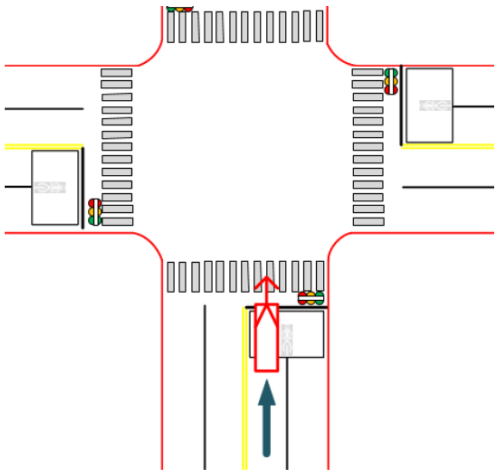


(a)改善前　　(b)改善後

資料來源：本計畫繪製

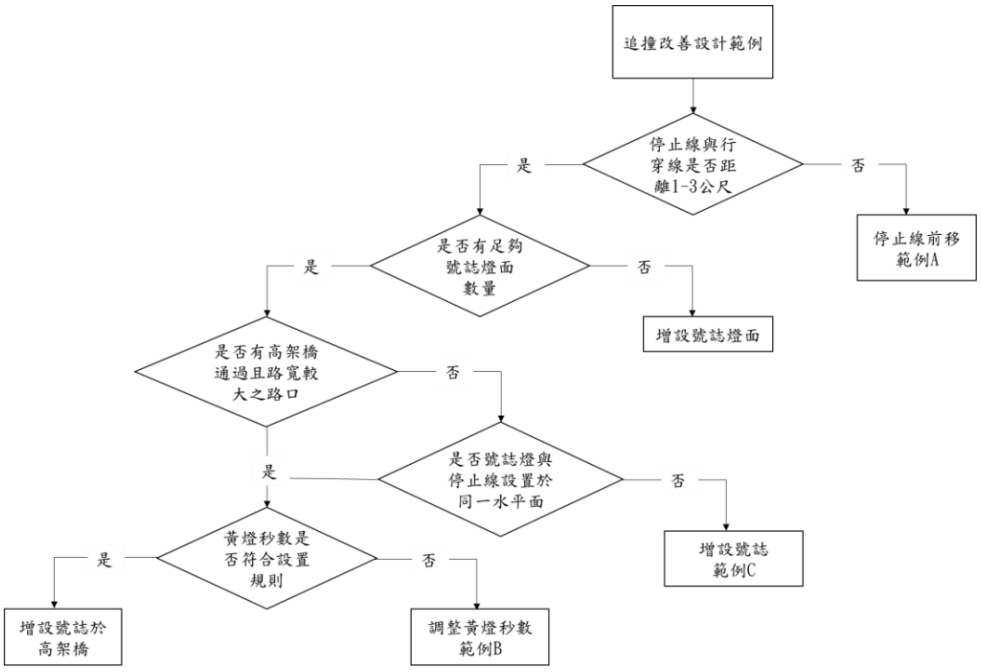
註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.1-9 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口同向直行減速衝突熱區圖



資料來源：交通安全工程改善設計範例[5]

圖 6.1-10 停等追撞示意圖



資料來源：交通安全工程改善設計範例[5]

圖 6.1-11 追撞改善設計流程

本計畫進一步針對同向直行減速衝突探討其過程及原因，發現南北向之車流存在大量低風險同向直行減速衝突，如圖 6.1-12 所示。經回放影片判斷，由於 B 路段最內側為直行與左轉混流車道，該車道直行車為超越等待左轉之左轉車而與向外側切入並與該車道直行車產生衝突，如圖 6.1-13 實線框格所示。此外，經車流軌跡判斷，由 B 路段進入路口的左轉汽車停等於路口中而影響了直行汽車之動線（如圖 6.1-13 虛線框格所示），進而產生大量低風險同向直行減速衝突，並且進而影響 D 路段進入之直行汽車。車流軌跡圖亦顯示類似跡證，如圖 6.1-14 所示，D 路段直行軌跡為閃避於路口中央等待左轉之 B 路段左轉車流而呈現微向外側彎曲，並且 B 路段左轉車輛較 D 路段多。

(2) 建議改善方向

綜上所述，本計畫建議調整號誌以錯開南北向之車流，將 B 方向號誌遲閉改為早開，如圖 6.1-15 所示。

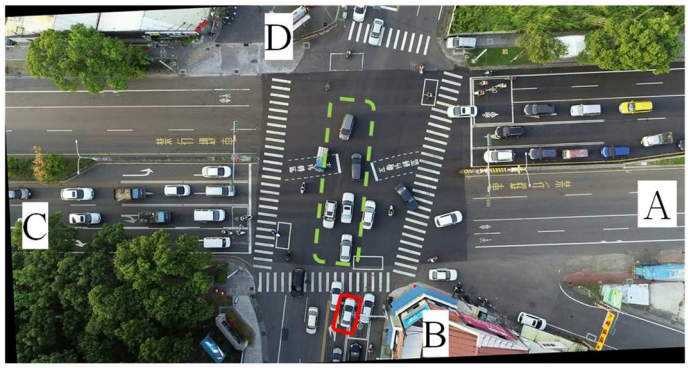


由北側（D路段）進入路口之衝突　　南側（B路段）進入路口之衝突

資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.1-12 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口B與D路段同向直行減速衝突



資料來源：本計畫繪製

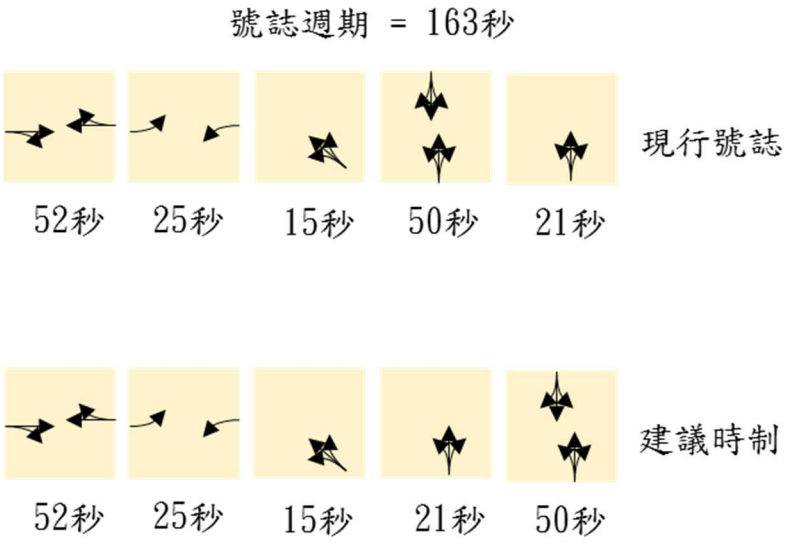
圖 6.1-13 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口B路段左轉汽車停等圖



由北側（D路段）進入路口之汽車　　南側（B路段）進入路口之汽車

資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-14 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口B與D路段汽車軌跡圖



資料來源：本計畫繪製

圖 6.1-15 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口建議號誌時制圖

6.2 案例二：桃園市桃園區三民路三段及永安路口

1. 基本資料

(1) 觀測資料

本計畫進行觀測時改善措施已完成，首次拍攝日期為 2020/3/30，易肇事路段改善計畫的建議措施已經進行完畢，因此本案例調整為(a)改善完前期及(b)改善完 4 個月後穩定期，檢討車流行為是否於完工 4 個月後發生變化。現場調查的拍攝日期分別為 2020/3/30、2020/7/23，影像長度約為 17 分鐘，飛行高度約為 75 公尺。改善前後空拍圖如圖 6.2-1 所示，可以看到本路口為五岔路口，其中僅可單向離開路口之永安路東側路段將其編號為，但由於其並非重點後續圖片將不標示，其餘路段自三民路西南側起順時針依序以 A 至 D 編號。



（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

資料來源：本計畫繪製

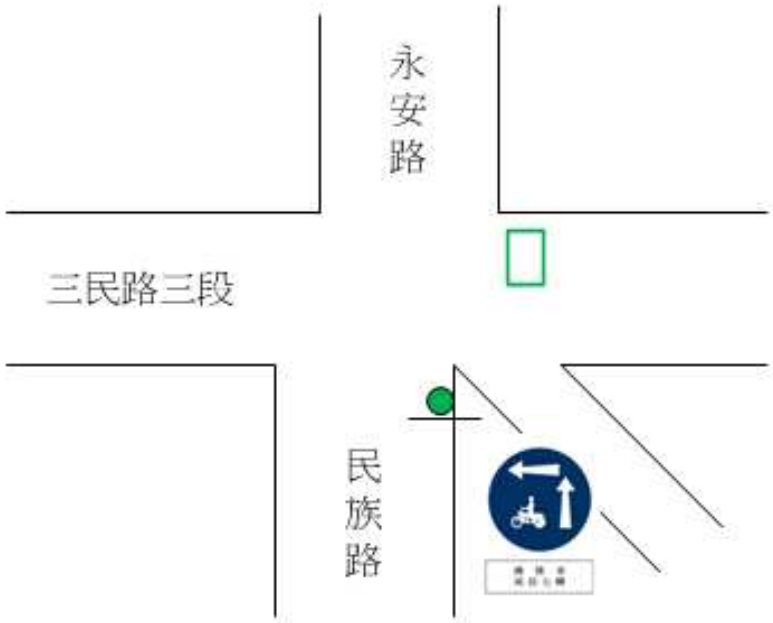
圖 6.2-1 桃園市桃園區三民路三段及永安路口空拍圖

(2) 肇事資料

根據第 37 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[78]，107 年全年 A1 及 A2 肇事記錄總計有 20 次肇事、0 人死亡、30 人受傷，主要肇事型態為 12 車與車-同向擦撞、16 車與車-側撞、17 車與車-其他，主要肇事原因為 7 駕駛人-變換車道或方向不當、8 駕駛人-左轉彎未依規定、43 其他-不明原因肇事，主要肇事時段為 8、15、9。其中肇事型態與原因係依據道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知[75]分類。

(3) 易肇事路段改善計畫建議措施與實際改善措施

如圖 6.2-2 所示，該期改善計畫建議之改善措施為取消機慢車兩段式左轉標誌，以及磨除機車待轉區標線。本計畫觀察到之實際改善項目主要為取消機慢車兩段式左轉標誌(透過 Google 街景比較 2019 年 3 月與 2020 年 3 月差異確認)，並磨除機車待轉區標線(如圖 6.2-1 虛線框格所示)。由於第一次拍攝時已完工，第二次拍攝時僅觀察到次要改善項目改變，亦即圖 6.2-1 實線框格處之鋪面重鋪。



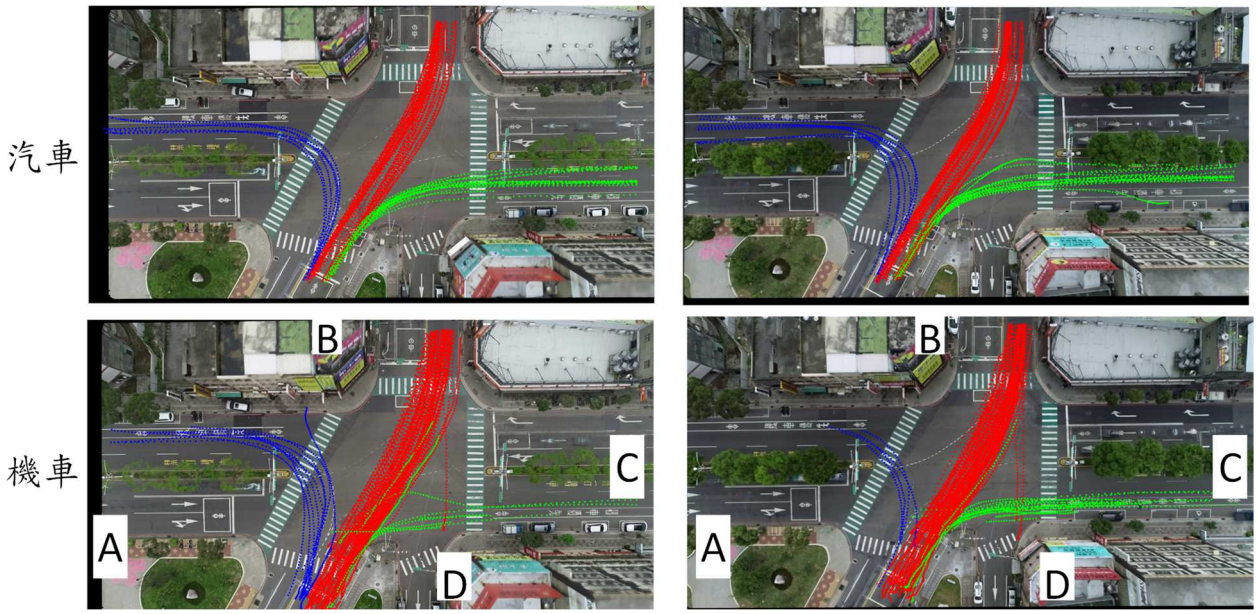
資料來源：第 37 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[78]

圖 6.2-2 桃園市桃園區三民路三段及永安路口議改善措施

2. 改善措施成效

(1) 改善措施對車流型態與動線之影響

由於改善措施主要針對D路段之機車二段式左轉，故在此僅關注圖 6.2-3 之機車軌跡，由 D 進入之機車軌跡在改善後的二次觀察中均無二段式左轉，故本計畫判斷改善措施確實有改變車流動線。



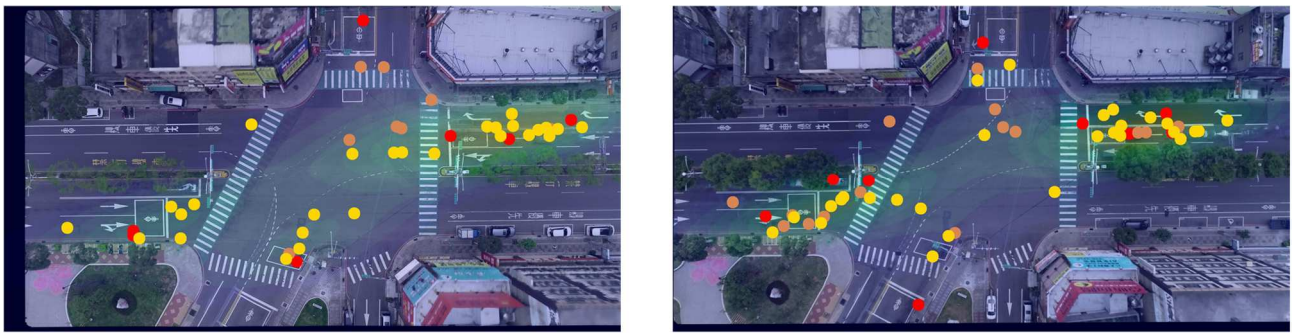
（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

資料來源：本計畫繪製

圖 6.2-3 桃園市桃園區三民路三段及永安路口D路段路段進口車輛軌跡圖

(2) 改善後衝突熱區

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並繪製如圖 6.2-4 所示。改善後二次觀察之熱區相似。



（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

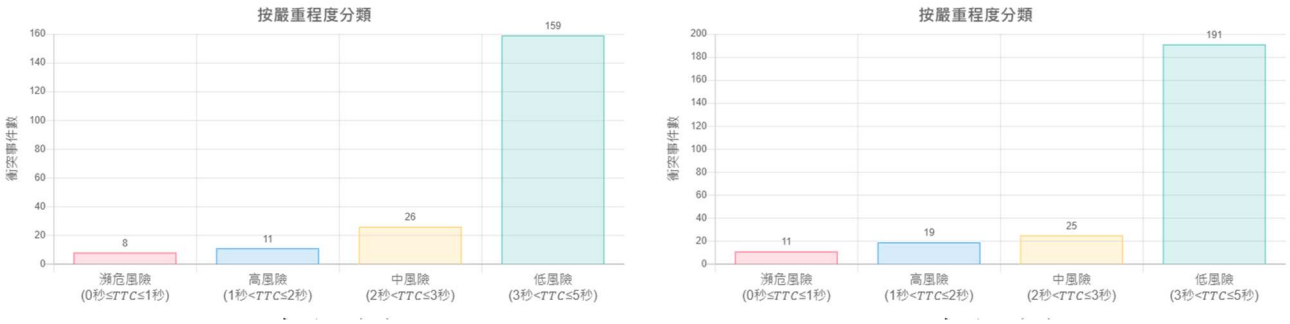
資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.2-4 桃園市桃園區三民路三段及永安路口改善後衝突熱區圖

(3) 改善後交通衝突統計摘要

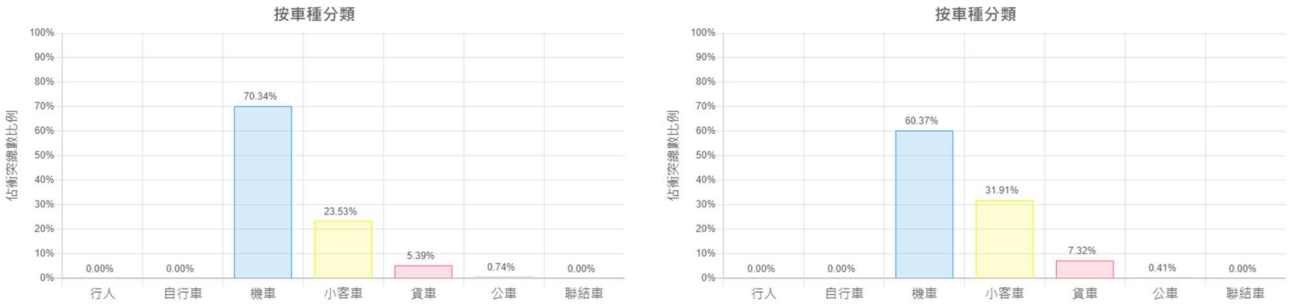
依據嚴重程度與車種分別進行統計摘要，如圖 6.2-5 與圖 6.2-6 所示，改善完前期之衝突數為 17 分鐘之影像資料，改善完 4 個月後穩定期之衝突數為 17 分鐘之影像資料。兩次調查之衝突事件頻率、嚴重程度、車種分類都十分接近，衝突事件之車種以機車及小客車為主，顯示改善完前期及 4 個月後之穩定器車流情況相似。



（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

資料來源：本計畫繪製

圖 6.2-5 桃園市桃園區三民路三段及永安路口衝突嚴重程度分類圖



（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

資料來源：本計畫繪製

圖 6.2-6 桃園市桃園區三民路三段及永安路口衝突車種分類圖

(4) 改善後交通衝突態樣

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據衝突類別統整如表 6.2-1 所示。在改善後之二次觀察中，同向直行減速衝突最多，同向變換車道衝突次多，該現象與易肇事型態為「變換車道或方向不當」相符。另外，由於三民路三段有中央分隔道，植栽之樹木對於內側車道的車流有所遮擋，導致無法確實觀察內側車道的左轉車流，也因此導致影像辨識誤判及錯誤計算左轉的相關衝突，已透過回放影片進行確認。

表 6.2-1 桃園市桃園區三民路三段及永安路口衝突態樣表

衝突類型	衝突類別	改善完前期		改善完 4 個月後穩定期	
		衝突次數	衝突次數/總交通量	衝突次數	衝突次數/總交通量
同向衝突	1.1 同向左轉跟車衝突	0	0.0000	1	0.0008
	1.2 同向右轉跟車衝突	1	0.0007	2	0.0015
	1.3 同向直行減速衝突	33	0.0238	43	0.0326
	1.4 同向變換車道衝突	3	0.0022	3	0.0023
	1.7 同向兩車左轉衝突	3	0.0022	4	0.0030
	1.8 同向兩車右轉衝突	3	0.0022	2	0.0015
對向衝突	2.1 對向左轉衝突	1	0.0007	0	0.0000
	2.4 對向左轉右轉衝突	1	0.0007	0	0.0000

註：總交通量包括路口所有車種及轉向的轉向交通量

資料來源：本計畫統整

3. 其他未改善或潛在問題

(1) 未改善之問題及原因

本路口之中、高、瀕危風險之衝突事件以同向直行減速衝突為主，其中又多來自於C路段進口車輛，如表 6.2-2 所示。

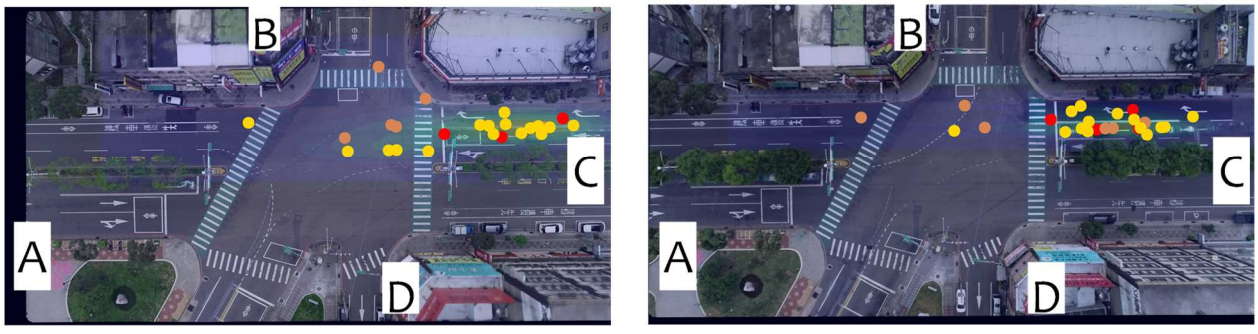
表 6.2-2 桃園市桃園區三民路三段及永安路口同向直行減速衝突進口表

進口路段	改善完前期			改善完 4 個月後穩定期		
	衝突次數	路段交通量	衝突次數/路段交通量	衝突次數	路段交通量	衝突次數/路段交通量
A	6	355	0.0169	14	429	0.0326
B	0	298	0.0000	3	227	0.0132
C	22	572	0.0385	23	477	0.0482
D	5	160	0.0313	3	188	0.0160
加總	33	1385		43	1321	

註：總交通量包括路口所有車種及轉向的轉向交通量

資料來源：本計畫統整

由 C 路段進入之同向直行減速衝突熱區如圖 6.2-7 所示產生原因有二，其一為直行車侵入最外側右轉道並向內切而產生衝突，其中直行機車較多直行汽車多；其二為直行車因前方汽車右轉減速而減速並與後車衝突。原因一與同向變換車道衝突類似，輔以由 C 路段進入之汽機車轉向軌跡（圖 6.2-8）可見確實存在最外側車道不同動向車流交織，以及鄰近路口變換車道、未依標線轉向行駛等問題。故整體而衝突態樣與易肇事型態為「變換車道或方向不當」相符，並可對應至交通安全工程改善設計範例[5] 之（同向）擦撞。

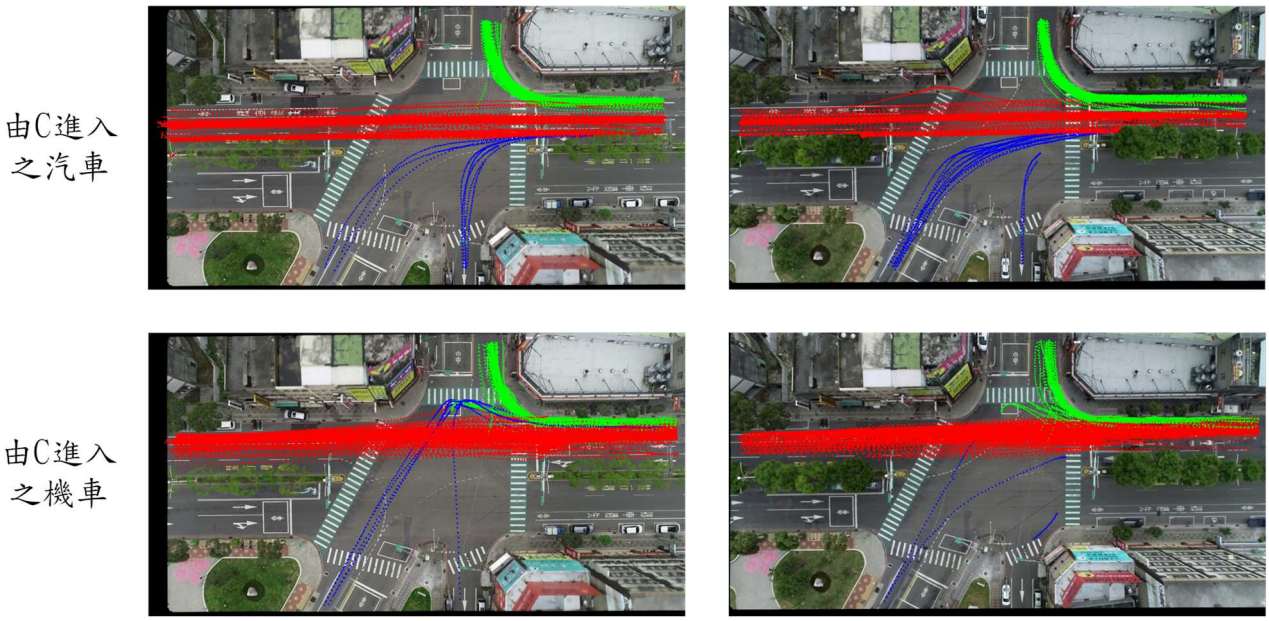


（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.2-7 桃園市桃園區三民路三段及永安路口C路段進入之同向直行減速衝突熱區圖



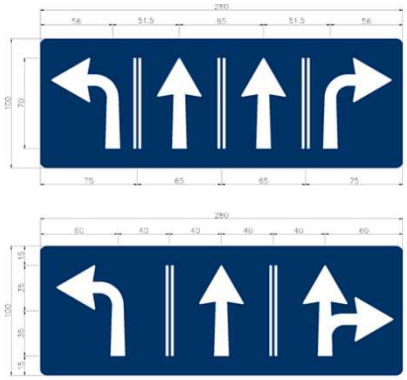
（a） 改善完前期　　（b） 改善完 4 個月後穩定期

資料來源：本計畫繪製

圖 6.2-8 桃園市桃園區三民路三段及永安路口C路段進入之車輛軌跡

(2) 建議改善方向

根據交通安全工程改善設計範例[5]，同向擦撞之可能肇因為路口上游欠缺車道指向標線、車道指示標字。針對路段銜接漸變至路口擦撞之改善策略為路口上游車道提示。當路口車流行向可左轉或是車道數為三車道以上時，建議設置如圖所示之車道預告輔助標誌，以提醒路段上之車流及早變換車道。此外，由於本路口的衝突成因涉及違反交通相關法規，本計畫亦建議有關單位加強執法，以減少違規事件的發生。



資料來源：道路交通標誌標線號誌設置規則[79]

圖 6.2-9 車道預告標誌「輔 1」

6.3 案例三：臺南市永康區中華路及勝華街口

1. 基本資料

(1) 觀測資料

改善前後拍攝日期分別為2019/8/27、2019/11/27，影像長度分別為14、18分鐘，飛行高度均為75公尺。改善前後空拍圖如圖 6.3-1所示，本路口為丁字路口。



（a） 改善前　　（b） 改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.3-1 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善前後空拍圖

(2) 肇事資料

根據第36期臺灣地區易肇事路段改善計畫[74]，106年全年A1及A2肇事記錄總計有11次肇事、 0人死亡、17人受傷，主要肇事型態為16車與車-側撞、12車與車-同向擦撞、15車與車-路口交岔撞，主要肇事原因為6　駕駛人-未依規定讓車、25駕駛人-違反號誌管制或指揮、17駕駛人-未保持行車安全間，主要肇事時段為7、9、17。其中肇事型態與原因係依據道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知[75]分類。

(3) 易肇事路段改善計畫建議措施與實際改善措施

如圖 6.3-2所示，該期改善計畫建議之改善措施為增設左彎專用道並配合增設左轉號誌及前方預告號誌1組、增設輔1標誌1面，以及配合調整標線及磨損標線補繪。實際改善項目僅有標線補繪，未有依據第36期臺灣地區易肇事路段改善計畫之建議改善措施進行施工。



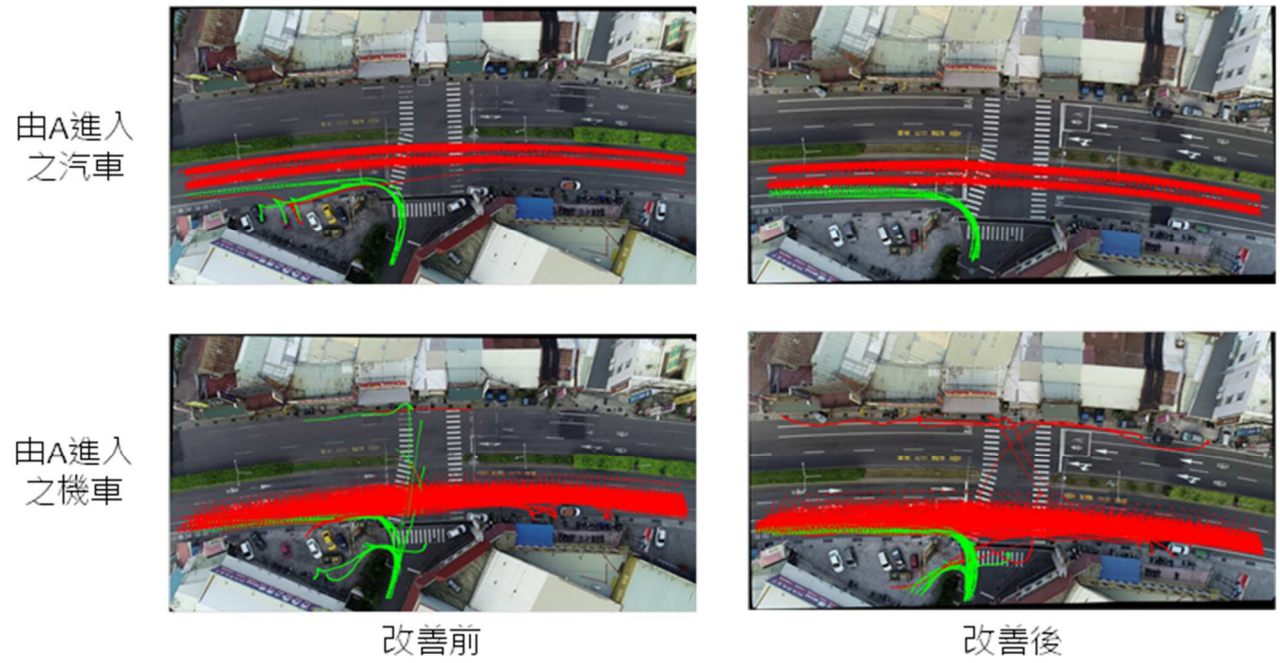
資料來源：第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[74]

圖 6.3-2 臺南市永康區中華路及勝華街路口議改善措施

2. 改善措施成效

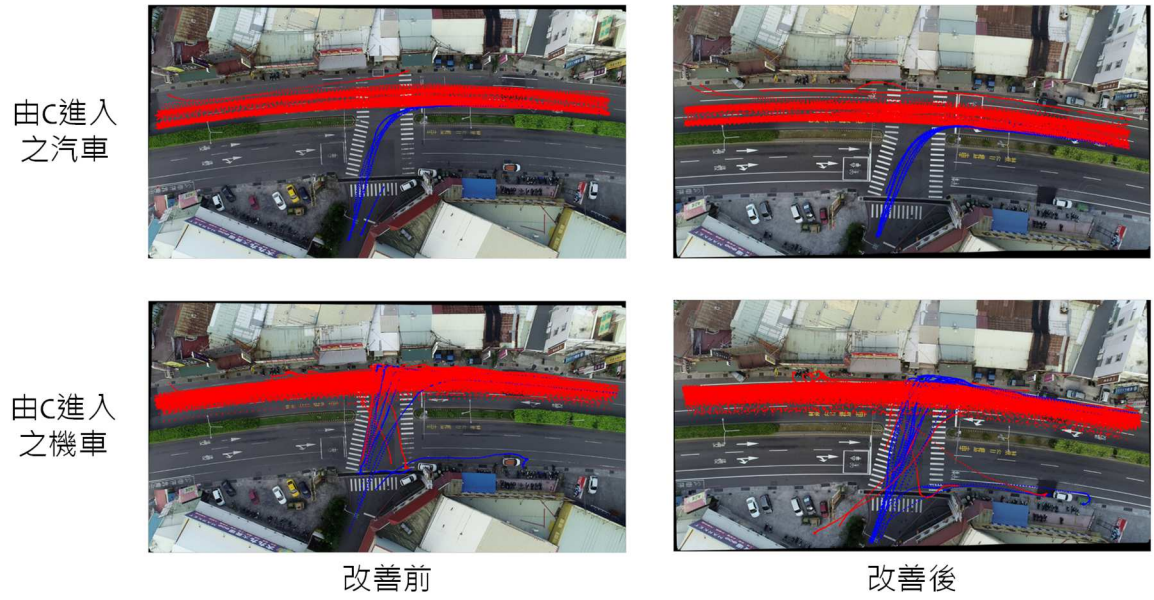
(1) 改善措施對車流型態與動線之影響

依目前的改善項目進行分析，A 與 C 路段車流型態與動線改變均不大，如圖 6.3-3 及圖 6.3-4；D 路段改善後觀察到較多交通量，並且左轉機車軌跡變異較大，如圖 6.3-5 所示，但交通量的增加應與改善措施（亦即補繪標線）無關。



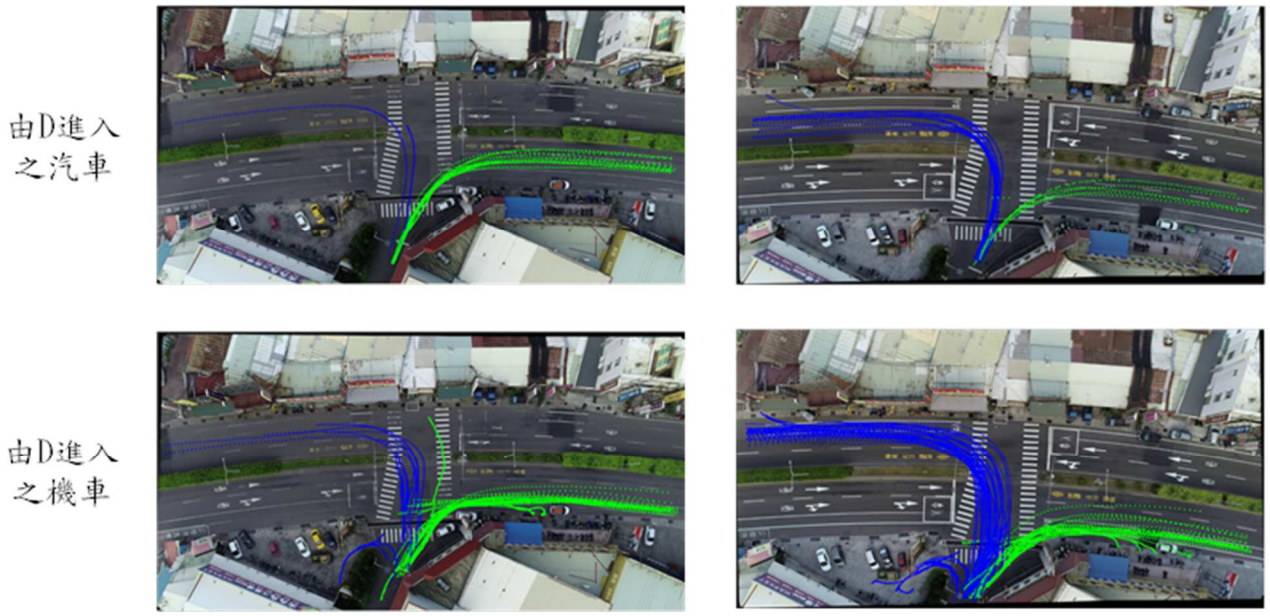
資料來源：本計畫繪製

圖 6.3-3 臺南市永康區中華路及勝華街路口 A路段進入之車輛軌跡圖



資料來源：本計畫繪製

圖 6.3-4 臺南市永康區中華路及勝華街路C路段進入之車輛軌跡圖



資料來源：本計畫繪製

圖 6.3-5 臺南市永康區中華路及勝華街路口D路段進入之車輛軌跡圖

(2) 改善前後衝突熱區

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並繪製如圖 6.3-6 所示。改善前後熱區差異不大，改善後衝突事件數稍減。



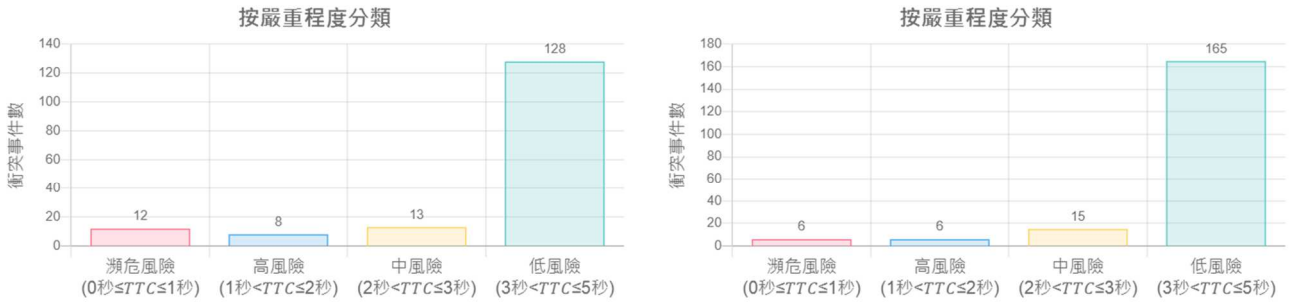
資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.3-6 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善前後衝突熱區圖

(3) 改善前後交通衝突統計摘要

在此僅考慮二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據嚴重程度（所有風險等級均考慮）與車種分別進行統計摘要，如圖 6.3-7 與圖 6.3-8 所示，改善前之衝突數為 14 分鐘之影像資料，改善後之衝突數為 18 分鐘之影像資料。改善前後嚴重程度差異不大、車種均以機車為主，改善後衝突事件數稍減。



改善前　　改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.3-7 臺南市永康區中華路及勝華街路口衝突嚴重程度分類圖



改善前　　改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.3-8 臺南市永康區中華路及勝華街路口衝突車種分類圖

(4) 改善前後交通衝突態樣

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據衝突類別統整如表 6.3-1 所示。透過衝突數顯示，經標線補繪後同向變換車道衝突問題受到改善。惟改善後同向兩車左轉衝突增

加。

表 6.3-1 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善前後衝突態樣表

衝突類型	衝突類別	改善前		改善後	
		衝突次數	衝突次數/總交通量	衝突次數	衝突次數/總交通量
同向衝突	1.2 同向右轉跟車衝突	0	0.0000	2	0.0014
	1.3 同向直行減速衝突	28	0.0208	20	0.0136
	1.4 同向變換車道衝突	3	0.0022	0	0.0000
	1.7 同向兩車左轉衝突	1	0.0007	4	0.0027
	1.8 同向兩車右轉衝突	1	0.0007	0	0.0000

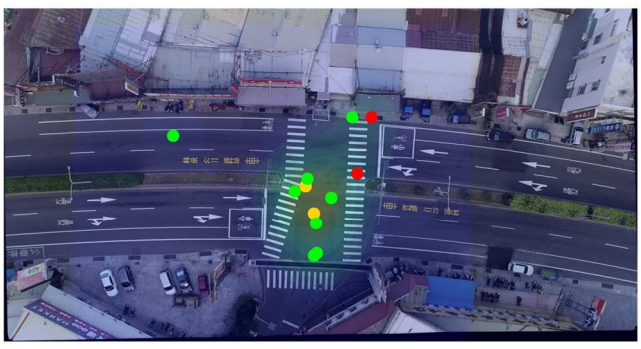
註：總交通量包括路口所有車種及轉向的轉向交通量

資料來源：本計畫統整

3. 其他未改善或潛在問題

(1) 未改善之問題及原因

深入考察後發現兩個未改善問題。問題一是由所有改善後增加之同向兩車左轉衝突（亦即包括所有風險等級之衝突），可發現其主要由 D 路段(勝華街)進入路口，如圖 6.3-9 所示。問題二是針對尚未改善之易肇事分析的建議措施是否尚有必要性，相關分析如圖 6.3-10 所示，可看出左轉車流有阻擋直線車流的情形，而該直進方向尚有很多低風險的交通衝突。



改善後所有同向兩車左轉衝突



改善後由D路段進入之同向兩車左轉衝突

資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.3-9 臺南市永康區中華路及勝華街路口改善後同向兩車左轉衝突熱區圖



（a） C 路段（臺 1 線北向車流）之交通衝突



（b） 左轉車流阻擋直進車流



（c） 左轉車流軌跡圖



（d）直進車流軌跡

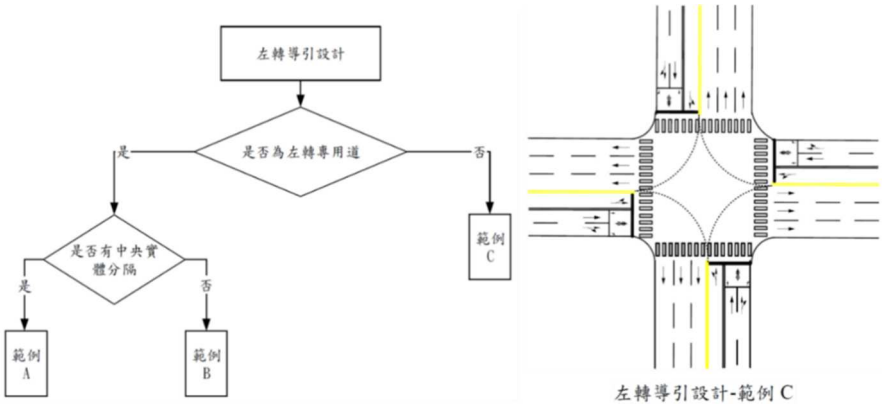
資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.3-10 臺南市永康區中華路及勝華街路口臺1線北向車流之潛在問題

(2) 建議改善方向

針對問題一，同向兩車左轉衝突對應之肇事型態為同向左轉擦撞，根據交通安全工程改善設計範例[5]，擦撞之可能肇因，建議可透過「左轉導引設計」之範例 C 加以改善，如圖 6.3-11 所示。對於問題二，建議參考易肇事分析的改善措施，補充增設左彎專用道，如圖 6.3-2。



資料來源：交通安全工程改善設計範例[5]

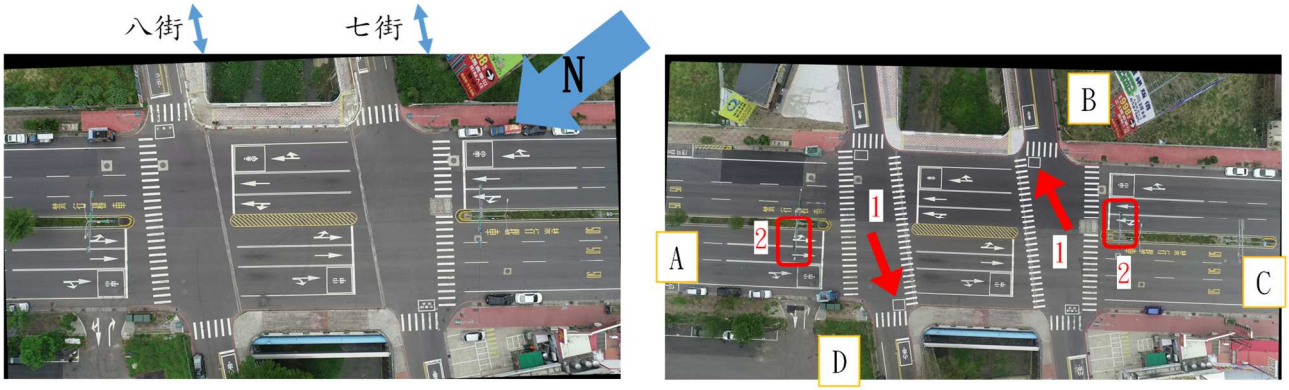
圖 6.3-11 左轉導引設計流程與範例C

6.4 案例四：新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口

1. 基本資料

(1) 觀測資料

改善前後拍攝日期分別為 2019/5/14、2019/12/17，影像長度約為 17 分鐘，飛行高度約為 90 公尺。改善前後空拍圖如圖 6.4-1 所示，該路口為由二個緊鄰之十字路口組成之特殊六向路口，主要幹道為自強北路。本計畫將自強北路西南側與東北側路段分別編號為 A 與 C 路段，自強七、八街西北側路段編號為 B，自強七、八街東南側路段編號為 D。



改善前　　改善後

資料來源：本計畫繪製

圖 6.4-1 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後空拍圖

(2) 肇事資料

根據第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[74]，106 年全年 A1 及 A2 肇事記錄總計有 9 次肇事　、0 人死亡、10 人受傷，主要肇事型態為 1 人與汽（機）車-對象通行中、12 車與車-同向擦撞、16 車與車-側撞，主要肇事原因為 6 駕駛人-未依規定讓車、9 駕駛人-右轉未依規定、17 駕駛人-未保持行車安全間隔，主要肇事時段為 6、13、18。其中肇事型態與原因係依據道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知[75]分類。

(3) 易肇事路段改善計畫建議措施與實際改善措施

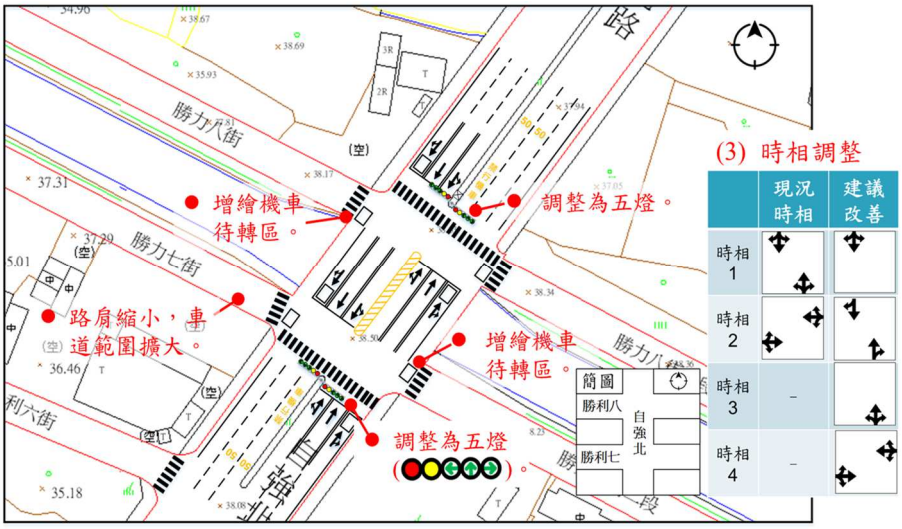
如圖 6.4-2 所示，該期改善計畫建議之改善措施為以下四點：

① 標線調整（增繪機車待轉區，勝利七街西端車道擴大、路肩縮小）

② 號誌改善（三燈調整為五燈）

③ 路口時相改善，評估幹道早開遲閉可行性

④ 黃燈、全紅秒數再檢討。



資料來源：第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫[74]

圖 6.4-2 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口建議改善措施

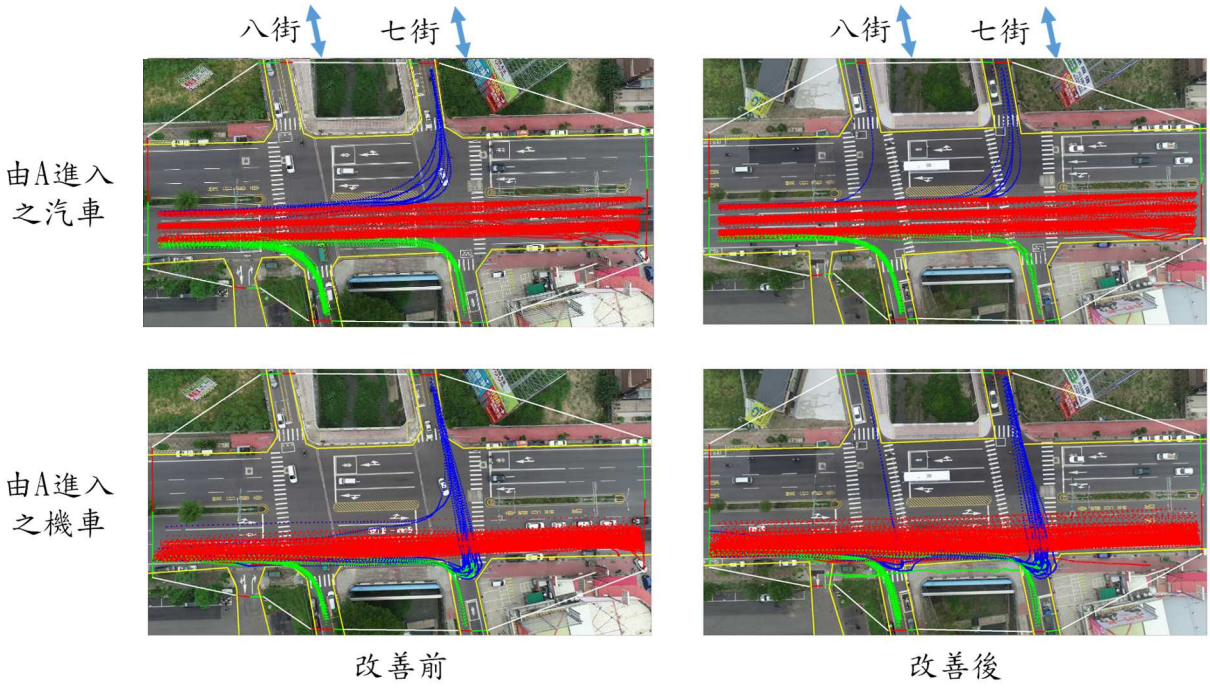
本計畫觀察到的實際改善項目有二，其一為增繪機車待轉區，如圖 6.4-1 箭頭處所示；其二為自強北路號誌自三燈調整為五燈（透過比較 19 年 2 月與 20 年 9 月 Google 街景確認），如圖 6.4-1 框格處所示，實際改善措施與建議措施相符。

2. 改善措施成效

(1) 改善措施對車流型態與動線之影響

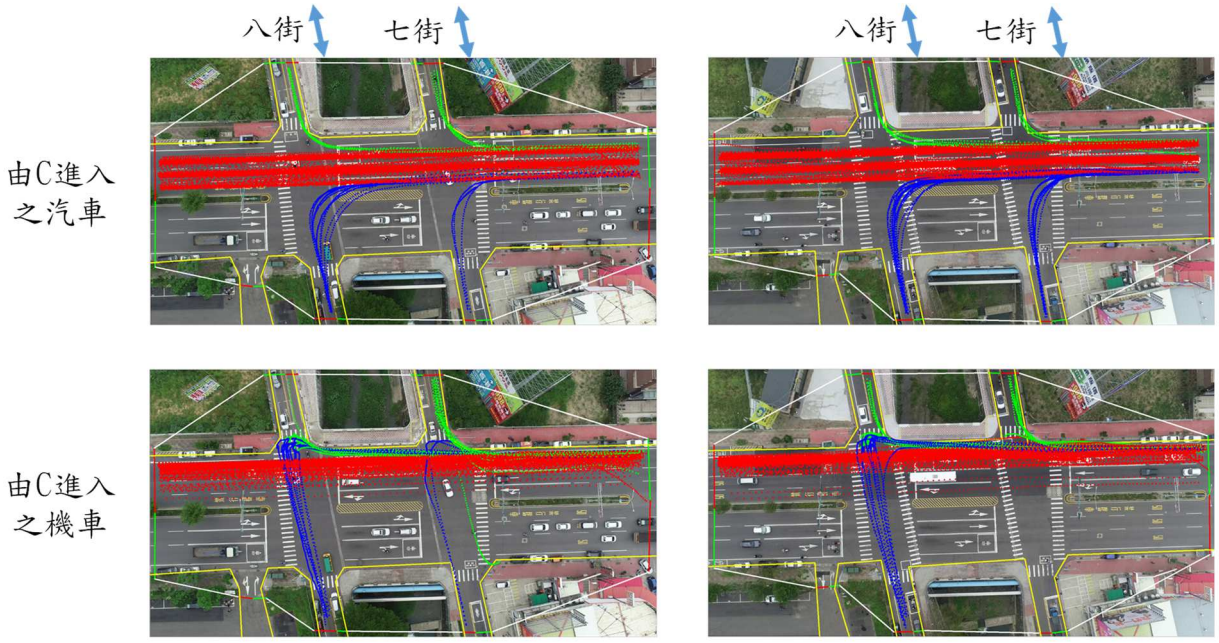
由於改善措施主要針對由自強北路進入路口之左轉機車增繪待轉區（A 路段進口機車左轉勝利八街，以及 C 路段進口機車左轉勝利七街），故在此僅探討由 A 與 C 路段進入之車流型態與動線受到的影響。圖 6.4-3 為本路口改善前後由 A 路段進入之車輛軌跡圖，改善前未觀察到左轉至勝利八街機車，故無法判斷改善前機車是否會直接左轉，但改善後機車

確實如路口標線設計進行二段式左轉。圖 6.4-3 為本路口改善前後由 C 路段進入之車輛軌跡圖，改善前已有觀察到二段左轉至勝利七街之機車，但改善後未觀察到左轉至勝利七街之車流。整體而言，無論是 A 或 C 路段進口機車改善前後均採二段式進行左轉，故可推論增繪待轉區可在機車駕駛進行二段式左轉時提供一個較明確的停等區域。



資料來源：本計畫繪製

圖 6.4-3 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後A路段進口車輛軌跡圖



資料來源：本計畫繪製

圖 6.4-4 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後C路段進口車輛軌跡圖

(2) 改善前後衝突熱區

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並繪製如資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.4-5 所示。改善後衝總數突增加，增加區域分布於 A 與 C 路段（即自強北路）外側車道處。



資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.4-5 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後衝突熱區圖

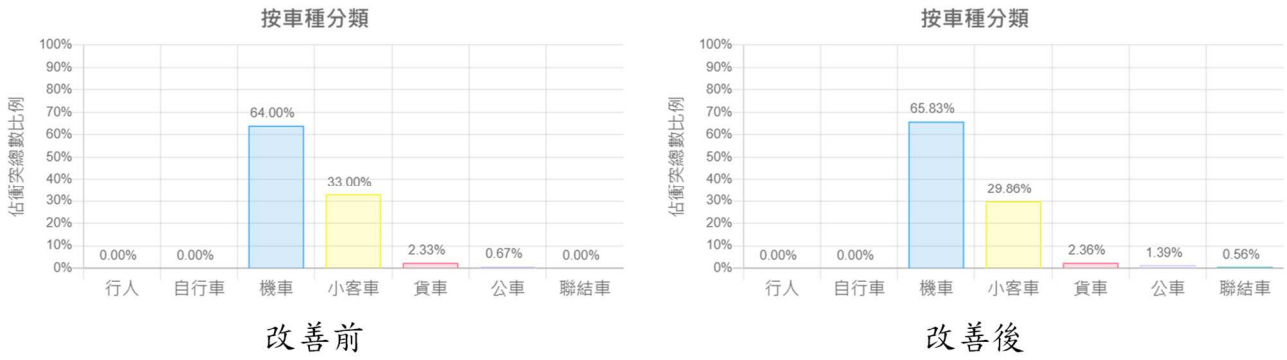
(3) 改善前後交通衝突統計摘要

在此僅考慮二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據嚴重程度與車種分別進行統計摘要，如圖 6.4-6 與圖 6.4-7 所示，改善前之衝突數為 17 分鐘之影像資料，改善後之衝突數為 17 分鐘之影像資料。改善前後嚴重程度分布差異不大、車種均以機車為主，但改善後衝突事件數有所增加。其中一個原因可能是改善後現場調查的車流量較改善前稍多，改善前、後的所有方向及車種之車流量總計分別為 1431 及 1554 輛。



資料來源：本計畫繪製

圖 6.4-6 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口衝突嚴重程度分類圖



資料來源：本計畫繪製

圖 6.4-7 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口衝突車種分類圖

(4) 改善前後交通衝突態樣

在此僅考慮中、高、瀕危風險且二車最大速度大於時速 10 公里之衝突事件，並依據衝突類別統整如表 6.4-1 所示。本案例路口改善前後衝突態樣沒有變化，均以同向直行減速衝突為主，但在數量方面改善後同向直行減速衝突數增加。

表 6.4-1 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善前後衝突態樣表

衝突類型	衝突類別		改善前		改善後	
			衝突次數	衝突次數/總交通量	衝突次數	衝突次數/總交通量
同向衝突	1.1	同向左轉跟車衝突	1	0.0007	2	0.0013
	1.2	同向右轉跟車衝突	1	0.0007	7	0.0045
	1.3	同向直行減速衝突	14	0.0098	49	0.0315
	1.4	同向變換車道衝突	3	0.0021	8	0.0051
	1.5	兩車左轉切入衝突	0	0.0000	2	0.0013
	1.6	兩車右轉切入衝突	1	0.0007	0	0.0000
	1.7	同向兩車左轉衝突	3	0.0021	5	0.0032
	1.8	同向兩車右轉衝突	1	0.0007	0	0.0000
對向衝突	2.1	對向左轉衝突	0	0.0000	4	0.0026
	2.4	對向左轉右轉衝突	1	0.0007	2	0.0013
穿越衝突	3.2	右轉穿越衝突(右側)	2	0.0014	2	0.0013
	3.4	左轉穿越衝突(左側)	6	0.0042	6	0.0039
其他衝突			0	0.0000	1	0.0006

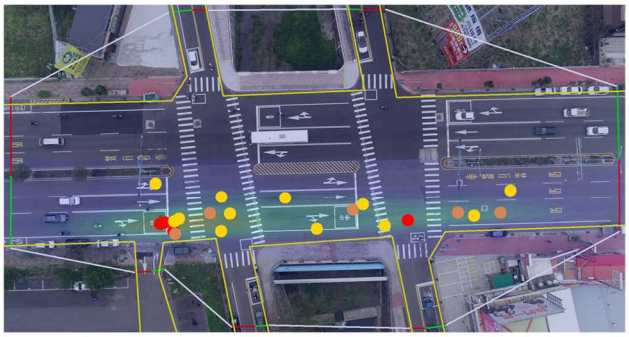
註：總交通量包括路口所有車種及轉向的轉向交通量

資料來源：本計畫統整

3. 其他未改善或潛在問題

(1) 未改善之問題及原因

如前述表 6.4-1 所示，本路口改善前均以同向直行減速衝突為主，但由於改善後衝突數較多，故針對改善後之交通安全問題進行探討。其中，改善後由 A 至 D 路段進入之同向直行減速衝突分別為 22、2、23、2 件，明顯由路段 A 與 C 佔多數，故繪製其衝突熱區圖。如圖 6.4-8 所示，該類型衝突多位於最外側直行與右轉混流車道，經回放影像後發現為右轉車輛減速造成後車迴避而產生衝突。



改善後A路段進口



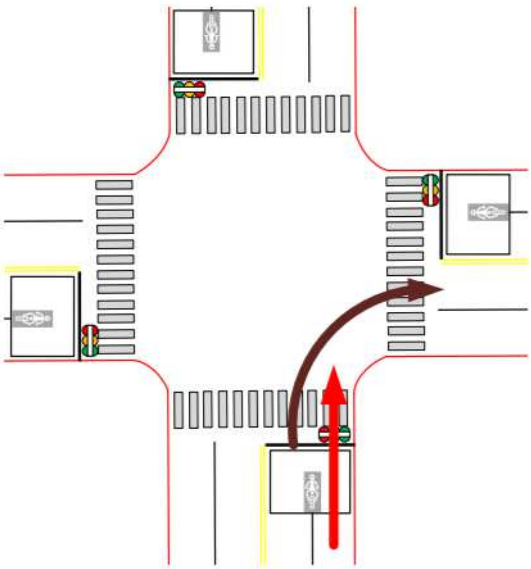
改善後C路段進口

資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 6.4-8 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口改善後同向直行減速衝突熱區圖

理論上同向直行減速衝突應對應至追撞，而交通安全工程改善設計範例[4]歸納追撞可能肇因有以下五點：[1]黃燈秒數不足、[2]號誌燈面位置設計不當、[3]號誌燈數量不足、[4]號誌位置未與停止線一致、[5]停止線離路緣太遠造成路口過大，但本路口情境為不同車種、不同轉向之車輛混合車道於同一車道而產生衝突，追撞肇因相似度低。反之，右轉側撞（如圖 6.4-9 所示）肇因與本路口情境較接近，根據交通安全工程改善設計範例[5]，右轉側撞之可能肇因為駕駛在直行穿越路口的過程中，因右轉機動車未能於接近路口的過程中靠右行駛，而造成直行機動車與右轉機動車產生衝突。

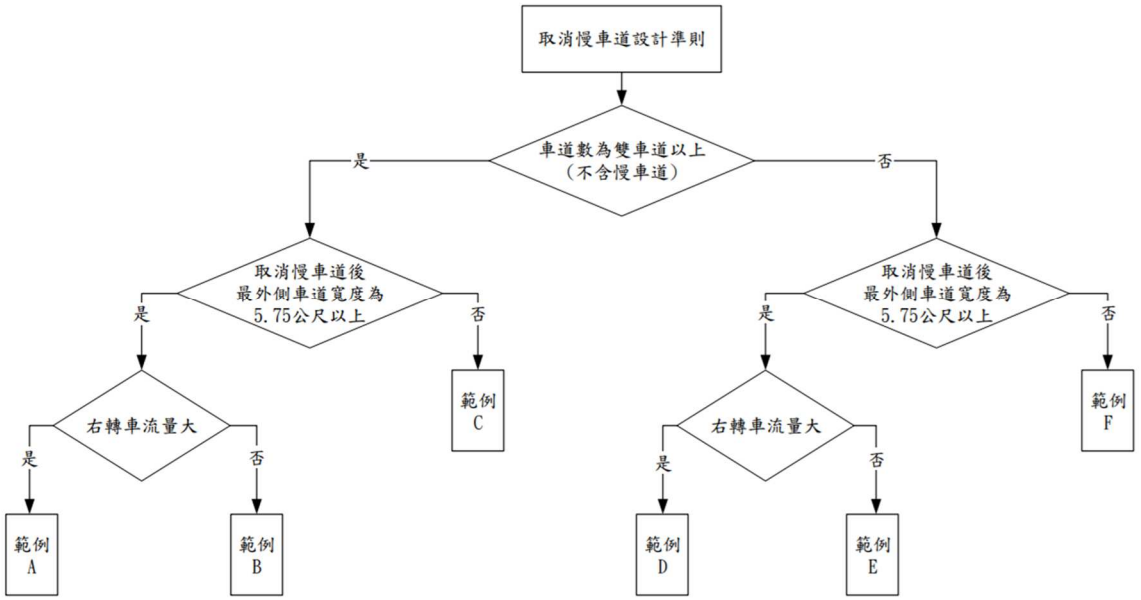


資料來源：交通安全工程改善設計範例[5]

圖 6.4-9 右轉側撞

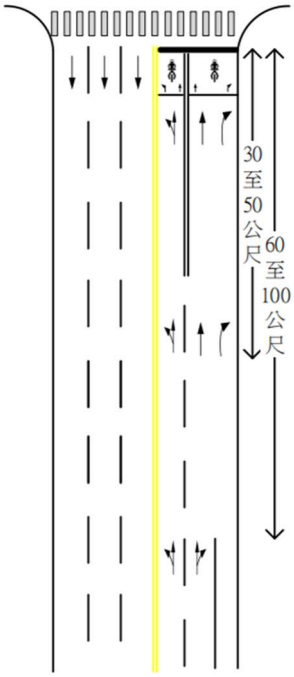
(2) 建議改善方向

交通安全工程改善設計範例[5]針對右轉側撞提出之改善策略有以下三點(1)鄰近路口取消慢車道、(2)停等區分流及、(3)快慢實體分隔之快車道右轉管制。由於本路口無快慢實體分隔，故策略(3)不適用，餘下二種之中，本計畫建議採策略(1)取消慢車道設計準則。儘管本路口自強北路已無慢車道，但該設計準則中針對外側車道直行與右轉分流之設計適合本路口，換句話說可將本路口自強北路視為已取消慢車道但並未處理混流問題。根據圖 6.4-10 之取消慢車道設計準則，由於本路口為雙車道以上、最外側車道寬度不足 5.75 公尺（透過 Google 衛星量測）、右轉流量不大（透過軌跡圖判斷），故應採範例 C 促使車輛分流以進行改善，如圖 6.4-11 所示。



資料來源：交通安全工程改善設計範例[5]

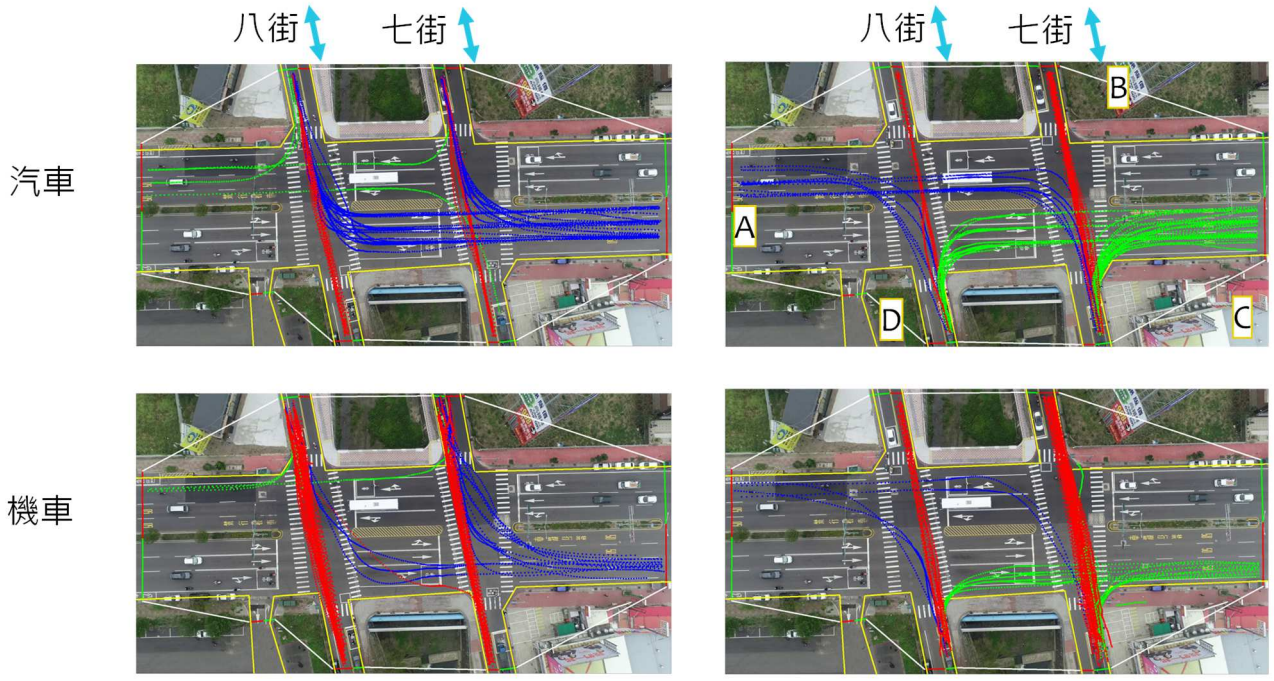
圖 6.4-10 取消慢車道設計準則



資料來源：交通安全工程改善設計範例[5]

圖 6.4-11 取消慢車道設計準則範例C

本案例路口屬於特殊六向路口，依目前軟體功能可進行一些分析工作，但不算十分全面，而直觀上可考慮將此路口分為 2 個四向路口進行分析。但經團隊測試後，發現兩路口之距離太短，以致於車輛由一路口轉入至目標車道時會跨越其他車道，動線較為混亂，顯示兩個路口之間的車流動線有關聯性，如圖 6.4-12 所示，因此不建議以 2 個獨立路口進行分析。因本分析軟體的設計主要以四向路口為基礎，此特殊六向路口未來可依據專案需求進行軟體擴充處理。



資料來源：本計畫繪製

圖 6.4-12 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口B、D路段進入之車流軌跡圖

第七章 交通安全及行為分析

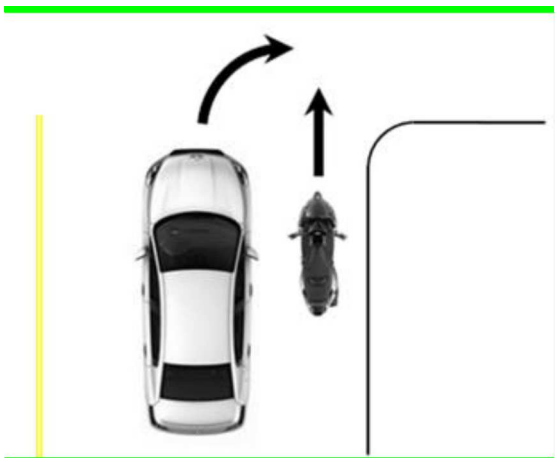
本專案開發之車流軌跡分析技術，除了能夠進行交通衝突分析外，尚有很大潛力能用於解決其他的交通應用情境議題。本章節提出兩個交通安全及行為分析進行初探，包括(1)分流式指向線的效益評估、(2) 非號誌化路口資料蒐集。

分流式指向線的效益評估除了進行交通衝突分析外，採用車流軌跡圖、車道使用分佈等方式量化汽機車的交通行為，評估分流式指向線實施後的是否有達到預期的成效。非號誌化路口資料蒐集，則運用路口的車流軌跡，判斷各轉向的交通量、車種、平均車速及車速分布，解決現場人工調查方式難以記錄每一台車輛的車速資訊等問題。

7.1 分流式指向線效益評估

7.1.1 分流式指向線

本節參考許添本等人[76]針對「於直行與右轉共用車道中直行機車與右轉汽車之混合車流行為」議題所提出之「分流式指向線」，進行效益評估分析。分流式指向線繪設於路口上游處，旨在提醒右轉之汽機車駕駛人提前靠車道右側行駛，直行之汽機車靠車道左側或於左側直行車道行駛，以避免如圖 7.1-1 所示之汽機車衝突。



資料來源：[76]

圖 7.1-1 汽機車衝突示意圖

效益評估分析方面，除了探討原研究[76]的三個可量化的分析指標外，本計畫加入車流軌跡動線圖、車輛橫向分布圖，以視覺化不同車種的交通行為。另因本計畫的方法能取得全部的車流軌跡，因此可計算車流由上游至下游各個斷面之行為變化，強化分析結果。

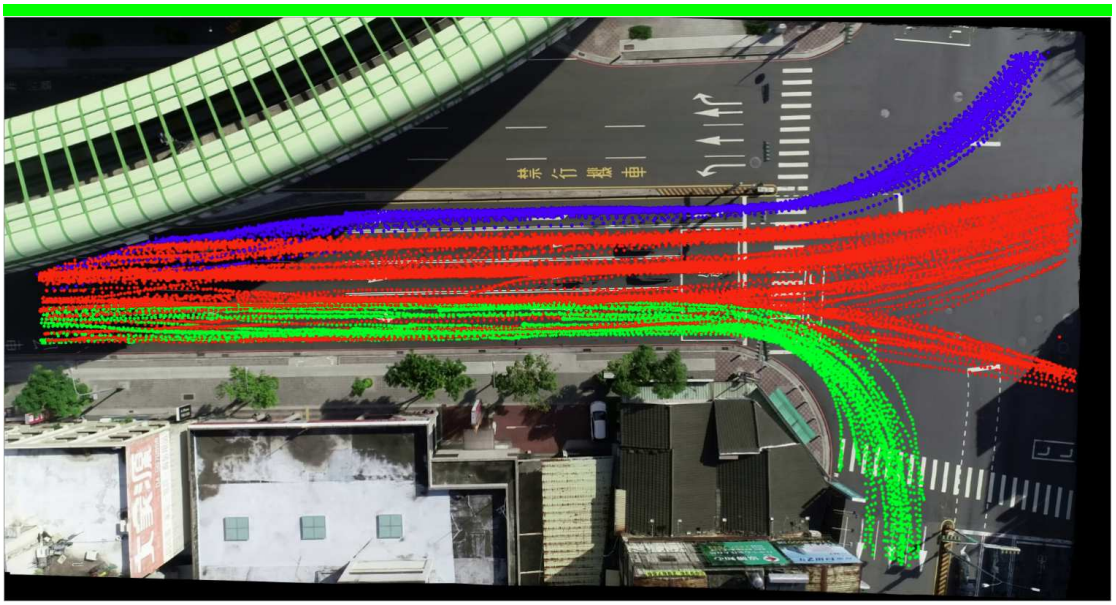
本計畫選定[76]的其中一個範例路口「臺中市北屯太原路口西側」做為分析實驗分析地點。由於本計畫進行時該路口分流式指向線以畫設完畢，故僅單純針對現行交通行為進行分析，並與[76]之改善後分析結果進行比較。該研究的分析方法有以下三個指標：

1. 指標一：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離
2. 指標二：潛在衝突指標
3. 指標三：右轉汽車與直行機車之衝突事件數與衝突秒數。

本計畫在進行原研究[76]指標 1 與 2 之分析前額外繪製整體車流軌跡圖，以呈現整體交通行為之態樣。資料蒐集方面，原研究[76]採高樓路側攝影並針對晨峰進行 1 小時觀測，本計畫則採無人機俯視攝影針對晨峰進行 13 分鐘拍攝，影像資料量約為 [76]之四分之一。

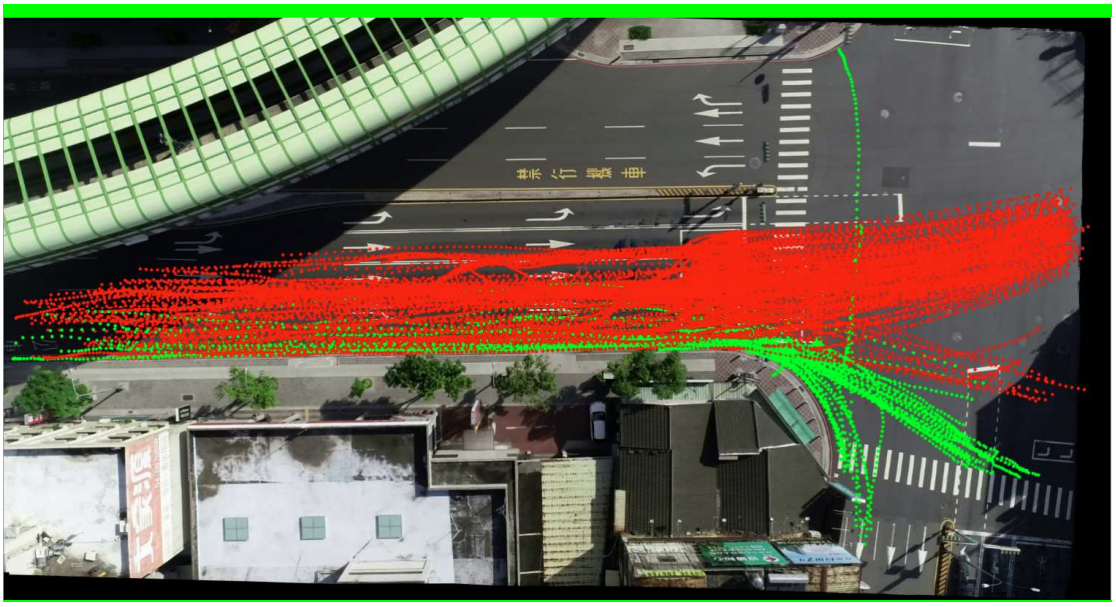
7.1.2 車流軌跡圖

本計畫將車種區分為「汽車（小型車或大型車）」與「機車」二種繪製軌跡圖。其中圖 7.1-2 之「藍色」、「紅色」、「綠色」軌跡分別為「左轉」、「直行」、「右轉」汽車；圖 7.1-3 之「紅色」、「綠色」軌跡分別為「直行」、「右轉與二段式左轉」機車。汽車方面，由於本路口為五岔路，故由圖 7.1-2 可以看見直進車輛最終分成二股車流，並且右轉車均於最外側車道進行右轉。機車方面，由於本路口西側需二段式左轉，故無藍色直接左轉軌跡。由於機車紅、綠軌跡互相遮擋不易辨識，故將機車綠色軌跡獨立繪製成圖 7.1-4，由該圖可以看到右轉與二段式左轉機車主要位於最外側車道，僅少數跨越雙白線進入外側第二直行車道，而垂直畫面的一條軌跡線應為程式判斷錯誤。綜合汽機車比較，可以發現汽車車道化行駛較為明顯，亦即汽車行駛分布較聚集於車道中而機車則是橫向分布較均勻。最後，圖 7.1-5 之「紅色」、「綠色」軌跡分別為「直行機車」、「右轉汽車」，可以看到二者有相當程度的重疊。



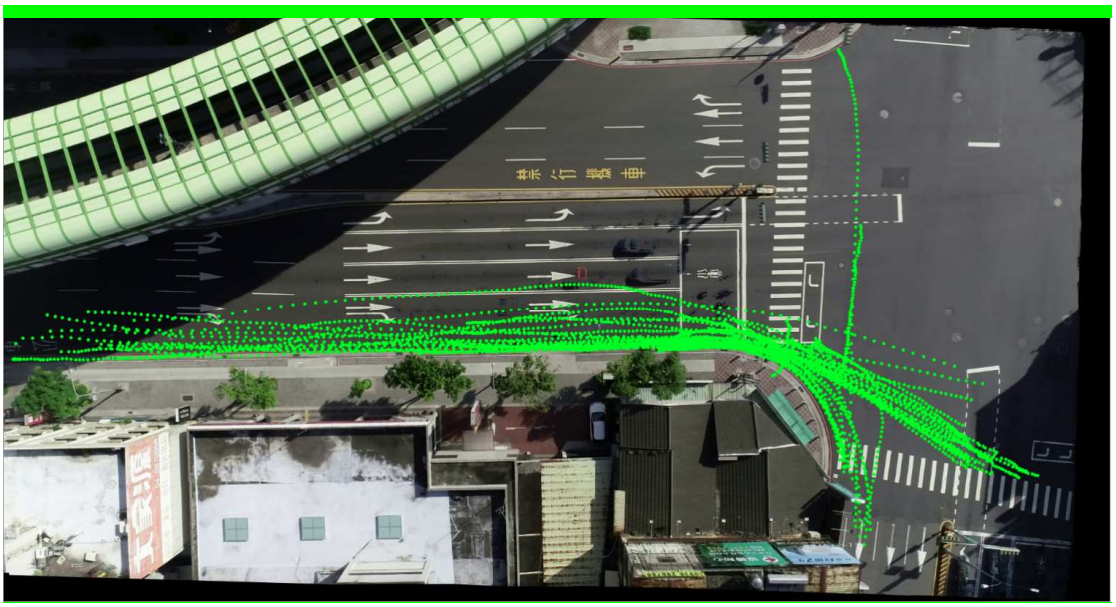
資料來源：本計畫繪製

圖 7.1-2 汽車車流軌跡圖



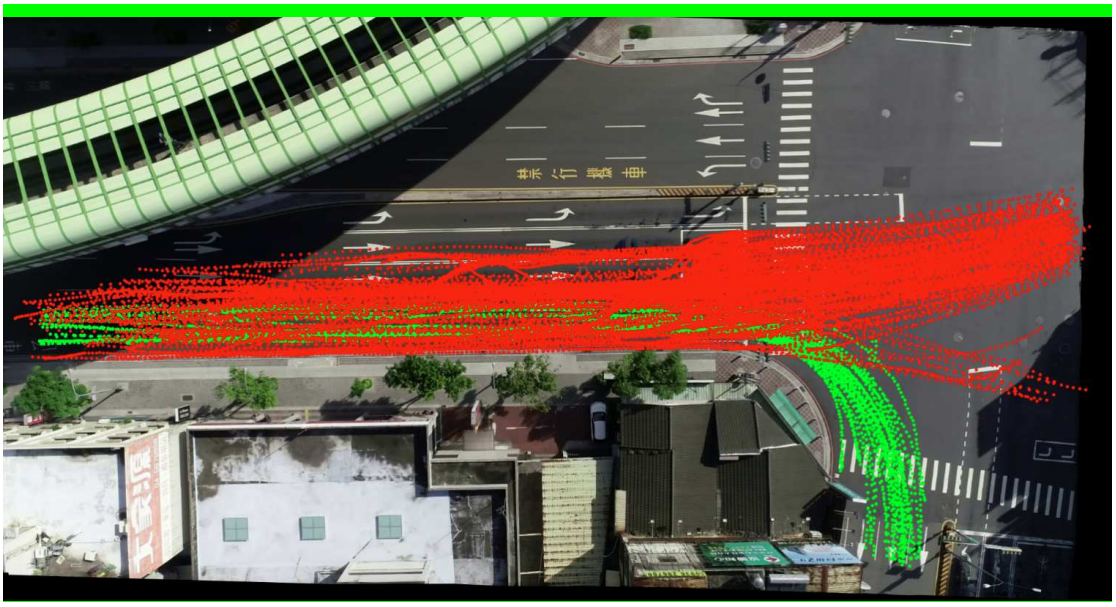
資料來源：本計畫繪製

圖 7.1-3 機車車流軌跡圖



資料來源：本計畫繪製

圖 7.1-4 機車車流軌跡圖（右轉）



資料來源：本計畫繪製

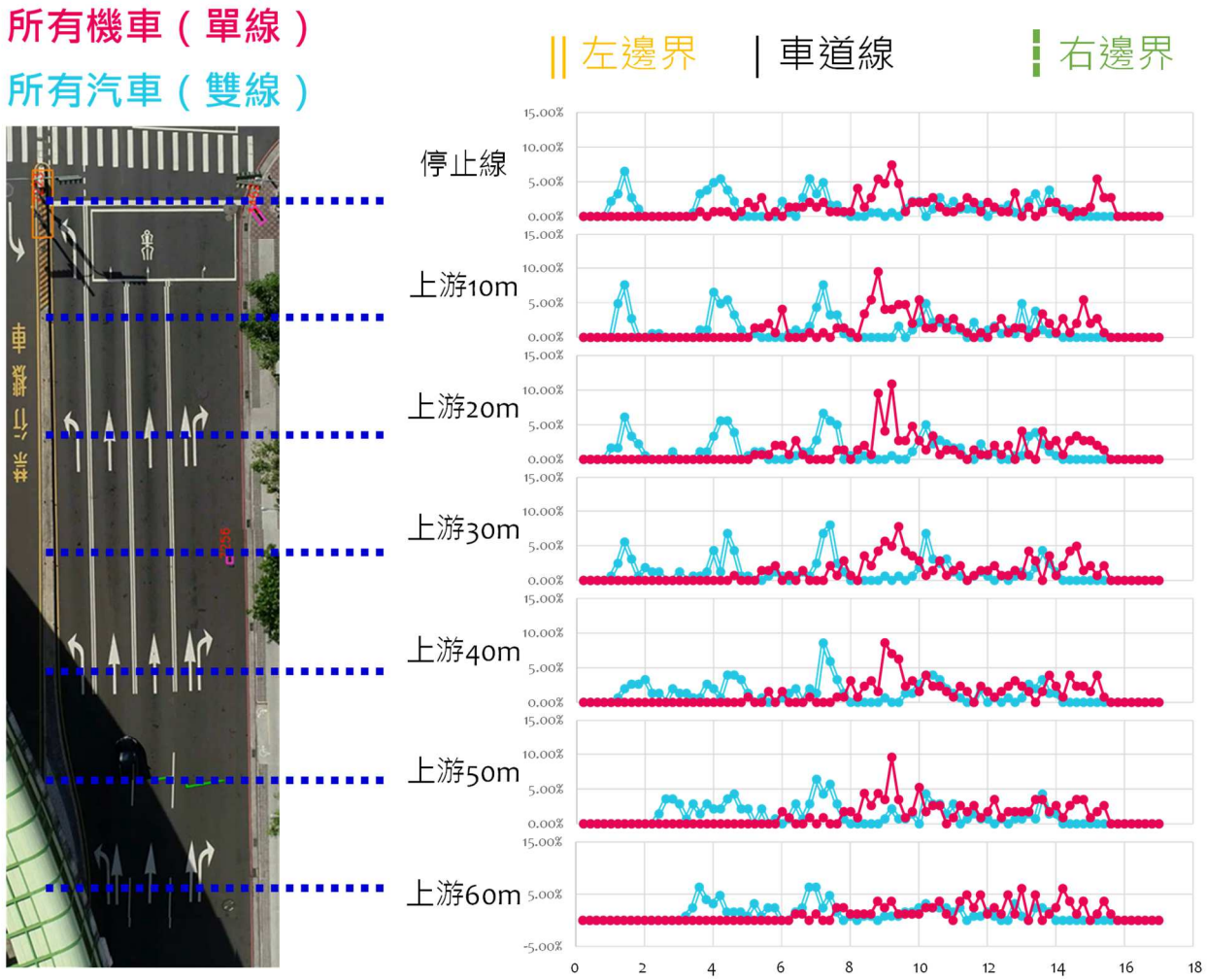
圖 7.1-5 汽車右轉與機車直行之車流軌跡圖

7.1.3 車輛橫向分布圖

原研究[76]由直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離來判斷分流指向線改善績效，離邊線距離越小代表車輛越靠右側行駛；距離越大則代表車輛越靠左側行駛，若直行機車越靠左且右轉機車越靠右則越不易產生衝突。原研究在停止線、停止線上游 30 公尺、停止線上游 60 公尺共三處各取一斷面，將各斷面以每 0.5

公尺做為一區間計算各區間累積通過車輛數。本計畫將精細度提高，由停止線起往上游每 10m 取一斷面直到停止線上游 60 公尺，再以每 0.2m 一區間計算各斷面上各區間累積通過車輛百分比。由圖 7.1-6 可以再次證實汽車車道化行駛程度較機車為高。此外，機車於上游處多聚集於外側，越往下游會越往內側擴散，但幾乎不會行駛內側直行車道，而最內側左轉車道則是無觀察到機車行駛。

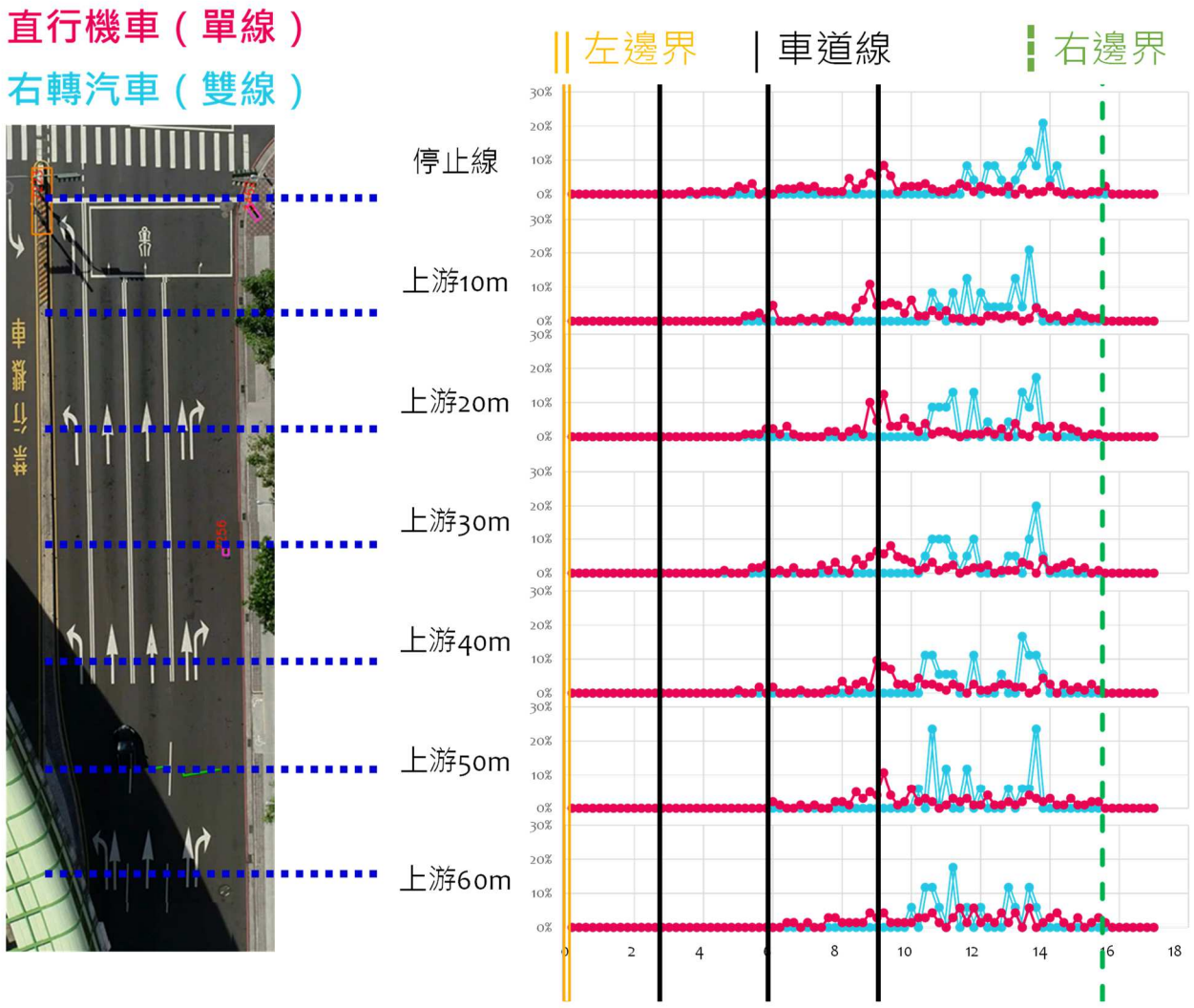
圖 7.1-6 顯示車流通過各斷面的行駛位置分布，橫軸代表斷面之橫向位置，縱軸代表全部汽車、全部機車採用該橫向位置之之百分比，由圖中可以再次證實汽車車道化行駛程度較機車為高。此外，機車於上游處多聚集於外側，越往下游會越往內側擴散，但幾乎不會行駛內側直行車道，而最內側左轉車道則是無觀察到機車行駛。



資料來源：本計畫繪製

圖 7.1-6 所有車輛之行駛位置分布

進一步探討右轉汽車、直行機車所產生之衝突，圖 7.1-7 顯示車流通過各斷面的行駛位置分布，橫軸代表斷面之橫向位置，縱軸代表右轉汽車、直行機車採用該橫向位置之之百分比，由圖中可以發現，直行機車越往下游距離右側邊界越遠，而右轉汽車越往下游確實有向外側聚集，亦即越下游靠近停止線處直行機車與右轉汽車之交織程度較上游為低。

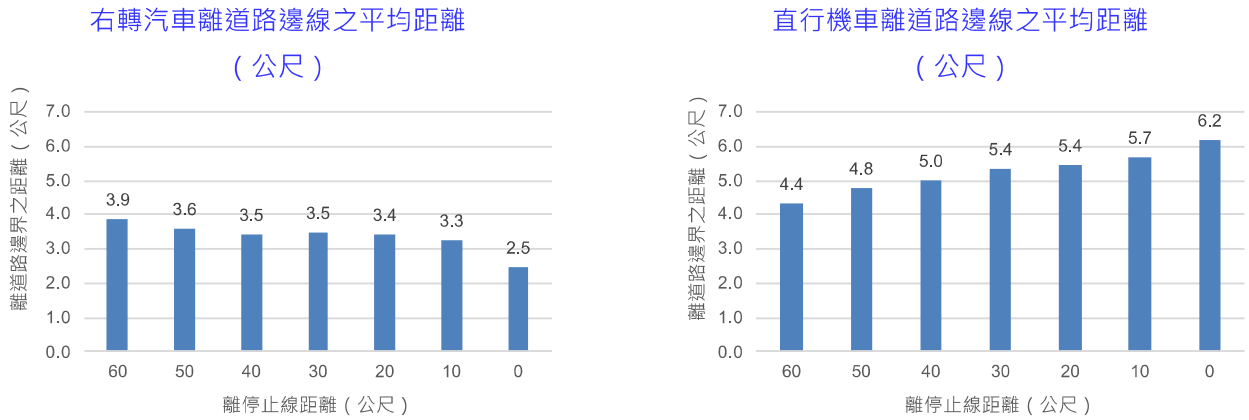


資料來源：本計畫繪製

圖7.1-7 直行機車與右轉汽車之行駛位置分布

7.1.4 指標一：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離

透過車輛橫向分布圖，可計算各車種在通過路上各斷面時與邊線距離之變化。右轉汽車與直行機車離道路邊緣之平均距離如圖 7.1-8 所示，進一步量化圖 7.1-7 的行駛位置分布，右轉汽車越往下游停止線越靠外側行駛，直行機車越往下游停止線會遠離右側邊界。



*距離之計算方式為右側邊緣與車輛中心點之間距

資料來源：本計畫繪製

圖7.1-8 直行機車與右轉汽車與道路邊線之平均距離

7.1.5 指標二：潛在衝突

本指標旨在探討右轉車輛與與其外側之直行機車併行之潛在衝突。以下說明引用原研究[76]對於潛在衝突指標之計算方式：「路口潛在衝突可由右轉車位置與直行車位置判斷，當右轉車行駛時其右側有足夠空間容納直行機車，此時直行機車即有機會行駛於右轉車的右側而形成潛在衝突。右轉車輛與直行機車併行，所需最小寬度從汽車中心至路緣約 2.5 公尺(含汽車寬度一半 1 公尺、機車離汽車、機車離路緣行駛間所需淨間距各 0.4 公尺、機車寬度 0.7 公尺)。由此可假定，若汽車行駛之車輛中心點與路緣之間距大於 2.5 公尺，則機車可於該汽車之右側併行，即有右轉側撞肇事之可能性。因此本計畫定義汽車右轉潛在衝突位置範圍從車道最左側起至路緣左側 2.5 公尺止，汽車右轉安全範圍則為汽車中心點至路緣約 2.5 公尺。為方便比較路口改善差異，將行駛於大於 2.5 公尺的小汽車的百分比乘以行駛小於 1.5 公尺範圍內的機車百分比做為潛在衝突指

標。」

假設軌跡資料之精確度以 0.5 公尺為單位長度，計算每個單位長度(0.5 公尺)之潛在衝突指標並相加，即為一斷面之潛在衝突。以數學式表達之計算公式如下：

$$m = \sum_{i=1}^{\left[\frac{LW-2.5}{0.5}\right]+1} \left(\frac{v_i^c}{v^c} \times \sum_{j=i+3}^{\left[\frac{LW}{0.5}\right]+1} \frac{v_j^m}{v^m} \right)$$

其中，

m ：潛在衝突

LW ：路段寬度(以 0.5 公尺為單位)

v^c ：右轉汽車車輛數(輛)

v^m ：直行機車車輛數(輛)

v_i^c：右轉汽車在路段第 i 個以 0.5 公尺單位長度斷面之車輛數(輛)

v_j^m：直行機車在路段第 j 個以 0.5 公尺單位長度斷面之車輛數(輛)

計算結果之 m 值越大代表越有潛力發生衝突，而理論上分流式指向線的存在會提醒直行機車與右轉汽車提早分流，故越下游 m 值應越小。分析結果如表 7.1-1 所示，本計畫評估結果顯示，為越下游 m 值越小，直行車流及右轉車流的在車道位置的選擇上有錯開的行為，顯示分流式指向線實施後為有效，與[76] 的結論相符。

表 7.1-1 潛在衝突比較表

	[76] 的計算結果	本計畫計算結果
停止線	0.0017	0.0375
停止線上游 30 公尺	0.1946	0.1456
停止線上游 60 公尺	0.3847	0.2798

資料來源：本計畫繪製

7.1.6 指標三：衝突分析

由於本計畫執行時「臺中市北屯太原路口西側」已劃設分流指向線，故無法進行事前事後比較分析，在此僅針對改善後衝突進行探討。原研究[76]探討之右轉汽車與其外側之直行機車衝突可對應至本計畫定義之「兩車右轉切入衝突」，故本計畫透過衝突平台選擇最大速度大於等於每秒 2.8 公尺之兩車右轉切入衝突，以濾除車速過低、較不具危險性之衝突事件。分析結果如表 7.1-2 所示。

表 7.1-2 北屯太原路口西側兩車右轉切入衝突衝突列表

右轉	直行	風險程度				總次數
		瀕危	高	中	低	
汽車	機車	**3**	**0**	**1**	**1**	**5**
機車	汽車	0	0	0	0	0
汽車	汽車	0	0	0	0	0
機車	機車	0	0	0	0	0

資料來源：本計畫繪製

本計畫將總計 5 筆衝突繪製成圖 7.1-9，部分衝突位置重疊故畫面上僅呈現 2 點，經逐一調閱影像後確認。整體而言，因分流式指向線已劃設，故衝突數偏低。



資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖7.1-9 直行機車與右轉汽車衝突分布圖

7.1.7 小結

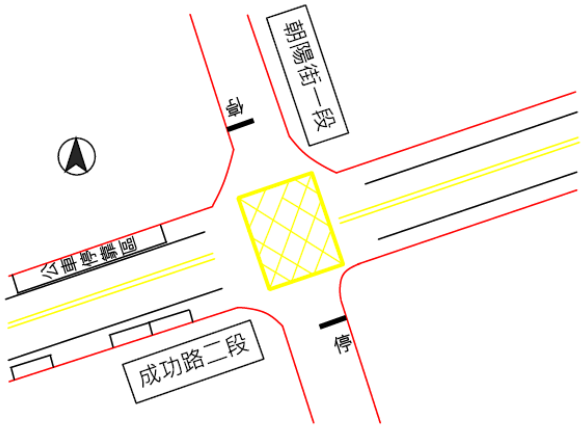
路口俯視攝影與過去分析技術最大的差異在於可觀測車輛全程軌跡，與過去路側攝影僅針對路段上特定斷面進行車輛辨識相比可觀察到更完整的車輛行為差異。此外，本次實驗使用較短的調查時間及車流資料量，已可達到相同之效益評估結果，後續可進行不同資料長度的測試，進一步驗證此結論的穩定性。

7.2 非號誌化路口資料蒐集

依據許添本教授等人（2020）之研究計畫「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」[5]，發現「非號誌化路口」的主要肇因分析可歸類為路口視距不足、行車速度較快、交岔口路權不明顯、主線與支線路幅差距大、無足夠左轉待轉空間、照明不足等原因，且研擬對應措施進行交通改善。該研究統計路口車種行向速率交岔分析表，包括各路口方向左轉、直行、右轉之機車與汽車之平均車速與標準差，並統計其數量。本計畫採用無人機空拍影像及影像分析等技術進行統計分析，一方面驗證交通衝突分析軟體之可適性，一方面藉以擴充交通應用情境，達到改善路口交通之目的。以下遵循前述計畫內容架構撰寫，依次為路口現況配置說明、路口車流分析，以及碰撞構圖分析與改善設計方案，並輔以本計畫開發之軟體分析數據及圖表。

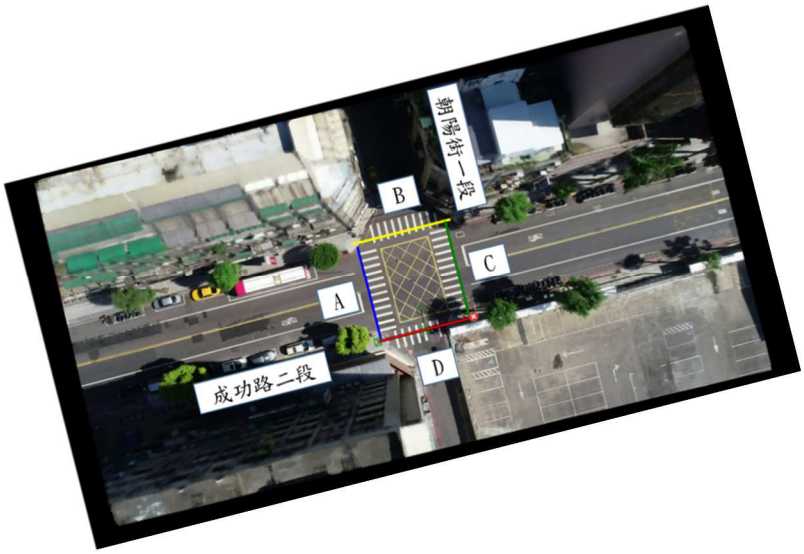
1. 路口現況配置說明

此路口為成功路二段與朝陽街一段的無號誌交岔。成功路二段以禁止超車線分隔雙向車道，西方向設有一車道，路側劃有公車停靠區；往東方向往為一車道路，路側劃有停車格。朝陽街為雙向兩車道，無劃設行車分向線。



資料來源：混合車流路口道路與交通工程設計範例（3/4）[5]

圖 7.2-1成功路二段/朝陽街路口圖



資料來源：本計畫繪製

圖 7.2-2成功路二段/朝陽街路口空拍圖

2. 路口車流分析

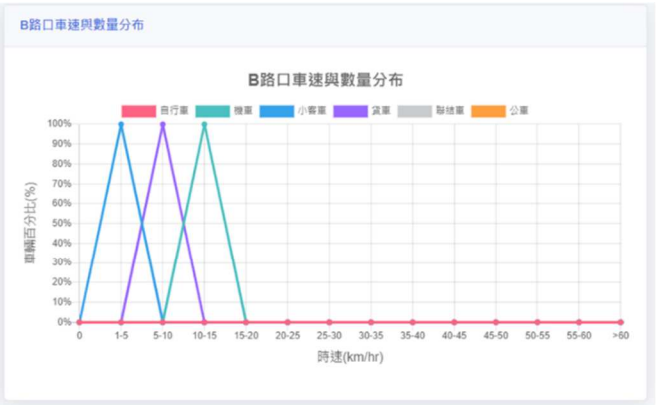
(1) 北側

以車種來看機車平均速率達 10.34 公里/小時；小客車平均速率達 2.62 公里/小時；貨車平均速率達 7.2 公里/小時。由速率分佈圖來看汽車樣本有 100%(2 個樣本)進入路口最高速率達 1~ 5 公里/小時；機車有 100%的車輛(2 個樣本)進入路口最高速率可到達 10~15 公里/小時；貨車有 100%(3 個樣本)進入路口最高

速率達 5~10 公里/小時。

B路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(B to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	7.354	N.A.	N.A.	7.354
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	0	N.A.	N.A.	0
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	1	N.A.	N.A.	1
直行(B to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	10.524	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	10.524
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0
計數(輛)	N.A.	1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1
右轉(B to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	10.151	2.615	7.118	N.A.	N.A.	5.924
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	0.813	0	N.A.	N.A.	2.965
計數(輛)	N.A.	1	2	2	N.A.	N.A.	5
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	10.338	2.615	7.197	N.A.	N.A.	6.785
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0.186	0.813	0.111	N.A.	N.A.	2.975
計數(輛)	N.A.	2	2	3	N.A.	N.A.	7



資料來源：本計畫繪製

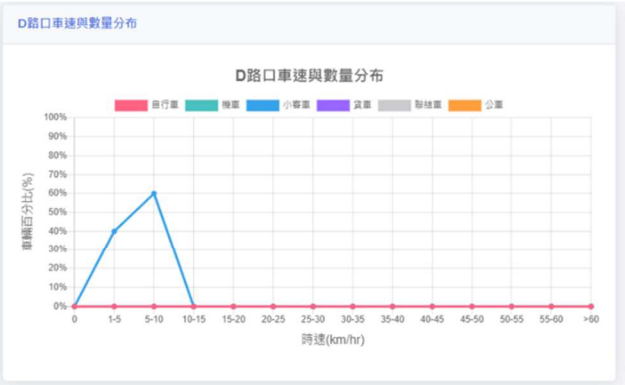
圖 7.2-3車種速率分佈(成功路/朝陽街北側)

(2) 南側

以車種來看小客車平均速率達 5.56 公里/小時。由速率分佈圖來看汽車樣本有 60%(3 個樣本)進入路口最高速率達 5~10 公里/小時。

D路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(D to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	6.786	N.A.	N.A.	N.A.	6.786
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.581	N.A.	N.A.	N.A.	0.581
計數(輛)	N.A.	N.A.	3	N.A.	N.A.	N.A.	3
直行(D to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
右轉(D to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	3.714	N.A.	N.A.	N.A.	3.714
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.299	N.A.	N.A.	N.A.	0.299
計數(輛)	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	2
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	5.557	N.A.	N.A.	N.A.	5.557
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	1.582	N.A.	N.A.	N.A.	1.582
計數(輛)	N.A.	N.A.	5	N.A.	N.A.	N.A.	5



資料來源：本計畫繪製

圖 7.2-4車種速率分佈(成功路/朝陽街南側)

(3) 東側

以車種來看機車平均速率達 21.82 公里/小時；小客車平均速率達 18.07 公里/小時；貨車平均速率達 19.21 公里/小時；公車平均速率達 19.98 公里/小時。由速率分佈圖來看小客車樣本有 2%(1 個樣本)進入路口最高速率達 30～35 公里/小時；機車有 6%的車輛(1 個樣本)進入路口最高速率可到達 30～35 公里/小時；公車有 33%(2 個樣本)進入路口最高速率達 25～30 公里/小時；貨車進入路口速率有 25%(1 個樣本)進入路口最高速率達 25～30 公里/小時。

C路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(C to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	11.833	9.121	N.A.	N.A.	N.A.	9.664
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	6.535	N.A.	N.A.	N.A.	5.945
計數(輛)	N.A.	1	4	N.A.	N.A.	N.A.	5
直行(C to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	22.488	20.136	19.213	N.A.	19.975	20.63
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.41	6.721	5.788	N.A.	6.946	6.483
計數(輛)	N.A.	15	37	4	N.A.	6	62
右轉(C to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	7.915	N.A.	N.A.	N.A.	7.915
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	2.591	N.A.	N.A.	N.A.	2.591
計數(輛)	N.A.	N.A.	4	N.A.	N.A.	N.A.	4
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	21.822	18.071	19.213	N.A.	19.975	19.141
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.839	7.831	5.788	N.A.	6.946	7.411
計數(輛)	N.A.	16	45	4	N.A.	6	71

C路口車速與數量分布



資料來源：本計畫繪製

圖 7.2-5 車種速率分佈(成功路/朝陽街東側)

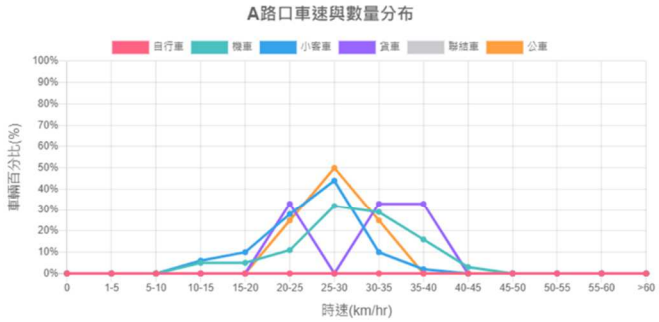
(4) 西側

以車種來看機車平均速率達 29.31 公里/小時；小客車平均速率達 25.09 公里/小時；貨車平均速率達 29.45 公里/小時；公車平均速率達 28.31 公里/小時。由速率分佈圖來看小客車樣本有 2%(1 個樣本)進入路口最高速率達 35～40 公里/小時；機車有 3%的車輛(1 個樣本)進入路口最高速率可到達 40~45 公里/小時；公車有 25%(2 個樣本)進入路口最高速率達 30～35 公里/小時；貨車進入路口速率有 33%(1 個樣本)進入路口最高速率達 35～40 公里/小時。

A路口車種速率分析表

	車種						
行向	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(A to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	15.332	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15.332
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0.366	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.366
計數(輛)	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2
直行(A to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	30.553	25.618	29.453	N.A.	28.314	27.808
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.42	4.631	6.426	N.A.	3.374	5.435
計數(輛)	N.A.	35	48	3	N.A.	8	94
右轉(A to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.735	12.474	N.A.	N.A.	N.A.	12.894
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	1.34	N.A.	N.A.	N.A.	1.245
計數(輛)	N.A.	1	2	N.A.	N.A.	N.A.	3
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	29.309	25.093	29.453	N.A.	28.314	27.104
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	6.72	5.224	6.426	N.A.	3.374	6.122
計數(輛)	N.A.	38	50	3	N.A.	8	99

A路口車速與數量分布

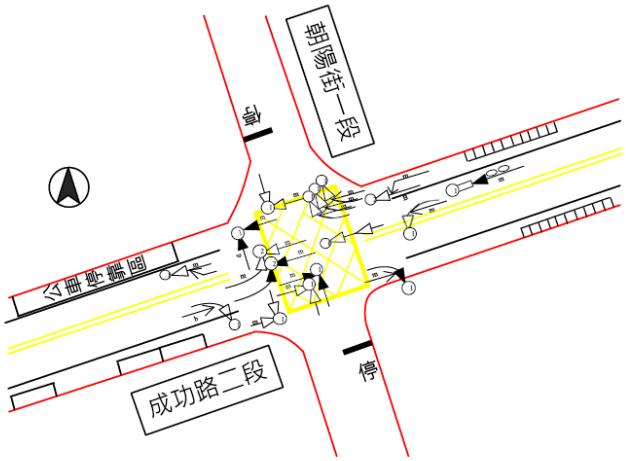


資料來源：本計畫繪製

圖 7.2-6 車種速率分佈(成功路/朝陽街西側)

3. 碰撞構圖與改善設計方案

原報告書以實際發生碰撞之構圖如圖 7.2-7，研究相關改善設計方案，本計畫採用衝突事件來輔助觀看兩者關連性，本計畫不著重改善設計方案設計，故僅針對碰撞構圖與衝突事件做比較，改善設計方案則請參考原報告書。

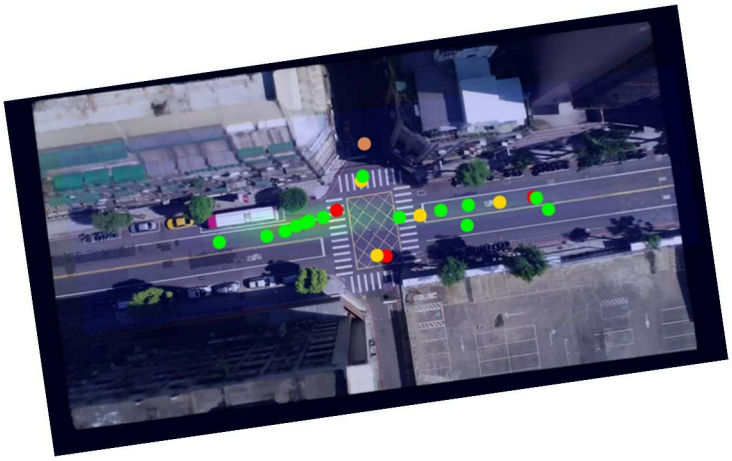


資料來源：混合車流路口道路與交通工程設計範例（3/4）[5]

圖 7.2-7 桃園市成功路二段/朝陽街口碰撞構圖

以肇事型態觀看，此路口發生側撞 8 件、交岔撞 5 件、追撞 3 件、擦撞 2 件、追撞 1 件，總共 19 件肇事。其中，8 件側撞中有 5 件是右轉側撞。由此可知，右轉側撞、交岔撞為此路口的主要肇事型態。

檢視該路口之衝突事件，參考衝突熱點圖 7.2-8 及衝突型態統計圖 7.2-9，可得知該路口之衝突以同向兩車右轉衝突及右轉穿越衝突(右側)為最多，依據 5.1.2 交通衝突型態分類及肇事型態對應之章節，此兩種衝突對應為同向右轉擦撞及右側交岔撞，與實際肇事型態相當接近。

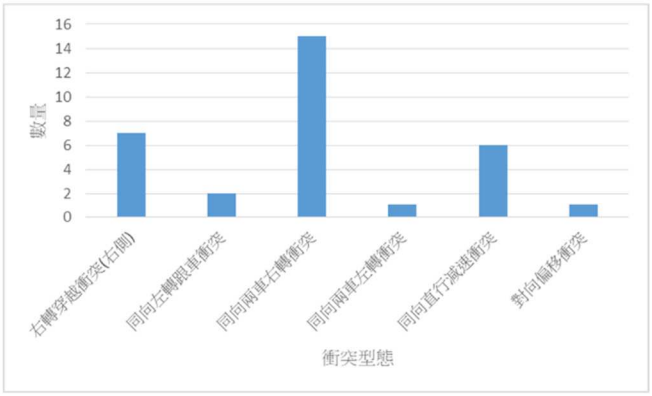


資料來源：本計畫繪製

註：●瀕危風險(TTC<=1)、●高風險(1<TTC<=2)、●中風險(2<TTC<=3)、●低風險(3<TTC<=5)

圖 7.2-8 桃園市成功路二段/朝陽街口衝突熱點圖

衝突型態	數量
右轉穿越衝突(右側)	7
同向左轉跟車衝突	2
同向兩車右轉衝突	15
同向兩車左轉衝突	1
同向直行減速衝突	6
對向偏移衝突	1



資料來源：本計畫繪製

圖 7.2-9 桃園市成功路二段/朝陽街口衝突型態統計圖

4. 其他分析結果

本計畫依據許添本教授等人（2020）之研究計畫「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」[5]，進行非號誌化路口分析研究，惟本計畫採用無人機空拍影像及影像分析等技術進行統計分析，不儘可快速完成路口車種行向速率交岔分析表及路口轉向車速分布圖，也從分布圖中發現與原報告書具有共同的分析趨勢，該路口車速大小分布依序為西側 > 東側 > 南/北側；本計畫並具備以下優點：

(1) 可自動快速分析出對應結果；
(2) 可呈現更多車種資訊，如機車、小客車、貨車、公車等車種；
(3) 可同步進行其他分析統計，如衝突分析、交通量調查等；
(4) 空拍影像蒐集完備，未來可因應需求或技術發展，持續擴充應用範圍。

本計畫除以上優點外，亦發現部分路口因大樓陰影，影響車流分析，故建議未來可避開陰影之影響，或持續增加此類影像訓練，強化影像分析模型，以利交通情境擴充應用。

第八章 交通應用情境架構與內容

無人機及影像辨識的技術與時俱進，無人機的續航力、飛行的穩定等技術持續發展中，電腦視覺的影像辨識及車輛追蹤的精確度及運算速率也一直在提升，可望這些科技的結合能解決交通領域在現場進行調查及資料蒐集的作業困難及限制。

本計畫彙析綜整國內外使用人車流動空拍影像之應用與研究文獻，以及本所過往無人機相關研究成果，由交通領域之應用角度，系統性地研擬人車流動空拍影像的交通應用情境架構與內容。本計畫於研擬初稿後，並透過專家學者座談會進行討論，取得產、官、學界的意見及共識，以為後續應用發展方向訂定優先順序。

本章先說明國外人車流動空拍影像的軟體平台，以及盤點無人機及電腦視覺技術；再回顧國內的交通應用及研究，研擬交通應用情境，繼之，分析各應用情境的內容項目及其對應之相關技術之成熟度與限制。

8.1 人車流動空拍影像軌跡擷取之科技盤點

8.1.1 國外使用空拍影像之應用軟體技術

國外已有商業化雲端平台，提供人車流動軌跡分析服務，例如 DataFromSky AI (https://datafromsky.com/) 、GoodVision (https://goodvisionlive.com/)、or Transoft Solution (ITS) Inc. (https://brisksynergies.com/)，使用者上傳影片在雲端平台，分析後能下載各種交通數據的統計，也有提供接上 CCTV 攝影機進行即時監測的服務。透過深度學習的影像分析技術，這些平台能偵測車流軌跡，再計算車流速度(speed)、加速度(acceleration)、車數統計(vehicle counting)、車種分類(vehicle classification)、O/D 矩陣(O/D matrix)、容量統計(capacity estimations)等交通特性資料，也可以評估交通安全。本報告書已於第 2.3 節簡介了這些軟體的功能、操作及特點。

這些平台需要使用者自行蒐集高品質的影片，在人車流軌跡偵測方面，經研究團隊測試，發現小型車的軌跡偵測效果尚算不錯，但對於國內的汽機車混合車流情況，其偵測效果較差，車輛失蹤率可達 15-30%，比本計畫的準確率顯著較差，推測是模式的訓練資料較缺乏國內的機車車流情況。另外，這些平台對於車輛位置的偵測，採用車輛中心點（DatafromSky）或直立之矩形（GoodVision）做

為車輛位置的記錄，可滿足車流特性的計算；然而，與本計畫採用之方向性矩形(Oriented Bounding Box)不同，偵測物之邊框並未包括車輛在影像中之緊密外框及車角度等資訊，因此在交通衝突分析及衝突事件判斷上會較不精確。

8.1.2 技術前緣及限制

人車流動空拍影像軌跡擷取之技術門檻可以分為兩個部分：(i)無人機技術、(ii)電腦視覺技術，因技術隨時間持續進步中，在探討交通應用情境所需相關技術之前，本節先針對這兩項技術進行科技盤點，評估現在的技術前緣及可預見未來的發展程度。

無人機空拍技術在交通應用上，主要受限於拍攝範圍及續航力。拍攝範圍與無人機的飛行高度及搭載攝影機的解析度直接相關，飛行高度越高，可拍攝範圍越廣，但人車流在畫面中的像素會變小，導致影像分析可能會抓不到足夠的特徵來辨認移動物及其分類。目前攝影機大多能拍攝 4K 影像，在飛行高度 75 公尺的可視範圍約為 105 公尺（橫向），可清楚辨認小型車、大型車、機車及行人，但電動自行車及輕型機車因外觀及車速接近，可能較難分辨。續航力的部分，一般消費型無人機可達到 20~25 分鐘的飛行時間，一段影片的連續拍攝時間約為 15-20 分鐘左右。客製化的長效無人機的飛行時間可達到 40 ~ 60 分鐘，實際的飛行時間仍受飛行高度、風速、酬載重量等因素影響。無人機的技術盤點，請參考表 8.1-1。

另外值得一提的是，國內的「遙控無人機管理規則」於 2020 年 3 月 31 日施行，人車流空拍意味著需要在人車流的上空進行調查拍攝，須依照管理規之規範。空拍調查宜聘請專業人員進行拍攝工作，相關規則請參考交通部民航局的無人機專區網站。

表 8.1-1 無人機空拍技術盤點

項目	現在	短期 (0-3 年)	長期 (5-10 年)
機型	國外(消費型)：Parrot ANAFI 國產(長效)：卓恩 X6+、X4 air	國外(消費型)：Parrot ANAFI Extended、Skydio 國產(長效)：卓恩 X4+、中小型輕負重機種、大型複合動力機種	國外(消費型)：Parrot、Skydio 國產(長效)：中小型複合動力機種
續航力	消費型無人機：20~25 分鐘 長效無人機：40~60 分鐘	消費型無人機：30~35 分鐘 長效無人機：60~90 分鐘	消費型無人機：40~45 分鐘 長效無人機：80~120 分鐘
拍攝範圍	105 公尺(H = 75 公尺) 125 公尺(H = 90 公尺) 155 公尺(H = 110 公尺)	125 公尺(H = 75m) 150 公尺(H = 90m) 180 公尺(H = 110m)	FOV、魚眼、球型攝影機可望有突破發展，廣角攝影機的邊緣品質持續提升
拍攝畫質	2.7~4K 影片	4K+ 影片	8K+ 影片
成本	3~10 萬台幣/天 (8 小時任務)	法規上路，需專業飛手，短期內價格不易調降	專職公司，任務導向；費用介於 1~20 萬
重量	1.4~6 公斤	0.5~5 公斤	0.5~6 公斤
其他	避障功能 7~30m	避障功能 30m+	雨天飛行
	避障及雨天飛行機種將陸續上線，然雨天/晚上拍攝需有合適攝影機，及對應之影像分析技術。 魚眼、球型攝影機需有較好的影像校正技術，則可有效擴充拍攝分析範圍。		

資料來源：本計畫繪製

運用電腦視覺進行影像分析是資訊工程的熱門題目，每一段時間就有新的偵測及追蹤的模型被提出。在人車流辨析方面，其主要門檻在於準確率及運算速度。人車流情況複雜且多樣，有不同車種（四輪以上車種、兩輪車、行人）其外觀及行為特性都不盡相同，加上國內汽機車混合車流的密度高，在慢速甚至停等時更難以清楚分辨每一台車輛的軌跡。目前 108 年研究成果在小型車及客運的辨識準確度可達 99%、貨車的查全率與查準率分別達 99%與 91.8% ，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%，這一部分可透過增加訓練資料來加強模型的辨識能力。另外，無人機影像的分析時間頗長，採用高階的消費型電腦，分析 15 分鐘的影片約需 6-10 小時的運算時間，這是因為空拍影片需要進行影片的晃動校正，以及空拍影片拍攝範圍越廣，所能分析的內容也越多，與路口的 CCTV 攝影機能採取邊緣運算進行即時車流的情況並不相同。影像分析的技術盤點，請參考 8.1-2。

表 8.1-2 影像分析技術盤點

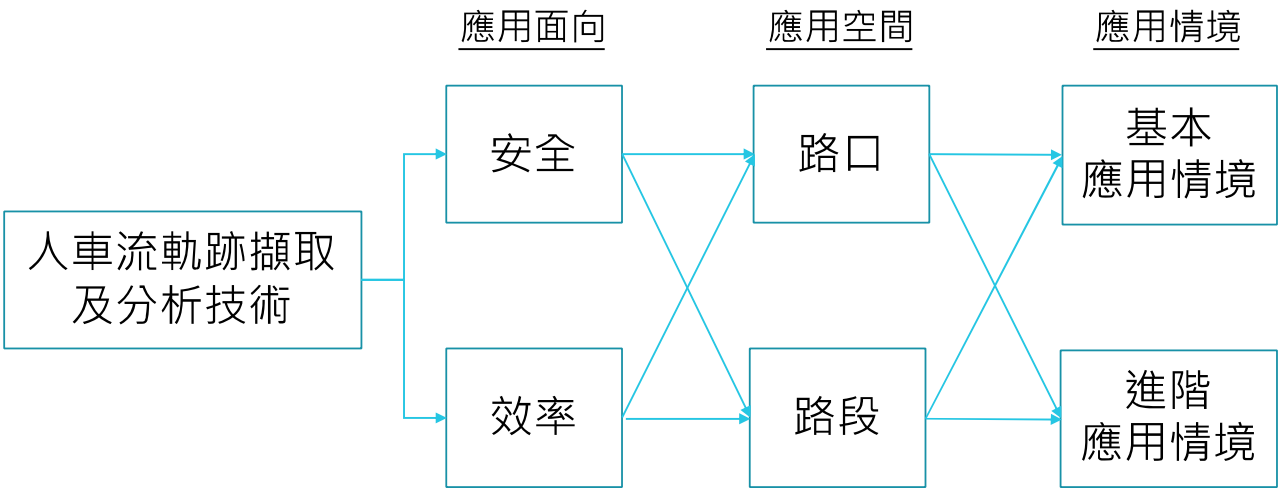
項目	規格	108 年研究	本計畫	短期 (0-3 年)
準確度	四輪以上車種(小型車、貨車、客運、聯結車)	Mask R-CNN + region tracking • 小型車、客運之查全率與查準率(Recall 與 Precision)達 99% • 貨車之查全率與查準率分別達 99%與 91.8%	修正版 SCRDet，提供更精準的車輛貼合度、可直接取得具方向性的矩形框。	• 針對 one-stage(如 YOLOv3)的物件偵測方法進行改良，以快速偵測具方向性的車輛區域。 • Oriented Faster R-CNN 或可取代 Mask R-CNN 。
	行人、自行車、機車	YOLOv3 + 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% • 自行車易與機車混淆，可由車速差異性將自行車查全率由 55.9%提升至約 80%水準	YOLOv4 提升行人、自行車、機車之查全率與查準率。	• 針對 one-stage(如 YOLOv3)的物件偵測方法進行改良，以快速偵測具方向性的車輛區域。 • 2020 年提出的 YOLOv4 或可取代 YOLOv3。
運算速度	15 分鐘影片(10fps)	6-10 小時 • 前處理(4k 穩定+ROI)約 5 小時 • Mask R-CNN:約 2 小時 • YOLOv3:約 0.5 小時		• 1.5 小時(前處理+YOLOv3) • 將現行的影片晃動校正改由 GPU 處理，以縮短前處理時間。

資料來源：本計畫繪製

8.2 交通應用情境

本章節綜整適合人車流動空拍影像的交通應用情境，分為基本應用情境及進階應用情境兩大類。基本應用情境包括國內既有交通規劃、設計、管理等相關規範及手冊資料，其應用定義明確，資料蒐集的方式已被廣泛使用。進階應用情境包括國內運用影像、軌跡等資料進行分析的技術報告及學術文獻，其應用及分析方式是報告書的原作者所定義，分析技巧上較為創新而尚未被廣泛採用。人車流動空拍影像的交通應用情境有很巨大的想像空間，但為確保分析過程中對於情境的認知一致，本章節的討論只參考國內的文獻及交通應用情境，不考慮國外的文獻來源。

為將文獻中提到的基本及進階交通應用情境作有系統的分類，本計畫提出 2 大分類層級：(1) 應用面向、(2)應用空間。應用面向可分為安全、效率兩大類；應用空間可將分析地點分為路口、路段兩大對象。所有組合共可分為四個大情境，應用情境架構圖如圖 8.2-1 所示。



資料來源：本計畫繪製

圖 8.2-1 人車流動空拍影像之交通應用情境架構

8.2.1 基本應用情境

基本應用情境包括國內既有交通規劃、設計、管理等相關規範及手冊資料，當中有明確定義資料蒐集格式及調查方式的應用，列舉如下：

- 交通工程手冊[58]及交通工程規範[59]

- 交通號誌時制重整計畫(I)、(II)、(III)[60][61][62]
- 2011 年臺灣公路容量手冊[63]
- 混合車流路口道路與交通工程設計範例 (2/4)[64]、(3/4)[5]

交通工程手冊（民 99）的目的在於訂定高速公路、快速公路與一般公路等有關交通工程設施規劃及設計之基本準則，以促使各項交通工程設施之標準化與統一化。交通工程規範（民 104）[59]則再針對交通工程之綱要與範疇，建立原則性規範供地方政府與執行機關遵行辦理。交通工程手冊及規範的第二章列舉出的交通調查項目包括：交通量調查（路段交通量調查、屏柵線與周界交通量調查、交岔路口交通量調查、行人交通量調查）、車輛起迄點調查、旅行時間調查、交岔路口車輛延滯調查、現點速率調查、停車特性調查。

時制計畫重整是發揮交通號誌控制分析及改善道路壅塞、安全等交通問題的最具效益的方法之一。交通號誌時制重整計畫(I)、(II)、(III)[60][61][62] 是參考國外時制重整之經驗並配合國內的汽機車交通特性，經本土化後制定的標準程序，當中就時制管理所需資料調查，建立作業程序、調查表格、判斷基準等表格，並訂定績效評估的模式。時制計畫重整所需要的交通調查與現況分析，包括：道路幾何特性調查、交通特性調查、重整前時制運作績效調查，這些資料可運用於交通調查資料處理分析及交控系統運作現況分析。

2011 年臺灣公路容量手冊（民 100）[63] 是國內進行公路容量分析的重要參考依據，容量手冊提供規劃及設計人員客觀的分析方法以決定適當之設計及運作，其重點在於探討公路設施之硬體設備、運作策略與交通需求之互動關係，以完成公路運輸系統之規劃、設計或運作的分析工作。容量分析在規劃、設計或運作不同應用的輸入資料來源有所不同，如要評估現存交通設施之服務水準，可透過現場調查之車流特性資料加以分析；如要評估將來交通設施之服務水準，其需求流率則需要進行運輸需求預測或使用者假設。整體而言，分析人員在進行容量分析所需要的現場調查資料可包括：交通量調查、平均停等延滯現場調查（第 11 章附錄 B）、交岔路口幾何型態調查（第 14 章）、平均旅行速率調查（第 16.10 章）。分析過程中需要用到的參數，如自由車流速率、臨界間距、飽和流率等，容量手冊已提供國內研究結果的參考值，理論上分析人員可自行效估及調整這些參數，這些或可歸類為人車流影像分析的基本應用情境。

混合車流為我國主要之車流型態，為提升混合車流環境之道路安全，近年運輸研究所有進行 4 年期的研究計畫「混合車流路口道路與交通工程設計範例」，為混合車流環境之肇事型態提出改善建議與措施，發展各肇事型態的交通工程改善設計範例，可直接應用於路口特定肇事型態的改善，最終目標是編撰整合式路口交通工程設計範例。進行交通工程改善後需要進行安全效益評估，可用事前事後的分析方法，比較肇事事件或衝突事件兩類指標。因肇事資料有數量少、記錄不完整、資料缺少細節等問題，因此衝突分析是更有效率的安全改善成效的評估方式。常用的交通衝突指標有碰撞時間（Time to collision, TTC）、後侵占時間（Post encroachment time, PET），如混合車流路口道路與交通工程設計範例（2/4）提到，調整綠燈介間時間可改善交岔撞，該研究透過事前事後的現場調查，進行交通衝突分析，發現後侵占時間 PET 有明顯改善，可降低交岔撞的風險。

綜合以上討論，本計畫訂定 11 項基本應用情境：

1. 路口轉向交通量調查（交岔路口交通量調查）
2. 路段交通量調查
3. 屏柵線與周界交通量調查
4. 行人交通量調查
5. 車輛起迄調查
6. 旅行時間調查
7. 路口車輛延滯調查
8. 現點速率調查
9. 停車特性調查
10. 道路幾何特性調查
11. 交通衝突分析

表 8.2-1 整理了基本的交通應用情境及其應用面向及空間，主要集中於效率面向，其應用情境屬於現場調查進行車流資料的蒐集工作，如屬於單一路口或路段、資料蒐集時間不長，可以透過客製化的交通分析程式由車流軌跡中擷取交通量、車速等資料，再產生輸出表格共使用者進一步分析。

表 8.2-1 基本交通應用情境

項目	應用情境	參考資料	應用面向	應用空間
1	路口轉向交通量調查	[59][60][61][62][63]	效率	路口
2	路段交通量調查	[59] [63]	效率	路段
3	屏柵線與周界交通量調查	[59]	效率	路段
4	行人交通量調查	[59][60][61][62] [63]	效率	路口
5	車輛起迄調查	[59]	效率	路口、路段
6	旅行時間調查	[59]	效率	路段
7	交岔路口車輛延滯調查	[59] [63]	效率	路口
8	現點速率調查	[59] [63]	效率	路口、路段
9	停車特性調查	[59]	效率	路段
10	道路幾何特性調查	[60][61][62][63]	效率	路口、路段
11	交通衝突分析	[4]	安全	路口、路段

資料來源：本計畫繪製

8.2.2 進階應用情境

進階應用情境包括國內運用影像、軌跡等資料進行分析的技術報告及學術文獻，參考近年運用人車流軌跡進行交通分析的報告書如下：

- 交通號誌時制重整計畫(I)、(II)、(III)[60][61][62]
- 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[45]
- 市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊 [64]
- 市區道路車道配置及車道寬度調整研究[66]

「交通號誌時制重整計畫」(民 96)採用 Synchro 做為分析軟體，主要輸入的資料包括道路環境資料(路口幾何特性調查)、流率資料(路口轉向交通量調查)外，

尚需要輸入時制設計參數，如最小綠燈時間、理想飽和流率、車道容量、啟動延滯等，在無更多現場調查資料等情況下，一般採臺灣公路容量手冊之建議值或軟體之默認值，或由使用者自行假設。然而，各地點等交通車流情況有其獨特性，可透過人車流軌跡分析進行參數校估，例如，道路的車流容量可透過觀察車間距來推算，再對時制設計參數的輸入值進行微調，提升模式分析的能力。無人機及影像分析技術方面原則上可行，而這些參數的計算並非標準作業，因此可能需要釐清運用軌跡資料的計算方式，並製作軟體模組，開發進階的交通分析工具進行計算。

針對汽機車混合車流，國內已發展出交通工程與管理措施上特有之設計元素，如「禁行機車」、「兩段式左轉」、「機車停等區」、「機車專用道」或「機車優先道」等。「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」（民107）為解決路段中汽車或公車停靠以及汽車右轉與直行機車所造成之衝突性，提出「分流式指向線」並進行試辦驗證。評估改善成效方式採用事前事後改善效益評估分析方法，運用車流衝突影像資料以三項指標進行評估：指標一為直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離，指標二為潛在衝突指標，指標三為右轉汽車與直行機車之衝突事件數與衝突秒數。這三項指標採用由高樓或平面錄影之影像資料，以半自動的方式紀錄車輛的軌跡。指標一計算車輛通過停止線及上游斷面15/30/60 公尺處的車流分佈變化，評估改善前、改善後的汽車機機車車流軌跡是否有顯著差別；指標二是計算汽車潛在衝突行駛區域及汽車安全行駛區域內的直行機車車輛數，評估右轉車輛與直行機車併行之潛在衝突；指標三是交通衝突分析，衝突指標採用右轉汽車及直行機車間的後侵佔時間 PET。無人機及影像分析技術方面原則上可以用於「分流式指向線」的效益評估，拍攝範圍需要加以調整，以拍攝具備「分流式指向線」的臨近入口及其上游路段為主，同時需要能觀察路口範圍以判斷車輛的轉向或是否受到號誌紅燈所影響。本計畫已試作「分流式指向線」的效益評估，並整理於 7.1 節。

國內行人安全是一個重大的議題，因此需要改善人行設施並制定評估我國人行設施的設計對行人安全之方法。為解決此一議題，「市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊」（民 108）發展我國人行設施之交通安全效益評估準則，當中考慮我國道路環境與交通特性與國外有所差異並進行本土化之研究，提出 7 個行穿線安全分析指標：(1)車輛接觸行穿線時角度、(2)進入行穿線前車速、(3)車輛通過分散度、(4)車輛提早左轉比率、(5)車輛未禮讓行人比率、(6)行穿線未遵行比率、(7)行人號誌違規率（各指標的定義及計算方式請參考原文報告書），這些指標主要由制高點拍攝路口的影像，再以電腦自動辨識人車流的軌跡，以電腦程式計算人車流之互動情況及各分析指標。該研究以庇護島及行穿線退縮為

改善措施，以事前事後的方式進行評估。無人機及影像分析技術方面原則上適合用於「行人設施安全效益分析」，拍攝範圍需要加以調整，以拍攝行人設施及其周邊為主，但需要注意行人設施周邊或中央分隔島可能有栽種樹木造成遮蔽；另外，影像分析的部分行人的準確度較低尚待突破，但如分析範圍及無人機的飛行高度降低，行人的畫素提升，則會提高行人偵測的準確度。原則上目前的技術可滿足分析需求，但需要進行測試及調整。

「市區道路車道配置及車道寬度調整研究」探討了市區路段中之道路車道寬與交通安全之關係，發現適當縮減市區車道寬度有助於改善安全且不影響效率。在車道配置及車道寬度調整的安全評估，採用傳統事故資料（巨觀）及行為觀察(微觀)的分析方法。微觀安全分析方法採用毫米波雷達進行車流軌跡偵測，分析實際駕駛行為的變化，透過車輛行駛狀況及兩車互動事件，提出了 7 種的微觀安全事件：(1)循行、(2)併行、(3)超車、(4)鑽車、(5)超速率、(6)速率變異、(7)車輛與車道中線距離變異量；以及危險事件 (衝突指標 TTC)。毫米波雷達所取得的車流軌跡，除資料蒐集範圍、不同車種的準確度及資料品質等稍有差異外，基本上跟影像取得的車流軌跡十分類似。因此，無人機及影像分析技術方面原則上適合用於「車道配置及車道寬度調整的安全效益分析」，危險事件採用的衝突指標已經於本計畫達成，而微觀安全事件需要另行製作軟體模組，開發進階的交通分析工具進行計算。

表 8.2-2 整理了進階的交通應用情境及其應用面向及空間，主要集中於安全面向，應用情境屬於安全工程改善的效益評估，可透過交通衝突分析技術或交通行為資料萃取的方式來達成。

表 8.2-2 進階交通應用情境

項目	應用情境	參考資料	應用面向	應用空間
1	時制設計參數	[60][61][62]	效率	路口
2	分流指向線效益分析	[45]	安全	路口上游
3	行人設施安全效益分析	[64]	安全	路口
4	車道配置及車道寬調整效益分析	[66]	安全	路段

資料來源：本計畫繪製

8.3 基本應用情境之內容項目及評估

本節將根據第 8.2 節提出之 11 項基本應用情境，探討各情境之調查項目及資料蒐集內容，並探討無人機觀測、影像辨識與追蹤、交通分析等三項技術的成熟度及限制。空拍影像的取得以及影像分析的效果有其侷限性，人車流軌跡技術可能並不適合用於個別的交通應用情境，因此將各交通應用情境是否適合運用人車流軌跡進行分析逐一討論。如適合採用人車流軌跡分析技術，則進行詳細探討並檢視需調整的技術內容；如明顯不適合，則說明不適合之原因。

8.3.1 基本應用情境(1)：路口轉向交通量調查

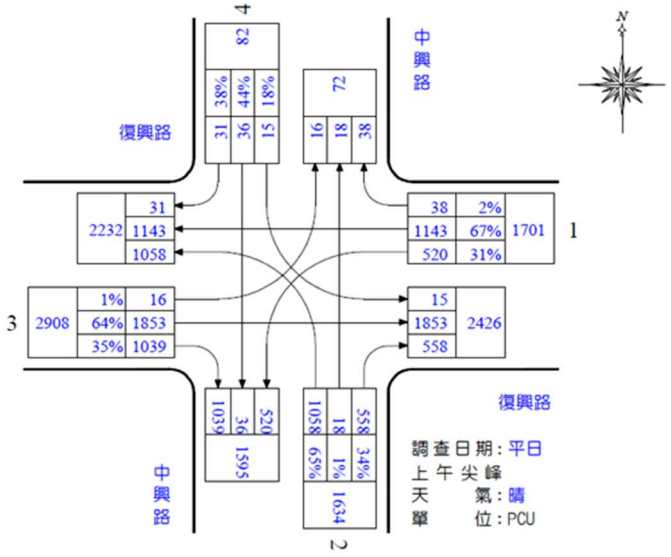
路口轉向交通量調查是交通分析最常用的調查項目之一，根據「交通工程規範」，其調查目的在蒐集交岔路口交通量、流向分佈、交通組成，作號誌設計、槽化設計、容量分析等之用。調查前先依據分析需求確定調查範圍及調查時間；如資料使用之目的是記錄年平均日交通量(Annual Average Daily Traffic, AADT)，調查時間需涵蓋上下午尖峰時間 12 小時；如目的是車流分析，則可涵蓋尖峰時段 2-4 小時。

以傳統方式進行人工現場調查，調查方式為每隔 5 分鐘記錄一筆通過停止線之車輛，按流向(右轉、直進、左轉)、車種分別進行統計，車種分類按分析需求可分 3 至 7 類分別登錄。調查的人力成本會隨路口大小、車流複雜程度、車種類別所增加圖 8.3-1 為轉向交通量的輸出結果範例。

採樣無人機拍攝進行路口轉向交通量調查，是運用影像分析軟體進行移動物件的偵測、分類、及追踪。軟體訓練可加入多樣的車種分類，如行人、自行車、機車、小型車、貨車、客運、聯結車等，主要的優勢為車種分類較人工調查詳細，交通量的資料輸出間距也可以按使用者需求而自訂（如 1 分鐘、5 分鐘、或週期長度）。除了交通量外，更能同時取得其他車流特性資訊（如車速、停等、軌跡動線等等），也可以將車流軌跡刻錄在影片上做為檢查驗證機制的一部分。比較複雜的號誌設計模式，甚至會需要分別記錄每車道的轉向交通量，都可以透過影像處理及交通分析軟體加工完成。這一些都是人工現場調查難以克服的問題。

目前的主要技術限制是無人機的續航力及拍攝範圍，續航力可透過兩台無人機接力拍攝或採用長效無人機來克服；依目前研究團隊建議的飛行高度 75 公尺，拍攝範圍為 105 公尺，足以涵蓋一般路口的停止線以內的範圍以及長邊方

向上游 30 公尺以上，可應付一般的分析需求。但大型路口（如臺北市南京東路四段與敦化北路路口），東西向停止線距離可達 95 公尺，需要飛行更高才能拍攝整個路口以及上游的範圍。另外，影像分析對於小物件的辨識度較低，行人、自行車、機車密度高、機車兩段式左轉的辨識能力較差，這些障礙在短期未來有望克服。



資料來源：[60]

圖 8.3-1 路口轉向交通量調查輸出範例

另外，本計畫的軟體開發是針對四叉正交路口進行設計，其他類型如斜交、快慢分隔、多叉路口等，尚需要製作較具彈性之交通車流記錄方式，讓使用者可自訂多組出入口。相關技術之成熟度與限制在表 8.3-1 說明。

表 8.3-1 路口轉向交通量調查之相關技術成熟度與限制

技術	問題	技術成熟度	調整或限制說明
無人機	續航力	Δ	續航力不足以連續調查尖峰時段（2-3 小時），可以兩台無人機接力拍攝或採用長效性無人機。
	拍攝範圍	O	1. 飛行高度 75 公尺，足以涵蓋一般路口。 2. 大型路口需提高高度至 110m，可拍攝 155 公尺。
影像分析	提高拍攝高度會導致畫面中車輛變小	Δ	1. 增加訓練樣本，涵蓋不同高度的影片。 2. 主要影響行人與兩輪車輛，對四輪車輛影響較有限。
	貨車、聯結車辨識度較低	Δ	改用改良版 SCRDet 後已有所提升。
	高密度的機車群、機車兩段式左轉辨識度較低	Δ	1. 偵測小物件完整範圍難度高。 2. 進出機車停等區需一套特殊處理機制。
	行人辨識度較低	Δ	改用新的 CSP 架構應會有明顯提升。
交通分析	快慢分隔路口	Δ	使用者自訂多組出入口，分別記錄快車道、慢車道車流。
	多叉路口	Δ	使用者自訂多組出入口，分別記錄多出入口車流。

資料來源：本計畫繪製

O　技術已成熟，本年度軟體可處理；Δ　技術已存在但需要調整；X　技術限制

8.3.2 基本應用情境(2)：路段交通量調查

根據「交通工程規範」，路段交通量調查依對象分為高 (快) 速公路及一般道路之交通量調查，其調查目的是要路段之交通量與交通組成資料，以了解道路系統交通特性，做為評估服務水準、研擬交通管制措施及交通改善計畫之用。調查步驟包括：(1) 確定調查範圍、(2) 確定調查時間、(3)調查地點選定與設置，每隔 5 分鐘按流向與車種分類統計各路段上所通過調查站之車輛，按流 向、車種分別予以記錄並統計。原則上高 (快) 速公路的交通量需要每天調查 24 小時，省、縣道及市區主要道路的交通量需要每季連續調查 3 天，包括平常日 1 天，以及星期六、星期日各一全天 24 小時，鄉道及市區次要道路調查上午 6 時至下午 10 時計 16 小時。因為調查時間長並且涵蓋夜間時段，以目前無人機的空

拍技術，不適合用於路段交通量調查。

8.3.3 基本應用情境(3)：屏柵線與周界交通量調查

根據「交通工程規範」，屏柵線與周界交通量調查是要蒐集屏柵線與周界之交通量與交通組成資料，以了解道路系統之交通特性，做為運輸規劃、交通工程規劃及停車規劃之用。調查步驟包括：(1) 確定調查範圍、(2) 確定調查時間、(3)調查地點選定與設置，每隔 5 分鐘由調查員就設站位置將所有通過調查站之車輛，按流向、車種分別予以記錄並統計。調查地點原則上是在外區進入調查地區之周界點上設置「一般調查站」及「主要調查站」,「一般調查站」應擇平常日之某一天，由上午 6 時至下午 10 時共調查 16 小時;「主要調查站」則實施連續 3 天全日 24 小時之調查 (平常日、星期六、 星期日各 1 天)，惟調查單位得依調查資料使用之目的，調整調查時間。跟路段交通量調查的情況相同，因調查時間長並且涵蓋夜間時段，無人機空拍並不適合用於屏柵線與周界交通量調查。

8.3.4 基本應用情境(4)：行人交通量調查

根據「交通工程規範」，行人交通量調查的調查目的是蒐集行人之交通量，以決定交岔路口行人號誌之時制計畫，以及設置行人穿越道之位置與寬度，並做為設置人行道、人行地下道、人行天橋及行人徒步區評估之用。調查步驟包括：(1) 確定調查範圍、(2) 確定調查時間、(3)調查地點選定與設置，調查方法是每一調查員調查一個流向，四叉路口原則需 8 位調查員，對於其他型式路口視情形增減調查人員。調查時每 15 分鐘記錄該流向所通過路口之行人數量。原則上調查時間應涵蓋上、下午尖峰時間約 4 小時，惟調查單位得依調查資料使用之目的而調整調查時間。

行人交通量調查的技術限制與路口轉向交通量調查基本相同(請參考表 8.3-1)，主要問題是無人機的續航力可能不足以涵蓋連續 4 小時，因此可採用兩台無人機接力拍攝，或調整調查時間的計算方式。影像分析方面，依目前技術行人的辨識度也較小型車來得低，未來可透過調整深度學習的架構應會有明顯提升。

8.3.5 基本應用情境(5)：車輛起迄調查

根據「交通工程規範」，車輛起迄調查係蒐集旅次起迄點、目的、人數、時

間及車種別等旅次特性資料，做為交通工程規劃設計之用。主要調查方法包括路邊訪問法與車輛牌照法，當中車輛牌照法是於不同之地點以人工或錄影方式抽樣登錄所經過車輛之號牌，透過 追蹤整理，以瞭解車輛之行經路線、起迄點及數量。車輛起迄調查之調查站設於規劃範圍內各交通分區界線或屏柵線之各道路路段，因此需要長時間觀察大範圍面積，範圍可達數公里以上，無人機之視野及續航力均不足以應付，因此並不適合應用於車輛起迄調查。

8.3.6 基本應用情境(6)：旅行時間調查

根據「交通工程規範」，調查目的是調查路段旅行時間與交通延滯情形，做為評估路段服務水準、研擬號誌連鎖時制計畫、路型與槽化設計以及其他交通改善規劃之用。調查方式為採用調查車 (Test Car) 在調查路段內以車流之正常速率來回行駛至少 6 次，分別由車內之調查員利用手錶或馬錶記錄調查車經過各路口之里程、時刻及所有延滯時間與其延滯原因。調查範圍包括調查地區內之主要道路及較重要之次要道路，調查時間原則上應擇一平常日調查，調查時間應區分為尖峰時間及離峰時間，如包括上午尖峰時間 (07:00~9:00)、離峰時間 (14:00~l6:00) 與下午尖峰時間 (17:00 ~ l9:00) 等三個時段。

無人機人車流動空拍影像雖然可分析計算車輛速率及延滯時間，但旅行時間調查的範圍需涵蓋整個路段，可達數公里以上的範圍，而無人機之視野只能涵蓋數百公尺不足以應付，因此並不適合應用於旅行時間調查。

8.3.7 基本交通應用情境(7)：交岔路口車輛延滯調查

根據「交通工程規範」，交岔路口車輛延滯調查的目的是做為評估路口服務績效及研擬最佳號誌時制計畫之用，調查前需先確定調查範圍及調查時間，原則上應擇一平常日調查，其調查時間應區分為尖峰時間及離峰時間，如包括上午尖峰時間 (07:00 ~ 9:00)、離峰時間 (14:00 ~ 16:00) 與下午尖峰時間 (17:00 ~ 19:00) 等三個時段。

如以傳統方式進行人工現場調查，調查可採用停止時間延滯法，每隔 10 ~ 20 秒（一般採 15 秒）計數路口之停止車輛數，並分別記錄該路口此一分鐘通過車輛總數與未受阻直接通過之車輛數。每 15 分鐘為一調查單元，每一時段需要完成四個調查單元。記錄表格範圍如圖 2。按照標準作業流程，這項工作需要每

一臨近路口配置 4 名調查員，四叉路口則需要配置 16 名調查員，而停止車輛數必須在現場觀察，難以透過錄影方式再事後登錄，因此車輛延滯調查在實務上的現場操作非常不容易。

如調查目的是號誌時制重整的設計及績效評估，更需要蒐集其他資訊，如等候長度，用以判斷是否有過飽和的情況發生（交通號誌時制重整計畫（I）－標準作業程序建立，民 96）；不同車種所產生的延滯（如機車、小型車），不同車道及轉向的車輛所產生的延滯，這些都是人工在現場調查難以取得的資料。透過無人機進行調查，上述問題都可以運用影像分析及交通分析軟體克服，車流軌跡能詳細記錄每一台車輛的延滯時間以及其車道、轉向、是否受阻、受阻次數等資訊，輸出的延滯調查時距更可自由設定，不受 15 秒的人工記錄所限制。

無人機拍攝的主要技術限制為拍攝範圍及續航力，最好能覆蓋調查臨近路口停止線上游 80 公尺以上的範圍，可提升無人機高度拍攝整個路口，或用兩台無人機各拍攝兩個相鄰的臨近路口。相關技術之成熟度與限制，請參考表 8.3-2 之說明。

表 8.3-2 交岔路口車輛延滯調查之相關技術成熟度與限制

技術	問題	技術成熟度	調整或限制說明
無人機	拍攝範圍	Δ	1. 提高拍攝高度，需低於 150m，例如從 75m 提高至 110m。 2. 需選擇主幹道或支道做為拍攝重點，例如改以支道橫向置中。 3. 針對單一臨近路口進行拍攝工作，篩選易肇事路段進行局部分析，定義該局部路口的進出方向，即可用完整路口的方法分析。
	續航力	Δ	1. 可以兩台無人機接力拍攝或採用長效性無人機。 2. 分析以號誌週期為單位，兩架次拍攝可允許較大的時間縫隙（約 5 分鐘或 2 週期），例如拍攝 15 分鐘、起降 5 分鐘為一循環。
影像分析	小型車停等時較難辨識	O	四輪小型車停等辨識問題並不明顯。
	機車密集停等時較難辨識	Δ	1. 短程：增加機車待轉區之訓練資料。 2. 長程：文獻顯示具方向性之矩形物件偵測技術有助於解決同向並排的密集物件問題。
交通分析	軟體增加計算及輸出項目	Δ	輸出項目包括：總延滯、臨近車輛之平均延滯、停等車輛之平均延滯、停等百分比等。

資料來源：本計畫繪製

O　技術已成熟，本年度軟體可處理；Δ　技術已存在但需要調整；X　技術限制

8.3.8 基本應用情境(8)：現點速率調查

根據「交通工程規範」，現點速率調查是調查道路某地點的車輛行駛速率，以分析該路段車輛行駛速率分布特性，以及擬定速限管制等之用。其調查步驟包括(1) 決定抽樣車輛數、(2) 選擇現點速率調查地點、(3) 確定調查時間。傳統的調查方式可採用攝影法或測速儀法，攝影法是依預定間隔時間進行車輛攝影拍照，由車輛行駛距離和時間求得速率；而測速儀法則需採用特殊測速設備設備，利用都卜勒反射原理將信號發向移動車輛，經反射原理使信號頻率依移動車輛速率作有規則的比例變動，得出移動車輛之速率。

採樣無人機拍攝進行拍攝，再經由影像分析軟體進行移動物件的軌跡追踪，可有效的進行現點速率調查，主要的優勢為可以為拍攝時段內的全部車輛進行調查，不需要考慮抽樣的問題，並且可同時進行車流量的記錄及車種分類，更可依分析需求輸入畫面中現點速率的紀錄位置，更可於現場調查事後再行調整。相關技術之成熟度與限制在表 8.3-3 說明。

表 8.3-3 現點速率調查之相關技術成熟度與限制

技術	問題	技術成熟度	調整或限制說明
無人機	續航力	O	無續航力之問題。
	拍攝範圍	O	無拍攝範圍之問題。
影像分析	部分車種可能有辨識度較低之問題	Δ	與路口轉向交通量調查相同，可透過增加訓練樣本，加強各種車種之辨識度。
交通分析	現點速率位置	Δ	設計介面讓使用者可自訂畫面中現點速率的紀錄位置。

資料來源：本計畫繪製

O　技術已成熟，本年度軟體可處理；Δ　技術已存在但需要調整；X　技術限制

8.3.9 基本應用情境(9)：停車特性調查

根據「交通工程規範」，停車特性調查的調查目的是調查某地區停車需求特性與供給狀況，以分析該地區之停車特性，做為研擬停車計畫之用。調查方式為將調查員依工作性質分為三類，第一類負責停車需求現況調查，第二類負責停車場容量與使用狀況調查，第三類負責停車需求特性問卷調查。停車需求現況調查可採用車輛數登記法或牌照登錄法紀錄路邊或路外停車場的使用情況；停車場容量與使用方式調查則是調查路邊與路外停車場可供停放之車輛數、停放方式及開放時間等資料；停車需求特性調查採用抽樣問卷調查方式，遇有車輛準備停車或正欲駛離之際，由現場調查員訪問該駕駛人，調查重點為停車目的、停車延時、步行距離及其他停車需求特性等。車輛停放於停車場動輒數小時，調查時間需涵蓋 6 小時以上，無人機人車流分析並不適合應用於停車特性調查。

8.3.10 基本應用情境(10)：道路幾何特性調查

根據「交通號誌時制重整計畫(I)-標準作業程序建立」(民 96)，時制計算需要考慮道路環境，可透過道路幾何特性調查取得，主要是針對調查路口與臨進調查路口之路段幾何特性進行調查，資料蒐集的項目包括路段長度、車道寬度、車道配置情形、 路口寬度、以及臨近路口路段之停車狀況等資料，一般如 (1) 路口寬度、車道寬度、(2) 路段長度、(3) 停車管制狀況、(4) 機車停等區大小與位置、(5) 公車與計程車招呼站設置情形。根據路口的情況，模式分析需要的道路環境資料可包括車道配置、車道寬、儲車長度、儲車道數等，車道配置資訊包括實際車道使用狀況、實體分隔、快慢分隔、公車專用道設置影響、轉向專用道、機車專用道等。道路幾何調查表範例如圖 8.3-2 所示。

	中興路-寶慶路				復興路-建國路				復興路 29 巷				順安街-復興路			
臨近路口	A 東	B 南	C 西	D 北	A 東	B 南	C 西	D 北	A 東	B 南	C 西	D 北	A 東	B 南	C 西	D 北
路口寬度	23.1	33.3	21.6	19.3	22	9	22	3.3	22	3.6	22	2.9	20.3	13.6	23.6	13.9
左轉專用車道寬度 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
左轉專用車道寬度 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
車道寬度 1	左 2.9	左 3.0	3.3	4.3	3.1	左 3.1	3.1	0	3	0	3	0	3.4	3.4	2.7	3.6
車道寬度 2	2.8	3	3.1	0	3.3	右 3.2	3.1	0	3.3	0	3.3	0	3.1	0	3	3.4
車道寬度 3	5.1	3.2	右 3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	右 4	0
車道寬度 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
右轉專用車道寬度 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
右轉專用車道寬度 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
路段長度	50	60	70	90	170	150	320	巷子	120	15	170	15	70	210	120	130
可否停車	否	是	無	是	是	是	是	否	是	否	是	否	否	是	是	否
停等區深	6.4	4.7	6	0	6.2	0	6.1	0	6.1	0	6.2	0	5.9	5.8	0	5.9
停等區寬	5.1	6	3	0	5.1	0	5	0	6.8	0	6.5	0	6.3	3.3	0	3.5
公車站	無	無	無	無	無	無	有	無	無	無	有	無	無	有	無	無
計程車招呼站	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

資料來源：[60]

圖 8.3-2 道路幾何調查表範例

如以傳統方式進行人工現場調查，需先採用電子地圖或衛星圖建立道路設施之初稿，在現場觀察確認，設計或標線之尺寸以測距輪量測。調查過程需要在不干擾車流的情況下進行，如量測的項目於路口或路段之中，則常發生執行上的困難。

無人機空拍的正射影像能提供清楚的現場空照圖，能清楚的看到路面上的標線，另可透過影像重疊技術將影像中的移動物移除，取得無車流量的乾淨地圖，再搭配比例尺可量測尺寸，精確度應可滿足道路幾何調查之需求。

另外，需要考慮空拍照片受到路側樹木遮蔽、道路設施之標線過於複雜、標線掉漆、標線繪製方式不標準等因素而難以辨認。依目前的影像分析技術，只能在特定條件下才能進行標線辨識，道路幾何調查尚無法自動化處理，因此建議可以使用者於乾淨底圖上以人工方式進行幾何特性調查，再搭配比例尺進行尺寸量測。相關技術之成熟度與限制，請參考表 8.3-4 之說明。

表 8.3-4 道路幾何特性調查之相關技術成熟度與限制

技術	問題	技術成熟度	調整或限制說明
無人機	拍攝範圍	O	拍攝範圍可涵蓋整個路口，但需注意可能有樹木遮蔽、標線掉漆等問題而難以辨認。
	續航力	O	只需要於車流量較低的情況拍攝一短片，無續航力之問題。
影像分析	空拍底圖	O	可透過影像重疊技術，將影像中的移動物移除，取得無車流量的乾淨地圖。
	幾何特性蒐集自動化	X	1. 特定條件下有可能進行標線辨識。 2. 道路設施之標線有過於複雜、標線掉漆、標線繪製方式不標準等因素，道路幾何調查尚無法自動化處理。
交通分析	軟體增加計算及輸出項目	Δ	使用者於底圖上以人工方式進行幾何特性調查，提供比例尺進行尺寸量測

資料來源：本計畫繪製

O 技術已成熟，本年度軟體可處理；Δ 技術已存在但需要調整；X 技術限制

8.3.11 基本應用情境(11)：交通衝突分析

交通衝突分析是本計畫的核心工作項目，已原理及調查項目已於 108 年研究「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」及本計畫前述章節詳細探討。本計畫已達成之效果及尚待克服的技術問題，整理在表 8.3-5。

表 8.3-5 交通衝突分析之相關技術成熟度與限制

技術	問題	技術成熟度	調整或限制說明
無人機	續航力	O	交通衝突的分析影片可不連續，可多次空拍錄影以達到分析的需求，因此續航力不是關鍵問題（本計畫以三架次各 15 分鐘的影片做為分析對象）。
	拍攝範圍	O	1. 飛行高度 75 公尺，足以涵蓋一般路口。 2. 大型路口需提高高度至 110m，可拍攝 155 公尺。
影像分析	提高拍攝高度會導致畫面中車輛變小	Δ	1. 增加訓練樣本，涵蓋不同高度的影片。 2. 主要影響行人與兩輪車輛，對四輪車輛影響較有限。
	貨車、聯結車辨識度較低	Δ	改用具方向性的 Mask R-CNN 後已有所提升。
	高密度的機車群、機車兩段式左轉辨識度較低	Δ	1. 偵測小物件完整範圍難度高。 2. 進出機車停等區需一套特殊處理機制。
	行人辨識度較低	Δ	本計畫不分析行人相關衝突，未來可望提升行人的辨識度，在將行人與車輛的衝突納入分析。
交通分析	交通衝突指標	O	本計畫發展之軟體已可計算常用的交通衝突指標 TTC、PET。
	交通特性資料	O	本計畫發展之軟體已可計算車流量、車速等資訊，可輔佐交通安全風險的評估。

資料來源：本計畫繪製

O　技術已成熟，本年度軟體可處理；Δ　技術已存在但需要調整；X　技術限制

綜合以上討論，歸納基本應用情境如下表 8.3-6。根據前述章節討論之無人機及影像分析技術的技術盤點，適合解決但可能需要進一步調整的基本應用情境包括：交岔路口交通量調、行人交通量、路口車輛延滯調查、現點速率調查、道路幾何特性調查、交通衝突分析。其他的應用情境所需蒐集資料的範圍過大或需要長時間調查，如採用無人機技術，需要克服視野及續航力不足的問題，因此調查此單一項目上並沒有明顯的優勢；然而，無人機調查的優勢在於蒐集車流軌跡資料後，能用於所有已開發功能之交通調查分析及安全評估分析。如需要同時進行多項應用情境之分析工作，則可考慮採用無人機方案；如只需要進行單一的應用情境分析，建議可採用傳統的人工或路側攝影機調查方案。

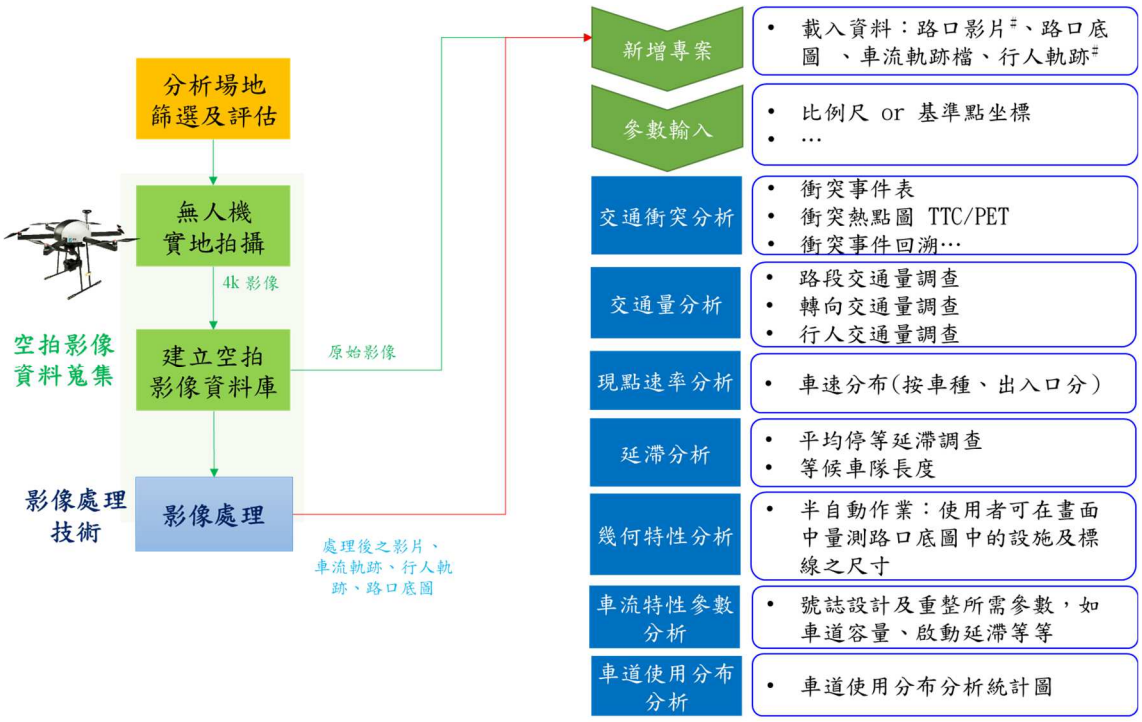
表 8.3-6 基本交通應用情境之技術的成熟度及限制

項目	應用情境	技術成熟度	技術限制
1	路口轉向交通量調查	技術已成熟	無人機之續航力較為不足，可採兩台無人機接力解決。
2	路段交通量調查	技術未成熟	無人機之續航力不足。
3	屏柵線與周界交通量調查	技術未成熟	無人機之續航力不足。
4	行人交通量調查	技術已成熟	已具備行人偵測能力，但不同路口及飛行高度下的行人偵測準確度有提升空間。
5	車輛起迄調查	不適合	無人機之視野及續航力不足。
6	旅行時間調查	不適合	無人機之視野及續航力不足。
7	交岔路口車輛延滯調查	技術已成熟	無人機之拍攝範圍需測試、調整。
8	現點速率調查	技術已成熟	可計算各車輛的車種、轉向、車速。
9	停車特性調查	不適合	無人機之續航力不足，需進行問卷調查。
10	道路幾何特性調查	技術已成熟	可製作無車輛之空拍底圖。
11	交通衝突分析	技術已成熟	可計算交通衝突事件，衝突指標 TTC、PET。

資料來源：本計畫繪製

8.4 軟體架構及內容的未來發展

本計畫之交通分析軟體已可進行交通衝突分析(如衝突熱點圖、衝突事件表等)、交通量分析(如路口轉向交通量調查、行人交通量調查)、現點速率分析(如車速分布統計、路口轉向速度計算等)功能，而因應未來交通應用架構及上述情境整合，分析軟體功能規劃擴充如圖 8.4-1，包括交通量分析(如路段交通量調查)、延滯分析、幾何特性分析及車流特性參數分析、車道使用分布分析等功能，並新增參數輸入功能如基準點座標等，以利擴展交通資訊分析統計。

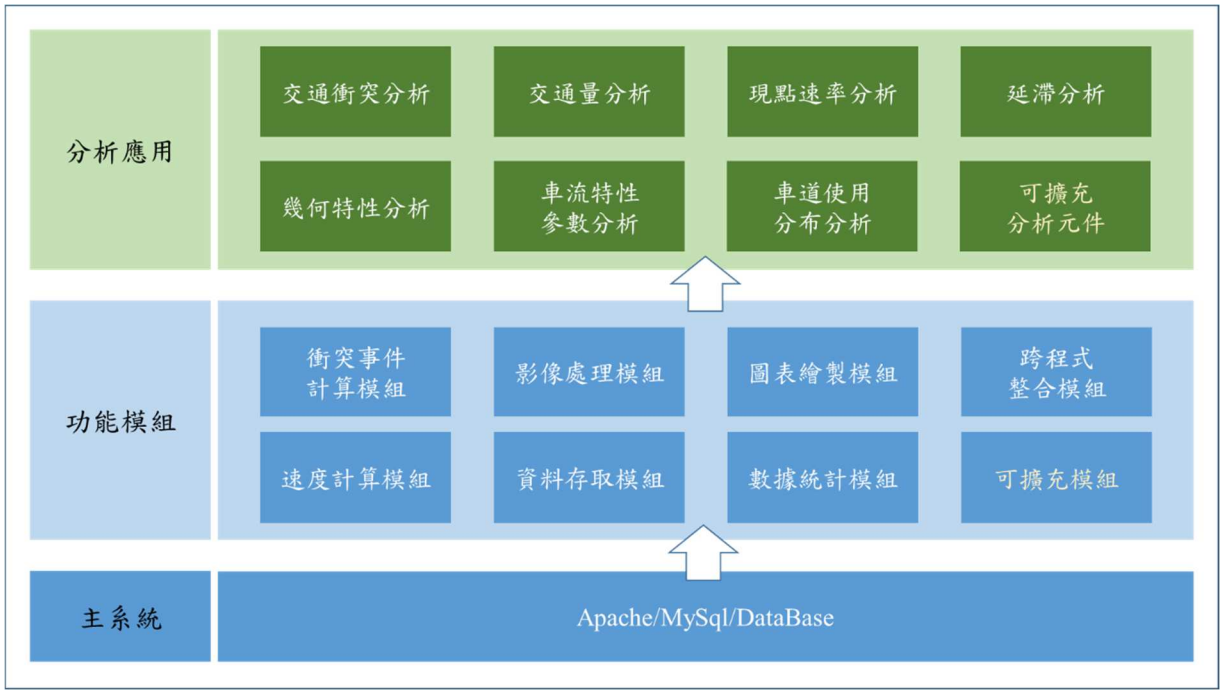


資料來源：本計畫繪製

圖 8.4-1 衝突分析軟體功能擴充規劃

為利於功能彈性擴充，分析軟體系統模組如圖 8.4-2，主架構以網站系統建置，各項功能以模組化元件設計，上層再依據情境發展各式分析應用，並以響應式網站方式呈現，以利多種平台顯示及運用。基於資料庫及網站系統建置，在資料存取上有完整且便利的 API 可使用，功能模組化設計可達到運算演算法優化及重複使用之優點，最後以 Web UI 與使用者互動，不僅利於操作，使用者也相當熟悉網站軟體的流程，可快速上手。針對未來功能應用多元發展，只需擴增既有的功能模組及設計適切的顯示互動方式，即能快速因應需求，完成分析軟體應

用系統之升級



資料來源：本計畫繪製

圖 8.4-2 交通分析軟體可擴充架構模組圖

8.5 專家學者座談會結論整理

本計畫於 109 年 9 月 8 日舉辦專家學者座談會議，蒐集產官學研各界對本本計畫初擬的交通應用情境架構與內容提供意見及應用需求，茲整理各界結論如下。

8.5.1 交通基本應用情境整理

蒐集專家學者座談會議資料，彙整交通基本應用情境軟體開發評估整理如表 8.5-1。

表 8.5-1 交通基本應用情境軟體開發評估

項目	應用情境	需求單位	技術限制	本計畫軟體	
				因應開發方向	優先順序建議
1	路口轉向交通量調查	高速公路局/臺北市交通局	無人機續航力有限，如考量長時間交通量調查，CCTV 路側攝影機為較佳的方案，相關比較說明請參考 8.5.4 節。	本計畫軟體已具備該功能	-
2	行人交通量調查		空拍行人影像辨識與追蹤不易，較難觀察長時間連續影像，可採用接續方法進行調查。	本計畫軟體已具備該功能。	-
3	交岔路口車輛延滯調查	臺中市交通局/臺南市交通局/中華電信	無人機 AI 方案優於現場人工調查方法，唯空拍影像需考量拍攝無樹木遮蔽之區域。	建議透過軌跡檔案分析速度未達某個門檻值的車輛數(表示有受阻,停等紅燈)。	1
4	現點速率調查		無人機 AI 方案優於現場人工調查方法，唯空拍影像需考量拍攝無樹木遮蔽之區域。	本計畫軟體已具備該功能。	-
5	道路幾何特性調查	營建署/本所	空拍影像需考量拍攝無樹木遮蔽之區域，現場須有人進行量測兩點距離做為比例尺參考。	建議可歸類於基本應用情境之輔助功能，分析軟體提供底圖與量測距離工具等。	3
6	路口交通衝突分析	本所	無人機 AI 方案優於現場調查。	本計畫軟體已具備該功能。	-
7	高速公路匝道/路口之車輛延滯調查	臺南市交通局	無人機 AI 方案優於現場人工調查方法。	需進行匝道影像蒐集，可依據項目 3 開發方向計算延滯。	2

資料來源：本計畫繪製

8.5.2 交通進階應用情境整理

蒐集專家學者座談會議資料，彙整交通進階應用情境軟體開發評估整理如表 8.5-2。

表 8.5-2 交通進階應用情境軟體開發評估

項目	應用情境	需求單位	技術限制	本計畫軟體	
				因應開發方向	優先順序建議
1	時制設計參數	本所運安組	無人機 AI 方案優於現場調查。	未來可規劃現有交通分析軟體與本分析軟體整合規劃，屬學術研究專案。	6
2	分流式指向線效益分析	臺中市交通局/中華電信	無人機 AI 方案優於現場調查。	可先依之前討論的分流指向線分析工具進行功能設計，再利用該工具進行效益探討。	1
3	行人設施安全效益分析	營建署/警察大隊	無人機 AI 方案優於現場人工調查方法，唯空拍影像需考量拍攝無樹木遮蔽之區域。	參考 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之分析指標，可針對庇護島與行穿線退縮之安全效益進一步探討。需計算以下數值(角度、速度、分散度、未禮讓或違規比率)，規範遵循的判斷較不易處理，需視影像分析的成果，及需有參考比例尺。	2

資料來源：本計畫繪製

表 8.5-3 交通進階應用情境軟體開發評估(續)

項目	應用情境	需求單位	技術限制	本計畫軟體	
				因應開發方向	優先順序建議
4	車道配置及車道寬調整效益分析	高速公路局/營建署	無人機 AI 方案優於現場調查	參考車道配置及車道寬度調整研究成果報告(分為巨觀及微觀)。巨觀：須具備道路交通量、道路幾何資料及交通事故資料，才能進行效益分析。(或可先建立交通量及道路幾何資料)。微觀：可分成安全分析及效率分析，安全分析以衝突分析為主(TTC 或衝突型態)，效率分析以容量、通過時間及平均速率為主。這些是平台較有機會處理的區塊，然也須更明確定義所需資料。容量的計算方法可討論，不一定要按照報告定義。	5
5	路口交通衝突分析	高速公路局	無人機 AI 方案優於現場調查。	本計畫軟體已具備該功能。	-
6	取消內側禁行機車	臺南市交通局	原則上可行，需進一步研擬評估方式。	-	4
7	轉彎車未禮讓行人/人車衝突評估	臺南市交通局	原則上可行，需進一步研擬評估方式。	-	3

資料來源：本計畫繪製

8.5.3 交通其他應用情境整理

蒐集專家學者座談會議資料，彙整交通其應用情境回應整理如表 8.5-4。

表 8.5-4 交通其他應用情境之可行性初步分析

項目	應用情境	需求單位	可行性初步分析
1	CCTV 版本的 AI 交通分析與現存 CCTV 整合	高速公路局/臺北市交通局/臺灣大學土木系/陽明交通大學土木系/成功大學交管系	本計畫統一採用垂直俯視視角之空拍影像，若欲整合 CCTV 內容需將其偏水平視角畫面重新投影為垂直視角畫面，進行交通量統計應可行，但若由 CCTV 畫面取得軌跡資訊，初列 3 項議題有待後續開發克服: (1)CCTV 與 UAV 視角差距甚大，投影後的車輛位置容易受景深與車輛高度等影響，造成投影後的車輛位置誤差甚大。(2)需根據 CCTV 畫面透過人工指定路面地標的方式來計算適當的投影矩陣，難以自動化處理。 (3) CCTV 視角難全面取得本計畫之貼合車輛區域偵測框，僅能以傳統軌跡線的方式呈現軌跡資訊。 總結: UAV 無人機影像來源之分析優點為量測精確度高、缺點為量測時間短；CCTV 影像來源之分析優點為量測時間長、缺點為量測精確度較低（需各路口調教設定）。在應用上，時制設計參數大多需要進行長時間觀察使用者的行為特性（如啟動延遲），成一分布狀態，UAV 無人機 較不適合採用；而行人穿越路口（e.g. 交通大執法）可用短時間評估行人的行為，UAV 無人機較適合使用。

資料來源：本計畫繪製

表 8.5-5 交通其他應用情境之可行性初步分析(續)

項目	應用情境	需求單位	可行性初步分析
2	即時交通壅塞資訊、機動性交通監控	公路總局/臺北市交通局/新北市交通局/陽明交通大學土木系	可機動派遣無人機前往壅塞地點查看，並即時傳回路況影像；若要分析交通壅塞成因，需蒐集多一點數據進行分析；即時機動監看交通狀況，與本計畫主軸較無關聯，可評估列為未來建議。
3	多機協作	臺灣大學土木系/成功大學交管系	多機協作至少有兩個層面問題須解決，包括多機影像同步及影像接合等問題。建議如需多機協作才能完成任務之區域，可先評估進行 POC 驗證。
4	其他判斷安全性的代理因子	臺灣大學土木系/成功大學交管系	學術文獻中有提出許多代理因子（Surrogate Measures），交通衝突分析是最多被採用的一種方法，因考慮通用性，專案建立仍建議以交通衝突分析為主。
5	收費模式	臺南市交通局	建議以 80/20 需求法則做分析軟體之基礎版供一般交通分析需求使用，以個別計劃案需求處理特殊複雜路口做為分析軟體進階需求使用。
6	路口圖資建檔	臺中市警察局交通大隊	可評估列為未來建議。
7	高精地圖/行駛軌跡	陽明交通大學土木系	可評估列為未來建議。

資料來源：本計畫繪製

8.5.4 路口轉向交通量調查方法整理

路口轉向交通量調查為最常見之調查需求，透過流量調查進行對城市內道路、都市發展現況、和交通成長量之具體數據呈現。整理常見之路口轉向交通量調查方法的使用時機及其互補性分析請參考表 8.5-6。由比較結果得知，採用無人機進行路口轉向交通量調查此單一項目並沒有明顯的優勢；然而，無人機調查的優勢在於蒐集車流軌跡資料後，能用於所有已開發功能之交通調查分析及安全評估分析，有別於人工或路側攝影機方式只能調查單一項目。

表 8.5-6 路口轉向交通量調查方法整理

調查方法	人工	路側攝影機(CCTV)	無人機(UAV)
調查時間	4 小時	24 小時	0.6 小時(~40 分鐘)
優勢 (Strength)	既有調查手法，現況使用率最高。	天候影響低(全天候蒐集)，佈建率最高。	機動性高，拍面積最廣，單一無人機即可涵蓋整個路口流量調查。
劣勢 (Weakness)	人工疲勞、人工錯誤難溯源。	架設高度有限，側拍影像容易有大車遮蔽問題。大型路口需多支攝影機組合而成。	天候影響大(如風力/下雨/電波干擾源)，電力時間短(需搭配多機輪替、繫留無人機)，公共安全風險較高(需進行飛行保險) 。
機會 (Opportunities)	新技術未成熟前繼續執行。	提供長時間、天候狀況影像低之路口轉向交通量調查方式。	提供大型路口、無須架設設備機動性高之路口轉向交通量調查方法。
威脅 (Threats)	數位轉型下被取代性高。	需針對各式各樣拍攝角度之路口調教設定，AI適用性需多加考量。	無人機飛手門檻高、公共安全發生風險高。
結語	傳統方法	交通流量可算，但進階之交通分險因軌跡精準誤差較難評估。	交通安全評估合理方法。

資料來源：本計畫繪製

8.5.5 道路幾何特性調查輔助功能

後續應用可歸類於基本應用情境(輔助功能)，分析軟體提供底圖與量測距離工具等。一般來說，道路幾何特性調查包括道路車道數、道路寬度、道路分隔型態(如中央分隔或標線等)、快慢車專用道、安全庇護島等，若以人工調查，在大型路口對角範圍之細部特性不易查看，需步行至各方位角，而車道寬度或行穿線長度等資料，需管制交通，始能進行完整量測調查。反觀空拍機，空拍畫面一目了然，可透過人眼判斷，快速完成路口調查；而若希望以空拍影像進行智慧分析，首先須避開樹木遮蔽現象，加上辨識種類多樣，且不同路面顏色或標線不清等影響，都大幅增加辨識難度；故本計畫建議以人眼判斷車道數、道路分隔型態、庇護島等道路相關資訊，並規劃路口畫面距離量測功能，提供使用者量測車道寬度、行穿線長度等數據，以利完成道路幾何特性調查；以目前 4K 影像來看，1 pixel 約有 3~6 公分誤差值，應尚在可接受範圍。整理常見之道路幾何特性調查方法的使用時機及其互補性分析請參考表 8.5-5。

表 8.5-7 道路幾何特性調查方法整理

調查方法	人工	路側攝影機(CCTV)	無人機(UAV)
調查時間	1~2 小時	無法處理	10~30 分鐘
優勢 (Strength)	既有調查手法，現況使用率最高，長度/寬度丈量數據應較準確。	天候影響低(全天候蒐集)，佈建率最高	機動性高，可拍面積最廣，單一無人機即可涵蓋整個道路幾何特性調查範圍(飛行高度應略高於交通路口調查)。
劣勢 (Weakness)	需管制交通，始能進行長度/寬度丈量，以避免干擾車流並保障調查人員之安全，或於車流量較低的時間完成。	側拍影像容易有車輛遮蔽或死角問題，需搭配多支攝影機，才能完成調查。針對長度、寬度數據無法準確估算。	天候影響大(如風力/下雨/電波干擾源)，公共安全風險較高(需進行飛行保險)。尚無法做到全自動影像分析辨識，需搭配人眼辨別道路幾何特性。
機會 (Opportunities)	新技術未成熟前繼續執行	可隨時進行道路幾何特性調查，並快速更新調查結果。	提供快速機動調查方式，搭配影像量測功能，具備高參考性。
威脅 (Threats)	數位轉型下被取代性高	需針對各式各樣拍攝角度之路口調教設定，AI 適用性需多加考量	無人機飛手門檻高、公共安全發生風險高
結語	傳統方法	除長度/寬度等無法取得具參考之數值外，其他道路幾何特性可以人眼辨別之。	以人眼判斷道路幾何特性，並提供距離量測功能，可取得車道寬度、行穿線長度等數據，快速完成道路幾何特性調查。

資料來源：本計畫繪製

第九章 結論與建議

為能在交通事故發生前診斷出交通衝突問題，並研擬預防性交通工程改善措施，有效防制路口交通事故發生，本計畫延續 107 年及 108 年研究成果，利用人車流動空拍影像軌跡擷取進行影像分析，透過交通衝突分析軟體進行示範路口衝突分析，並進一步將衝突分析結果及衝突事件的分類，與本所「各肇事型態的交通工程改善設計範例」研究計畫的肇事型態進行連結，銜接衝突事件分析結果與交通工程改善措施研擬工作。另本計畫並研提適合以空拍影像進行分析的 7 項基本應用情境及 6 項進階應用情境，供未來研究參考。

9.1 結論

一、影像式車流分析技術

1. 本計畫改善了 SCRDet 的偵測結果，並用於取代 Mask R-CNN，以強化車輛偵測範圍的準確性。此外，為了取代 108 年研究採用以 512×512 為輸入的 YOLOv3-CSP 模型，本計畫也引進以 1024×1024 為輸入的 YOLOv4 模型，以增加小物件的資訊量。
2. 本計畫針對一般道路應用，重新訓練以一般 16:9 長寬比例影片為主要對象的車輛訓練模型，為此，本計畫撰寫對應軟體工具，可將兩張已標註之 1024 × 1024 影像進行橫向合併，重新轉換成 1920 × 1080 的影像標註資料。此外，對於已經具備初步訓練結果的模型，也可透過預先偵測的機制，先對新的訓練影像進行自動標註，再透過少量的人工訂正來減少標註資料的大量人力需求。

二、交通衝突分析

1. 在交通衝突分析方法方面，建立衝突型態分類並與「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」[5]之肇事型態分類進行對接，由交通衝突分析之結果可引導至應採用之交通工程改善設計範例，提出改善措施之建議。本計畫探討 4 個易肇事路口案例的改善事前、事後分析，分析改善方案之執行及成效，以及是否尚有其他交通安全上的潛在問題。

   (1) 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口：分析結果發現改善後，仍存有潛在問題，即南北向車流產生大量同向直行減速衝突，故建議調整號誌錯開南北向之車流。

(2) 桃園市桃園區三民路三段及永安路口：分析結果顯示改善措施有效，另發現改善後仍存有潛在問題，即三民路三段入口之「同向執行減速衝突」衝突數高，故建議設置「車道預告輔助標誌」或加強執法。
(3) 臺南市永康區中華路及勝華街口：分析結果發現改善後，仍存有潛在問題，即勝華街方向同向兩車左轉衝突增加，故建議參考「左轉導引設計」之範例 C [5]進行改善。
(4) 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口：分析結果發現改善後，仍存有潛在問題，即改善後衝突事件數增加，故建議再行檢視範例 C [5]之改善內容。

2. 為探討人車流軌跡分析在交通上的應用價值，本計畫進行分流式指向線(臺中市北屯區文心路四段與北屯路路口西側)的效益評估，除了採用指標方式量化實施後的效益外，另運用車流軌跡圖及分布圖以視覺化方式呈現車流行為是否有改變及達到預期的效果。分析結果顯示分流式指向線措施可分流直行機車與右轉汽車，降低潛在衝突指標，衝突數量因為分流式指向線劃設亦偏低，與原報告書[76]之結論相符，此亦表示本計畫的分析方法可有效的進行效益評估。
3. 由本計畫之路口交通衝突分析分與分流式指向線效益評估的實作中可發現，傳統交通工程改善需透過碰撞構圖累積一至三年才能協助交通工程設計者進行改善判定，透過本計畫分析技術與軟體，採用至高點空拍影像進行車流軌跡分析，計算產出相關交通風險因子，將可縮短交通改善前後效益評估時程，而本計畫分析軟體之車流軌跡分析技術，可進行繪製各車種之軌跡行為，亦可搭配號誌時相進行分析，可提供更多元之分析成果，可應用於其他交通安全議題研析，提供更具體之數據及視覺化分析成果。
4. 本計畫參考「各肇事型態-交通安全工程改善設計範例」、「美國交通衝突技術手冊」等進行衝突型態分類調整，使得分類能夠更適用於衝突分析，並達到與前述設計範例之改善建議措施結合之目的。
5. 交通衝突分析軟體已完成本計畫規劃之改善精進功能，包括交通衝突型態分類調整、衝突事件過濾升級、路口進出口方向判定優化、衝突熱點影片索引回放功能等，並因應分流指向線分析及非號誌化路口分析需求，新增車流軌跡繪製功能及路口轉向速度統計功能，讓使用者操作上更便利。例如：

(1) 針對部分事件風險極低、兩物件相對速度過低或非研究關注之事件，本計畫之交通衝突分析軟體已提供衝突事件進階過濾功能，可篩選出更適切之衝突事件，貼近路口交通表現。
(2) 衝突熱點影片索引回放功能，提供使用者依據衝突熱點圖可快速點選衝突事件，連結觀看衝突事件之車輛經過之影片內容，藉以分析可能發生衝突的原因，大幅提升分析查看衝突事件之效率。
(3) 車流軌跡繪製功能及路口轉向速度統計功能，不僅可用於分流指向線效益評估或非號誌化路口分析，亦可了解各路段或路口車流移動情形、數量概況及路口車速表現，甚至有機會發現違規行為，未來可擴充其功能應用範圍。

三、交通應用情境

1. 綜整適合人車流動空拍影像的交通應用情境，並透過專家座談會討論，集思廣益，蒐集各單位的需求。交通應用情境可分為基本應用情境及進階應用情境兩大類。
2. 適合分析的基本應用情境包括 7 項：路口轉向交通量調查、行人交通量調查、交岔路口車輛延滯調查、現點速率調查、道路幾何特性調查、路口交通衝突分析、高速公路匝道/路口之車輛延滯調查。
3. 適合分析的進階應用情境包括 6 項：時制設計參數、分流式指向線效益分析、行人設施安全效益分析、車道配置及車道寬調整效益分析、取消內側禁行機車、轉彎車未禮讓行人/人車衝突評估。

9.2 建議

一、無人機交通觀測方法

1. 本計畫成果發現，無人機具備制高優勢，可取得無死角的路口或路段影像，適合進行交通分析調查。依本計畫經驗，建議無人機可具備以下規格：

(1) 抗風能力及進場速度，至少蒲福風級>4 (5.5~7.9 m/s)。
(2) 懸停飛行能力，垂直小於 1 公尺，水平小於 2.5 公尺。
(3) 飛行及拍攝時間：約 25~60 分鐘以上。
(4) 中小型，軸距 20~75 公分。
(5) 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。

2. 無人機因機械結構、載重能力、酬載設備規格、飛行時效等限制，仍有許多拍攝的挑戰需克服，如天候不佳(如雨天)、連續長時間之影像蒐集能力等，然而因應未來應用需求，建議後續可針對以下議題規劃研究其可行性：

(1) 超大型路口或交通路段範圍，於影像接合分析可行之情況下，多架無人機組合飛行之可行性。
(2) 多架無人機進行長時間連續影像蒐集之方法研究。

二、影像式車流分析技術

1. YOLOv4 的高效能特性可降低對昂貴電腦硬體的需求，提升影片處理速度，建議以 YOLOv4 開發具方向性的車輛偵測方法，將目前分別針對四輪、非四輪車輛之偵測策略，更新為單一偵測架構，以簡化整體系統架構與處理流程。
2. 目前最耗費時間的步驟並非在車輛偵測，而是前處理中必要的影片穩定化。由於空拍影像動輒採用 4K 解析度，若演算法缺乏 GPU 支援，則一部影片需要 10 倍以上時間進行穩定化處理，建議未來開發基於 GPU 的影片穩定化軟體，以因應大量影片的處理效率問題。

三、交通衝突分析

1. 資料蒐集方面

(1) 使用無人機進行交通調查，可利用無人機的優勢界定交通參數，藉此發展成更有效率的交通調查系統，建議應進行長期的資料蒐集及累積，以進行安全與效率兩大面向的相關資料分析與交通應用。
(2) 相對於傳統交通調查，影像資料調查分析的特點可找出行車（人）動線與速度，此兩項特性與交通安全的關聯分析，具有相當大的研發潛力，建議未來軟體可強化動線與速度的結果輸出及應用探討。

2. 衝突分析方法及軟體推廣

(1) 國外的交通衝突指標並不完全適用於本土的交通情境，建議可考量國內的交通情況，精進交通衝突分析的方法，或發展本土化的衝突指標。

(2) 交通衝突與肇事並非相等，因此分析過程中有發現部分的交通衝突結果無法直接對應「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」的改善方案。建議未來需再進一步探討，可整合交通事故事件型態及衝突事件型態所得出之改善策略，以及研發實際應用的方式。

(3) 目前的研究分析對象主要為四岔路口，建議未來可針對不同的路口型態進行分析方法的研發。

(4) 政策性主題式的交通分析，如兩段式左轉、機車禁行內側道等，以及不同事故類型交通工程改善範例之成果[5, 27, 64]，均是國內十分重要的課題，建議亦可考量納入分析，建議未來可將這些課題納入研究範圍，針對各議題進行現場調查並研發分析工具。

(5) 建議可與地方單位共同合作，進一步了解各單位的需求，另亦可考慮跟顧問公司合作，可做為溝通管道，也可協助輔導空拍、軟體操作等軟體推廣工作。

參考文獻

[1] 行人路口事故平均每日 24 件，今日(9/1)起加強全國「路口安全大執法」 https://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=14&parentpath=0,2&mcustomize=news_view.jsp&dataserno=202008310002&aplistdn=ou=data,ou=news,ou=chinese,ou=ap_root,o=motc,c=tw&toolsflag=Y&imgfolder=img%2526amp%253B%2526%2523x23%253Bx2f%2526%2523x3b%253Bstandard

[2] 黎俊彬，「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(2005)。

[3] 「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(民 108)。

[4] 「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(民 109)。

[5] 「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(2020)。

[6] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." Advances in neural information processing systems, 2012, pp. 1097-1105.

[7] K. Simonyan, and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," 2014.

[8] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," 2015.

[9] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, R. Girshick. "Mask R-CNN." *in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2017.

[10] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks," Advances in neural information processing systems, 2015, pp. 91-99.

[11] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," *in Proceedingsof the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* , 2016, pp. 779–788.

[12] J. Redmon and A. Farhadi, "Yolo9000: better, faster, stronger," *in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, July 2017, pp. 6517–6525.

[13] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An Incremental Improvement," *ArXiv e-prints, 1804.02767*, Apr. 2018.

[14] T.-Y. Lin, P. Dollar, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, S. Belongie, "Feature pyramid networks for object detection," *in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 2117-2125.

[15] Greg Welch and Gary Bishop, "An introduction to the kalman filter," 1995.

[16] B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon, "Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications," Artech House, 2004.

[17] J. F. Henriques, R. Caseiro, P. Martins, and J. Batista, "Exploiting the circulant structure of tracking-by-detection with kernels," *in Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2012.

[18] Gunnar Farneback, "Two-frame motion estimation based on polynomial expansion." Lecture Notes in Computer Science, vol. 2749, 2003, pp.363-370.

[19] A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos and B. Upcroft, "Simple online and realtime tracking," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2016, pp.3464-3468.

[20] H. W. Kuhn, "The Hungarian Method for the assignment problem," Naval Research Logistics Quarterly, Vol.2, 1955, pp. 83-97.

[21] N. Wojke, A. Bewley and D. Paulus, "Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2017, pp. 3645-3649.

[22] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." Advances in neural information processing systems, 2012, pp. 1097-1105.

[23] F. Amundsen, and C. Hyden, The Swedish traffic conflict technique. InProceedings of First Workshop on Traffic Conflicts, Institute of Transport Economics, Oslo, 1977.

[24] Hydén, “The general relation between different types of elementary events for the illustration of interactions between road users,” 1987.

[25] A. Tarko, G. Davis, N. Saunier et al., “White paper: surrogate measures of safety.,” in Committee on Safety Data Evaluation and Analysis (ANB20), 2009.

[26] E. Sacchi, and T. Sayed, “A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluations: The case of right-turn smart channels,” Accident Analysis 與 Prevention, vol. 59, 2013, pp. 260-266.

[27]「混合車流路口道路與交通工程設計範例(1/4) 」，交通部運輸研究所(2018)。

[28] 臺大嚴慶齡工業研究中心，”混合車流交岔路口道路與交通工程設計範例(1/4) “，交通部運輸工程研究所(2017)。

[29] Thompson, Mary, Kwon, Oh, and Ju Park, Min, “The Application of Axiomatic Design Theory and Conflict Techniques for the Design of Intersections: Part 1”, The Fifth Internal confernce on Axiomatic Design, 2009.

[30] Parker, M. R. and Zegeer, C. V. Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations - Observer's Manual. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Technical report FHWA–IP–88–027, 1989.

[31] 許添本、王義川、李明聰，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(1999)。

[32] Hayward, J.Ch. Near miss determination through use of a scale of danger. Report no. TTSC 7115, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, 1972.

[33] Laureshyn, A., Svensson, Å . and Hydén C. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. Accident Analysis 與 Prevention, Vol. 42, Issue 6, 2010, pp.1637-1646.

[34] Zheng, L., Ismail, K. and Meng, X. Traffic conflict techniques for road safety analysis: open questions and some insights. Can. J. Civ. Eng. 41: 633–641, 2014.

[35] Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å.,與 Daniels, S.. In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. Accident Analysis 與 Prevention, 98, 46–56. doi:10.1016/j.aap.2016.09.026, 2017.

[36] Johnsson, Carl, Laureshyn, Aliaksei 與 De Ceunynck, Tim: In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators, Transport Reviews, DOI: 10.1080/01441647.2018.1442888, 2018.

[37] Mahmud S.M.S, Ferreira, L., Shamsul Hoque, MD. And Tavassoli, A. Reviewing traffic conflict technqieus for potential application to developing countries. *Journal of Engineering Science and Technology*. 13(6), 2018, pp.1869-1890.

[38] Tageldin, A., Sayed, T. and Wang, X. 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, 2015.

[39] Chen, P., Zheng, W., Yu, G., and Wang, Y. Surrogate Safety Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflict at Intersections Using Unmanned Aerial Vehicle Videos. *Journal of Advanced Transportation*, 2017.

[40] SSAM Version 3.0 Open Source Surrogate Safety Assessment Model, 2017 Enhancement and Update. Federal Highway Administration, USDOT. https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/17027/17027.pdf

[41] Gettman, D. and Head, L. Surrogate safety measures from traffic simulation models. Federal Highway Administration, Technical report FHWA-RD-03050, 2003.

[42] Gettman, D., Pu, L., Sayed, T. and Shelby, S. Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, Federal Highway Administration, Technical report FHWA-HRT-08-051, 2008.

[43] Stevanovic, A., Stevanovic, J. and Kergaye, C. Optimizing Signal Timings to Improve Safety of Signalized Arterials. The 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14-16, Indianapolis, Indiana, USA, 2011.

[44] Habtemichael, F. and Picado-Santos, L. Safety evaluation of aggressive driving on motorways through microscopic traffic simulation and surrogate measures. The 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, 2012.

[45]「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(2018)。

[46] 機場四周禁止施放有礙飛航安全物體（含空拍機及遙控無人機）
https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=2196&lang=1

[47] 空拍機常見之禁航區地圖
https://www.flyerlee.com/rcrmaps/

[48] A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos and B. Upcroft, "Simple online and realtime tracking," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2016, pp.3464-3468.

[49] Z Tian, W Huang, T He, P He, and Y Qiao, "Detecting text in natural image with connectionist text proposal network," *European conference on computer vision (ECCV)*, 2016, pp.56-72.

[50] J. Ma, W. Shao, H. Ye, L. Wang, H. Wang, Y. Zheng, and X. Xue, "Arbitrary-Oriented Scene Text Detection via Rotation Proposals," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 11, 2018, pp. 3111-3122.

[51] Y. Jiang, X. Zhu, X. Wang, S. Yang, W. Li, H. Wang, P. Fu, and Z. Luo, "R2 CNN: Rotational Region CNN for Arbitrarily-Oriented Scene Text Detection," *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2018, pp.3610-3615.

[52] X. Yang, J. Yang, J. Yan, Y. Zhang, T. Zhang, Z. Guo, X. Sun, and K. Fu, "SCRDet: Towards More Robust Detection for Small, Cluttered and Rotated Objects," *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019, pp.8231-8240.

[53] C. Zhu, R. Tao, K. Luu and M. Savvides, "Seeing Small Faces from Robust Anchor's Perspective," *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2018, pp.5127-5136.

[54] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," *arXiv:2004.10934*, 2020.

[55] C.Y. Wang, H.Y. M. Liao, Y.H. Wu, P.Y. Chen, J.W. Hsieh, I.H. Yeh, "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", June 2020.

[56] FHWA, U. Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Observer's Manual, 1989.

[57] 許添本、王義川、李明璁「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（1999）。

[58] 交通工程手冊（民 99）交通技術標準規範公路類公路工程部，交通部。

[59] 交通工程規範（民 104）交通技術標準規範公路類公路工程部，交通部。
[60] (民 96) 交通號誌時制重整計畫（I）－標準作業程序建立，交通部運輸研究所。
[61] (民 97) 交通號誌時制重整計畫（II）－績效評估模式建立，交通部運輸研究所。
[62] (民 99) 交通號誌時制重整計畫（III）－區域協調機制建立，交通部運輸研究所。
[63]「2011 年臺灣公路容量手冊」，交通部運輸研究所(民 100)。
[64]「混合車流路口道路與交通工程設計範例(2/4)」，交通部運輸研究所(2019)。
[65] 鍾易詩等人（2019）市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊，內政部營建署。（未出版）
[66] 吳昆峯等人（2019）車道配置及車道寬度調整研究成果報告，內政部營建署。（未出版）
[67] 美國內政部（DOI）第 3379 號部長命令
https://www.doi.gov/pressreleases/secretary-bernhardt-signs-order-grounding-interiors-drone-fleet-non-emergency
[68] 五角大樓續用被禁中國無人機 美軍雷射反無人機系統入手
https://dronesplayer.com/anti-drone/五角大樓續用被禁中國無人機/
[69] 美內政部下令停飛編隊內中國製無人機 DJI：感到失望
https://dronesplayer.com/uav-news/美內政部下令停飛編隊內中國製無人機-dji 感失望/
[70] 美國準備禁止政府部門購用外國製無人機
https://dronesplayer.com/uav-news/美國準備禁止政府部門購用外國製無人機/
[71] Parrot 為美軍開發短程偵察無人機 美國生產防資料外洩
https://dronesplayer.com/drone-market/parrot 為美軍開發短程偵察無人機-美國生產保資安/
[72] 2019 年美國無人機安全法
https://www.rickscott.senate.gov/sites/default/files/2019-09/American%20Drone%20Security%20Act%209.18_0.pdf
[73] 大疆將在美生產新無人機，規避制裁風險
https://cn.nytimes.com/technology/20190625/dji-china-drones-security-us/zh-hant/
[74]「第 36 期臺灣地區易肇事路段改善計畫」，交通部運輸研究所(2019)。
[75]「道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知」，內政部警政署、中央警察大學（2011）。
[76]「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(2018)。
[77] J. Ma, W. Shao, H. Ye, L. Wang, H. Wang, Y. Zheng, and X. Xue. “Arbitrary-oriented scene text detection via rotation proposals,” *The IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 11, 2018, pp. 3111-3122.
[78]「第 37 期臺灣地區易肇事路段改善計畫」，交通部運輸研究所(2020)。
[79] 道路交通標誌標線號誌設置規則，交通部(民 106 年)。

[80] CS230 Section7-Advanced Evaluation Metrics
http://cs230.stanford.edu/section/7/
[81] Evaluation 12: mean average precision, V. Lavrenko
https://www.youtube.com/watch?v=pM6DJ0ZZee0

附錄 A. 分析軟體使用手冊

A.1 軟體功能介紹



欲進行路口交通衝突分析，須先進行無人機影像拍攝及號誌對時作業，針對蒐集之路口畫面再進行車流影像分析，產出對應之車流軌跡及相關資訊，最後進行交通衝突分析得到人車衝突熱區，以利交通改善參考。

鑒於號誌時制轉換過程可能有轉換時間差異，為避免造成號誌同步顯示問題，無人機路口拍攝時須注意避免在號誌時相轉換及手動控制的過程中錄製，且不建議於手動操控的方式進行影像蒐集。

透過交通衝突分析軟體，可將匯入的資料藉由專案管理的模式，讀取車流軌跡分析軟體之輸出資料，包括路口之影片、底圖及車流軌跡檔等，確認資料皆完備後就可進行交通衝突分析作業。使用者可透過參數進行分析結果篩選，篩選參數包括衝突型態、進出路口及車種等條件，依據篩選條件進行衝突事件過濾，以利分析人員針對不同類型的衝突事件作進一步分析。除此，本軟體亦提供號誌同步顯示影片，使用者可設定號誌位置及路口時相變化資訊，即可自動完成號誌同步顯示影片，透過影片顯示，較利於掌握號誌與交通車流的關係，藉以分析及改善路口交通衝突。

交通衝突分析軟體使用流程圖如下：



A.2 軟體功能使用說明

1 軟體登入

1.1 系統登入

(1) 開啟交通衝突分析軟體連結 http://211.20.101.179/traffic/

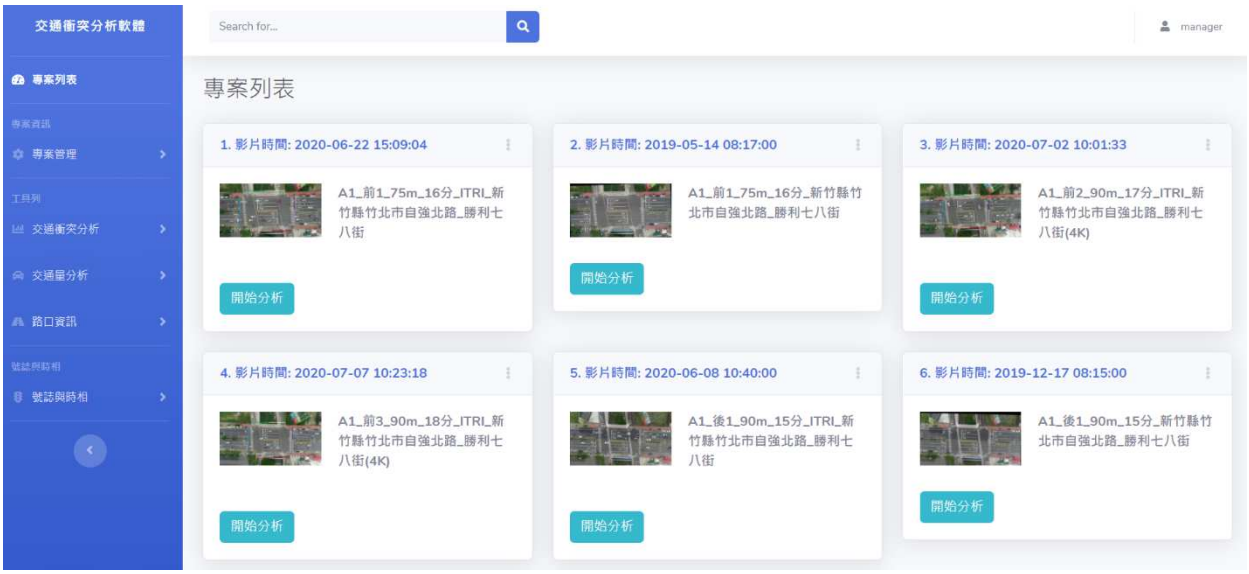


(2) 輸入「帳號」及「密碼」，



1.2 專案列表資訊

(1) 進入系統後，呈現目前已有的「專案列表」



(2) 頁面左邊的功能列分成四大工作區塊，

點選「專案管理」可新增專案或顯示專案列表；

點選「交通衝突分析」可查看衝突事件表、統計摘要、車流特性、衝突熱點 TTC、衝突熱點 PET；

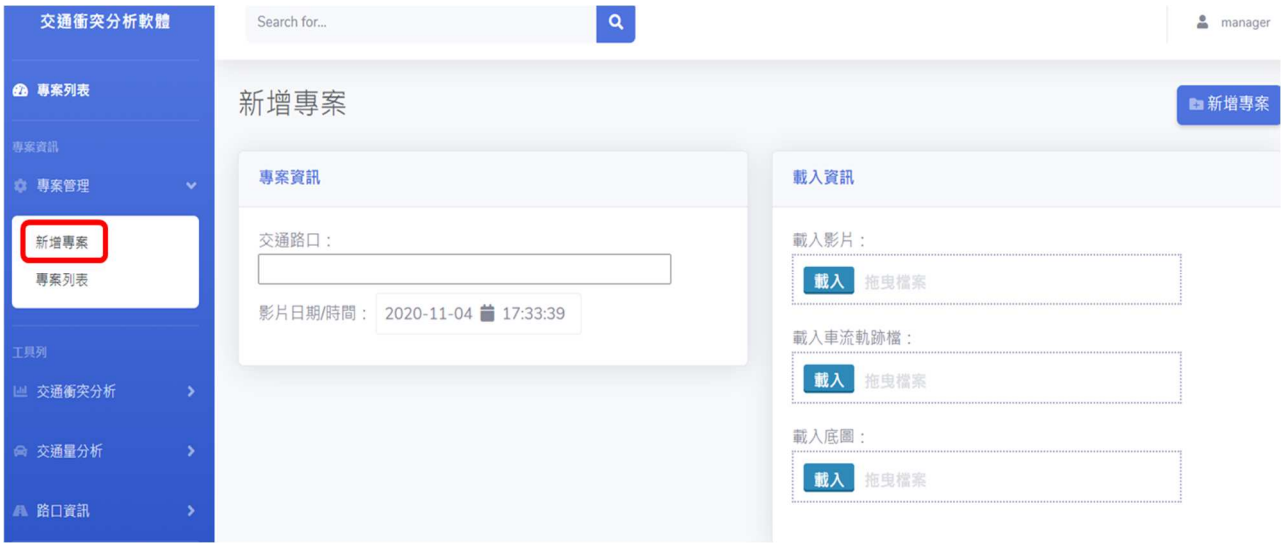
點選「交通量分析」可調查轉向交通量及行人交通量；

點選「路口資訊」可檢視路口車流軌跡及路口轉向速度。



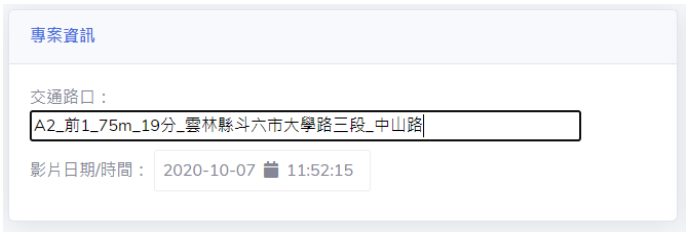
2 專案管理

(1) 頁面左邊功能列點選「專案管理」開始「新增專案」。

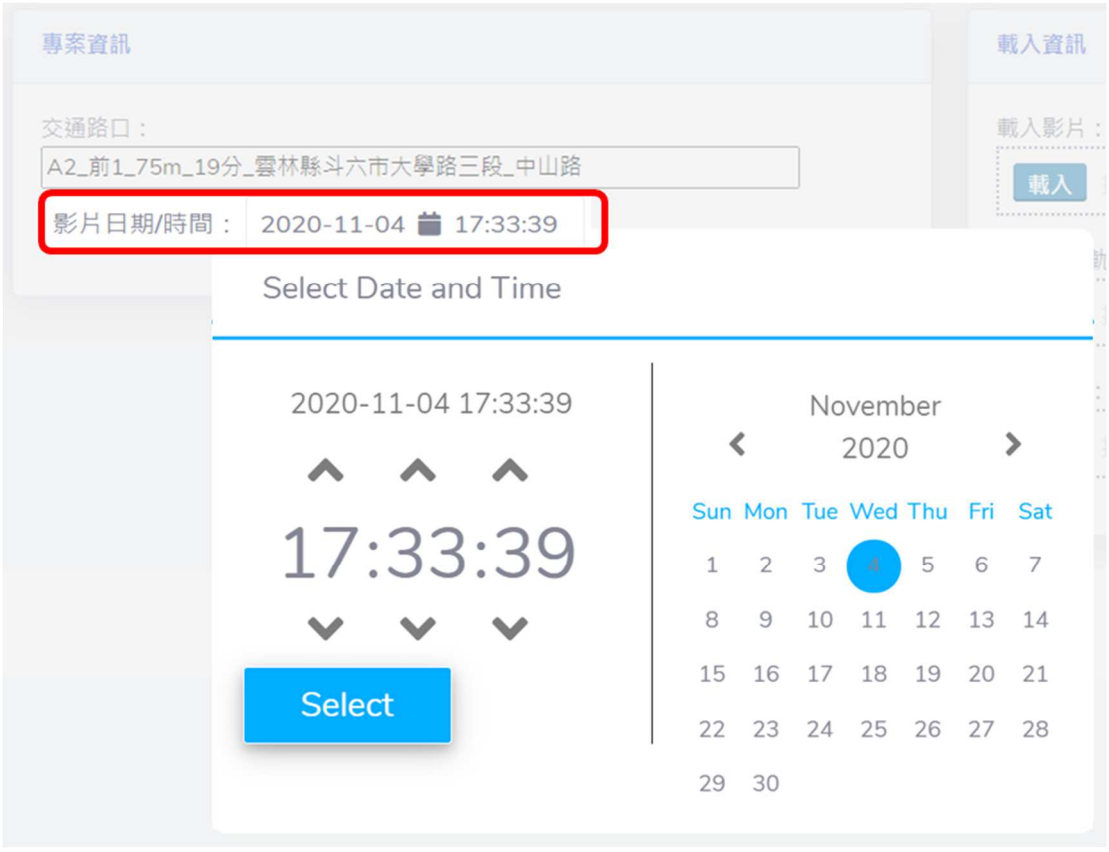


(2) 填寫「交通路口」名稱，請以路口名稱設定為專案名稱，以利管理。必要時進行編碼，以利分類及搜尋，例如以「研究年份」開頭，或 A 開頭代表「易肇事路口改善前/後」、B 開頭代表「分流式指向線路口」、C 開頭代表「易肇事路口改善前/後」。圖中範例為「A2_前 1_75m_19 分_雲林縣斗

六市大學路三段_中山路」。

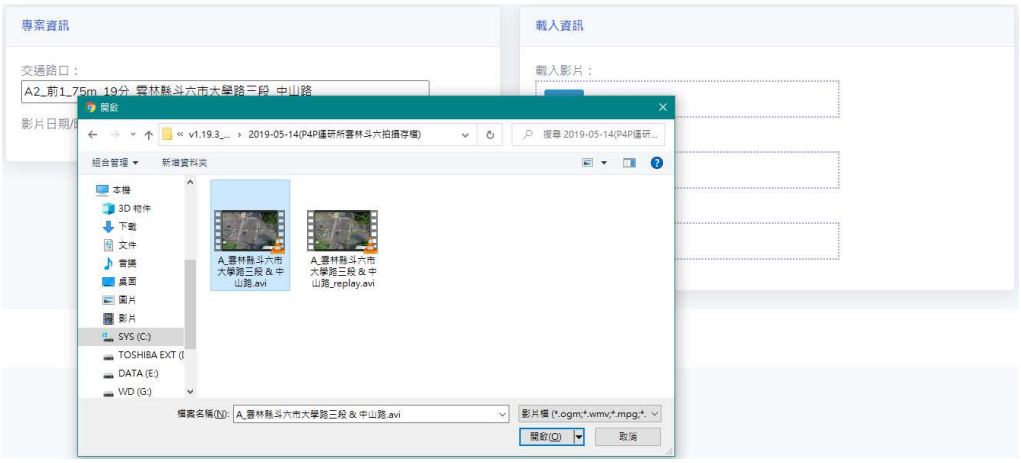


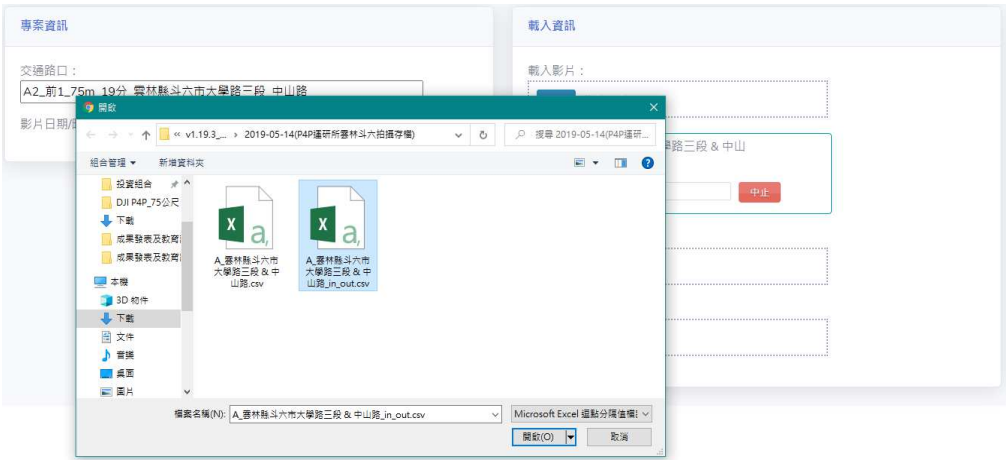
(3) 選擇影片拍攝的日期與時間，點選顯示的「影片日期/時間」。

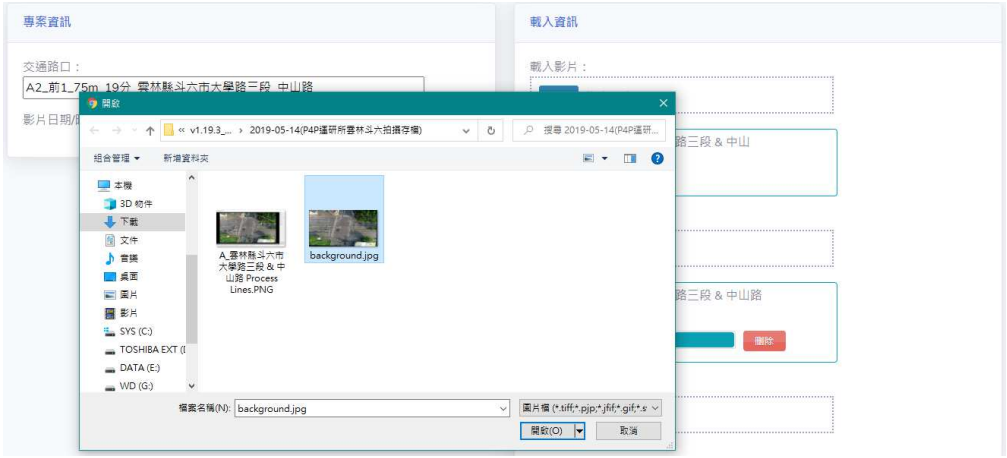


3 載入資訊

(1) 依序點選「載入影片」、「載入車流軌跡檔」及「載入底圖」，以載入路口資訊。







(2) 上傳途中可點選「中止」，重新選取上傳檔案。



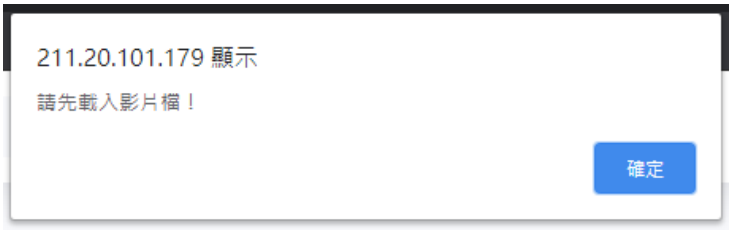
(3) 上傳成功，進度條按鈕顯示「刪除」，刪除後可重新選取上傳檔案。



(4) 上傳失敗，則下方顯示「ERROR」。



(5) 若檔案上傳不完整，按下「新增專案」，顯示「請先載入影片檔！」



(6) 若檔案上傳完整，按下「新增專案」，顯示「專案新增成功!」。按下「確定」後，自動跳轉「專案列表」頁面。



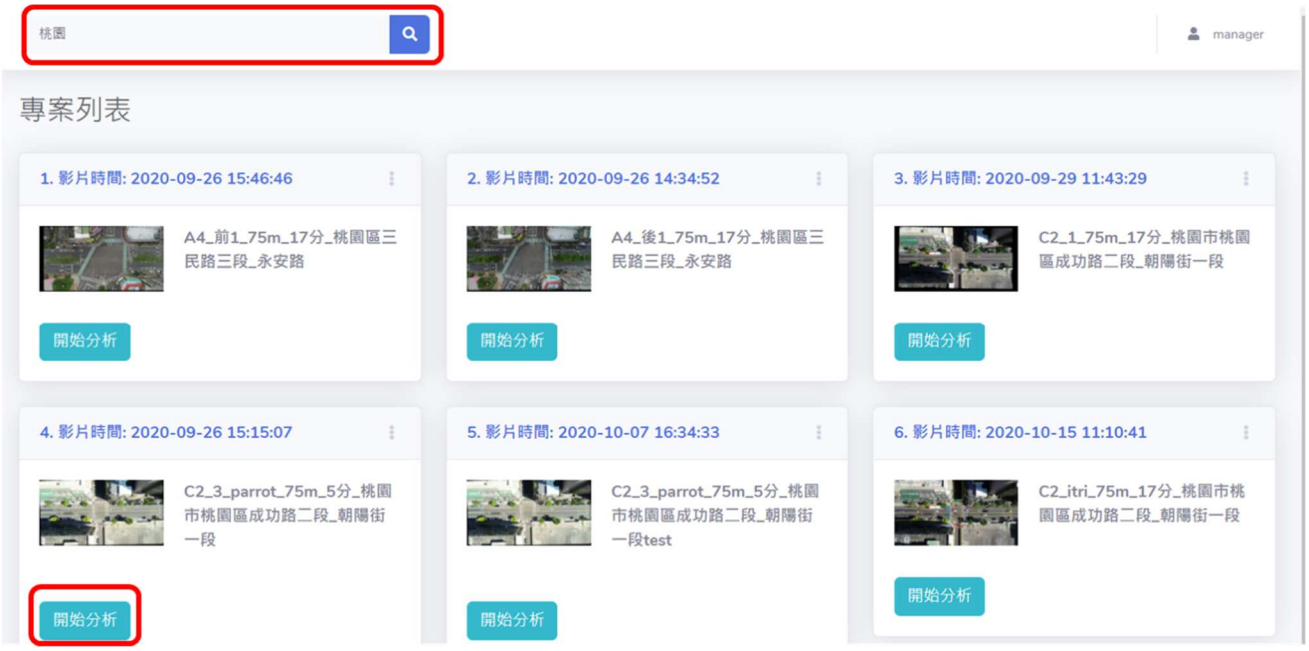


(7) 點選「專案列表」會顯示系統中所有專案明細。



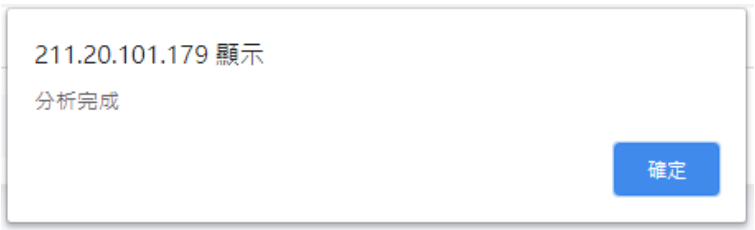
4 分析專案

(1) 在「專案列表」頁面，搜尋要分析的專案，篩選後可針對欲分析的專案按下「開始分析」。



(2) 按鈕會轉變成「Loading」，等待後即可呈現分析結果，並顯示「分析中，請靜待五分鐘」或「分析完成」。





5 刪除專案

(1) 若要刪除專案，可點選專案右上方的「⋮」，點選「刪除專案」進行刪除。



(2) 系統會提示是否確定刪除，按下確定，則可刪除該專案。



6 編輯專案名稱

(1) 若要編輯專案名稱，可點選專案右上方的「:」，點選「編輯專案名稱」進行編輯。



(2) 系統會提示原有專案名稱，修改後按下儲存，則可變更專案名稱。



7 更新軌跡檔

(1) 若要更新軌跡檔，可點選專案右上方的「⋮」，點選「更新軌跡檔」進行更新。



(2) 系統會提示重新「載入車流軌跡檔」，上傳成功後按下儲存，則可更新軌跡檔。

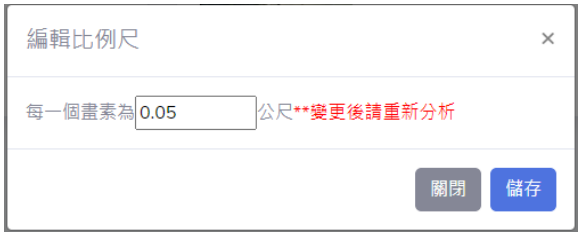


8 更新比例尺

(1) 若要更新比例尺，可點選專案右上方的「⋮」，點選「更新比例尺」進行更新。



(2) 系統會提示目前比例尺，修改後按下儲存，則可更新比例尺。系統提醒「變更後請重新分析」。



9 交通衝突分析

9.1 衝突事件表

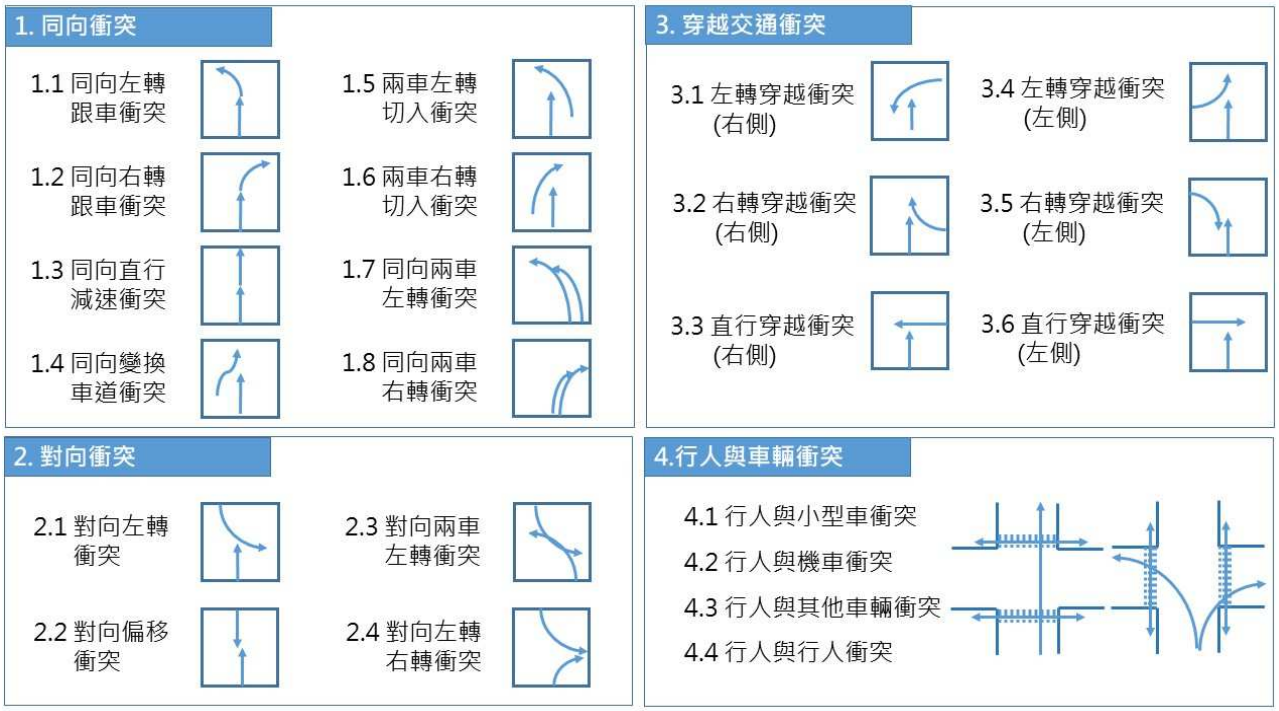
(1) 已完成分析的專案，才會出現在「衝突事件表」供使用者選擇。依下拉式選單選取欲分析專案。



(2) 可依不同的分析條件，進行篩選。



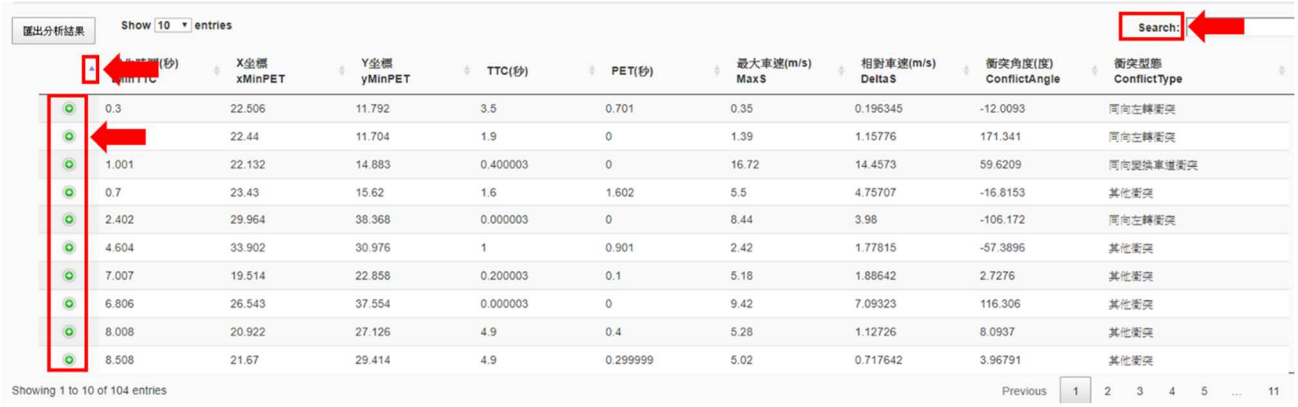
(3) 衝突型態圖例說明：點選「衝突型態顯示(Filter Conflict Type)（多選）」旁的資訊圖示，系統將開啟新視窗，顯示所有衝突型態之圖例說明。



(4) 設定篩選條件後，按下「篩選」即可依據勾選之條件篩選分析結果。

頁面下方會列出篩選結果：

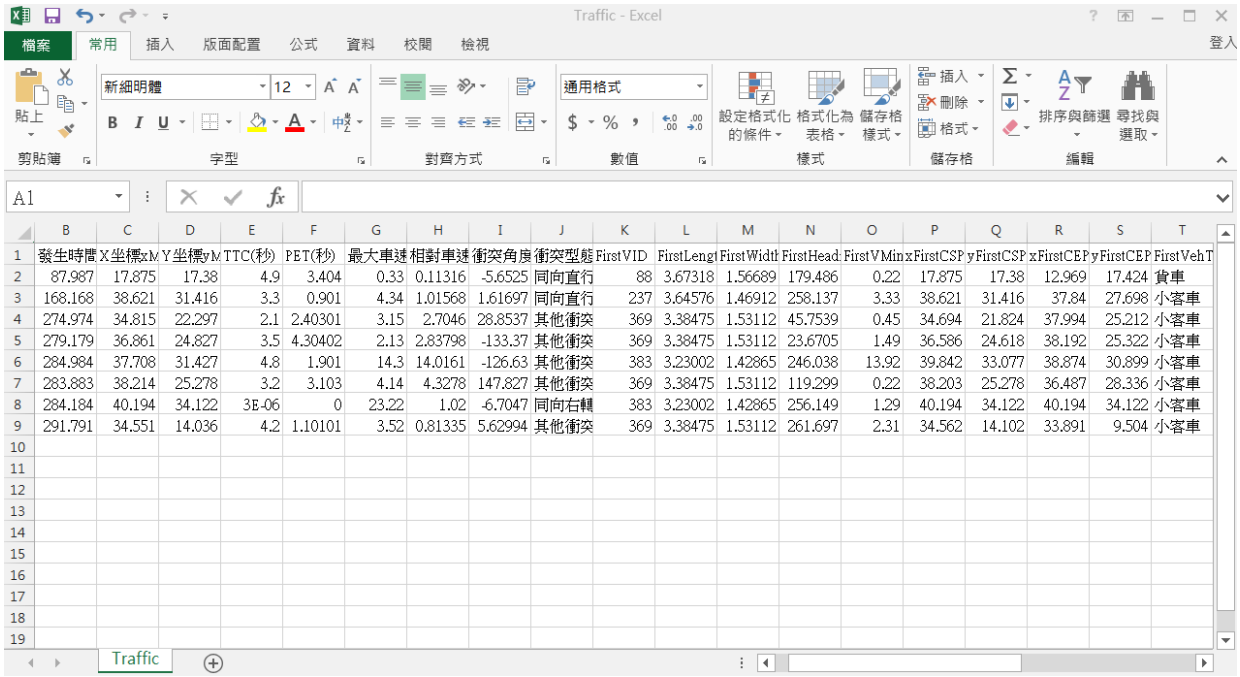
- 點選綠色，可以列出兩台車子的詳細資訊。
- 可依據各欄位自動升降冪排序。
- Search 可以搜尋欄位。



(5) 「匯出分析結果」按鈕，會以檔案格式匯出並呈現分析結果，且以 CSV 格式儲存。



(6) 匯出之分析結果 CSV 檔案，可使用 Excel 軟體開啟之。



9.2 統計摘要

(1) 經過前一步驟的篩選之後，會呈現「衝突事件統計」，



(2) 或者由左邊的功能列中直接點選「交通衝突分析」-「統計摘要」，則能直接挑選其他專案進行篩選進而得到衝突事件統計表。



(3) 根據專案衝突事件表的篩選結果，統計摘要將顯示「按嚴重程度分類」及「按車種分類」兩張統計圖。



9.3 車流特性

(1) 由左邊的功能列中直接點選「車流特性」，可得出該專案路口說明圖檔、路口的車速與數量分布圖、路口起訖點交通量統計表(OD 表)及行人 OD 表。



OD表

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	B	左轉	0	35	11	0	0	0	**46**
	C	直進	0	305	193	18	0	2	**518**
	D	右轉	0	36	24	0	0	0	**60**
	小計		**0**	**376**	**228**	**18**	**0**	**2**	**624**
B	C	左轉	0	21	24	3	0	0	**48**
	D	直進	0	63	23	2	0	0	**88**
	A	右轉	0	1	3	0	0	0	**4**
	小計		**0**	**85**	**50**	**5**	**0**	**0**	**140**
C	D	左轉	0	16	11	2	0	0	**29**
	A	直進	0	183	195	32	3	1	**414**
	B	右轉	0	15	4	0	0	0	**19**
	小計		**0**	**214**	**210**	**34**	**3**	**1**	**462**
D	A	左轉	0	7	18	0	0	0	**25**
	B	直進	0	90	43	2	0	0	**135**
	C	右轉	0	21	35	2	0	0	**58**
	小計		**0**	**118**	**96**	**4**	**0**	**0**	**218**
總計			**0**	**793**	**584**	**61**	**3**	**3**	**1444**

行人OD

入口方向	出口方向	數量
AB	BC	0
	CD	0
	DA	0
	AB	0
	小計	**0**
BC	CD	0
	DA	0
	AB	0
	BC	0
	小計	**0**
CD	DA	0
	AB	0
	BC	0
	CD	0
	小計	**0**
DA	AB	0
	BC	0
	CD	0
	DA	0
	小計	**0**
總計		**0**

9.4 衝突熱點 TTC/PET

(1) 左邊的功能列中直接點選「衝突熱點 TTC」或「衝突熱點 PET」，再選擇欲分析的專案名稱。



(2) 可針對衝突型態、車輛類別、車流方向等條件作篩選之外，可增加選擇密度分布圖、斑點圖或兩種圖混合顯示，並可選擇不同風險程度，如瀕危風險、高風險、中風險及低風險等進行顯示，各風險程度合計顯示總數，提供使用者參考。





(3) 點選「篩選」後，即依照選取之條件進行圖表繪製，以下為密度分布圖及斑點圖混合顯示。點選任一衝突斑點，即可串聯至該衝突發生的影片逕行撥放，並可同時顯示該衝突的型態說明，以利分析者快速掌握衝突資訊。



衝突型態	發生時間(秒)	TTC(秒)	PET(秒)	衝突角度(度)	最大車速(m/s)	相對車速(m/s)	ID	種類	長度	寬度	進入	離開
同向直行減速衝突	761.261	3.9	0.700012	-2.49342	4.9	0.801546	21822	機車	0.807304	0.799118	B	D
							21888	機車	0.80281	0.79742	B	D

10 交通量分析

10.1 轉向交通量調查

(1) 左邊的功能列中直接點選「交通量分析」-「轉向交通量調查」，再選擇欲分析的專案名稱。



(2) 即可顯示該專案路口之路口圖檔及交通流量表(OD 表)。

交通量調查

路口說明

路口說明sample圖檔



OD表

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	B	左轉	0	35	11	0	0	0	46
	C	直進	0	305	193	18	0	2	518
	D	右轉	0	36	24	0	0	0	60
	小計		0	376	228	18	0	2	624
B	C	左轉	0	21	24	3	0	0	48
	D	直進	0	63	23	2	0	0	88
	A	右轉	0	1	3	0	0	0	4
	小計		0	85	50	5	0	0	140
C	D	左轉	0	16	11	2	0	0	29
	A	直進	0	183	195	32	3	1	414
	B	右轉	0	15	4	0	0	0	19
	小計		0	214	210	34	3	1	462
D	A	左轉	0	7	18	0	0	0	25
	B	直進	0	90	43	2	0	0	135
	C	右轉	0	21	35	2	0	0	58
	小計		0	118	96	4	0	0	218
總計			0	793	584	61	3	3	1444

10.2 行人交通量調查

(1) 左邊的功能列中直接點選「交通量分析」-「行人交通量調查」，再選擇欲分析的專案名稱。



(2) 即可顯示該專案路口之路口圖檔及行人交通流量表(OD 表)。

交通量調查

路口說明

路口說明sample圖檔



行人OD

入口方向	出口方向	數量
AB	BC	0
	CD	0
	DA	0
	AB	0
	小計	**0**
BC	CD	0
	DA	0
	AB	0
	BC	0
	小計	**0**
CD	DA	0
	AB	0
	BC	0
	CD	0
	小計	**0**
DA	AB	0
	BC	0
	CD	0
	DA	0
	小計	**0**
總計		**0**

11 路口資訊

11.1 路口車流軌跡

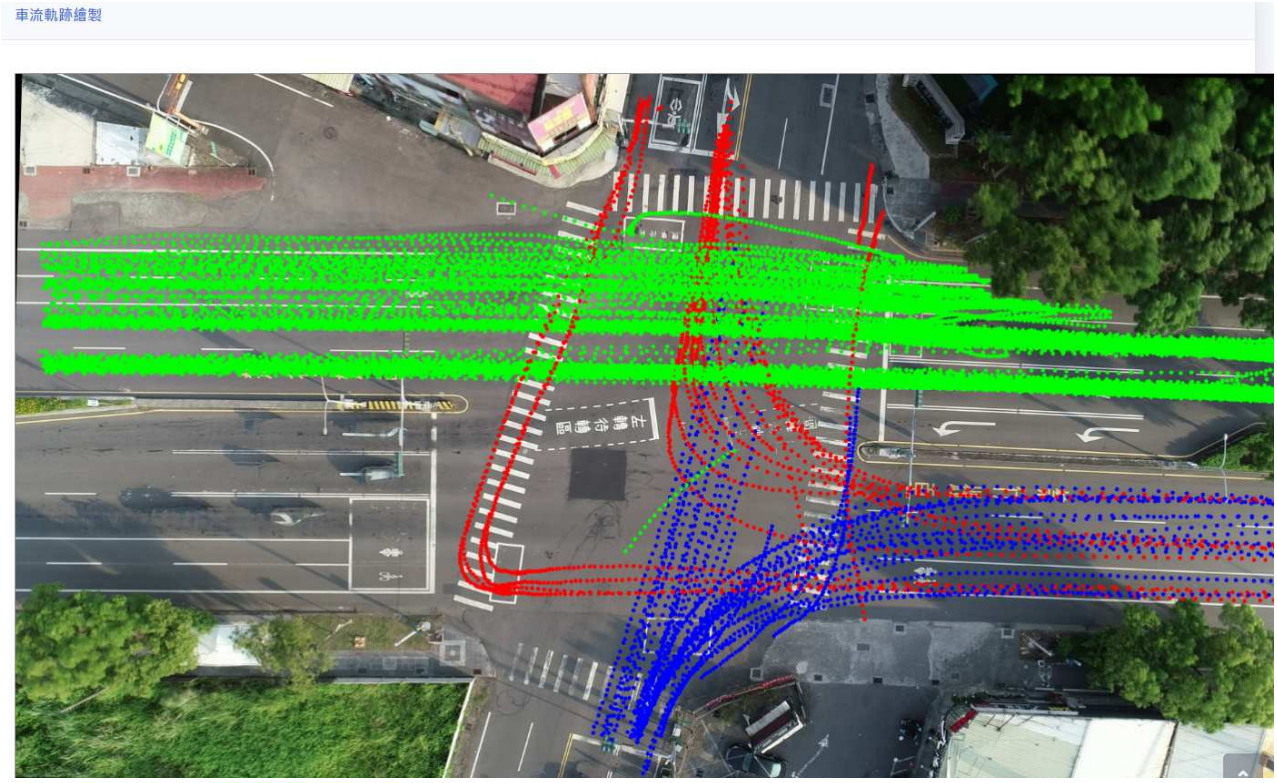
(1) 左邊的功能列中直接點選「路口資訊」-「路口車流軌跡」，再選擇欲分析的專案名稱。



(2) 可設定軌跡線及車輛類型，選定後即可按下分析。



(3) 分析後呈現車流軌跡繪製圖。

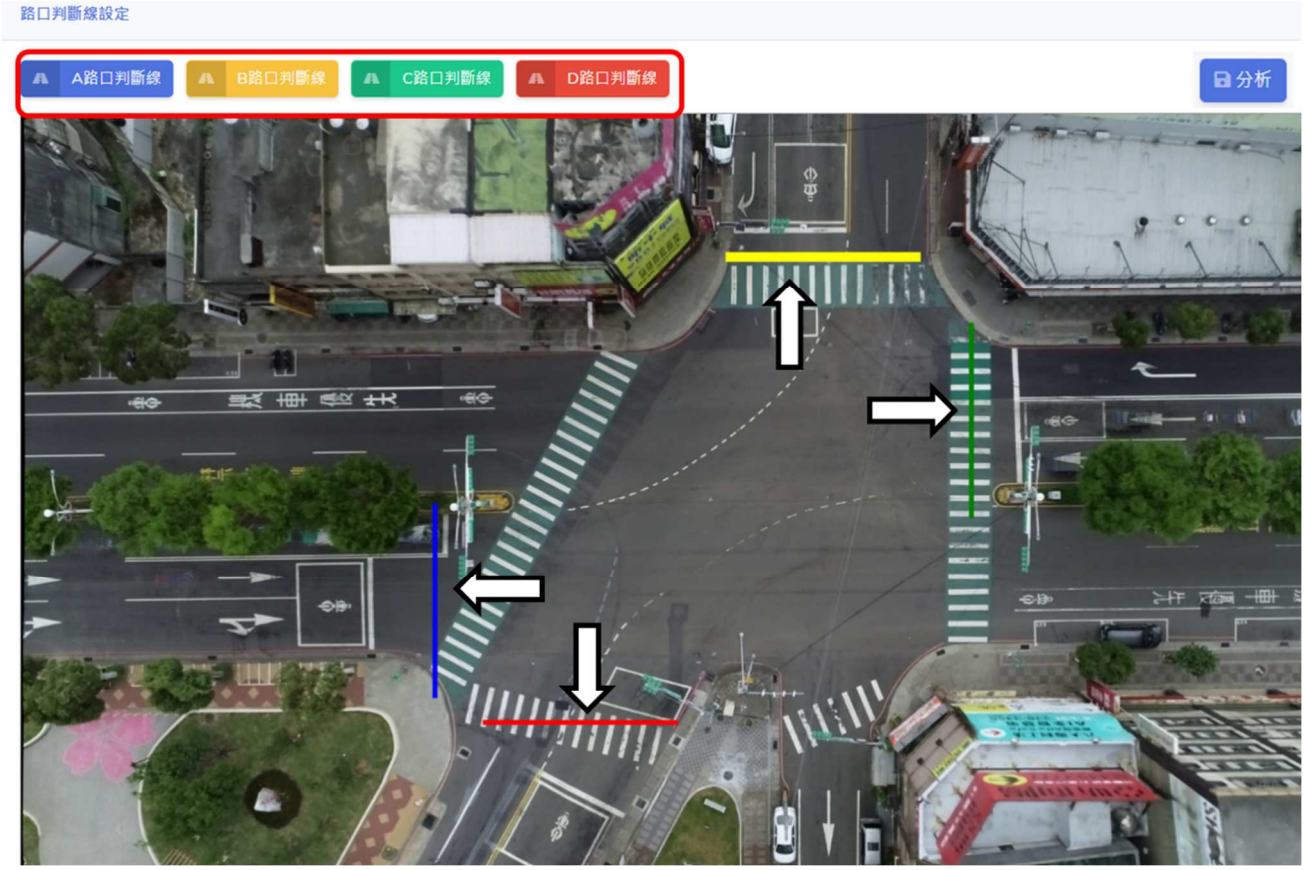


11.2 路口轉向速度

(1) 左邊的功能列中直接點選「路口資訊」-「路口轉向速度」，再選擇欲分析的專案名稱。



(2) 點擊「A 路口判斷線」、「B 路口判斷線」、「C 路口判斷線」、「D 路口判斷線」後，將於下方路口圖片中顯示藍、黃、綠、紅四條線，並依序放置對應之路口。

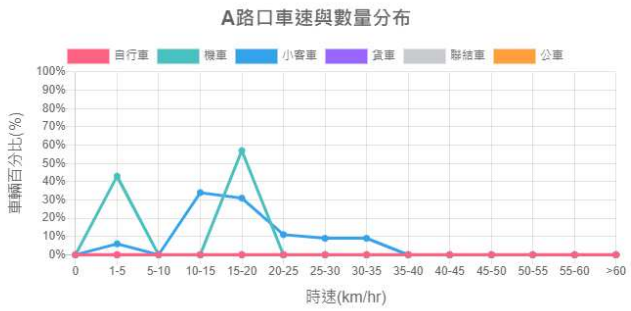


(3) 將路口判斷線依序設定好位置後，點選分析，即可得到 A、B、C、D 四個路口的車種速率分析表及車速與數量分布表。

A路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(A to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	1.106	15.098	N.A.	N.A.	N.A.	14.196
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0.082	4.706	N.A.	N.A.	N.A.	5.704
計數(輛)	N.A.	2	29	N.A.	N.A.	N.A.	31
直行(A to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	29.245	N.A.	N.A.	N.A.	29.245
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	2.717	N.A.	N.A.	N.A.	2.717
計數(輛)	N.A.	N.A.	6	N.A.	N.A.	N.A.	6
右轉(A to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.287	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	13.287
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	6.214	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	6.214
計數(輛)	N.A.	5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	9.806	17.524	N.A.	N.A.	N.A.	16.237
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	7.607	6.931	N.A.	N.A.	N.A.	7.613
計數(輛)	N.A.	7	35	N.A.	N.A.	N.A.	42

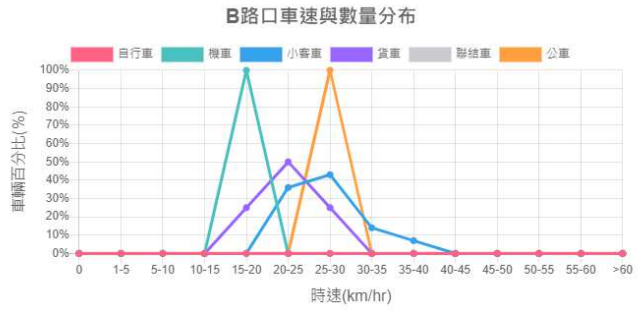
A路口車速與數量分布



B路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(B to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	16.869	N.A.	N.A.	16.869
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	0	N.A.	N.A.	0
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	1	N.A.	N.A.	1
直行(B to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	18.251	26.627	24.599	N.A.	26.65	25.867
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	3.867	2.913	N.A.	0	4.016
計數(輛)	N.A.	1	14	3	N.A.	1	19
右轉(B to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	18.251	26.627	22.667	N.A.	26.65	25.417
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	3.867	4.192	N.A.	0	4.378
計數(輛)	N.A.	1	14	4	N.A.	1	20

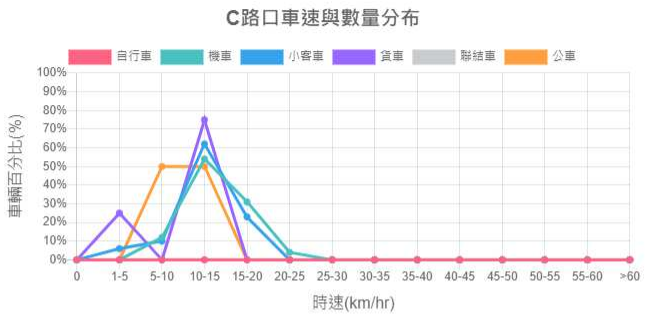
B路口車速與數量分布



C路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(C to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	4.216	4.005	N.A.	N.A.	4.163
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.809	0	N.A.	N.A.	0.707
計數(輛)	N.A.	N.A.	3	1	N.A.	N.A.	4
直行(C to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
右轉(C to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.911	13.977	12.543	N.A.	10.058	13.804
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	3.218	2.717	1.112	N.A.	1.917	2.908
計數(輛)	N.A.	26	49	3	N.A.	2	80
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.911	13.414	10.409	N.A.	10.058	13.345
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	3.218	3.489	3.82	N.A.	1.917	3.506
計數(輛)	N.A.	26	52	4	N.A.	2	84

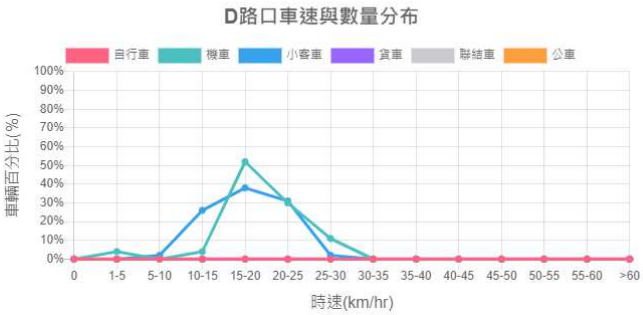
C路口車速與數量分布



D路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(D to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
直行(D to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	19.572	17.365	N.A.	N.A.	N.A.	18.229
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.03	4.067	N.A.	N.A.	N.A.	4.596
計數(輛)	N.A.	27	42	N.A.	N.A.	N.A.	69
右轉(D to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
各車種總計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	19.572	17.365	N.A.	N.A.	N.A.	18.229
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.03	4.067	N.A.	N.A.	N.A.	4.596
計數(輛)	N.A.	27	42	N.A.	N.A.	N.A.	69

D路口車速與數量分布



12 交通衝突分析應用案例

本章節透過應用案例來說明交通衝突分析軟體使用流程，將上述功能串聯起來，以利使用者更進一步了解衝突分析軟體之應用。

12.1 路口轉向交通量資訊統計

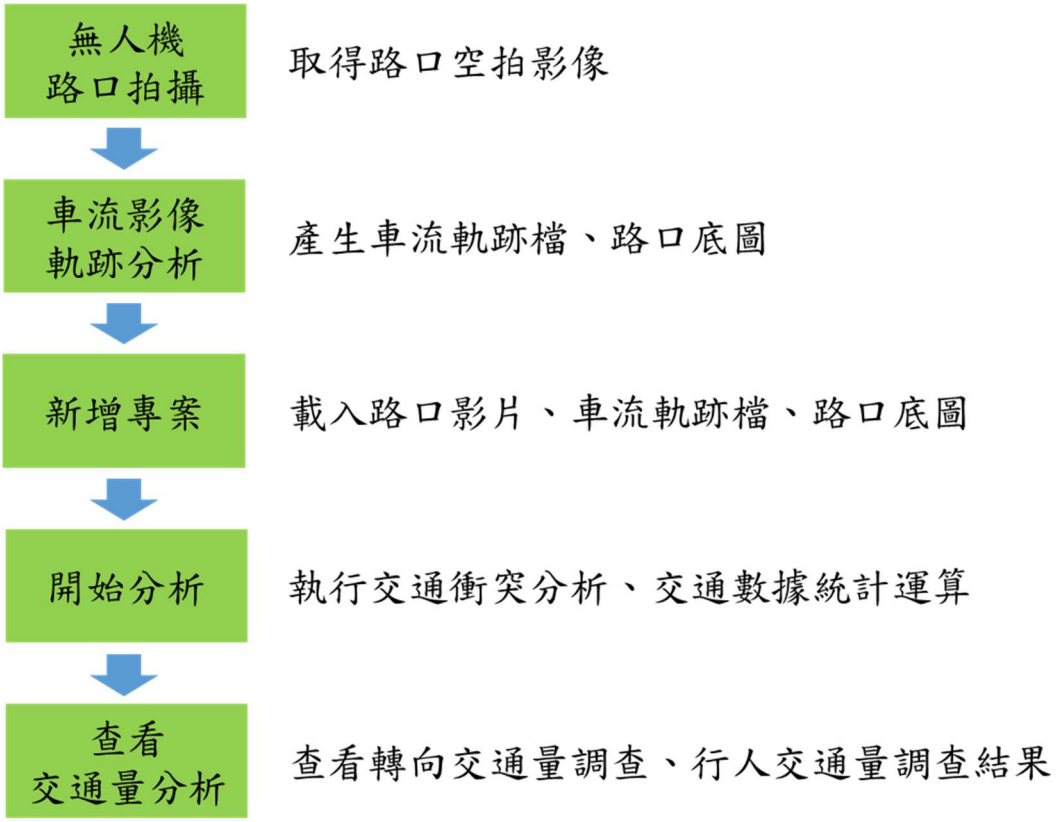
(1) 無人機路口拍攝：選取欲觀察的路口場域後，執行無人機空拍任務並取得空拍影像。

(2) 車流影像軌跡分析：透過車流影像軌跡分析取得車流軌跡檔及路口底圖。

(3) 新增專案：登入交通衝突分析軟體後，點擊左邊功能列點選「專案管理」開始「新增專案」，接著填寫「交通路口」名稱、選擇影片拍攝的日期與時間，並依序點選「載入影片」、「載入車流軌跡檔」及「載入底圖」，以載入路口資訊。

(4) 開始分析：完成新增專案後，可點擊「開始分析」，即可進行交通衝突分析及交通數據統計等分析結果。

(5) 查看交通量分析：軟體完成分析後，於左邊的功能列中直接點選「交通量分析」-「轉向交通量調查」，再選擇該專案名稱，即可獲取路口轉向交通量 OD 表。



12.2 交通衝突熱點分析與查看

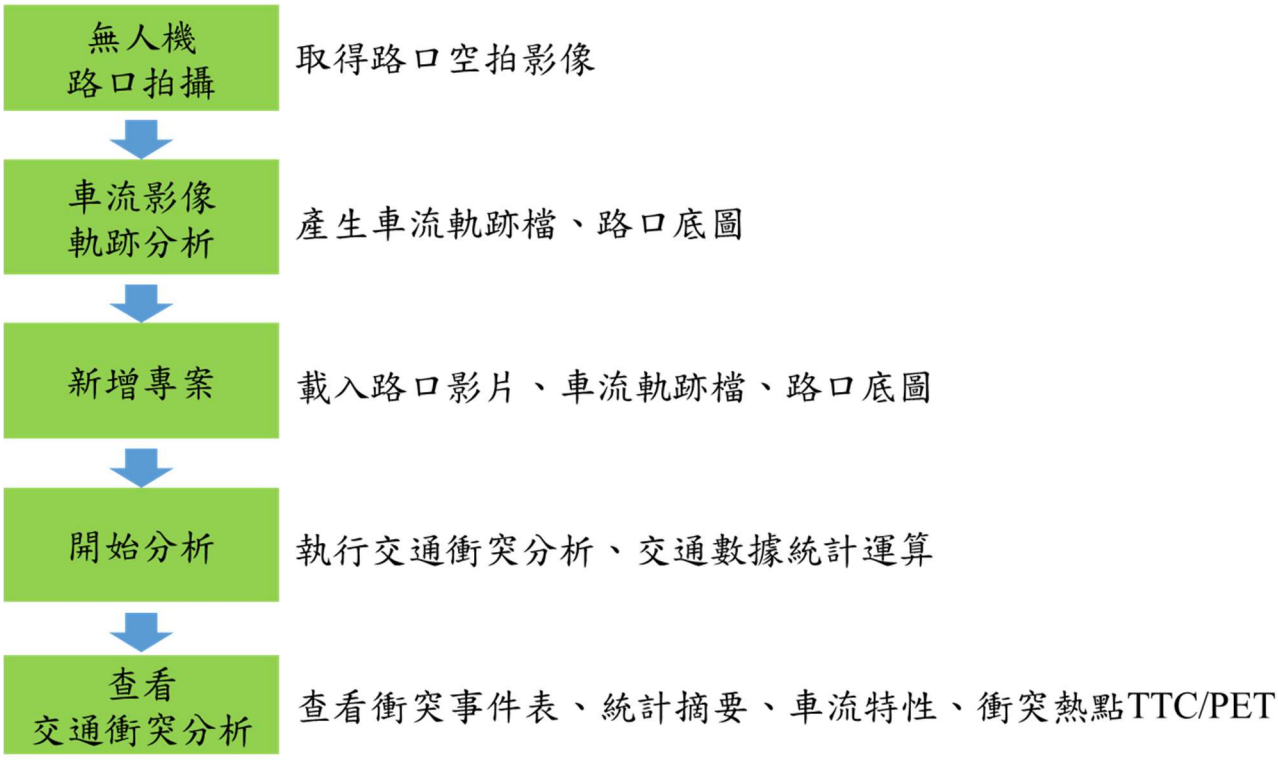
(1) 無人機路口拍攝：選取欲觀察的路口場域後，執行無人機空拍任務並取得空拍影像。

(2) 車流影像軌跡分析：透過車流影像軌跡分析取得車流軌跡檔及路口底圖。

(3) 新增專案：登入交通衝突分析軟體後，點擊左邊功能列點選「專案管理」開始「新增專案」，接著填寫「交通路口」名稱、選擇影片拍攝的日期與時間，並依序點選「載入影片」、「載入車流軌跡檔」及「載入底圖」，以載入路口資訊。

(4) 開始分析：完成新增專案後，可點擊「開始分析」，即可進行交通衝突分析及交通數據統計等分析結果。

(5) 查看交通衝突分析：軟體完成分析後，於左邊的功能列中直接點選「交通衝突分析」-「衝突熱點 TTC」或「衝突熱點 PET」，即可得到衝突熱點分析。



12.3 車流軌跡線繪製

(1) 無人機路口拍攝：選取欲觀察的路口場域後，執行無人機空拍任務並取得空拍影像。

(2) 車流影像軌跡分析：透過車流影像軌跡分析取得車流軌跡檔及路口底圖。

(3) 新增專案：登入交通衝突分析軟體後，點擊左邊功能列點選「專案管理」開始「新增專案」，接著填寫「交通路口」名稱、選擇影片拍攝的日期與時間，並依序點選「載入影片」、「載入車流軌跡檔」及「載入底圖」，以載入路口資訊。

(4) 開始分析：完成新增專案後，可點擊「開始分析」，即可進行交通衝突分析及交通數據統計等分析結果。

(5) 查看路口資訊：軟體完成分析後，於左邊的功能列中直接點選「路口資訊」-「路口車流軌跡」，軌跡線的設定有紅、綠、藍三顏色，可視需求挑選三條路口方向進行設定，設定後按下「分析」，即可進行路口車流軌跡的繪製與分析後的車流結果。



附錄 B. 無人機路口空拍影像蒐集標準作業流程

壹、緒論

隨著都市人口密集化，重要道路於交通尖峰時段所需承載的運輸量大幅提升，交通事故發生之數量、機率、後果亦有巨量化、多元化、及嚴重化趨勢，交通事故已成為交通運輸過程中難以預測之意外事件，為有效防制道路交通事故發生，降低交通事故傷亡人數與嚴重程度，各國政府無不致力於交通安全防制的課題。

107 年起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，開發一套高事故風險地點診斷分析工具。惟無人機的空拍飛行作業受民用航空法無人機專章規定，因此本文件將依照「申請作業標準程序」、「現場作業標準程序」、「特殊情形處理」進行說明。

貳、申請作業標準程序

2.1 遙控無人機管理資訊系統

民航法第九十九條之十七，明定授權主管機關應訂定遙控無人機相關應遵行事項之管理規則，其內容包括：遙控無人機分類、註冊（銷）、射頻識別、檢驗、認可、維修與檢查、試飛、操作人員年齡限制、體格檢查與測驗給證、換（補）證、飛航活動之申請資格、設備與核准程序、操作限制、活動許可、費用收取、製造者與進口者之登錄及責任、飛航安全相關事件之處理及通報及其他應遵守事項等。管理注意事項請參考下表 B-1：

表B-1 無人機管理重點列表

遙控無人機註冊	自然人所有最大起飛重量 250 公克以上者。
	政府機關(構)、學校或法人所有者，應辦理註冊。
人員操作證	最大起飛重量 2 公斤以上具導航設備者。
	操作政府機關(構)、學校或法人之遙控無人機，須經測驗取得操作證。
	未具導航設備且 15 公斤以上之遙控無人機。
遙控無人機檢驗合格證	最大起飛重量 25 公斤以上具導航裝置之遙控無人機，應辦理檢驗。
	不具導航裝置（航空模型）不須辦理檢驗。

資料來源：本計畫繪製

以下針對「無人機註冊及檢驗」、「操作人員測驗」、「投保責任保險」、「法人能力審查」及「活動申請」逐一說明。



圖B-1 無人機申請作業流程

2.2 無人機註冊及檢驗

(1) 登入「遙控無人機管理資訊系統」辦理無人機註冊及檢驗，https://drone.caa.gov.tw。
(2) 自然人所有之最大起飛重量 250 公克以上之遙控無人機均應辦理註冊，
(3) 政府機關（構）、學校或法人所有之各類遙控無人機均應辦理註冊，
(4) 註冊號碼標明於遙控無人機明顯位置。



圖 B-2 無人機註冊及檢驗流程

2.3 操作人員測驗

為保障飛航安全、地面上生命與財產安全及操作人之技能水準，針對系統較為複雜之遙控無人機，規範操作人操作政府機關（構）、學校或法人所有之遙控無人機、最大起飛重量達一定重量以上之遙控無人機及其他經民航局公告者，應經測驗合格，發給操作證後，始得操作遙控無人機。

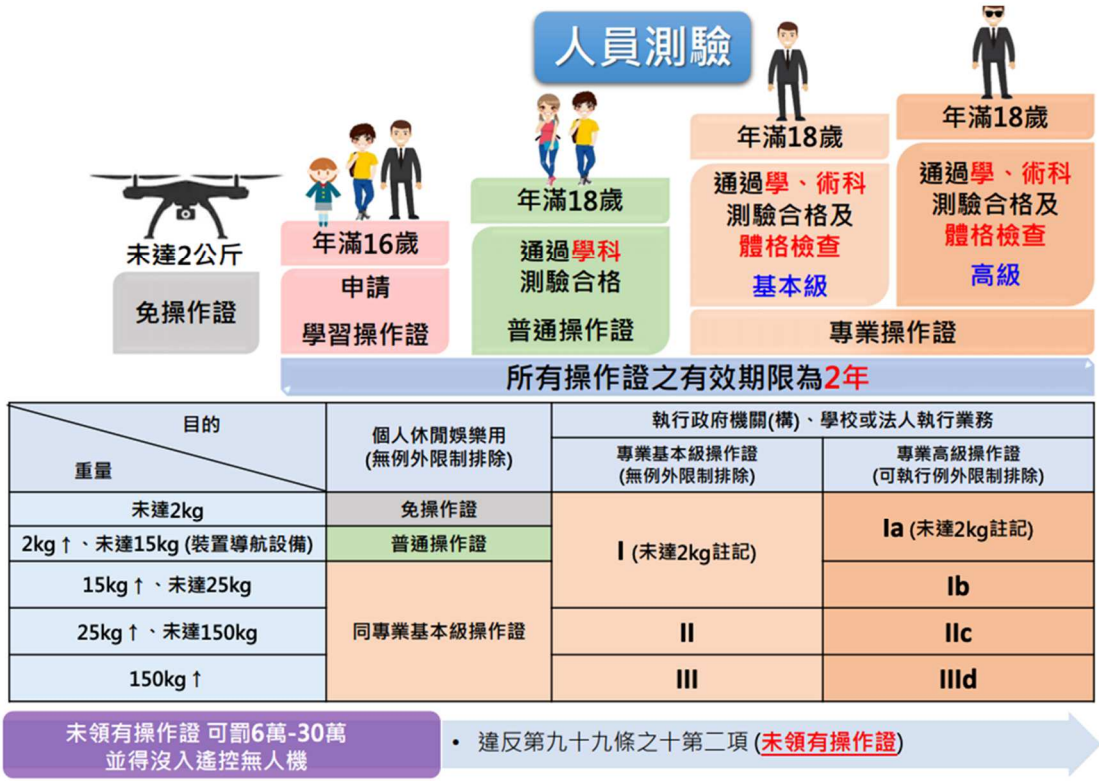


圖 B-3 無人機操作人員測驗說明

(1) 登入「遙控無人機管理資訊系統」，點選操作證測驗報名與申請>學科測驗報名申請，
(2) 選擇操作證類別及考試梯次，
(3) 完成「飛航單機考試」，取得操作證。

2.4 投保責任保險

(1) 從事相關操作限制之活動前，應投保責任保險，其最低投保金額為重傷 150 萬、死亡 300 萬。

(2) 目前已有南山、華南、富邦、台產、兆豐、和泰、泰安、明台、第一、新光、國泰世紀、新安、台壽保及旺旺友聯等 14 家產險公司販售遙控無人機責任險商品。



圖 B-4 無人機投保責任保險

2.5 法人能力審查



圖B-5 無人機法人活動申請3階段-能力審查

(1) 登入「遙控無人機管理資訊系統」，選擇能力審查，填寫基本資料內容、操作員證號及無人機註冊號碼，並勾選申請操作限制排除項目，最後上傳登記證明文件及遙控無人機作業手冊。
(2) 通過審查後，可於系統下載能力審查核准證明。
(3) 民航局能力審查後始得從事遙控無人機活動，能力審查核准效期為 2 年，並得於屆期前 30 日內以民航局指定之資訊系統申請延展，
(4) 核准後可辦理紅區飛行或操作限制排除之飛航活動申請。



圖B-6 能力審查檢附文件與核准證明

2.6 活動申請



圖B-7 無人機法人活動申請3階段-飛航活動申請

(1) 完成能力審查後才能進行活動申請，具政府機關(構)、學校或法人資格者使用電子憑證登入「遙控無人機管理資訊系統」辦理申請，
(2) 活動申請時需繳交同意文件、切結書、承諾書、保險證明等，
(3) 每次核准期間為 3 個月或 1 年(政府機關)，期間內可依核准事項進行活動，期滿前可重新提出申請，
(4) 請於活動 15 日前提出申請，如有涉及軍事航空管理區域，請於 30 日前提出申請，
(5) 須向地方政府申請：地方政府公告區域、人群聚集或室外集會遊行上空。
(6) 須向民航局申請：禁限航區及機場四周、排除操作限制。

參、現場作業標準程序

任務現場作業標準程序請參考下圖，依序為起降前準備、飛行前檢查、正式飛行及飛行後檢查等四大步驟。

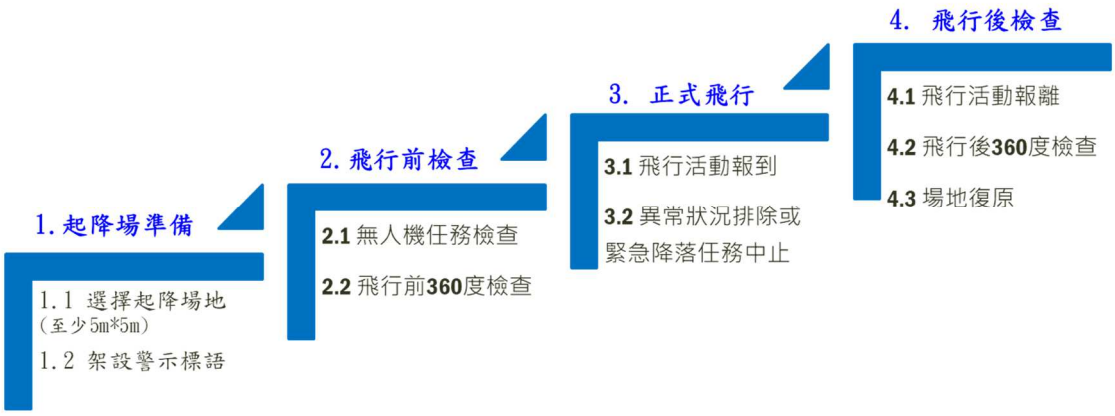


圖 B-8 現場作業標準程序四大步驟

3.1 起降場準備

3.1.1 選擇起降場地

(1) 登入「遙控無人機管理資訊系統」，選取「活動區域範圍查詢」，並選擇「活動區域範圍查詢」，確認空拍地點是否位於禁限航區。若於限航區，申請方式請見 2.5 法人能力審查及 2.6 活動申請。
(2) 確認距離鐵路、高架橋、交流道等設施，達 300 公尺以上，
(3) 選擇合適之起飛地點。需要 5 公尺 x 5 公尺寬敞面積，飛行路徑遠離電線、高壓電塔、無線電高塔或高樓。
(4) 應避免選擇逆光位置，會造成無人機拍攝畫面陰暗不易後續影像分析。
(5) 以新竹縣竹北市自強北路&勝利七八街空拍任務為例，經場勘後擇定中油臺大站旁停車場為起飛點，可參考現場相片及衛星圖。



圖B-9 新竹縣竹北市自強北路&勝利七八街空拍任務-起飛點擇定

3.1.2 架設警示標語

(1) 選定起飛點後應於周遭放置警示牌，用以提醒行人注意勿近。
(2) 以臺南市永康區中華路&勝華街空拍任務為例，擇定起飛點後於周遭放置警示牌。



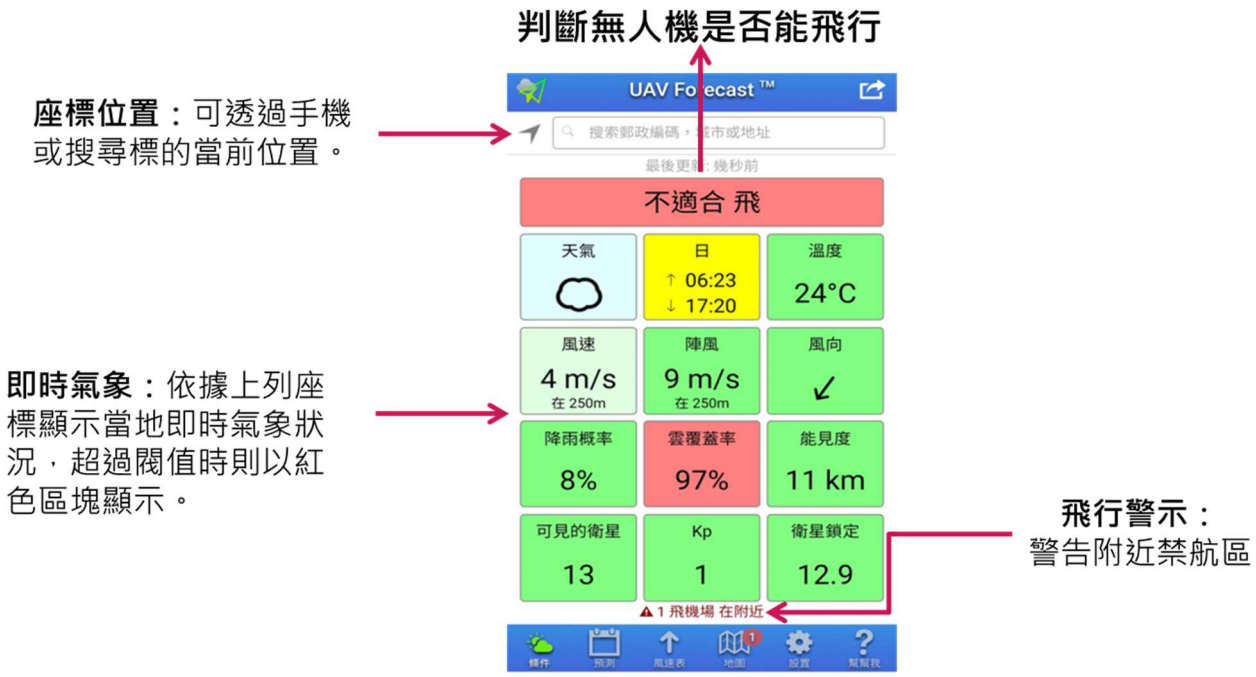
圖B-10 起飛點周遭設置警示標語

3.2 飛行前檢查

3.2.1 天氣評估

(1) 請先下載使用「UAV Forecast」APP，

(2) UAV Forecast起始畫面以區塊顏色做為條件判斷，飛行條件可在設置中修改，主頁上方提供是否適合飛行判斷，下方提供當前細部氣象資訊。



圖B-11　UAV Forecast APP畫面

(3) 建議風速 9 m/s 以下且風向儘量和鐵路、機場禁限航區等危險區域相反，

(4) 雨天、強風、起霧、冰雪，不建議飛行採集。

3.2.2 評估無人機性能

表B-2 評估無人機性能重點列表

評估無人機性能	(1)無人機抗風能力及進場速度，至少達蒲福風級 4 (5.5~7.9 m/s)
	(2)懸停飛行能力，垂直小於 1 公尺，水平小於 2.5 公尺。
	(3)飛行及拍攝時間：約 20~60 分鐘。
	(4)中小型，軸距約 35~75 公分。
	(5)飛行高度至少 75 公尺。
	(6)影像解析度為 1080P、2.7K、4K。
	(7)攝影機三軸穩像，無曲面效果且攝影角度大。

資料來源：本計畫繪製

(1) 以新竹縣竹北市自強北路&勝利七八街空拍任務為例，於 2019/5/14(二)上午 08:17~09:00 空拍完成，總拍攝時間約為 50 分鐘。
(2) 該時段風速最低 0.9m/s，最高 2.3m/s，適合無人機飛行空拍，
(3) 此次空拍任務共計三架次，A 架次飛行高度為 75 公尺，B、C 架次飛行高度為 90 公尺，高度合宜且能同時拍攝路口及時相表，
(4) 影像解析度為 1080P、2.7K，利於後續影像分析。



圖 B-12 新竹縣竹北市自強北路&勝利七八街空拍

3.2.3 任務檢查表及 360 度檢查表

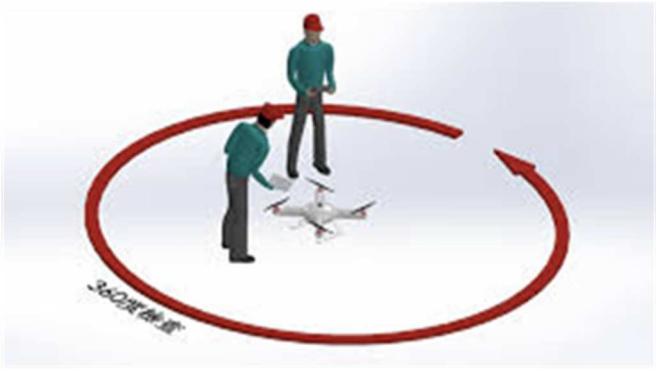
(1) 檢查表格式可依需求自行撰列，或至民航局官網下載，https://www.caa.gov.tw/FileAtt.ashx?lang=1&id=22987。
(2) 飛行前填寫「無人機任務檢查表」(紙本)，記錄此次飛行資訊，備存供參，可做為內部統計或參考用。
(3) 填寫「飛行前 306 度檢查表」(紙本)，檢查無人機外觀、設備及電池等硬體功能是否齊備且無損，避免因硬體不全導致無人機無法飛行或空拍任務失敗。

任務日期：2020.04.20
活動區域：台北市信義區
作業高度：海拔高 OOO AMSL / 實際高 OOO AGL
用途：空拍
操作限制排除事項：無操作限制排除者不填
現場負責人：朱 OO
操作人：丁 OO、許 OO、
協調人：
飛航活動申請號碼：
遙控無人機註冊號碼：

項目	內容	檢查結果
氣象條件	填寫相關內容	填寫相關內容
空域協調	填寫相關內容	填寫相關內容
作業風險 (空中/地面)	填寫相關內容	填寫相關內容
裝備外觀檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
系統功能檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
通信控制鏈路檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
燃油或電池容量檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
操作限制項目檢查 (如適用)	填寫相關內容	填寫相關內容
綜合評估	填寫相關內容	填寫相關內容

航務管理人：(簽名)

圖 B-13 無人機任務檢查表



民航局遙控無人多旋翼機飛行前/後360度檢查表						
檢查日期		檢查人		身分證字號		
項次	內容		飛行前	飛行後	備註	
壹	動力系統					
1	螺旋槳：目視外觀無裂損		是□ 否□	是□ 否□		
2	馬達：確認已固裝妥當及目視外觀無裂損		是□ 否□	是□ 否□		
3	方向性檢查：確認馬達及螺旋槳正/反槳安裝正確		是□ 否□	是□ 否□		
貳	載具					
1	電池或油箱：檢查外觀、工作電壓、油量，及確認已固裝妥當		是□ 否□	是□ 否□		
2	機臂：外觀確認已固裝妥當		是□ 否□	是□ 否□		
3	機身及酬載(如適用)：外觀確認已固裝妥當		是□ 否□	是□ 否□		
4	飛行控制器：外觀確認已固裝妥當		是□ 否□	是□ 否□		
5	GPS模組：外觀確認已固裝妥當		是□ 否□	是□ 否□		
6	點火系統或電系接頭：外觀確認已固裝妥當		是□ 否□	是□ 否□		
7	全系統動態檢查(包含手持操控器)		是□ 否□	是□ 否□		
檢查人員：						

圖 B-14 飛行前 306 度檢查表

3.3 正式飛行

3.3.1 飛行活動報到

(1) 登入「遙控無人機管理資訊系統」進行活動前登載，

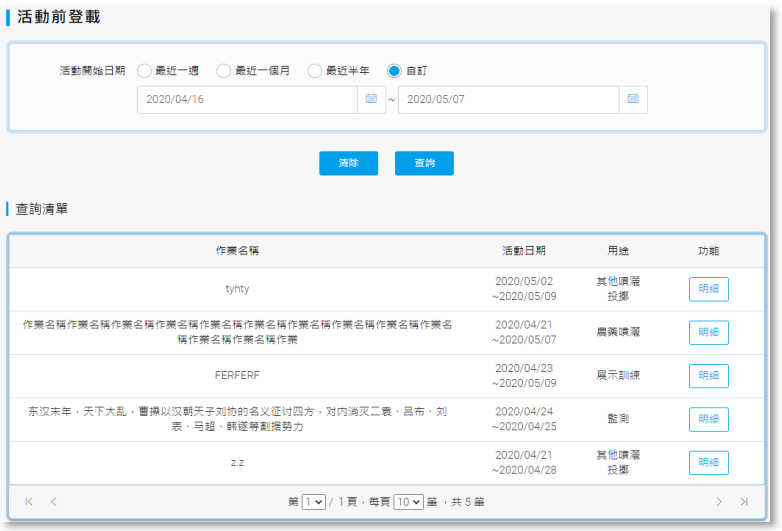


圖 B-15 活動前登載

3.3.2 異常狀況排除或緊急降落任務中止

(1) 監控無人機畫面，以確認拍攝畫面之高度與拍攝範圍合宜，且畫面清晰可運用於後續影像分析。
(2) 隨時注意無人機飛行狀態是否有異常訊息，若遇異常狀況將進行排除，無法排除將進行緊急降落且任務中止。



圖 B-16 以行動載具監控無人機拍攝畫面



圖 B-17 以筆記型電腦監控無人機拍攝畫面

3.4 飛行後檢查

3.4.1 確認拍攝內容

(1) 確認拍攝畫面清晰之外，需將空拍路口置中於影像畫面，且含號誌時相表可運用於後續影像分析。
(2) 以桃園市桃園區三民路三段&永安路空拍任務為例，無人機拍攝內容畫面應置中，且含號誌時相表。



圖 B-18 桃園市桃園區三民路三段&永安路空拍

3.4.2 飛行活動報離

(1) 登入「遙控無人機管理資訊系統」進行活動後登載。

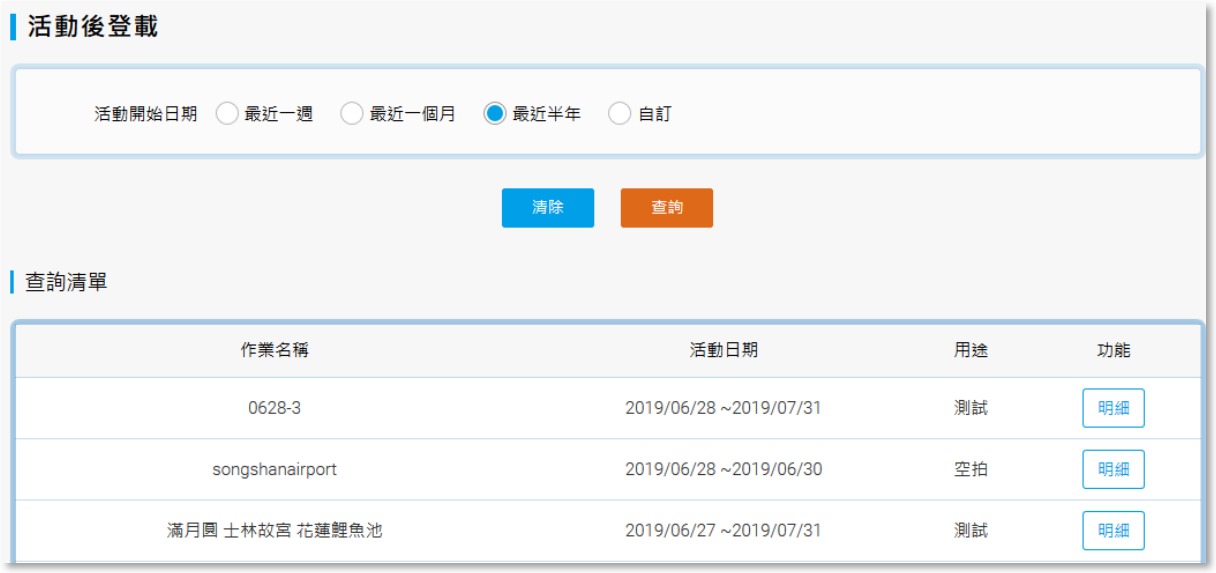


圖 B-19 活動後登載

3.4.3 飛行後 360 度檢查

再次填寫飛行後 360 度檢查表(紙本)，確認無人機硬體設備皆完整無損。

3.4.4 場地復原

將起飛點之場地復原，並收回警示標誌。

肆、特殊情形處理

4.1 飛安事件填報

所有人或操作人於操作遙控無人機發生飛航安全相關事件時，應於發生或得知消息後 24 小時內，登入「遙控無人機管理資訊系統」至「飛安事件填報」通報民航局。

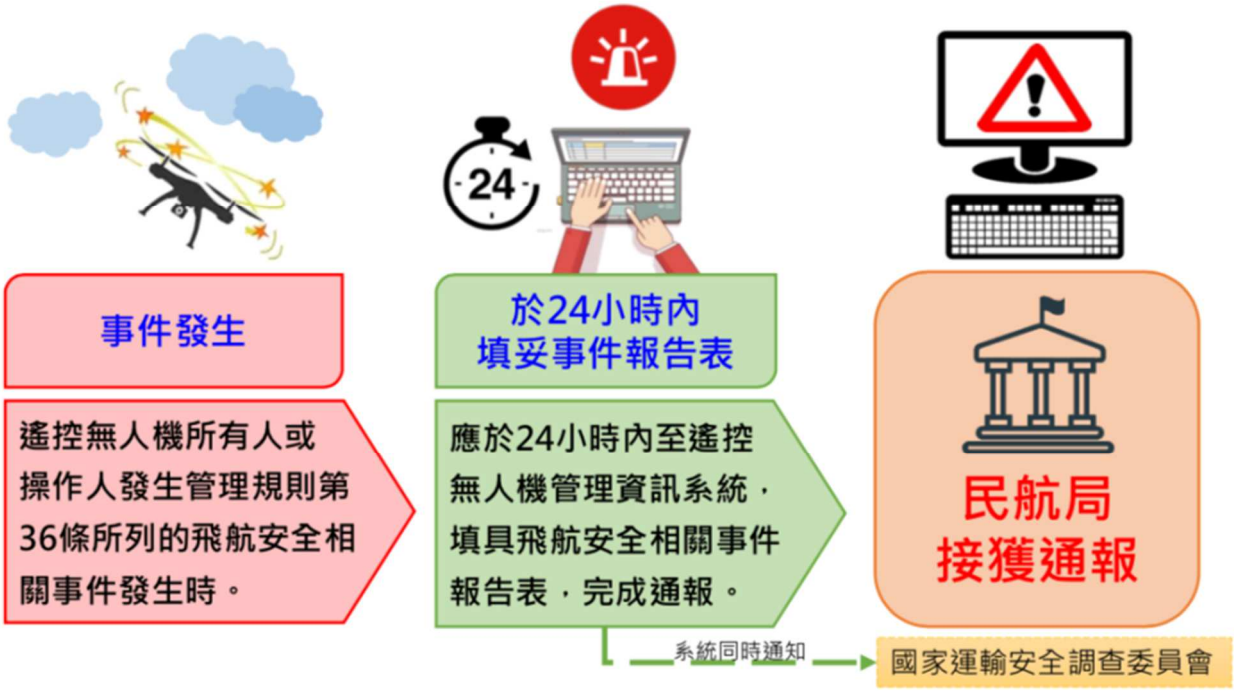


圖 B-20 飛安事件通報流程

飛安事件類型，如下：

(1) 飛航事故調查法所規定之遙控無人機飛航事故

(2) 最大起飛重量二公斤以上之遙控無人機遭受實質損害或失蹤

(3) 於本法第九十九條之十三第一項至第二項範圍內從事活動之遙控無人機遭受實質損害或失蹤

(4) 從事本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款活動之遙控無人機遭受實質損害或失蹤

(5) 發生與其他航空器或障礙物接近或碰撞之事故

附錄 C. 教育訓練辦理情形

教育訓練之對象主要為各縣市交通工程與交通安全代表及MOTC從業人員，報到人數56人。針對本計畫計畫內之空拍影像以電腦視覺技術用於交通安全改善之效益評估進行範例解說;說明當今空拍機於交通應用之操作及我國空拍申請流程;解說適用於交通應用之影像規格及本計畫開發的衝突軟體操作方式。

本次訓練各先進亦給予本計畫諸多寶貴意見，包含建議空拍機可應用於其他交通應用情境，車輛軌跡數據可分析許多傳統作法較難觀測的現象，及本應用落地後所需考量的事項，諸多意見均使本計畫後續研究更有方向。整理意見回饋如下表。

表 C-1. 意見回饋表

單位	意見
道勤工程顧問有限公司	4. 希望可以提供軟體試用版本 5. 若同路口，不同時段之分析，是否可以整合呈現? 6. 本計畫主要針對路口，是否也可應用於路段壅塞或事故分析? 7. 期望本軟體亦可應用於交維佈設之改善
連江縣警察局	1. 車流軌跡是否可能有個體辨視能力(ID)，以資監理或保險公司可審核，彌補駕照考試過於弱智之問題? 2. 視距建構是否已精確正規化?可資現場圖不需額外量測與拍照? 3. 無人機3D成像技術已趨成熟否?減少肇因研判錯誤之問題 4. 潛在衝突指數是否能真實反映易肇事路口?亦或單純只是理論? 5. 謝謝訊力願意為交通安全提供服務，若能有更長期之研究並結合事故率，將可更有效改善臺灣交通困境，讓技術不只能分析，進一步能提出方案與模擬(包含駕駛行為之預測)，維護國人之安全
鼎漢	車流量越大，代表衝突一定越大，且影像辨識非常注重影像品質，因此夜間昏峰的安全性評估於未來要如何克服夜間問題?
鼎漢	1. 分流式指向線若未正確劃設，效果也有限，建議在成效分析時放入事前分析(Before)能更清楚改善效果 2. 車輛近路口本就會分流，想了解的是效果如何 3. 另軌跡分析中，紅燈機車在車陣中鑽行現象或許可考慮排除? 4. 大方向很好
臺中市政府交通局	1. 對於車輛軌跡熱點顯像分析部分，可以分析完主動轉向，配合替代道路，提早分流。 2. 道路斷面設計時，機車行駛路權是否可以獨立分析解讀 3. 車流分析可否能做為車輛進入路口前約　視距與速差分析(考量駕駛人的視覺感與反應時間)，提升駕駛人對於進入路口應當減速，轉彎預作準備變換車道等

(續下頁)

單位	意見
臺北市交通管制工程處	本處有數處 CCTV 放置於高樓向下俯視，分析是需要多少畫質和 FPS 才能完成，或是高度限制等
新竹市政府交通處	3. 相關無人機操作，執行預算概估?交通部是否有相關操作人員考證列管?執行廠商或機關皆須有操作證? 4. 無人機資產是租用或執行機關自行添購?地方政府因受限財源短絀易打退堂鼓 5. 執行範圍受限標準是否授權地方政府制定(因地制宜)?因受限於禁止夜間操作，因交通流量收集尖峰時間還包括下班時間。 6. 新議題: 類行人統計，例如賽格威，電動輔助代步車族群
嘉義市政府	1. 此套系統建置的費用及無人機每次飛行費用? 2. 易肇事路口改善評估所需時間? 3. 無人機技術是否能運用於夜間? 4. 無人機所能拍攝之區域有多大?及其是否有限制條件?

教育訓練議程如後，教育訓練之簡報內容請見附錄 D。

一、**活動名稱：**「路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較」教育訓練

二、**會議時間：**109 年 11 月 9 日(星期一)上午 09:30 至 12:00

三、**會議地點:** 交通部運輸研究所國際會議廳(臺北市松山區敦化北路 240 號地下一樓 B1)。

四、**會議議程:**

時　間	議　程
09:30 至 09:50	報到
09:50 至 10:00	開幕暨致歡迎詞 (賴副組長/溫計畫主持人)
10:00 至 10:40	教育訓練一： 「電腦視覺技術應用於交通安全改善之效益評估」 演講人: 交通大學運輸與物流管理學系 黃教授家耀
10:40~11:00	茶敘休息時間 (可參觀衝突軟體操作及解說)
11:00~12:00	教育訓練二： 「空拍機於交通應用之操作與申請說明」 演講人: 工業技術研究院資訊與通訊研究所 陳技術副理國睿
	教育訓練三： 「適用於交通應用之影像規格要求」 演講人: 中原大學資訊工程學系 蘇教授志文
	教育訓練四： 「衝突軟體之交通應用情境操作說明」 演講人: 工業技術研究院資訊與通訊研究所 許工程師銜書
12:00~12:10	Questions 與 Answers
12:10~	午餐


「路口前視攝影技術於交通衝突分析
之案例應用與比較」教育訓練


「路口前視攝影技術於交通衝突分析
之案例應用與比較」教育訓練


分流式指向線效益評估




為何空拍影像規格需要被規範?







附錄 D. 教育訓練簡報

交通部運輸研究所
「路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較」
教育訓練

電腦視覺技術應用於交通安全改善之效益評估

黃家耀 副教授
國立交通大學
運輸與物流管理學系

2020年11月09日



大綱

- 無人機 AI 電腦視覺技術
- 交通安全評估方法
  - 交通衝突技術
  - 交通行為與車流動線
- 案例1 – 易肇事路口改善評估
- 案例2 – 分流式指向線改善評估



無人機 AI 電腦視覺技術



3

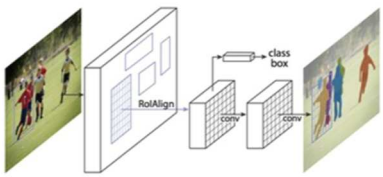
4

無人機 AI 電腦視覺技術

- 無人機空拍技術
  - 上帝視角
  - 觀察大範圍面積
  - 機動性高
  - 可回溯分析結果
  - 未來可望全面自動化



- AI 電腦視覺技術
  - 卷積神經網路 (CNN) 將物體偵測、辨識率提升到超越人類水準
  - 新的深度學習方法提供了越來越精細且不同需求的影像偵測結果



Mask R-CNN

無人機 AI 電腦視覺技術

車流影像辨識技術Demo

5



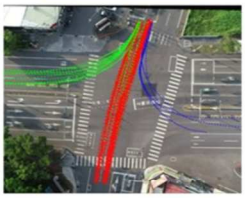


無人機 AI 電腦視覺技術

車流軌跡的應用情境

6

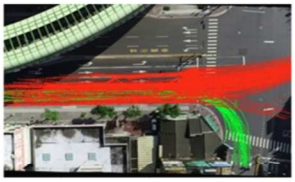
車流動線軌跡



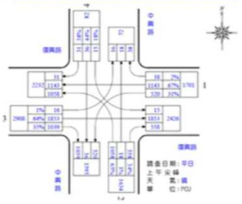
交通衝突分析



交通行為與動線分析



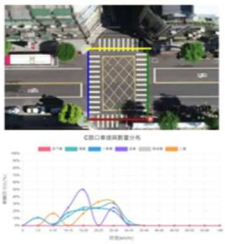
路口轉向交通量調查



路口車輛延滯調查

站號：	調查方向：往						
站名：	調查日期：　年　月　日						
鄰近路口編號：	1						
調查員：							
警導員：							
開始時刻	鄰近車道上停等車輛總數				鄰近車道上流量		
	0秒	15秒	30秒	45秒	總數	未受阻	受阻
08:10	5	8	15	20	15	12	3

速率分佈調查



交通安全評估方法



8

交通事故嚴重性

- 交通事故逐年增加，並帶來龐大社會成本
  - 全世界:每年130 萬人死亡 (WTO)
  - 美國: 美金$2,500 億元(每年約 600 萬件事故) (NHTSA)
  - 台灣: 新台幣5,200億元 (每年超過 40 萬件事故; 3,000 人死亡; 40 萬人受傷)



9

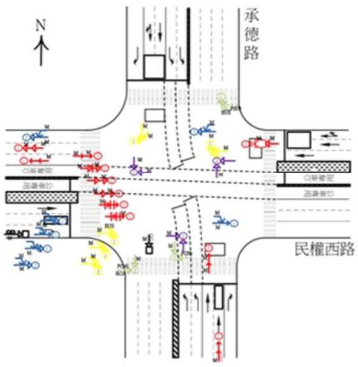
交通安全改善分析方法

傳統事故分析法

- 肇事診斷分析
  - 道路交通事故調查報告表
  - 事故碰撞構圖
- 歸納主要事故類型，制定對應改善措施
- 措施實施後，需要等待一段時間才能評估成效
- 事故資料非第一手資料，難以得知事故發生過程



圖 1 易肇事地點改善程序

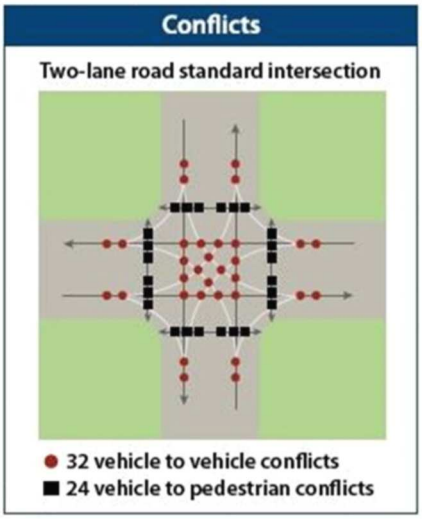


事故碰撞構圖

交通部運輸研究所(2016)，
易肇事路段改善分析技術之應用。

10

交通衝突分析技術

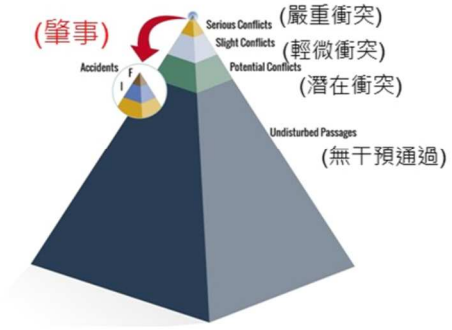


交通衝突

兩個(含)以上用路人在時間空間上接近彼此，若他們的動作保持不變會立即產生碰撞

11

交通衝突分析技術



Hyden's Safety Pyramid (Hyden,1987)

實測路口之交通衝突件數:

$$\lambda = \pi * c \ ,$$

λ：事故件數，

c：交通衝突件數，

π：事故件數與衝突件數的轉換關係

$$\frac{Crashes}{Year} = 0.119 \times \left(\frac{Conflicts}{Hour}\right)^{1.419}$$

Gettman et al. (2008) Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, Federal Highway Administration, Technical report FHWA-HRT-08-051.

12

交通衝突分析技術

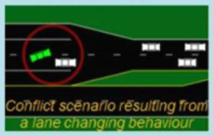
交通衝突技術及收集方式

人工收集(Observer)
- 現場觀察
- 機動性高
- 調查員需經訓練





微觀車流模擬 (Micro-simulation)
- 成本低、自動化、根據所設定之場域及車流條件快速評估
- 評估結果與模擬模式之準確程度相關
- 未能評估未知的交通情景及車流行為
- Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)





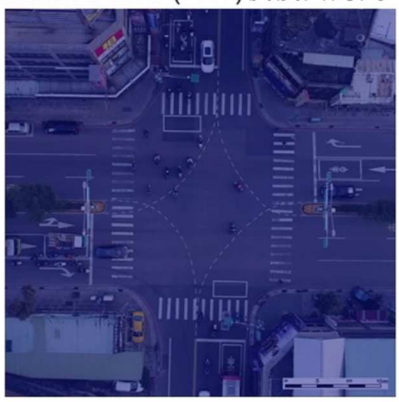
電腦視覺、影像辨析(Computer Vision)
- 技術門檻較高，但近年技術大幅提升，成本逐漸下降中
- 有效收集未知的交通情景
- 與影片品質及演算法的準確度有關



13

運用電腦視覺於交通衝突分析

- 交通衝突事件：兩車軌跡在一定時間差之內重疊
- 衝突事件的嚴重性：時間差越短，發生碰撞的風險越高
  - Time to Collision (TTC)碰撞時間
  - Post Encroachment Time (PET)後侵占時間



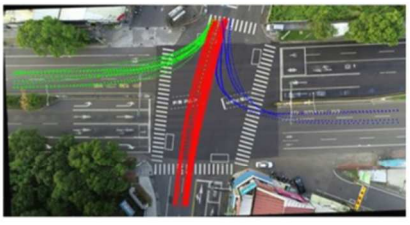
14

交通安全行為及車流動線

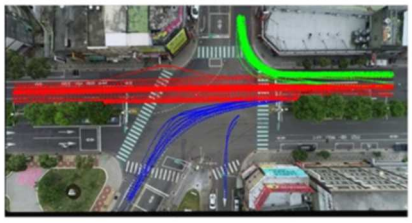
車流軌跡動線基本合理、
部分車流使用機車優先道



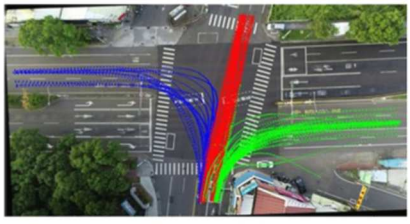
左轉軌跡分散，
動線與對向車流衝突



部分左轉車流違規使用
直進車道、一輛直進車發生違



左轉軌跡分散，
動線與對向車流衝突



案例一
易肇事路口改善評估
(交通工程改善前、後之分析比較)



15

交通工程改善前、後之分析

16

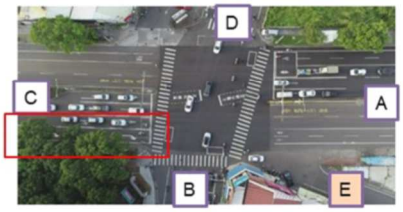
基本資料

案例一：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口

- (1) 改善前、改善後之交通衝突分析
- (2) 參考「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」提出交通安全工程改善建議

拍攝情景	拍攝時間	影片長度
改善前	2019/5/14	19 分鐘
改善後	2019/10/15	15 分鐘





改善項目：

1. 鋪面重鋪、標線重畫
2. C進口外側車道：機車優先道改為右轉車道
3. 號誌時制沒有調整
4. 無法確定是否還有其他改善措施如交通標誌

號誌週期 = 163秒



17

交通工程改善前、後之分析
基本資料

- 資料來源：第36期臺灣地區易肇事路段改善計畫

106年全年A1及A2肇事記錄

- **11次肇事、0人死亡、14人受傷**
- **主要肇事型態**
  - 16車與車-側撞
  - 11車與車-對向擦撞
  - 12車與車-同向擦撞
- **主要肇事原因**
  - 6未依規定讓車
  - 23駕駛人-未注意車前狀態
  - 8左轉彎未依規定

  （肇事型態與原因係依據【道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知】分類）
- **主要肇事時段** 8、17、19

建議改善措施

- 增加右轉專用道
- 車道預告指示牌：「右轉車輛請靠外側行駛」



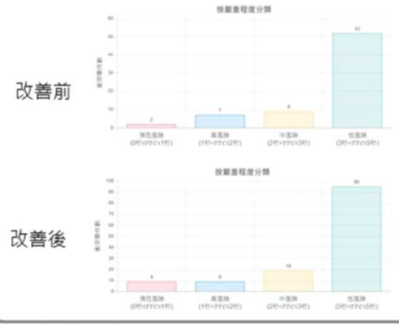
18

交通工程改善前、後之分析
改善措施成效

- 交通衝突統計摘要

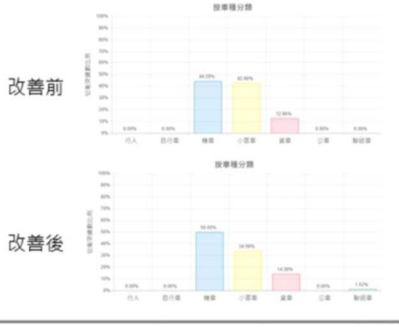
1. 按嚴重程度分類

- 改善前後差異不大，惟改善後衝突稍增。



2. 按車種分類

- 車種以機車為主



*（僅包含二車最大速度大於10公里/小時之衝突）

19

交通工程改善前、後之分析
改善措施成效

- 過濾規則：僅包含中、高、瀕危風險衝突且二車最大速度大於10公里/小時。
- 本案例路口的交通衝突分析發現無嚴重之交通安全問題：衝突以同向直行減速衝突為主。
- 易肇事路段改善計畫對於車流行為沒有顯著影響：C進口外側改為右轉車道而同向右轉跟車衝突確有減少，但改善前已很少。

衝突類型	衝突類別	改善前		改善後	
		衝突次數	衝突次數/總交通量	衝突次數	衝突次數/總交通量
同向衝突	1.1 同向左轉跟車衝突	0	0.0000	1	0.0007
	1.2 同向右轉跟車衝突	2	0.0015	1	0.0007
	1.3 同向直行減速衝突	11	0.0084	16	0.0119
	1.4 同向變換車道衝突	1	0.0008	2	0.0015
	1.5 兩車左轉切入衝突	0	0.0000	0	0.0000
穿越衝突	3.2右轉穿越衝突(右側)	0	0.0000	0	0.0000
	3.4左轉穿越衝突(左側)	0	0.0000	0	0.0000

- 衝突次數
  包括瀕危、高、中風險程度之交通衝突事件
- 總交通量
  包括路口所有機動車輛的車輛數

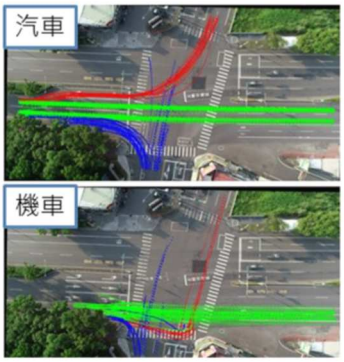
20

交通工程改善前、後之分析
改善措施成效（C方向進入之車流）

- 改善措施對車流型態與動線影響

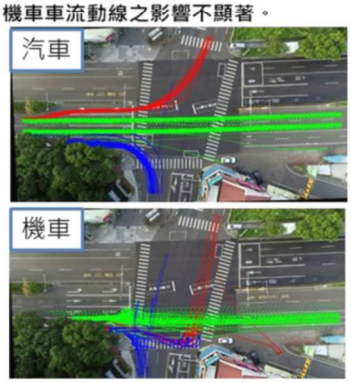
1. 改善前

- 外側為直行與右轉共用道、機慢車道
- 由C路段進入之機車直行與二段式左轉均會使用最外側車道。



2. 改善後

- 改善後C路段最外側為右轉專用道。
- 由C路段進入之機車直行與二段式左轉仍會使用最外側車道。
- **機車車流動線之影響不顯著。**



21

交通工程改善前、後之分析
改善措施成效（C方向進入之車流）

- 發現交通工程改善措施有執行不完整的情況

1. 改善前

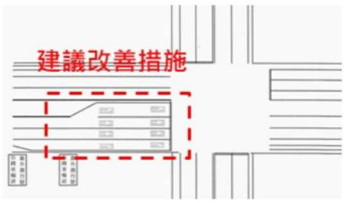
- 外側為直行與右轉共用道、機慢車道



2. 改善後

- 外側第一車道為右轉專用道
- 外側第二車道為直右車道，而建議改善措施是修改為直進車道



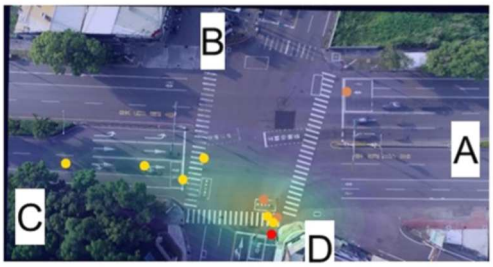


22

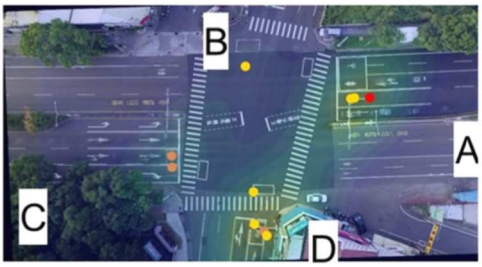
交通工程改善前、後之分析
其他交通安全問題

衝突熱點圖

- 本路口中、高、瀕危風險之衝突事件，主要是『同向直行減速衝突』，分布位於鄰近停止線處。
- 該態樣與【交通安全工程改善設計範例】內所描述之追撞較接近。



改善前

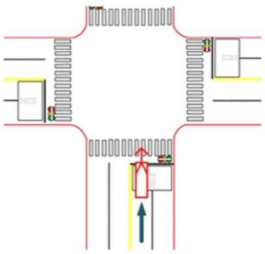


改善後

23

交通工程改善前、後之分析
其他交通安全問題

- 交通安全工程改善設計範例
  - 追撞之可能肇因，理論上可透過「追撞改善設計」加以改善。
  - 惟本路口之同向直行減速衝突似乎均不適用各改善範例。



停等追撞示意圖



資料來源：各肇事型態的交通安全工程改善設計範例
（混合車流路口道路與交通工程設計範例（3/4）之附錄A）

24

交通工程改善前、後之分析
其他交通安全問題

- 南北向之車流存在大量低風險之同向直行減速衝突，進一步針對該案例探討衝突事件的過程及原因，並提出交通安全改善建議。
- 經車流軌跡圖判斷，由B路段進入路口的左轉汽車停等於路口中而影響了直行汽車之動線，因而產生大量低風險同向直行減速衝突，並且進而影響D路段進入之直行汽車。

南(B)北(D)向進入路口之車流衝突



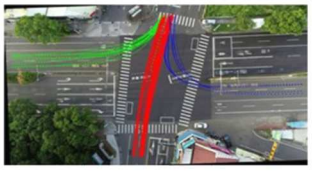
B入口之車流影像



交通工程改善前、後之分析
其他交通安全問題

- D路段直行軌跡為閃避於路口中央等待左轉之B路段左轉車流而呈現微向外側彎曲。
- B路段最內側為直行與左轉共用車道，該車道直行車為超越等待左轉之左轉車而與向外側切入並與該車道直行車產生衝突。
- 建議調整號誌，錯開南北向之車流，B方向號誌遲閉改為早開。

由D進入之汽車

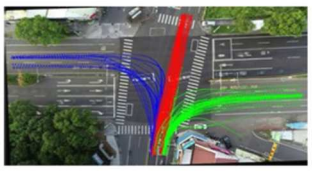


號誌週期 = 163秒



現行號誌

由B進入之汽車





建議可透過調整時相及順序，改善南北向交通動線之問題

案例二
分流式指向線改善評估



27

分流式指向線效益評估

- 探討「分流式指向線」的效益評估方式，針對車道使用分布分析進行軟體功能設計。
- 參考「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」（許添本等人，2018），分析右轉汽車與直進機車間衝突





資料來源：
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，民國107年6月。

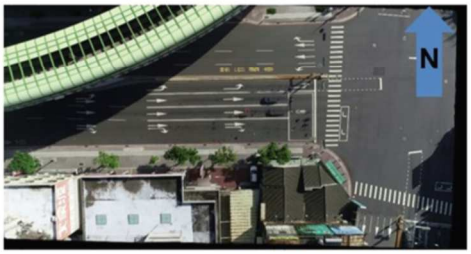
28

分流式指向線效益評估
案例分析

本研究採用之無人機AI 人車流動線之評估方式：

- **車流軌跡動線圖**
  區分機車與非機車二車種，各車種再區分是否曾停等。
- **車輛橫向分布圖**
  由停止線起往上游每10m取一斷面，再以每0.2m一組計算各斷面上各組累積通過車輛。區分機車與非機車。
- **指標一**：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離
- **指標二**：潛在衝突指標
- **指標三**：右轉汽車與直行機車之交通衝突分析

案例二
台中市文心路四段 & 北屯路路口 西側入口方向



29

分流式指向線效益評估
車流軌跡動線圖

車流軌跡動線圖：
汽車軌跡、機車軌跡

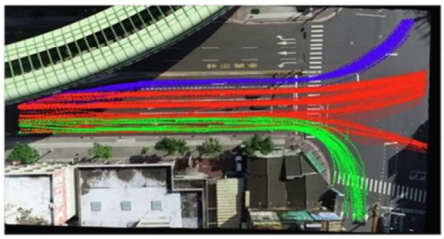
汽車車流量

左轉汽車	直行汽車	右轉汽車
36	139	33

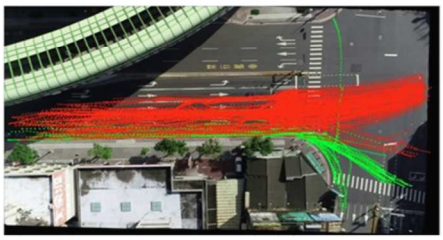
機車車流量

直行機車	右轉與二段式左轉機車
188	41

汽車軌跡圖：左轉、直進、右轉



機車軌跡圖：直進、右轉與二段式左轉

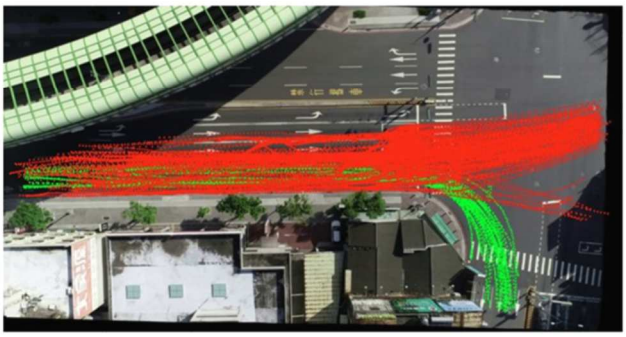


*動線圖以車輛中心點的軌跡為依據

30

分流式指向線效益評估
車流軌跡動線圖

車流軌跡動線圖：
右轉汽車 vs 直行機車



車流量

直行機車	右轉與二段式左轉機車	左轉汽車	直行汽車	右轉汽車
188	41	36	139	33

*動線圖以車輛中心點的軌跡為依據

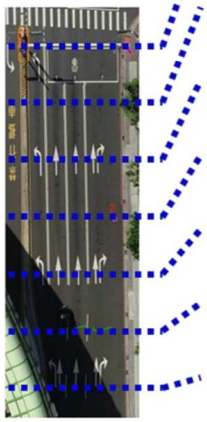
31

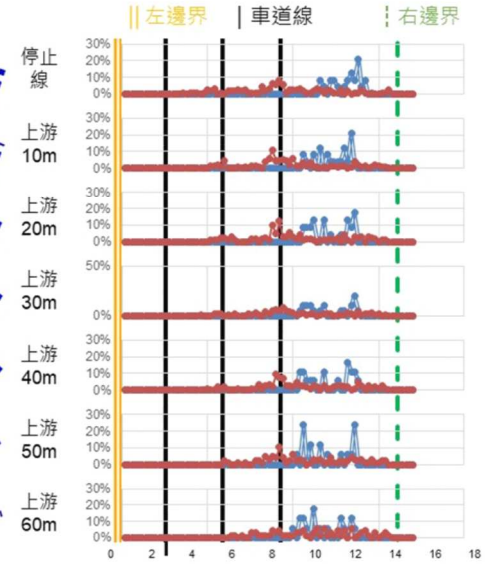
分流式指向線效益評估

車輛橫向分布圖

車輛橫向分布圖：
右轉汽車 vs 直行機車

直行機車（紅線）
右轉汽車（藍線）

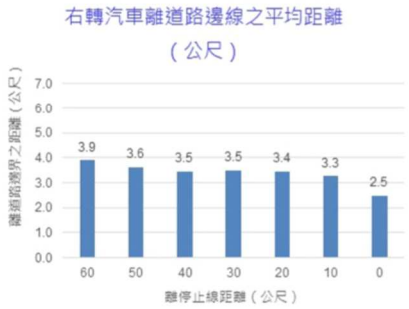


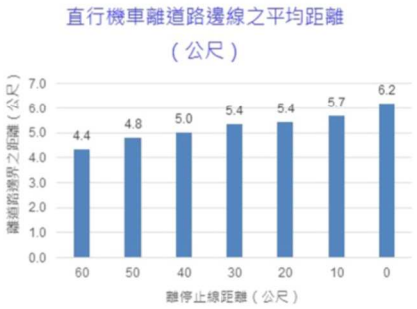


32

分流式指向線效益評估

指標一：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離





*距離之計算方式為右側邊緣與車輛中心點之間距

分流式指向線效益評估
指標二：潛在衝突指標

- 指標二：潛在衝突指標
  - 探討右轉車輛與直行機車併行之潛在衝突
  - 汽車右轉安全範圍為汽車中心點至路緣約2.5公尺

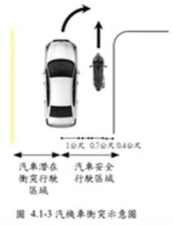


圖 4.1-3 汽機車衝突示意圖

示意：指標=A×(C+D)+ B×D

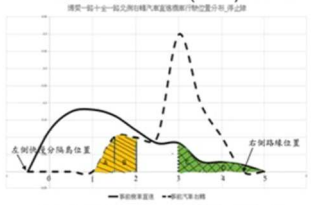


圖 4.1-4 高雄市博愛十全路口北側停止線汽機車行駛位置分布

衝突潛在指標計算方式

$$m=\sum_{i=1}^{\frac{[LW-2.5]}{0.5}+1}\left(\frac{v_i^c}{v^c}\times\sum_{j=i+3}^{\frac{[LW]}{0.5}+1}\frac{v_j^m}{v^m}\right)$$

m：潛在衝突
LW：路段寬度(以0.5公尺為單位)
v^c：右轉汽車車輛數(輛)
v^m：直行機車車輛數(輛)
v_i^c：右轉汽車在路段第i個以0.5公尺單位長度斷面之車輛數(輛)
v_j^m：直行機車在路段第j個以0.5公尺單位長度斷面之車輛數(輛)

資料來源：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，民國107年6月。

分流式指向線效益評估
指標二：潛在衝突指標

指標二：潛在衝突指標

- 越靠近停止線，潛在衝突指標數字越小，顯示分流式指向線有效降低衝突風險。
- 本研究透過自行拍攝之影片進行分析，採用15分鐘的影像資料，結論與原報告書一致。

	報告書評估	本研究
停止線	0.0017	0.0375
停止線上游30公尺	0.1946	0.1456
停止線上游60公尺	0.3847	0.2798

遞減

資料來源：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，民國107年6月。

35

分流式指向線效益評估
指標三：交通衝突分析

指標三：右轉汽車與直行機車之交通衝突分析

衝突事件數：
- 右轉汽車與其外側之直行機車衝突可對應至本研究定義之「兩車右轉切入衝突」。

右轉	直行	風險				總數
		瀕危	高	中	低	
汽車	機車	3	0	1	1	5
機車	汽車	0	0	0	0	0
汽車	汽車	0	0	0	0	0
機車	機車	0	0	0	0	0

衝突熱點圖：
- 直行機車與右轉汽車衝突分布圖
- 部分衝突位置重疊故圖上僅呈現2點
- 整體而言，因分流式指向線已劃設，故衝突數偏低為合理情況，與原報告書之結論相符。



36

結語

- 無人機及AI 電腦視覺技術的重大進展，突破過去收集資料的困難，能以較低的成本收集精細的微觀車流軌跡資料。
- 自動化偵測潛在的交通事故風險，加速分析的過程，降低人力成本。一次現場拍攝調查，能進行全部分析。
- 「專家經驗」為主的分析工作「資訊化」，大幅降低分析門檻。
- 應持續並定期蒐集資料，以進行 Benchmarking。

Q & A

Dr. Walter K.I. Wong
黃家耀 kiwong@mail.nctu.edu.tw

空拍機於交通應用之操作與申請說明

工研院資通所
陳國睿

2020.11.09

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

空拍機活動申請流程與注意事項

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

遙控無人機管理資訊系統

■申請項目請使用電子憑證登入「遙控無人機管理資訊系統 (https://drone.caa.gov.tw)」辦理（保險投保除外）。



Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

無人機飛行作業行政標準程序

- 無人機註冊、檢驗 (註冊)
- 操作人員測驗 (操作證)
- 投保責任保險 (保險)
- 法人能力審查 (能力審查)
- 活動申請 (活動申請)

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

無人機註冊與檢驗

■登入「遙控無人機管理資訊系統」 辦理。

109年10月1日起

快點我 開始線上註冊吧！

註冊一架無人機
新臺幣50元

自然人 | 250公克以上需辦理註冊

政府機關(構)、學校或法人 | 皆須辦理註冊

※註冊號碼應以標籤、鐫刻、噴漆或其他能辨識之方式標明於遙控無人機之固定機身外部。

遙控無人機-系統操作諮詢，請洽：
客戶服務中心 免付費 0809-086-507 手機請撥 02-7735-2807
遙控無人機管理資訊系統：https://drone.caa.gov.tw/

交通部民用航空局 Civil Aeronautics Administration, MOTC

遙控無人機檢驗

遙控無人機 未達25公斤
航空模型機 不論公斤數
(不具導航裝置)
免檢驗 ✓

25公斤以上

市售
型式檢驗
申請對象：製造商
準備文件：查檢表、檢測分析資料
→ 實體檢驗
申請對象：購買者
準備文件：查檢表

自製
特種實體檢驗 (型式+實體)
申請對象：自製者
準備文件：查檢表、技術資料

▲申請方式：請至【遙控無人機管理資訊系統】填寫申請表並上傳文件。
(相關文件請至交通部民用航空局-無人機專區下載檢驗程序申請指南)

★遙控無人機-系統操作諮詢，請洽：
客戶服務中心 免付費 0809-086-507 手機請撥 02-7735-2807
★遙控無人機管理資訊系統：https://drone.caa.gov.tw/

交通部民用航空局

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

無人機空域規範

■登入「遙控無人機管理資訊系統」 查詢。

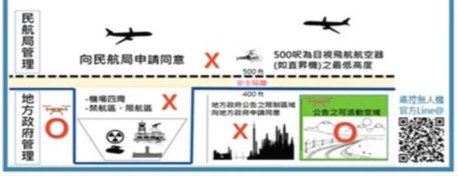
Q. 民航局與各地方政府所轄空域範圍要如何區分呢？

中央與地方
攜手推動遙控無人機圖資規劃

民航局：主要管轄機場周邊、禁限航區及飛機之飛行安全(高度400呎以上區域)。

地方政府：所轄其它非機場周邊地區及高度未達400呎區域。

地方政府可依地方特色或產業發展，進行配套規劃開放或限禁無人機的活動區域，並由民航局彙整，攜手推動遙控無人機專用圖資。



Q. 遙控無人機管理資訊系統裡，圖資的顏色(紅、綠、黃)分別代表什麼意義？

紅色區域：
- 僅供法人通過能力審查與飛航活動申請後，從事遙控無人機活動。

綠色區域：
- 自然人 - 遵守操作限制項目，可從事遙控無人機活動。
- 法人 - 1.遵守操作限制的飛行，操作人得比照自然人。
  2.若是在集會遊行、夜間、噴灑...等限制排除之飛行，需申請活動許可。

黃色區域：
- 自然人 - 限制飛行高度60公尺以下，與綠區相同。
- 法人 - 1.60公尺以下，遵守操作限制的飛行，操作人得比照自然人。
  2.若是60公尺以上、集會遊行、夜間、噴灑...等限制排除之飛行，需申請活動許可。

遙控無人機官方Line@

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

無人機操作限制



Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

無人機操作證測驗

■操作人員以**健保卡或自然人電子憑證**登入「遙控無人機管理資訊系統」 辦理。





Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

無人機責任保險

■ 從事相關操作限制之活動前，**應投保責任保險，其最低投保金額為重傷150萬、死亡300萬**。目前已有南山、華南、富邦、台產、兆豐、和泰、泰安、明台、第一、新光、國泰世紀、新安、台壽保及旺旺友聯等14家產險公司販售遙控無人機責任險商品。

※保險商品資訊及進度等內容係由中華民國產物保險商業同業公會提供。

	法人	自然人
排除操作限制	須投保 無人機責任保險 已販售責任保險之產險公司：南山、華南、富邦、台產、兆豐、和泰、泰安、明台、第一、新光、國泰世紀、新安、台壽保、旺旺友聯。	自然人不可 排除操作限制
一般操作	可主動投保 相關保險商品，預計109年3月31日起販售。	可主動投保 投保現有個人責任保險商品。

交通部民用航空局 Civil Aeronautics Administration, MOTC

遙控無人機官方Line@

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

法人飛航活動申請

■**具政府機關(構)、學校或法人資格者**使用電子憑證登入「遙控無人機管理資訊系統 」辦理。

飛航活動申請 3 步驟

政府機關(構)、學校或法人於**紅區飛行**或**執行操作限制排除**前，
請依【活動申請 3 步驟】提出申請哦！

能力審查
- 應備文件：法人登記證明文件、遙控無人機系統清單、操作人員名冊及作業手冊
- 有效期限：2 年

活動申請
- 申請要件：空域範圍為紅區或執行操作限制排除
- 申請期限：每次核准期間為3個月或1年(政府機關)，此期間均可依核准事項活動，期滿請重新提出申請

請於活動前15日前提出申請，如有涉及軍事航空管理機關(構)管理區域，應於30日前提出。

活動登載

每次活動前、後，於指定時間內至遙控無人機管理資訊系統登載報到及報離的飛航資訊

※可使用手機於操作現場報到及報離

活動空域為綠區，操作人得屬自然人，可依自然人規定從事遙控無人機活動。

交通部民用航空局 Civil Aeronautics Administration, MOTC

遙控無人機官方Line@

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

法人飛航活動申請-能力審查

- 登入「遙控無人機管理資訊系統」，選擇**能力審查**，填寫基本資料內容、操作員證號及無人機註冊號碼，並勾選申請操作限制排除項目，最後上傳**登記證明文件及遙控無人機作業手冊**。
- 通過審查後，可於系統下載**能力審查核准證明**。



能力審查申請頁面



單位證明文件



作業手冊



能力審查核准證明

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

空拍機於
交通應用之操作說明

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

法人飛航活動申請-活動申請

■ 登入「遙控無人機管理資訊系統 」，選擇**活動申請** ，填寫活動計畫書(基本資料、操作人員身分證號、無人機註冊號碼及空域範圍等)，另依申請活動檢附如下文件：

1. 申請操作限制排除者，應檢附**保險證明**。
2. 申請於限制區域(紅區/黃區)內活動者，應檢附**管理機關同意文件**(可查閱系統圖資取得聯絡資訊) 。
3. 申請活動空域中包含限制區域者，惟活動路線確實不需進入，應檢附切結書。



活動申請頁面



管理機關同意文件範例

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

氣象預報

- UAV Forecast 起始畫面以區塊顏色作為條件判斷，飛行條件可在設置中修改，主頁上方提供是否適合飛行判斷，下方提供當前細部氣象資訊。

判斷無人機是否能飛行

座標位置：可透過手機或搜尋標的當前位置。

即時氣象：依據上列座標顯示當地即時氣象狀況，超過閥值時則以紅色區塊顯示。



飛行警示：
警告附近禁航區

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

飛行現場任務作業標準程序

- 作業標準程序為起降場準備、飛行前檢查、正式飛行及飛行後檢查。
- 任務當日如遇下雨、地面五級風以上之氣候條件確定延期飛行。

1.起降場準備	• 選擇適合起降場地 • 架設警示標語
2.飛型前檢查	• 無人機任務確認 • 飛行前**360**度檢查
3. 正式飛型	• 飛行活動報到 • 異常狀況排除
4. 飛行後檢查	• 飛行活動報離 • 飛行後360度檢查



Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

飛行現場任務-飛行前檢查

1. 填寫無人機任務檢查表(紙本)

任務日期：2020.04.20
活動區域：台北市信義區
作業高度：海拔高 OOO AMSL / 實際高 OOO AGL
用途：空拍
操作限制排除事項：無操作限制排除者不填
現場負責人：朱 OO
操作人：丁 OO、許 OO、
協調人：
飛航活動申請號碼：
遙控無人機註冊號碼：

項目	內容	檢查結果
氣象條件	填寫相關內容	填寫相關內容
空域協調	填寫相關內容	填寫相關內容
作業風險(空中/地面)	填寫相關內容	填寫相關內容
裝備外觀檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
系統功能檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
通信控制鏈路檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
燃油或電池容量檢查	填寫相關內容	填寫相關內容
操作限制項目檢查(如適用)	填寫相關內容	填寫相關內容
綜合評估	填寫相關內容	填寫相關內容

航務管理人：(簽名)

2. 填寫飛行前360度檢查表(紙本)









Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

飛行現場任務-正式飛行

1. 登入「遙控無人機管理資訊系統」進行活動前登載





活動前登載頁面

2. 隨時監控「無人機地面站」上是否有異常訊息，若遇異常狀況將進行排除，無法排除將進行緊急降落且任務中止。
3. 以FOV80度飛機，飛行高度約85公尺。



無人機操作畫面

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

實際拍攝案例

編碼	易肇事路口分析(107/108)
A1	桃園市八德區中華路與茄苳路口
A2	桃園市桃園區中正路與大興西路口
A3	桃園市桃園區中正路與三民路口
A4	桃園市桃園區中山路與上海路口
A5	高雄市三民區民族一路 & 十全一路
A6	高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路
編碼	**易肇事路口改善前後分析 (108/109)**
B1	新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街
B2	雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路
B3	台南市永康區中華路 & 勝華街
B4	桃園市桃園區三民路三段 & 永安路
編碼	**分流式指向線路口分析 (109)**
C1	高雄市三民區博愛一路 & 十全路
C2	台中市北屯區文心路四段 & 北屯路
編碼	**非號誌化路口分析 (109)**
D1	桃園市桃園區成功路二段 & 朝陽街一段
D2	桃園市桃園區成功路二段 & 中央街



新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街



台中市北屯區文心路四段 & 北屯路



高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

飛行現場任務-飛行後檢查

1. 登入「遙控無人機管理資訊系統」進行活動後登載

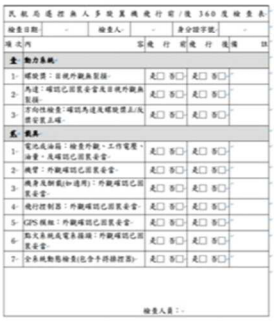




活動後登載頁面

2. 填寫飛行後360度檢查表(紙本)





3. 場地復原：請將場地復原，並移除警示標誌

Copyright 2020 ITRI

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

飛安事件填報

■ 所有人或操作人於操作遙控無人機發生飛航安全相關事件時，應於發生或得知消息後24小時內，登入遙控無人機管理資訊系統至「飛安事件填報」通報民航局。



事件類型

- 飛航事故調查法所規定之遙控無人機飛航事故
- 最大起飛重量二公斤以上之遙控無人機遭受實質損害或失蹤
- 於本法第九十九條之十三第一項至第二項範圍內從事活動之遙控無人機遭受實質損害或失蹤
- 從事本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款活動之遙控無人機遭受實質損害或失蹤
- 發生與其他航空器或障礙物接近或碰撞之事故

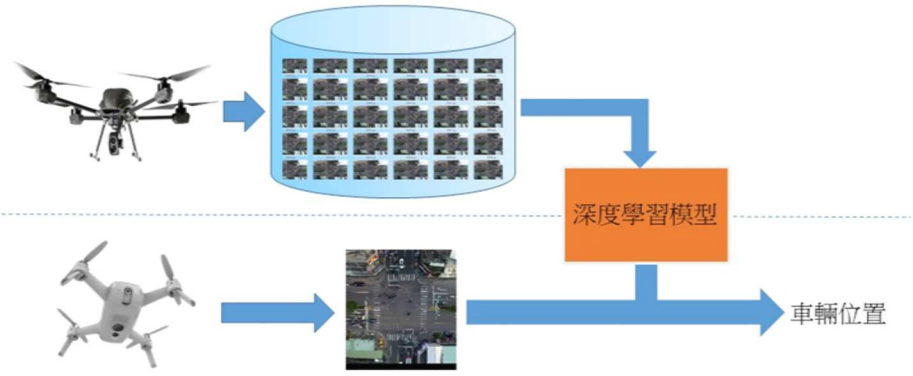
Copyright 2020 ITRI

適用於交通應用之影像規格要求

中原大學 資訊工程學系
蘇志文 助理教授

偵測空拍影像中車輛的基本概念

- 深度學習是利用事前收集的大量人工標註影像進行訓練，產生適用於該影像群的分類模型後，再利用訓練好的模型分析新的未知影像。



為何空拍影像規格需要被規範?

- 深度學習是從既有的標註影像資料中訓練出車輛模型，因此若影像與訓練資料有明顯的視覺上差異，便可能無法達成預期效果。
- 拍攝、標註空拍影像的金錢、時間與人力成本頗高，因此現階段不可能收集到任意拍攝條件下之訓練影像資料。
- 對影像規格進行規範，有助於降低新拍攝影像與訓練影像間的差異性，確保車輛偵測的準確性。

影響車輛偵測結果的常見主因

- **可避免之錯誤拍攝方式**
  - 選擇適當之攝影機設定
  - 調整適當之拍攝角度、高度與範圍
- **難避免之不良環境因素**
  - 天候與時段不佳
  - 遮蔽物與建築物陰影

影像亮度

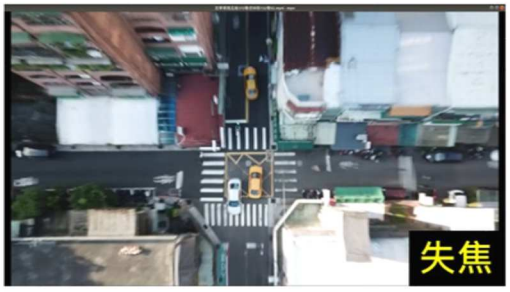
- 將攝影機亮度、對比、白平衡等設定歸零或固定為預設值。
- 避免夜晚、雲層過厚的陰/雨天拍攝。





影像模糊

- 待無人機飛行至固定拍攝高度後調整成適當焦距，並關閉自動調整焦距功能
- 曝光時間勿過長，過長可能造成行進中車輛外觀模糊。
- 本計畫基本影像輸入為1024x1024，建議採用更高解析度，幀率大於10fps之高畫質格式錄製影片。



攝影鏡頭

- 不可使用廣角鏡頭，避免影像產生非線性的扭曲，造成嚴重的車輛位置失真。



拍攝角度

- 以垂直俯視拍攝為佳，拍攝角度越大，越容易與訓練影像產生車輛外觀上之差異。

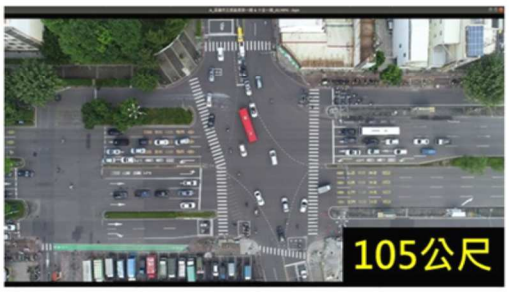




飛行高度

- 本計畫中訓練影像之拍攝高度約為75公尺。建議拍攝高度在100公尺以下、50公尺以上。拍攝高度差距過大容易使機車等較小物體偵測率下降。

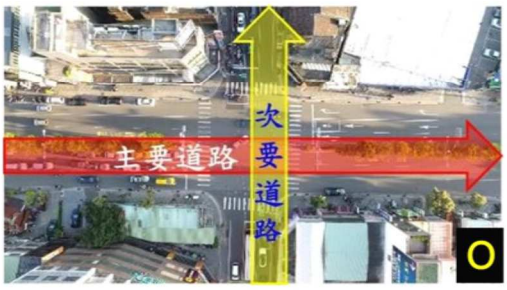




拍攝範圍

- 拍攝範圍應以路口為中心、橫向為主要道路、縱向為次要道路。
- 空拍機應具備雲台以減緩拍攝時震動與強風造成的大幅度影像偏移。本技術雖包含高精確的影像穩定化處理，但無法修補因影像大幅偏移而未缺失之影像區域。





拍攝範圍

- 若路口為長方形，建議可以路口長邊為橫向、路口短邊為縱向，可取得較充裕之車輛停等線後道路區域。





環境陰影

- 日照強烈之早晚時段，建築物與車輛陰影亦容易減少車輛原有之細部特徵，降低偵測效果。



路樹遮蔽

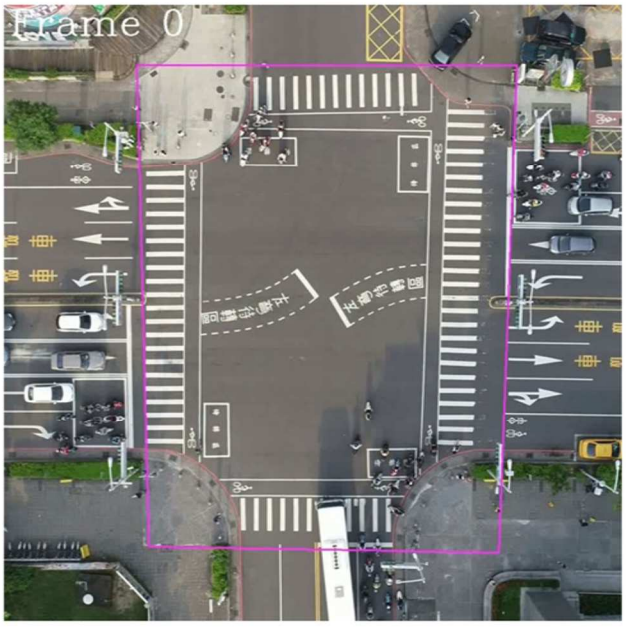
- 影像中的路樹、招牌可能遮蔽道路上車輛，造成偵測失敗。





Demo

- If everything goes well...



Thanks for your attention!

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

衝突軟體之交通應用情境操作說明

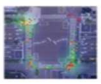
工研院-許銜書

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

軟體功能介紹

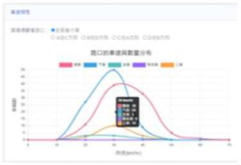
空拍影像蒐集 ⇨ 影像處理 車流軌跡 ⇨ 交通衝突分析







衝突風險統計

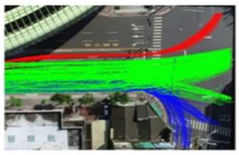


路口平均車速統計

- 專案管理
  - 新增專案 (上傳車流軌跡檔、底圖、影片)
  - 專案列表
- 交通衝突分析
  - 衝突事件表
  - 統計摘要
  - 車流特性
  - 衝突熱點TTC
  - 衝突熱點PET
- 交通量分析
  - 轉向交通量調查
  - 行人交通量調查
- 路口資訊
  - 路口車流軌跡
  - 路口轉向速度



衝突熱點圖(TTC)



路口車流軌跡

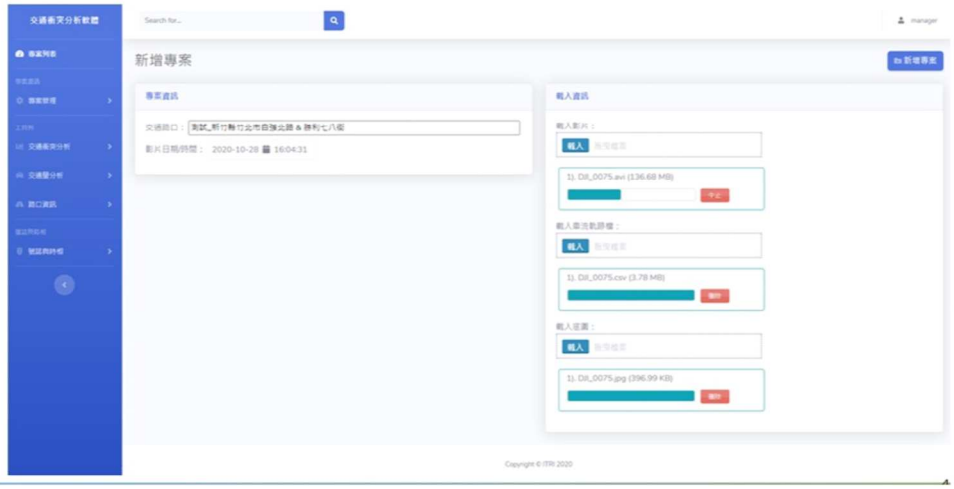
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

專案管理

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

新增專案

1. 填寫專案/路口名稱。
2. 選擇影片拍攝的日期與時間。
3. 依序載入影片、車流軌跡檔與路口底圖



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

專案列表

- 按下【開始分析】後，稍待分析完畢後，即可使用左方相關功能
  - 分析時間，依車輛軌跡數量多寡而有所不同



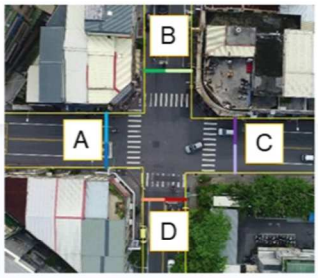
工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

交通衝突分析

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

衝突事件過濾功能

- 分析完畢後，衝突資訊可由以下條件過濾後顯示
- 前期已具備基本篩選功能，本期針對行人、兩車車種、速度等條件新增篩選功能，以利滿足確切條件，呈現最適切之衝突事件。



路口位置說明

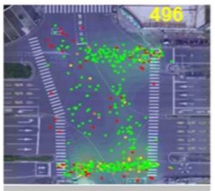


註1：最大車速(m/s)：英文代碼MaxS，表示衝突事件過程中任一車輛之最大速度。
註2：相對車速(m/s)：英文代碼DeltaS，表示衝突發生時兩車輛之速度差。

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

衝突事件過濾功能實例

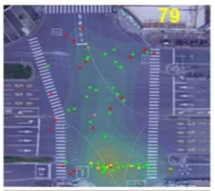
二期_高雄市三民區民族一路_十全一路



全選



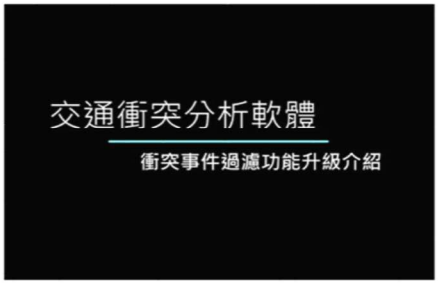
濾除行人



濾除低速
(< 2 m/s = 7.2 km/hr)



只看機車-小客車



衝突事件過濾功能操作影片

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

衝突事件表

- 列出衝突事件分析結果，可依需求搜尋、排序或觀看衝突細節資訊，並能匯出表格內容

衝突事件表

匯出分析結果 Show 10 entries Search:

發生時間(秒) tMinTTC	X坐標 xMinPET	Y坐標 yMinPET	TTC(秒)	PET(秒)	最大車速(m/s) MaxS	相對車速(m/s) DeltaS	衝突角度(度) ConflictAngle	衝突型態 ConflictType
0.3	58.0437	46.8468	0.000003	0	0.43	0.23	0	同向直行減速衝突
4.804	59.7454	47.5618	0.000003	1.201	0.86	0.003847	3.14954	同向右轉跟車衝突

	VID	Length	Width	Heading	VminTTC	xCSP	yCSP	xCEP	yCEP	VehType	In	Out
First:	51	1.91112	0.917551	277.804	0.07	59.7311	47.8478	60.1172	45.0307	m	D	C
Second:	52	1.88792	0.878719	280.954	0.07	58.6729	48.8059	58.7587	48.3626	m	D	B

6.306	58.0437	46.4821	0.100003	0	4.11	4.00043	5.23547	同向直行減速衝突
2.002	56.5279	14.3143	4.9	4.604	1.07	0.872724	18.0213	同向左轉跟車衝突
5.105	58.8302	41.9705	3.9	1.801	0.93	0.700896	4.38913	同向直行減速衝突
5.405	58.1009	45.76	2.1	2.502	3.6	3.00024	3.04822	同向直行減速衝突
4.504	57.0713	44.9592	4.7	4.404	3.25	3.09022	2.9371	同向左轉跟車衝突
6.406	58.7873	48.1481	4.3	2.603	2	0.850003	0.093964	同向直行減速衝突
3.703	54.2685	12.4124	1.2	0.901	3.15	3.08	0.550385	同向直行減速衝突
5.105	58.8302	41.9705	4.9	4.604	2.79	2.5605	3.6214	同向直行減速衝突

Showing 1 to 10 of 167 entries Previous 1 2 3 4 5 … 17 Next

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

統計摘要

- 衝突事件統計摘要
  - 嚴重程度分類(TTC)
  - 車種分類



衝突事件數統計(按嚴重程度)



衝突事件數統計(按車種程度)

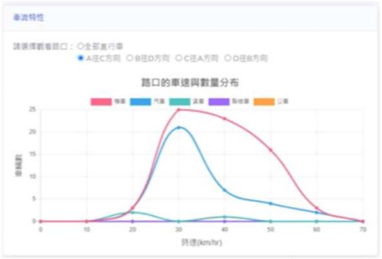
工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

車流特性

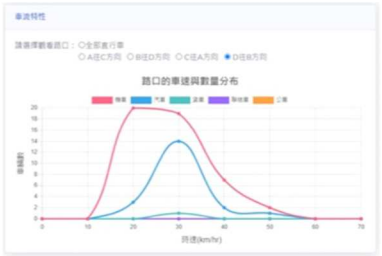
- 路口之車流特性圖表
  - 各車種直行車，通過該路口之時速資訊



各車種直行通過的車速分布



A往C通過的車速分布



D往B通過的車速分布

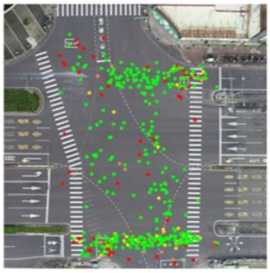
工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

衝突熱點TTC/PET

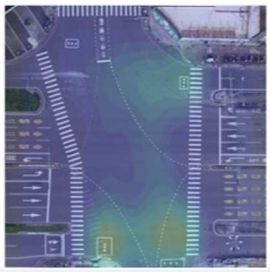
- 除原本篩選條件外，增加風險程度選擇
- 可檢視哪些區域為衝突發生熱區

TTC圖





TTC
斑點圖



TTC
密度分布圖



衝突熱點影片索引回放功能

- 每個衝突點滑鼠靠近時，會自動帶出衝突資訊
- 點選衝突點，回放當時影片並標記兩車位置
- 大幅提升衝突事件檢視效率，快速研判分析結果

TTC圖



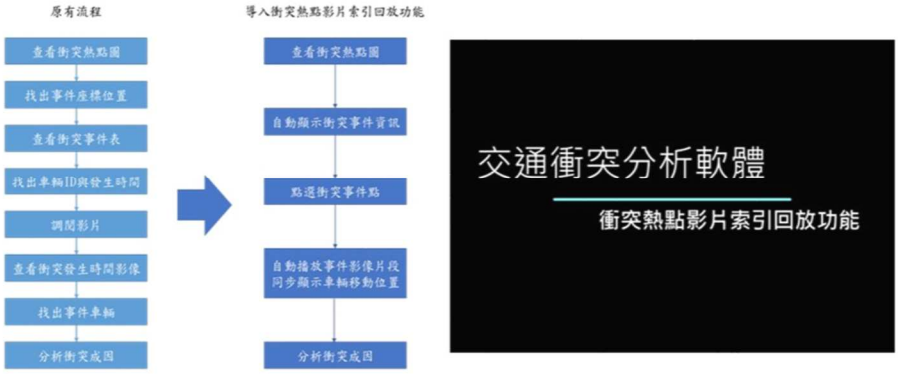
衝突影片



衝突資訊

衝突型態	發生時間(秒)	TTC(秒)	PET(秒)	衝突角度(度)	最大車速(m/s)	相對車速(m/s)	ID	種類	長度	寬度	進入	離開
同向左轉跟車衝突	585.785	0.000003	0	11.1262	5.29	1.81785	2720	小客車	4.78803	1.95198	B	C
							3333	小客車	3.93606	1.95717	B	D

衝突熱點影片索引回放功能實例



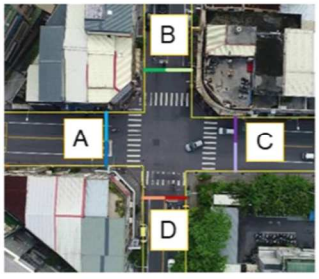
工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

交通量分析

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

交通量調查(1/2)

- 透過影像分析結果，統計該路口OD表



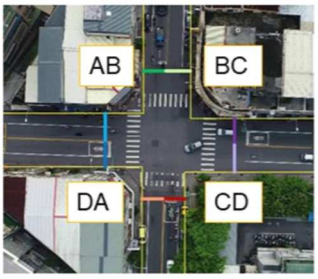
OD表

入口方向	出口方向	轉向	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	B	左轉	0	5	2	0	0	1	8
	C	直進	3	70	37	3	0	1	114
	D	右轉	1	0	2	0	0	0	3
	小計		4	75	41	3	0	2	125
B	C	左轉	1	23	5	0	0	0	29
	D	直進	2	52	42	4	0	0	100
	A	右轉	1	18	2	0	0	0	21
	小計		4	93	49	4	0	0	150
C	D	左轉	0	10	6	1	0	1	18
	A	直進	0	76	49	4	0	1	130
	B	右轉	1	11	8	0	0	0	20
	小計		1	97	63	5	0	2	168
D	A	左轉	0	3	1	0	0	0	4
	B	直進	1	48	20	1	0	0	70
	C	右轉	0	12	4	0	0	0	16
	小計		1	63	25	1	0	0	90
總計			10	328	178	13	0	4	533

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

交通量調查(2/2)

- 行人OD表



入口方向	出口方向	數量
AB	BC	6
	CD	0
	DA	5
	AB	112
	小計	**123**
BC	CD	5
	DA	0
	AB	116
	BC	0
	小計	**121**
CD	DA	1
	AB	0
	BC	6
	CD	24
	小計	**31**
DA	AB	2
	BC	0
	CD	0
	DA	58
	小計	**60**
總計		335

17

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

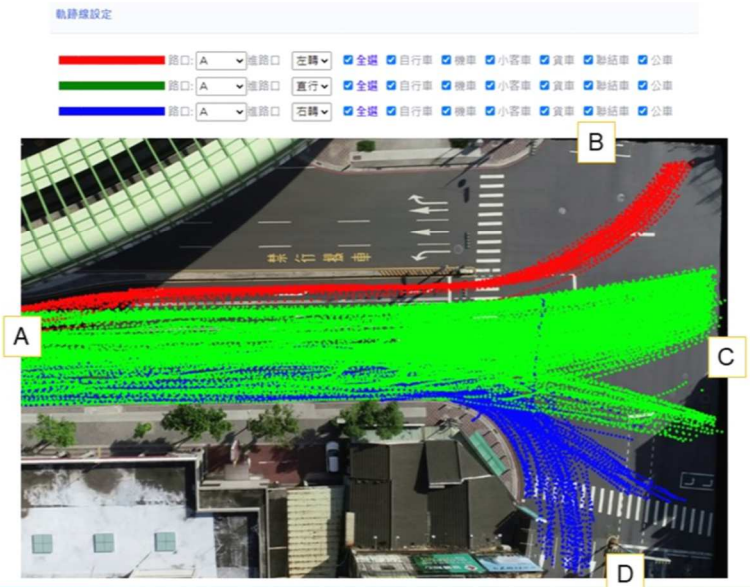
路口資訊

19

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

路口車流軌跡(1/3)

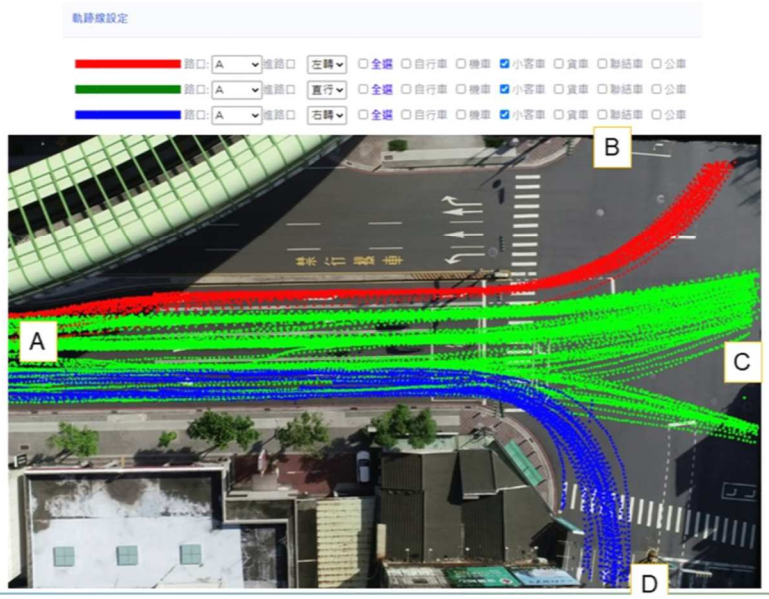
- 自行設定各進出口方向軌跡線之顏色，與進出方向與車種



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

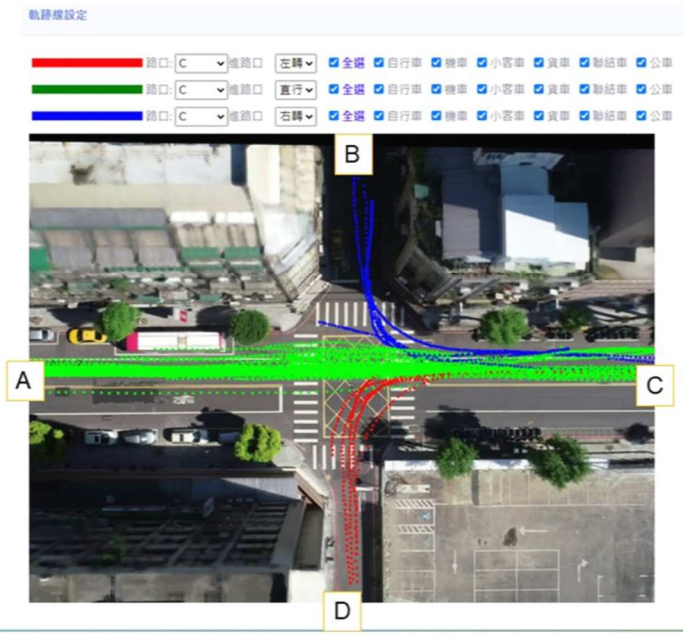
路口車流軌跡(2/3)

- 自行設定各進出口方向軌跡線之顏色，與進出方向與車種



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

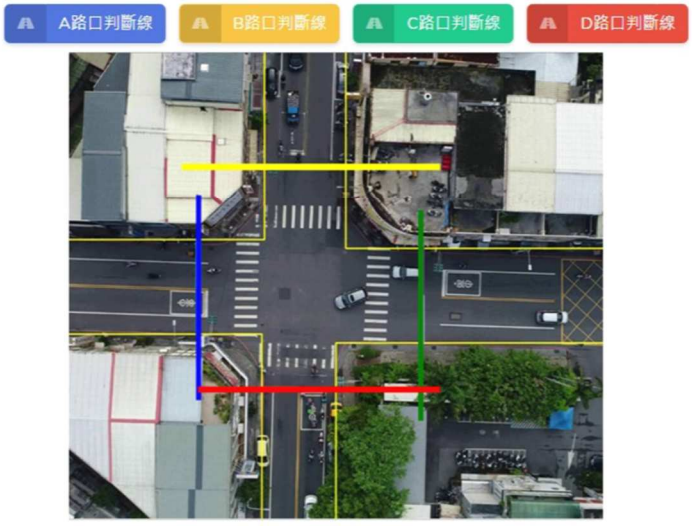
路口車流軌跡(3/3)



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

路口轉向車速統計

- 設定各路口判斷線，以利計算通過兩條線時的平均速度
- 除直行車外，還可統計轉彎車輛



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

路口轉向車速統計速率表

A路口速率

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(A to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.553	10.987	N.A.	N.A.	13.971	12.964
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	4.63	1.429	N.A.	N.A.	0	3.903
計數(輛)	N.A.	5	2	N.A.	N.A.	1	8
直行(A to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	14.85	29.69	29.566	23.531	N.A.	39.011	29.141
路口速度標準差(公里/小時)	8.784	13.855	9.719	7.014	N.A.	0	12.516
計數(輛)	3	62	37	3	N.A.	1	106
右轉(A to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	16.358	N.A.	N.A.	N.A.	16.358
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.728	N.A.	N.A.	N.A.	0.728
計數(輛)	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	2
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	14.85	28.486	28.016	23.531	N.A.	26.491	27.805
路口速度標準差(公里/小時)	8.784	14.044	10.407	7.014	N.A.	12.52	12.779
計數(輛)	3	67	41	3	N.A.	2	116

B路口速率

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(B to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	18.116	14.154	N.A.	N.A.	N.A.	17.354
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	3.016	3.436	N.A.	N.A.	N.A.	3.472
計數(輛)	N.A.	21	5	N.A.	N.A.	N.A.	26
直行(B to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	9.103	24.601	23.997	23.919	N.A.	N.A.	23.998
路口速度標準差(公里/小時)	5.819	5.306	5.118	4.192	N.A.	N.A.	5.631
計數(輛)	2	50	42	4	N.A.	N.A.	98
右轉(B to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	14.562	16.6	N.A.	N.A.	N.A.	15.015
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	4.455	0.733	N.A.	N.A.	N.A.	4.034
計數(輛)	N.A.	7	2	N.A.	N.A.	N.A.	9
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	9.103	21.954	22.691	23.919	N.A.	N.A.	22.091
路口速度標準差(公里/小時)	5.819	5.97	5.859	4.192	N.A.	N.A.	6.106
計數(輛)	2	78	49	4	N.A.	N.A.	133

C路口速率

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(C to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.971	13.811	N.A.	N.A.	10.555	13.659
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	7.404	1.333	N.A.	N.A.	0	5.924
計數(輛)	N.A.	8	4	N.A.	N.A.	1	13
直行(C to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	28.838	29.183	28.848	N.A.	21.404	28.918
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	10.154	5.566	2.509	N.A.	0	8.322
計數(輛)	N.A.	62	48	4	N.A.	1	115
右轉(C to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	15.601	13.8	N.A.	N.A.	N.A.	14.572
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	4.176	2.138	N.A.	N.A.	N.A.	3.299
計數(輛)	N.A.	6	8	N.A.	N.A.	N.A.	14
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	26.228	26.107	28.848	N.A.	15.98	26.106
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	11.025	7.96	2.509	N.A.	5.424	9.699
計數(輛)	N.A.	76	60	4	N.A.	2	142

D路口速率

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(D to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	9.004	4.824	N.A.	N.A.	N.A.	7.959
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	3.173	0	N.A.	N.A.	N.A.	3.29
計數(輛)	N.A.	3	1	N.A.	N.A.	N.A.	4
直行(D to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	10.972	23.392	24.749	23.076	N.A.	N.A.	23.604
路口速度標準差(公里/小時)	0	7.033	5.084	0	N.A.	N.A.	6.62
計數(輛)	1	46	20	1	N.A.	N.A.	68
右轉(D to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	12.719	17.421	N.A.	N.A.	N.A.	13.804
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	4.629	2.083	N.A.	N.A.	N.A.	4.627
計數(輛)	N.A.	10	3	N.A.	N.A.	N.A.	13
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	10.972	20.851	23.003	23.076	N.A.	N.A.	21.369
路口速度標準差(公里/小時)	0	8.129	6.503	0	N.A.	N.A.	7.75
計數(輛)	1	59	24	1	N.A.	N.A.	85

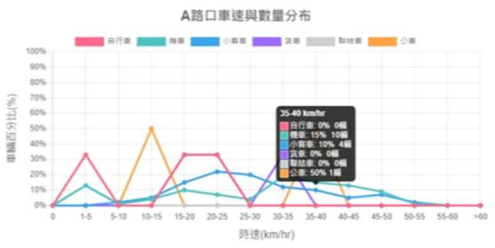
路口車速與數量分布圖

- 每個路口除了速率分析表，也提供車速與數量分布圖統計
- 點選可觀看每種不同時速，各自所含的車輛種類數量與百分比

A路口車種速率分析表

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(A to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.553	10.987	N.A.	N.A.	13.971	12.964
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	4.63	1.429	N.A.	N.A.	0	3.903
計數(輛)	N.A.	5	2	N.A.	N.A.	1	8
直行(A to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	14.85	29.69	29.566	23.531	N.A.	39.011	29.141
路口速度標準差(公里/小時)	8.784	13.855	9.719	7.014	N.A.	0	12.516
計數(輛)	3	62	37	3	N.A.	1	106
右轉(A to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	16.358	N.A.	N.A.	N.A.	16.358
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.728	N.A.	N.A.	N.A.	0.728
計數(輛)	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	2
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	14.85	28.486	28.016	23.531	N.A.	26.491	27.805
路口速度標準差(公里/小時)	8.784	14.044	10.407	7.014	N.A.	12.52	12.779
計數(輛)	3	67	41	3	N.A.	2	116

A路口車速與數量分布



附錄 E. 軟體版權說明

1. 四輪車輛偵測技術 Mask RCNN

23 LICENSE

```
@@ -0,0 +1,23 @@
+ Mask R-CNN
+
+ The MIT License (MIT)
+
+ Copyright (c) 2017 Matterport, Inc.
+
+ Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
+ of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
+ in the Software without restriction, including without limitation the rights
+ to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
+ copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
+ furnished to do so, subject to the following conditions:
+
+ The above copyright notice and this permission notice shall be included in
+ all copies or substantial portions of the Software.
+
+ THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
+ IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
+ FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
+ AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
+ LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
+ OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN
+ THE SOFTWARE.
```

資料來源:

https://github.com/matterport/Mask_RCNN/commit/2368d206f079adf1bfe7ccb23824d5d18c22e031

2. 行人與兩輪小型車輛偵測技術 YOLO



Branch: master ▾ darknet / LICENSE Find file Copy path

pjreddie Update LICENSE e6b3006 on 30 Jul 2016

1 contributor

13 lines (10 sloc) | 515 Bytes Raw Blame History

```
                                YOLO LICENSE
                            Version 2, July 29 2016

THIS SOFTWARE LICENSE IS PROVIDED "ALL CAPS" SO THAT YOU KNOW IT IS SUPER
SERIOUS AND YOU DON'T MESS AROUND WITH COPYRIGHT LAW BECAUSE YOU WILL GET IN
TROUBLE HERE ARE SOME OTHER BUZZWORDS COMMONLY IN THESE THINGS WARRANTIES
LIABILITY CONTRACT TORT LIABLE CLAIMS RESTRICTION MERCHANTABILITY. NOW HERE'S
THE REAL LICENSE:

0. Darknet is public domain.
1. Do whatever you want with it.
2. Stop emailing me about it!
```

資料來源: https://github.com/pjreddie/darknet/blob/master/LICENSE

3. OpenCV 電腦視覺庫:

License Agreement
For Open Source Computer Vision Library
(3-clause BSD License)

Copyright (C) 2000-2019, Intel Corporation, all rights reserved.
Copyright (C) 2009-2011, Willow Garage Inc., all rights reserved.
Copyright (C) 2009-2016, NVIDIA Corporation, all rights reserved.
Copyright (C) 2010-2013, Advanced Micro Devices, Inc., all rights reserved.
Copyright (C) 2015-2016, OpenCV Foundation, all rights reserved.
Copyright (C) 2015-2016, Itseez Inc., all rights reserved.
Third party copyrights are property of their respective owners.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- Neither the names of the copyright holders nor the names of the contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

This software is provided by the copyright holders and contributors "as is" and any express or implied warranties, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose are disclaimed. In no event shall copyright holders or contributors be liable for any direct, indirect, incidental, special, exemplary, or consequential damages (including, but not limited to, procurement of substitute goods or services; loss of use, data, or profits; or business interruption) however caused and on any theory of liability, whether in contract, strict liability, or tort (including negligence or otherwise) arising in any way out of the use of this software, even if advised of the possibility of such damage.

資料來源: https://opencv.org/license/

4. SSAM 軟體：由美國聯邦公路管理局(FHWA)開發之軟體，提供註冊使用者免費使用，以下為其宣告內容：

The use and testing of the SSAM software is being done strictly on a voluntary basis. In exchange for the provision of SSAM software, the user agrees that the Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, any other agency of the Federal Government or distributor shall not be responsible for any errors, damage or other liability that may result from any and all use of the software, including installation and testing of the software. The user further agrees to hold the FHWA, the Federal Government, and distributor harmless from any resulting liability. The user agrees that this hold harmless provision shall flow to any person to whom or any entity to which the user provides the SSAM software. It is the user's full responsibility to inform any person to whom or any entity to which it provides the SSAM software of this hold harmless provision.
The origin of this SSAM software must not be misrepresented; there shall be no claim that this software is the product of or written by any individual, company or organization other than the Federal Government. An acknowledgement would be appreciated in any product in which this SSAM software is included or referenced. Altered versions of this SSAM software shall be plainly marked as ‘altered’ and must not be misrepresented as being the original SSAM software. This notice may not be removed or altered from any distribution, recording, copy or use of this SSAM Software.

資料來源:
https://www.fhwa.dot.gov/software/research/safety/ssam/license_agreement.pdf

附錄 F. 無人機規格

本年度測試二款無人機，分別是國產無人機 Drone Dynamics X4 及 Parrot Anafi，將依序提供無人機規格。

(1) Drone Dynamics X4

品項	規格
技術參數	● 軸距：700mm ● GPS 系統：GPS 與 Beidou (or GLONASS) 雙星系統 ● 機身重量：1300g +/-100g ● 電池重量：1250g (14000mAH/22.2V) ● 最大起飛重量：<= 5kg ● 建議任務載重：<=1500g ● 最長滯空時間：65-70min (空載, 環境風力<2 級, 飛行速度<30km/h) ● 爬升速率：1-3m/s (可依需求調整) ● 巡航速度：1-16m/s (可依需求調整) ● 最大航速：20m/s ● 工作溫度：-10~40°C ● 工作濕度：最大 90% ● 最大環境風力：9-10m/s （五級） ● 最大飛行高度：海平面 3500m ● 遙控半徑：>5km (開闊地, LOS) ● 數傳半徑：>5km (開闊地, LOS)
飛行時間參考	● 空載 (簡易 FPV)：約 60 分 ● 空拍(三軸無刷雲台+運動相機 x1)：45-55 分 ● 負載 1kg：30-35 分(需使用選配動力電池) ● 測試條件：環境風力<2 級, 飛行速度<30km/h. 實際飛行時間受環境風力及 payload 耗電影響

(續下頁)

品項	規格
相機	● GoPro 4 ● 機身重量：89 克 ● 體積：40.1 x 59.0 x 29.6mm ● 電池種類：專用鋰離子充電池 ● 感光元件像素：1200 萬像素 ● 有效像素：1200 萬像素 ● 感光元件種類：CCD ● 最大解像度：4000 x 3000 ● 壓縮模式：H.264 ● 影像比例：4:3 ● 動畫解像度(為利於影像分析，本計畫使用 2.7K linear 的解析度錄影，以避免曲面變形） ■ 4K：3840x2160（16:9 比例）@ 24/25/30fps ■ 2.7K：2704x1520（16:9 比例）@24/25/30/48/50/60fps ■ 2.7K：2704x2028（4:3 比例）@ 25/30fps ● 動畫音效：支援 ● 雜訊消除：支援 ● 曝光模式： ■ 不支援光圈先決 ■ 不支援快門先決 ■ 不支援手動曝光 ● 快門速度：自動 至 30 秒，不支援 B 快門 ● 曝光補償：-2EV 至 +2EV 以 級調整 ● ISO 感光值：自動（最高可達 ISO 6400） ● 白平衡設定：Auto（自動）（預設）、3000K、5500K、6500K 與 Native（原始色調） ● 自拍：支援自拍模式 ● 定時拍攝：支援

(2) Parrot Anafi

品項	規格
飛行器	● 折疊後尺寸：244 x 67 x 65 毫米 ● 展開後尺寸：175 x 240 x 65 毫米 ● 重量 (含電池及槳) ：320 克 ● 最大上升速度：每秒 4 米 ● 最大水平飛行速度：每秒 15.3 米 (每小時 55 公里) ● 最大飛行海拔高度：4500 米 ● 飛行時間：約 25 分鐘 ● 工作環境溫度：-10°C 至 40°C ● 衛星定位模組：GPS 及 GLONASS 定位
航拍相機	● 裝置方式：隨機附航拍攝影機 ● 影像感測器：Sony IMX230 1/2.4 英寸 21MP CMOS 傳感器 ● 鏡頭：ASPH (Low-dispersion aspherical lens) ● 光圈：f/2.4 ● 焦距：23-69mm (照片), 26-78mm (影片) ● 景深：1.5 米 ● ISO 範圍：100-3200 ● 電子快門速度：1 to 1/10000 秒 ● 相片最大解像度：Wide: 21MP (5344x4016) / 4:3 / 84° HFOV ● Rectilinear：16MP (4608x3456) / 4:3 / 75.5° HFOV ● 錄影解析度：4K Cinema 4096x2160 24fps ● 4K UHD：3840x2160 24/25/30fps ● FHD：1920x1080 24/25/30/48/50/60fps ● 影片存儲最大碼流：100 Mbps ● 相片檔案格式：JPEG, Adobe DNG (RAW) ● 影片檔案格式：MP4 (H264) ● 支援存儲卡類型:最高容量 128GB Class 10 MicroSD 卡
雲台	● 穩定系統:3 軸混合防抖雲台（機械 2 軸滾動／俯仰角度&電子 3 軸滾動／平移／俯仰角度） ● 可控轉動範圍：俯仰：- 90° to +90°

(續下頁)

品項	規格
遙控器	● 遙控裝置：手機 APP 操作（《Freeflight 6》） ● 工作頻率：Wi-Fi 802.11a/b/g/n 2.4GHz 與 5.8 GHz ● 訊號有效距離：4 公里 ● 容量：2500mAh ● 工作電流/電壓：3.6V
電池	● 容量：2700mAh ● 電壓：7.6V ● 電池類型：Li-Poly (Lithium Polymer) ● 最大充電功率：24W

附錄 G. 分析軟體硬體電腦規格表

執行 Mask R-CNN/YOROv4 影像處理部分建議之硬體規格

品項	建議硬體規格	數量
CPU	Intel Core i7 以上規格	1
主機板	可支援 CPU、顯示卡、RAM、電源供應器之主機板	1
顯示卡	搭載 GTX1080Ti-11G 或 RTX2080TI-11G GPU 之顯示卡	1
RAM	64GB 以上	1
HDD	2TB 以上	1
SSD	500GB 以上	1
電源供應器	750W 以上	1

執行分析功能建議之硬體規格【單機版】

品項	建議規格	數量
處理器 CPU	Intel Core i5-9400F(2.9GHz)	1
記憶體 RAM	16G DDR4-3200	1
固態硬碟 M.2｜SSD	128G/M.2	1
傳統內接硬碟 HDD	1TB	1
作業系統	Windows 10/ 64 位元	1

執行分析功能建議之硬體規格【伺服器版】

品項	建議規格	數量
處理器 CPU	Intel i9-9900K	1
記憶體 RAM	16G DDR4-3200	2
固態硬碟 M.2｜SSD	256G/M.2	1
傳統內接硬碟 HDD	2TB	1
作業系統	Windows 10/ 64 位元	1

附錄 H. 專家學者座談會

檔　　號：
保存年限：

交通部運輸研究所　開會通知單

235
新北市中和區中正路738號13樓之5
受文者：訊力科技股份有限公司

發文日期：中華民國109年9月1日
發文字號：運安字第10907004450號
速別：速件
密等及解密條件或保密期限：
附件：議程及座談會簡報

裝

開會事由：「結合空拍影像與人工智慧辨識技術於道路交通管理之應用」專家座談會

開會時間：中華民國109年9月8日（星期二）下午2時0分

開會地點：本所5樓會議室（10548臺北市敦化北路240號）

主持人：交通大學胡教授守任、運輸研究所葉組長祖宏

訂

聯絡人及電話：運輸安全組賴靜慧研究員 02-23496861、訊力科技股份有限公司王宏生 0905-638-333

出席者：臺灣大學土木工程學系陳教授柏華、成功大學交通管理科學系李教授威勳、逢甲大學運輸與物流管理學系蘇教授昭銘、交通大學運輸與管理物流學系鍾教授易詩、交通大學土木工程學系張教授智安、中華電信數據分公司企業新應用辦公室羅博士彬榮、工業技術研究院資訊與通訊研究所自主服務機器人系統組李組長國徵、交通部科技顧問室、交通部道路交通安全督導委員會、交通部高速公路局、交通部公路總局、內政部警政署交通組、內政部營建署道路工程組、新北市政府交通局、臺北市政府交通局、桃園市政府交通局、臺中市政府交通局、臺南市政府交通局、高雄市政府交通局、花蓮縣政府警察局交通隊、臺中市政府警察局、訊力科技股份有限公司

線

列席者：
副本：

備註：

一、請出席單位事先研析座談會簡報內容及會議討論題綱，以於會議中進行實質討論。

二、因應新型冠狀病毒疫情，如有發燒或咳嗽等情形者，請勿參加會議，若有意見表達可提書面意見並洽請業務單位代為轉達。另配合政府防疫措施，與會人員請全程佩

戴口罩。

三、為響應環保政策，請自備環保杯。

交通部運輸研究所

裝

訂

線

「結合空拍影像與人工智慧辨識技術於道路交通管理之應用」

專家座談會議程

壹、背景說明

本所與訊力科技、交通大學、工研院所組成的跨領域研發團隊共同合作，於 2018 年完成「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」、2019 年完成「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」、今(2020)年進行「路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較」，在這三年計畫中，進行了許多無人機、深度學習影像辨析、交通應用的整合實驗，建構了一套軟體平台進行交通衝突分析，以評估路口的交通事故風險，並且具備車流特性資料的蒐集與分析功能，初步成果已達階段性的目標。

因應無人機及人工智慧技術日漸成熟，預計可以應用於改善交通運輸上的傳統或創新問題。因此本所希望藉由本計畫的推動，由交通領域之應用角度，研擬人車流動空拍影像的交通應用情境，並藉由本次座談會，期望能蒐集產官學研各界對於本研究團隊初擬的交通應用情境架構與內容提供意見及應用需求，集思廣益，為後續發展方向訂定優先順序。

貳、座談會簡報(預計二十分鐘)

一、 更新之簡報電子檔，請於會議前 3 天下載(可掃描 QR Code)

https://reurl.cc/4m3o2j

參、討論題綱

一、 結合空拍影像與人工智慧辨識技術在道路交通安全之應用需求與未來發展課題

二、 結合空拍影像與人工智慧辨識技術在道路交通工程之應用需求與未來發展課題

三、 無人機及人工智慧辨識技術的發展對於道路交通管理的應用契機與可能面臨的問題

會議議程:

時　間	議　程
10:00 至 10:05	主持人致歡迎詞
10:05 至 12:00	專案介紹與相關議題說明
	議題一： 「結合空拍影像與人工智慧辨識技術在道路交通安全之應用需求與未來發展課題」
	議題二： 「結合空拍影像與人工智慧辨識技術在道路交通工程之應用需求與未來發展課題」
	議題三： 「無人機及人工智慧辨識技術的發展對於道路交通管理的應用契機與可能面臨的問題」
12:00~	會議結束

會議記錄:

「MOTC-IOT-109-SBB006 路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較」專家學者座談會議紀錄

一. 時間: 109 年 9 月 8 日（星期二）下午 2 時 0 分

二. 地點: 交通部運輸研究所 5 樓會議室 (10548 臺北市敦化北路 240 號)

三. 主席: 交通大學胡教授守任、運輸研究所葉組長祖宏　　紀錄: 王宏生

四. 出席專家學者與單位: (會議簽到單)

五. 專家學者意見:

(一) 交通部高速公路局

1. 高速公路壅塞路段的事前事後交通改善效益評估，例如: 車道配置效益、車流量評估、衝突風險評估等等，在使用單位是有很大的需求。
2. 在實務上也常有需求針對路口/路段提供事前改善方案評估。
3. 高速公路/快速道路已架設一定密度的 CCTV，針對快速行駛的汽車、重型車機在路口/路段的偵測精準度與應用，本研究在 CCTV 和無人機空拍影像應用上有什麼差異。

(二) 交通部公路總局

1. 從點到面的即時交通壅塞狀況收集，能讓交控中心更有效率的研擬交通管理對策。

(三) 內政部營建署道路工程組

1. 詢問分流指向線在做影像偵測車輛時是以車輛的哪個位置作為軌跡的移動點。
2. 分流指向線建議可探討車輛行駛於錯誤的車道上的統計與分析。
3. 建立較低成本、流程簡化之單一路口改善成果分析，包括路口幾何、交通量、衝突型態及違規樣態分析。在工程實務上分析工具提供的建議選項不用太複雜，能解決 60~70%問題就能達到工程實用的角度。

(四) 臺北市政府交通局

1. 每年各縣市政府都會針對重要路口進行一次性的路口轉向流量調查，無人機技術是否能取代傳統人工調查，成本效益上是否比人工調查更合適。
2. 交通控制中心在時制調整，動態號誌的應用上，需要持續性資料 24hr 收集資料，CCTV 在實務面上有路口用電、拍攝角度限制等問題，無人機未來發展是否能成為持續性的資料收集工具。

3. 目前有 POC 計畫在做即時路況壅塞程度，而 CCTV 因架設環境限制，不一定能看到事故點或壅塞瓶頸點，無人機未來能否作為機動性的交通監控應用。

(五) 新北市政府交通局

1. 未來希望無人機具備即時遠端傳輸與高續航力，處理人員無法快速到達的高敏感路段或事故路段，將即時影像回傳至交控中心做決策。

(六) 臺中市政府交通局

1. 分流指向線建議可以找尚未改成分流指向線的路口作為改善前數據，比較不同案例的軌跡是否真有差異。
2. 傳統號誌時制重整的方法是針對每個路口進行流量與延滯調查，本研究技術是否能協助號誌時制重整績效提升。
3. 無人機空拍影像是否會因路樹遮蔽車道導致分析結果誤判。
4. 本研究的衝突熱點不確定是否是純演算法還是 AI 深度學習，若是深度學習是否有結合警政單位的事故碰撞資訊。
5. 資安考量本研究未來若使用陸製無人機是否有資安疑慮。

(七) 臺南市政府交通局

1. 道路交通安全議題，提供兩點衝突評估需求：
   (1) 取消內側禁行機車，機車左轉與汽車的衝突評估。
   (2) 轉彎車未禮讓行人，人車衝突評估。
2. 延滯調查，希望團隊未來能提供相關的成本效益評估，
3. 精細的延滯調查是傳統人力無法做到的，交流道/閘道的壅塞程度調查、市區幹道的延滯調查是否能透過無人機獲取更完整的資訊。
4. 未來商業應用上是否有明確的收費模式，讓政府對後續預算做更好的評估。

(八) 臺中市警察局交通大隊

1. 事先透過無人機空拍建立重要路口圖資，能夠幫助員警到事故現場提升效率降低成本，建議未來空拍時可對複雜路口進行路口圖資建檔。

(九) 臺灣大學 陳柏華 教授

1. 評估若是交通改善規劃案，過往都是透過人工輸入參數 simulation model 產出結果，本研究或許可作為 simulation model 之參數取得為應用方向，進而模擬出更真實的數據。

2. 本研究目前使用 TTC、PET 做為交通衝突指標，交通衝突有許多代理因子(conflict surrogate)，常見的有十幾種各有擅長處理的方向，建議未來納入更多因子，使平台能夠提供更全面查詢功能，便於診斷交通狀況及設施。
3. 過往的交通工程應用方法是因有限的數據資料而產生的，本研究所產生的數據除了取代現有的分析，也可以去思考更精細的資料能提供什麼新的更好的交通管理。
4. 本研究主要透過無人機與 AI 技術在平台上做到路口分析，建議 CCTV 若也能夠偵測是可以在平台上做分析處理。
5. 本研究的深度學習模型在路樹遮蔽上是有機會偵測成功的，且遮蔽若只是短暫的幾個影格(frame)還是可透過追蹤(tracking)拉補回來。
6. 本研究使用 YOLO 系列是很好的選擇，它的確在精準度與效能都有不錯的表現，未來也可考量近期發布的 YOLOv5。
7. 未來可考量同時多台 UAV，針對高速公路，市區廊道上可以獲取更廣的資訊。
8. 本研究能跨領域的匯集交通人、軟體、硬體十分不容易，值得鼓勵。

(十) 成功大學 李威勳 教授

1. 衝突分析可進一步發展為「Near Crash」的偵測判定，藉此分析衝突點為使用者行為還是路口號誌設計問題，判斷衝突點之嚴重程度，後續可對應至台大許添本老師長期的研究成果。
2. 建議路口 CCTV 的影像可透過影像處理縫合技術產出類似空拍影像，未來讓平台能夠分析空拍影像與 CCTV 影像。
3. 相比較與路口 CCTV 車流影像分析，空拍機的優勢及限制建議加以說明。
4. 現有的 AI 智慧影像辨識，已經可以做到即時的車流影像辨識，15fps 以上的處理速度。
5. 本研究的空拍機目前還是定點拍攝，未來可考慮多機協作或動態移動，追蹤壅塞源頭、交通瓶頸點、連續路口之號誌重整等等。

(十一) 交通大學 張智安 教授

1. 目前高精地圖行駛軌跡(driving line)都是臆測線，而路口又是個複雜且重要的環境，本研究能會製出真實的行駛軌跡(driving line)，補足高精地圖應用於自駕車上的數據提供。
2. 交通調查大多是將資訊投影至平面上，其有尺度資訊但沒有絕對座標。而無人機現在可透過實時動態技術(Real Time Kinematic，RTK)與國土測繪中心 e-GNSS 服務換算出精準的絕對座標，使數據從二維平面進展至三維空間進而提升交通行為的解釋力。

3. 未來的智慧城市(Smart City)，無人機作為機動式道路測量單元(Road Survey)，會是越來越重要的角色，在 10 年前已有這樣的想法，未來可能公部門的屋頂會提供空間作為機動式無人機的起降點。
4. 以測量的角度提供建議，無人機與 CCTV 的傳感器融合(Sensor Fusion)，可獲取不同視角的資訊;多台無人機協作，補足單台無人機續航力不足的問題。

(十二) 中華電信數據分公司 羅彬榮 博士

1. 道路交通標誌標線號誌設置規則只有針對標誌的大小做規範，卻沒有針對標誌放在停止線上游的位置做規範，因此以本研究的分流指向線效益分析是可分析標誌設置位置與肇事率的關聯性，未來能對「道路交通標誌標線號誌設置規則§188」做一個補強。
2. 巨觀車流理論會用到車流基本參數 QKV，傳統 CCTV 與人工調查因技術限制只能以車輛時間佔有率來代替車流密度，如今可透過無人機搭配影像處理快速得出車流密度，達到交通工程調查的快篩。
3. 傳統的路口平均延滯調查受到人工紀錄限制，導致 X-T 時空圖不太符合現實，但本研究透過無人機與 AI 技術可獲得更真實的車流數據。

(十三) 工業技術研究院 李國徵 組長

1. 無人機結合 AI 運算具前瞻性，其優勢為制高處及機動性，交通應用上可與固定型的 CCTV 協同處理，未來可結合 5G 發展即時影像應用。
2. 資安問題日益重要，美國今年已公布不允許公部門使用陸製大疆無人機(DJI)。研究 DJI 的使用者條款其中一條敘述，違反國家安全時 DJI 公司有權收集使用者資訊，不須經過同意，因此若是有資安疑慮，建議還是使用國產無人機。
3. 無人機安全可分為資訊安全、通訊安全、機體安全。
4. 無人機機體持續精進，包含防水、抗風、續航、體積/重量，夜視功能：
   (1) 續航力：主流為吃油(2hr)和吃電(0.5hr~1hr)。
   (2) 抗風力：可承受 7 級風。
   (3) 防水：馬達防水，感測器(sensor)需做額外保護。

六. 主席結論:

謝謝專家提供實務經驗與建議，對後續研究案的發展不光是今年度對未來也有非常大的幫助，本團隊紀錄與學習許多，期望後期發展計畫可參考加入。本研究可以作為問題偵測/評估的工具，未來做更深入盤點時，期望能針對各個風險行為做系統化整理，達到兼具平衡性發展與技術創新，謝謝。

七. 專家學者座談會照片









八. 專家學者座談會議簽到單

「結合空拍影像與人工智慧辨識技術於道路交通管理之應用」
專家座談會

會議紀錄

一、 會議時間：109 年 9 月 8 日(星期二)下午 2 時 0 分

二、 會議地點：本所 5 樓會議室（10548 臺北市敦化北路 240 號）

三、 主持人：交通大學胡教授守任

運輸研究所葉組長祖宏　　記錄：賴靜慧

四、 出席單位及人員：

單位及人員	職稱	簽名
臺灣大學土木工程學系 陳柏華	副教授	陳柏華
交通大學運輸與管理物流學系 鍾易詩	副教授	請假
交通大學土木工程學系 張智安	教授	張智安
逢甲大學運輸與物流管理學系 蘇昭銘	教授	請假
成功大學交通管理科學系 李威勳	副教授	李威勳
中華電信數據分公司企業新應用辦公室 羅彬榮	博士	羅彬榮

1

單位及人員	職稱	簽名
工業技術研究院資訊與通訊研究所 李國徵	組長	李國徵
交通部科技顧問室		
交通部道路交通安全督導委員會		(請假)
交通部高速公路局		王仟坡 張曜鐘 傅強
交通部公路總局		莫政研女毋
內政部警政署交通組		
內政部營建署道路工程組	副組長	吳仟瑋 劉惠心 鄭瑞丹
新北市政府交通局		若宇瓦

單位及人員	職稱	簽名
臺北市政府交通局		吳育隼
桃園市政府交通局		
臺中市政府交通局		劉凱正
臺南市政府交通局		葉特彥
高雄市政府交通局		
花蓮縣政府警察局交通隊		
臺中市政府警察局	分隊長	吳長峰
運輸安全組	研究員	孔令君 韓靜慧

單位及人員	職稱	簽名
訊力科技股份有限公司		楊植棨 蔡名文 高郁永 王宏生 周業凱 胡守任

附錄 I. 期中報告審查意見處理情形表

期中報告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

計畫名稱：MOTC-IOT-109-SBB006

路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較

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) 國立臺灣大學許添本教授		
1. 偵測誤差由 Precision、Recall、AP_{IOU} 來定義，此為電腦視覺上常用的評估指標，但在交通的角度上，若想了解車輛行駛的軌跡在哪裡判斷錯誤，團隊以 AP 作為評估指標是否會犧牲到軌跡的準確率，這部分可以多加思考。	1. 感謝委員的建議，車流軌跡準確率的評估方式有很多種，目前採用的方式主要是由影像偵測的角度評估偵測、追蹤、框格密合程度正確性的指標。因本研究採用的演算法是計算有角度的框格 (Bounding Box)，與影片中車輛的密合程度已經相當不錯，已達到分析需求，因此並未進一步計算車輛行駛軌跡的位移誤差。	同意，請將相關說明補充於期末報告書中。
2. 混合車流研究所選的易肇事路口，皆是比較複雜的路口，未來可以考慮朝這方向努力，看能否通過申請，進行空拍。	2. 針對分流式指向線和非號誌路口的分析，團隊已採用原報告書內的地點進行飛行評估，並完成各一個地點的空拍工作。 3. 針對混合車流研究的分析路口進行飛行評估時，有多數路口位於限航區，且須於人車上空飛行，故皆須向民航局、縣市政府等單位提出申請，始能飛行，	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
	前述空拍地點也是透過此程序而完成空拍。	
3. 過去研究產出的衝突熱點因已有號誌處理，故衝突熱點的分佈會受到號誌時制的影響，造成產出的熱點集中在某些區域。因此有關衝突熱點定義，建議補充說明。	1. 車輛於號誌紅燈時於停止線上游減速、停等，會造成大量的衝突事件，導致熱點集中在某些區域，而這些衝突點當中有很多車間距短但車速慢的衝突並不是我們所關心的。因此本期軟體新增過濾功能，可將不嚴重的衝突點予以排除，並有影片回放功能，讓分析人員觀看衝突事件的嚴重程度。 2. 有關衝突熱點的定義已說明於 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 2.4.4、2.4.5、6.1、6.2 節。	同意。
4. 影像辨識技術可以產生新的交通數據，這讓未來有機會創造新的交通理論，或改變一些舊有理論。	感謝委員的建議，這也是團隊的執行本計畫的目標之一。本研究會將此建議納入後續的研究方向。	同意。
(二) 國立交通大學易志偉教授		
1. 期中報告書內容可加以精簡，參考性資料或前期的成果可列於參考資料，毋需放在主要報告內。	遵照辦理。	同意。
2. 本研究有導入路口號誌時序資料，這部分建議可從車間通訊協定、路側通訊協定取得路口號誌的資訊，進行時空分析，以自動化進行衝突分析，減少人力資源。	感謝委員的建議，有關導入號誌時制部分，為 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」成果，當時曾與相關單位討論以通訊方式介接號誌時制之可行性，但由於目前無統一介面與系統，介接不	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
	易，故未採用此方式。另本期研究範圍無涉號誌時制介接。	
3. 車輛軌跡的部分建議可以時空進行分析，以整段軌跡做分類，也許這能讓我們較易分析事故的衝突點。	感謝委員的建議，資料庫包含全部車輛的時空軌跡，但軌跡圖呈現並非衝突分析技術的核心功能之一，較屬於車流行為的視覺化功能。此項建議將會再與運研所討論。	同意。
4. 是否能加強衝突事件過濾的功能，以互動式進行資料探勘，例如:提供衝突分類次數排序，以協助原因分析。	感謝委員的建議，目前軟體提供車輛類別、衝突型態、進出口、速度等參數進行衝突事件的過濾，也可進行衝突型態排序，除此，亦能匯出衝突事件後使用工具如 excel 進行其他功能統計或繪製。	同意。
5. 是否有比熱區圖更有效率的資料呈現方式，例如:加入時序軌跡。	感謝委員的建議，在高速公路這種較單純的路段是可以時空作呈現，每個車道個別記錄其時序與空間位置。但是在市區路口複雜場景下，交通分析人員對於此種呈現方式，較不易進行分析工作。	同意。
6. 計畫成果豐富，未來是否可普及化地提供雲端服務，並提供一個完善的空拍機操作手冊與作業程序，讓各地方交通管理單位使用。	1. 未來若要雲端化，可能需先將兩個偵測模型整合成一個偵測模型，降低架構的複雜性。 2. 無人機實地拍攝作業流程已說明於 108 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」第 4.2 節。 3. 軟體普及化及雲端化是本研究的長期目標，但非本期計畫的範圍。未來研究	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
	計畫可視需求進行討論規劃。	
(三) 國立中正大學林惠勇教授		
1. 以兩個網路架構進行四輪、兩輪等車輛之偵測，客觀上易有混淆，建議以一個網路進行。	由於本計畫目標在於分析 TTC 與 PET 等衝突情形，需要取得精確的車輛範圍以判定衝突型態，故對於尺寸變化大的四輪以上車輛，需要取得其矩形範圍來簡要表示實際車輛所占空間，故採用 SCRDet 等可取得旋轉矩形區域的物件偵測方法。然而在偵測汽機車等兩輪車輛、甚至行人等小型物件上，YOLOv4 有著顯著較高的偵測率；且由於汽機車、行人有著較統一的小範圍區域，因此可以透過偵測出的中心點軌跡來描述大致的車體方向與範圍。因此，兩種網路架構是為因應偵測目標特性不同而採用。	同意，但請併同易志偉教授第 6 項意見之回覆內容，於期末報告書中進行整體補充說明。
2. 空拍影像所取得之數量及時間，做為深度學習訓練及測試的資料可以多做描述。	1. 訓練資料已說明於 108 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」第 7.1.2.2 節、109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 4.3.3 節。 2. 測試資料已說明於 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 5.5 節。 3. 後續將會補充本期計畫的新增訓練與測試資料。	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. 有關車輛偵測貼合物件之需求，這部分為何需要，建議可再補充說明。	研究需計算 TTC 與 PET，因此需取得貼合車輛的 4 個角點位置。	同意，請將相關說明補充於期末報告書中。
4. 衝突分析以軟體呈現上來看，似乎沒看到追蹤軌跡的時間資訊，建議補充說明。	1. 資料庫中的軌跡是含有時間資訊的，因市區路口場景複雜，呈現上是以 2D 空間做顯示，時間資訊可透過影片觀看。 2. 如在高速公路這種較單純的路段，可以每一車道製作一張時空軌跡圖，顯示軌跡的空間-時間資訊，但是在市區路口複雜場景下，交通分析人員對於此種呈現方式，較不易進行分析工作。	同意。
(四) 國立嘉義大學張立言教授		
1. 空拍技術應用在其他領域上，在期中報告書中描述多為不適用，即便適用的也有所限制，建議寫法上可做一些不同、較正面的論述，例如:路段交通量調查，此處寫不適合，或許可用案例的方式說明，可能有其他國家嘗試過但因某些原因不適用。	1. 感謝委員的建議，團隊後續將安排專家學者座談會，討論未來空拍技術的應用。將潤飾後的敘述補充於期末報告書中。 2. 根據「交通工程規範」中定義，路段交通量調查，需拍攝 12~16 小時，其資料使用之目的是記錄年平均日交通量（Annual Average Daily Traffic, AADT），調查時間需涵蓋上下午尖峰時間 12 小時，因此市售無人機因續航力限制不適用於此應用。後續將針對不適用的應用補充介紹其他較	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
	適的方案，例如長時間拍攝可採用繫留無人機。	
2. 若不以無人機取得影像資料，例如從大樓或路側取得，是否也能夠獲取同樣的分析結果，建議可加強說明，釐清無人機的優缺點。	1. 感謝委員的建議，無人機的優勢在於能夠從制高點取得無死角的拍攝角度，並且能因應需求將拍攝高度進行調整，這些都是從大樓或路側取得影像時無法達成的優點。而其缺點則是較容易受到天氣因素影響，以及有續航力的限制。 2. 另有關無人機與其他方案的比較，請見 108 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」第 7.1.1.3 節。	同意。
3. 衝突因素受交通量、路口設計影響，建議補充說明如何區分衝突是交通量造成的，或是路口設計問題。	可分析某一臨近路口進入的車流量及其引起的衝突數之關係，如衝突數/車流量比例與平均值接近，可歸類為交通量造成的衝突；如衝突數/交通量比例遠高於平均值，可視為路口設計或現場環境的問題，則應進一步檢視。	同意，並請於後續進行相關分析時加以實踐。
4. 衝突點的數量與拍攝時間有關，空拍影像要拍攝多久，是否有理想的拍攝長度，或是衝突點的數量有沒有一個範圍，請補充說明。	1. 透過影片進行交通衝突分析所需要的拍攝時間，目前學術文獻上沒有一個明確的定論，有研究採用 1 個小時的影片，也有採用 20 小時以上的 CCTV 影片。 2. 衝突點的數量與衝突事件的判斷門檻（e.g. TTC 值）、交通量、路口幾何設計等	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
	諸多因素有關，因此衝突點數量並沒有一個明確的範圍。	
5. 簡報 P.40，案例分享為雲林縣斗六的路口，路口改善後分析的結果似乎不是很理想。建議將衝突點分析與事故碰撞構圖做比對，確認衝突熱點與事故點的關聯性。	1. 目前就分析的結果來看，該路口改善前與改善後並無太大的差異，雖然改善後的衝突數量有增加，但不同調查日期的交通衝突數本身就帶有一定的隨機性。因此不建議因衝突數有些微的提高，就直接解讀為該路口的事故風險有所增加。 2. 製作事故碰撞構圖並非本計畫範圍，將會與運研所討論是否可取得已繪製之事故碰撞構圖，若有將可納入比較分析。	同意。
6. 建議報告書撰寫的部分，團隊可再修改使其更容易閱讀，例如:章節的一些擺放順序。	遵照辦理	同意。
(五) 高雄市交通局許啟明簡任技正		
1. 案例分析部分，實務上機車的擦撞與右轉側撞的現象比較多，建議往後的分析是否能就同向機車中的右轉與直行做一個分析，讓我們能夠更清楚地了解分流指向線對實務上的效益。	遵照辦理。	同意。
2. 是否會針對人流的安全進行分析?請補充說明。	人流偵測是本期計畫的工作項目之一，但人流的安全評估並未納入本期研究範圍。建議納入後續的分析工作項目。	同意。
3. 期中報告 P.123 表 7.2.2 羅列許多分析，這些內容蠻能夠呼應實務上的	1. 基本應用情境多為國家規範與運研所的長期研究;	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
需求，建議能否將這些進階應用情境，比照期中報告書的 7.3 節進行分析。	進階應用情境則是一些較新的評估方法。 2. 進階應用情境，基本上分析軟體是可以呈現的，主要困難點是影像處理偵測到車輛後，需要另行撰寫程式進行計算，將軌跡分析自動化。後續將安排專家學者座談會進行分析需求的討論。	
4. 專案需求功能列表項次(一)，撰寫分析平台使用手冊，辦理教育訓練、推廣軟體，後續是否會納入。	遵照辦理。	同意。
5. 簡報 P.55，檢討衝突類型分類與「各肇事型態-交通安全工程改善設計範例」之肇事型態的對應以及工程改善建議，請問這部分後續會是如何呈現?請補充說明。	1. 交通衝突分析軟體的定位是類似於身體健康檢查，測量出各種指標，提供數據給分析人員做判定，不建議直接由軟體輸出安全工程改善的設計範例。 2. 另外目前交通安全工程改善設計範例也還在進行中，未來也還會新增一些新的肇事型態，故本研究並不會對此部分進行程式化的工作。	同意。
(六) 台灣世曦工程顧問公司鄭宏逵協理		
1. 107、108 年度透過深度學習進行車輛偵測，其可達到 90%左右的正確率，想請教其正確率的定義及其所使用的驗證資料為何?請補充說明。	通常評估指標會用查準率(Precision)、查全率(Recall)或混淆矩陣(confusion matrix)來做說明會比較明確。團隊後續會多加注意相關敘述。相關驗證資料來自於本團隊收集之空拍影像，並已在 108 年「道路交通車流及事故風險偵測	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
	與分析工具之發展應用」、109年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」中陳述。	
2. 此案有篩選出 4 個易肇事路段來進行影像分析，其獲得的衝突點是否能與過去的肇事歷史資訊做比對，進而做驗證分析?請補充說明。	後續會將衝突分析結果與該路口的肇事資訊進行比對。但驗證分析需要採用多個不同交通事故風險的地點進行比較分析，受調查預算所限，本期計畫將無法進行驗證分析。	同意，後續比對分析時，請納入所回應之觀點於相關說明中。
3. 團隊期中已針對一個路口進行改善前後分析，其為低風險路口，它的改善效率似乎不太顯著，未來是否以高風險路口凸顯成效?請補充說明。	本研究計畫會以 4 個路口進行改善前/後分析，後續將有高風險路口的範例。	同意。
4. 請教長效無人機的定義?	1. 目前國內沒有明確定義，團隊是以一般市售無人機續航力為 20~30 分鐘，展延 1 倍以上作為長效型無人機的定義。 2. 目前國內無人機廠商可將續航力提升至 1 小時，其作法多是對其機體架構做輕量化，取捨之下，其穩定性相對於市售無人機稍低。	同意，請將相關說明補充於期末報告書中。
5. 在期中報告書中有說明無人機拍攝的一些性能需求與環境條件，請問在實作上有沒有什麼建議?請補充說明。	感謝委員的建議，相關資料已說明於 108 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」第 4.2 節，及 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 3.2 節。	同意。
6. 針對長大型路口，期中報告書所提的解決方法為調高飛行高度，這是否會影響電腦偵測車輛的解析度?請補充說明。	以團隊的經驗，深度學習訓練資料的路口樣態多樣性足夠的情況下，基本上不會有太大的影響。	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
7. 簡報 P.40，交通工程改善前、後之分析程序，空拍影像拍攝時數分別為 15、19 分鐘，這時間長度是否足夠分析?有看到其他的改善案例似乎有拍攝時間長達 1 小時，故請補充說明。	目前的深度學習模型尚更新中，因此先用 15 分鐘資料進行分析範例。每個路口改善前、改善後都有 3 個架次、每部影片約 15 分鐘，總共約 45 分鐘的影片，目前並無法取得連續一小時的影像，後續會針對路口改善前/後不同架次的影片進行分析，確認分析結果是否具一致性。	同意。
8. 車輛起訖調查、旅行時間調查等應用情境，未來是否可能採用去識別化的手機 GPS 定位作為參考數據?請補充說明。	感謝委員的建議，這個建議頗具前瞻性，但手機 GPS 定位非本研究討論範圍，未來研究計畫可視需求進行討論規劃。	同意。
9. 未來若因資安疑慮，禁用陸製無人機，是否會對本案有影響?	本期測試三款無人機，若未來禁用陸製無人機，團隊亦有其他替代方案，例如:客製國產無人機、法國無人機(Parrot)。相關資料已說明於期中報告書第 3.1.2 節。	同意。
(七) 中華智慧運輸協會孫瑀副理事長		
1. 在實際應用面，通常下雨天的肇事率是相對較高的，這部份的技術是否可能克服?請補充說明。	1. 目前我們使用的機種都不建議在雨中飛行，雖然旋翼轉動時能將水氣外散，但若無完整保護(全機 IP67 以上等級)，建議避免於雨中飛行。 2. 雨天的交通分析確實是一個值得研究的議題，惟本期計畫未包括調查雨天的交通情境，可視未來研究計畫需求，進行討論規劃。	同意。
2. 目前已有應用透過路側攝影機分析車種車速，但在機車的分析上效果	1. 利用無人機空拍影像偵測機車，基本上會比利用路	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
比較不好，是否能以無人機來克服此問題?請補充說明。	側攝影機的問題較少，且在車速的估測上也可透過比例尺進行較準確的換算。 2. 以團隊之經驗，機車偵測與追蹤效果均可達分析所需的效果，而機車與腳踏車若有誤分的問題，也可透過不同的車速來區別。	
3. 自駕車透過影像辨識來看路面標線，標線的完整性偵測，是否可透過無人機來偵測?請補充說明。	1. 路面文字部分待討論，但是標線的部分是有可能以無人機空拍影像做到判斷路面標線完整性。 2. 未來或許可以透過無人機來製作標線地圖，但目前非本研究討論範圍，未來研究計畫可視需求進行討論規劃。	同意。
4. 有些警察單位或地方單位已有衝突點相關資訊,建議可加以詢問瞭解。	感謝委員建議。	感謝委員意見。
5. 因為無人機續航力而無法實現相關應用是相當可惜的，國外現在也有一些發想，例如:無人巴士的頂端做為無人機充電站，提供團隊作為參考。	感謝委員建議。	感謝委員意見。
(八) 臺北市電腦商業同業公會		
1. 傳統交通是 2D 思維，把無人機加進來在交通管理運輸上是有一個 3D 思維,無人機在未來的交通管理運輸上有甚麼亮點,可以多做發想。	感謝建議。	感謝意見。
2. 請教團隊在車輛偵測時是否會發生一輛車輛行經路口產生 2 個軌跡，針對該問題是否會影響衝突分析?請補充說明。	1. 傳統影像可能透過背景濾除的方式來偵測前景找出車輛，但本研究是以深度學習的物件偵測來尋找車	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
	輛，因此車輛就算停止移動，程式依然會將其偵測出來。此外，也有加入追蹤程序來確認一輛車在下一個影格的位置在哪裡。在同一時間中，一部車輛也不會產生兩條以上軌跡。 2. 只要車輛偵測上沒有分類錯誤，車輛行進時斷軌是不會影響交通衝突分析的結果。	
3. 從展示影片來看，所框取的ROI(region of interest)範圍是比實際拍攝畫面還小的，此是否係因為影像的偵測有所限制，另外也想請教團隊目前所使用的硬體規格所能偵測的車輛數有無限制。	1. 畫面上的車輛數量基本上不影響硬體規格，程式是將整張影像縮小到固定尺寸，以作為輸入進行全畫面分析。因此，影像上的偵測車輛數多也只是會些微的影響輸出時的時間。 2. 硬體規格因為會一直更新變好，因此團隊的硬體規格也會不斷的提升。本研究所需的最低顯示卡(GPU)規格為 GeForce GTX 1080Ti。	同意。
4. 軌跡線的評估為十分有幫助的一個資訊，我們有和資策會合作開發一個系統，能將路口影片進行回放，並以 1 秒鐘 1 個 frame 的方式，再用影像處理的方式獲得軌跡，這樣偵測到的軌跡線或許會比平時追蹤的方式更加精準，未來也可討論如何更準確地驗證軌跡精準度。	本研究使用之 SORT 為近年來物件追蹤技術中之經典技術，對於無遮蔽情況下(如空拍影片)之大量多物件自動追蹤有著相當好的效果，亦可容忍一定程度的偵測遺失，因此近年來經常被應用於實務中。另一方面，依照目的不同，軌跡的驗證方式可以有許多種檢測標的(如空間位置上的誤差、軌	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
	跡的完整性、軌跡的遺失/錯誤率、追蹤對象置換率等等)。期末報告將補充說明本研究之軌跡精準度分析的相關資料。	
5. 簡報 P.35，提到 11 應用種情境，但有 5 種是不適用的，技術限制多為續航力不足，請教繫留機是否能解決此問題?請補充說明。	1. 前期研究有採用繫留無人機在路口做測試評估，其電力傳輸線對移動中的人車會造成安全上的疑慮，因此較不適合在人車繁雜的路口飛行至路口中心點進行拍攝作業。相關資料已說明於 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 3.1.2 節。 2. 承上，若空拍場域，有足夠空間可供無人機架設，則可透過繫留機進行長時間的拍攝。	同意。
6. 交通衝突點部分，有看到國外使用潛在風險熱區圖(heatmap)，而團隊是以衝突點(point)，是否有甚麼差異性?請補充說明。	109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」已使用潛在風險熱區圖(heatmap)作為結果呈現，但是交通分析人員不易從中找到細部衝突資訊，因此改用交通衝突熱點，讓使用者可透過點擊交通衝突熱點取得詳細資訊，並透過本期規劃之衝突影片索引回放功能進一步檢視衝突事件之經過，提升研究驗證之效率。	同意。
(九) 臺灣人工智慧實驗室		
1. 分享本實驗室的經驗，市區高樓的風切強，會使無人機飛行的危險性	感謝意見。	感謝意見。

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
較高，因此有案例在高樓架設 CCTV，來偵測路狀，但也有許多實務面問題，故我們用路口的車輛密度來測量是否有事件發生。		
(十) 臺北市交通局		
1. 傳統路口事故多以靜態資訊來研究路口，本研究以軌跡為數據的動態觀點來分析路口，期望未來可用以輔助交通改善的方法。	感謝意見。	感謝意見。
(十一) 本所運輸資訊組		
1. 建議補充說明本計畫所使用軟硬體環境，例如：硬體規格、軟體的作業環境(例如：Python, Tensorflow, …)所使用加值開發之程式庫(例如：各版 YOLO 演算法, Data augmentation, …)、資料庫綱目(Schema)，以及第五章圖 5-1 車流衝突分析模組之各對應程式模組與架構/流程圖，及其與 SSAM 間之介接說明。	1. 硬體：顯示卡最低規格 GTX1080TI。相關資料已說明於 108 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之法展應用」附錄 L.分析平台硬體電腦規格表。 2. 軟體：109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」主要是 Mask R-CNN 與 YOLOv3 改良版，本期則改進為 SCRDet 改善版與 YOLOv4，相關敘述將於期末報告中做補充說明。 3. 期中報告書第五章圖 5-1 對應之模組與流程圖，相關資料已說明於 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 5、6 章。	同意。
2. 期中報告書 2.2 節除 2.2.3 節外均完全節錄自去年報告書，請補充說明本案新增內容。	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
3. 請補充說明 2.4 節回顧內容在本研究所扮演角色與如何應用。	遵照辦理。	同意。
4. 簡報 P.11 提及交通衝突分析軟體精進作為，請補充說明該精進作為與 SSAM 間之關係，同時應用美國 SSAM 軟體在我國汽機車混流環境下之可靠度，如何進行評估？	1. 本研究開發之軟體採用 SSAM 作為衝突事件的判斷，在 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」已有測試驗證，可用於國內汽機車混合車流環境。 2. 基本上 SSAM 只是用於衝突事件判斷，團隊再利用軌跡資料新增衝突事件的其他屬性，如車種、進出口、轉向、衝突類型等資訊，作為衝突分析結果的輸出。再透過視覺化的方式更快速的觀測路口問題。 3. 相關內容已說明於 109 年「路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發」第 6.1、6.2 節。	同意。
5. 期中報告書 P.67 文字敘述與圖 4.1-1 不一致，請再檢視與加以修正。	遵照辦理。	同意。
6. 期中報告書 P.69 認為 CTPN 較不適合用於空拍偵測，不過報告並未說明緣由，建議加以補充。	遵照辦理。	同意。
7. 期中報告書 P.113 第 7.1.2 節所介紹軟體並未於報告 2.3 節加以介紹，請加以修正與補充。	遵照辦理。	同意。
8. 期中報告書 P.124 第 7.3.1 節無人機基本應用情境於路口轉向交通量調查部分，建議補充與目前各縣市應用 AI 深度學習技術於魚眼攝影	1. 無人機的優勢在於其拍攝高度足以涵蓋該路口車流軌跡，且因俯拍可取得垂直正視近乎無死角的影	同意，相關說明請考量補充於期末報告書中。

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
機或廣角攝影機進行轉向交通量蒐集之比較。	像，當然它還是有續航力、天氣因素及成本較高等問題，但若以要取得理想影像來選擇，無人機會是個比較好的選擇。 2. CCTV 槍機因架設高度與拍攝視角傾斜問題，不可避免地會產生車輛遮蔽問題，在計算車輛轉向量上是可行的，但若要進階到車速判別，還得對其做空間換算，車間距的判別也會比較困難。 3. 魚眼進行路口轉向量調查，若該路口有能架設的適當位置，無人機是無優勢的。惟因魚眼鏡頭光學特性，其在中間的圓圈部份，會佔據大部分的影像面積，但其只是實際面積的一小部份，因此較多的影像資訊會位於影像周圍環狀部份，其邊緣區域影像也會有嚴重變形問題，此造成速率、車間距等資訊誤差頗大，且難以取得現場完整的幾何特性、標線配置等資訊，較無法用於其他應用情境，而無人機的拍攝範圍廣、正射影像沒變形問題，只要拍攝一次，可以進行多種符合該技術的應用情境分析。因此無人機與魚眼攝影機	

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
	屬於不同的取向。	
9. 簡報P.15所展示影片之公車違規迴轉壓迫到機車停等區部分，建議可進一步釐清交通違規所產生之衝突是否須納為衝突熱點	感謝建議，衝突事件是透過TTC/PET等指標進行計算，本計畫暫無違規判定之系統與準則，後續可視未來計畫需求進行研議。	同意。
(十二) 本所運輸安全組 (書面意見)		
1. 期中報告書第1.3節之本研究工作內容部分，應尚有分流式指向線路口、非號誌化路口等二類交通行為分析，目前已進行空拍影像蒐集(第3.3、3.4節)，故請於期末報告書中，依實際進行之研究工作內容加以補正，並請同步補充研究流程相關內容。	遵照辦理。	同意。
2. 期中報告書第七章之交通應用情境架構與內容部分，請盡速以召會方式，蒐集學者、專家及實務界的意見，進行對外的溝通討論，以確認擬應用情境是否足夠、合適，並有充足時間修改調整相關內容，俾於期末報告審查時能有更佳的成果表現。	遵照辦理。	同意。
3. 其他後續工作重點: 甲、 有關空拍影像及交通衝突與行為分析部分，應至少透過交通衝突分析完成4處交通工程改善	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
之分析、完成 1 處分流式指向線路口之分析、完成 1 處非號誌路口之分析。 乙、 有關交通衝突分析軟體部分，需撰寫分析平台使用手冊，並辦理教育訓練，推廣軟體。		
(十三) 本所陳天賜副所長		
1. 無人機飛行申請，後續因法規變嚴格，是否對本研究造成影響?請補充說明。	依據法規，本計畫執行之路口空拍，屬於人群上空，故皆需申請，才能進行飛行；本團隊已申請多個路口，具備充足經驗，只要提前規劃申請，對計畫影響應不大。	同意。
2. 建議若還有路口要進行無人機拍攝，可以提早進行申請。	遵照辦理。	同意。
(十四) 主席結論		
1. 目前所分析的路口都是為較正規的十字路口，而許添本教授會中提到肇事亦常會出現於較奇特路口，對於肇事率較高的非正規路口，例如五岔路等特殊路口，未來如何應用處理，請於本研究內入討論範圍，並於期末報告提出建議後續辦理可能處理方式。	遵照辦理。	同意。
2. 本所辦理中之「事故型態導向之路口交通工程設計範例之研究」與本計畫是可以做一些配合相互合作，各工作會議時能夠進行交流討論，以發揮路口交通安全改善之研究綜效。	遵照辦理。	後續工作會議本所將視會議討論主題，邀請「事故型態導向之路口交通工程設計範例之研究」研究人員出席。
3. 簡報 P.35，交通應用情境部分，也是本研究的重點之一，除了評估再無人	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
機上的技術與執行層面困難點外，也可以評估其是否有其他調查技術比無人機更適用於各該項應用情境。進階的應用情境可以再邀請相關專家共同討論，集思廣益。		
4. 前期報告已有說明的部分，本期報告與附錄可以不用再重複撰寫，透過參考文獻方式，提供參考即可。	遵照辦理。	同意。
5. 查準率、查全率、失真率、誤分類率等之比率請以附表方式，進行定義說明(含分子、分母計算式)，如有英文亦請一併加註。	遵照辦理。	同意。
6. 本次期中報告審查原則通過，後續請研究團隊將專家學者及各單位意見納入參考，並針對各項意見整理成表格，一一回應。	遵照辦理。	同意。

附錄 J. 期末報告審查意見處理情形表

期末報告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

計畫名稱：MOTC-IOT-109-SBB006

路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較

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) 嘉義大學 張立言教授		
5. 期末報告書第六章，示範路口的選擇原則建議更詳細的說明，例如考量空拍限制等。另外分析結果有許多衝突事件的表格，建議可以備註其表格數據的時間單位。路口改善前、後的分析方向以該期的改善措施為主，似乎較無法抓到真正的路口風險，建議多加說明。	1. 本案交通分析所選的路口是由第 36、37 期「臺灣地區易肇事路段改善計畫」，先初選數十個該年會進行改善的路口，再評估該路口的改善措施施工進度、以及附近是否有合適的起降地點，進而篩選出四個分析路口。相關篩選過程會於期末報告書中進行補充說明。 2. 感謝委員的建議，衝突事件的車流資料單位是該部應用的可用分析時段，因每部影片的長度接近，因此並未特別說明。已於報告書之衝突數圖表補充說明。 3. 案例分析之改善措施是「臺灣地區易肇事路段改善計畫」之內容，並非本研究之建議。本研究之工作主要是評估改善措施是否有完整執行、是否有產生預期效果，之後再檢視看是否尚有其他潛在的交通安全風險。	同意辦理
6. 期末報告書第七章，此章	感謝委員的建議，已針對 P.149 之	同意辦理

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
節寫得蠻精彩的，P.149的圖表算是這小結的重點，建議可說明其縱軸、橫軸數值所代表的含意，另外對此圖表的分析也建議可以加強說明。	圖表進行補充說明。	
7. 期末報告書第 7.1.5 節(P.151)，引用到許添本老師的指標二:潛在衝突，不知道原報告書中是否有相關的圖表說明，也能夠一併加以引用，以增加此指標的可讀性。	指標二的計算方式主要是參考原報告書的定義，已於內文加強說明。但受篇幅所限無法原文節錄，如有需要，建議讀者可進一步參考原報告書。	同意辦理
8. 交通應用情境，近期有許多機車族也在討論兩段式左轉的議題，本研究的空拍影像可清楚看到待轉與直接左轉的行駛軌跡，若未來能夠針對此差異所造成的衝突做分析統計，將能讓此交通議題有數據分析結果可供參考。	感謝委員的建議，有關是否取消兩段式左轉的確是近期蠻熱門的議題，但已超出本期研究之工作範圍，已納入後續的研究方向。	同意辦理
(二) 臺灣大學 許添本教授		
7. 簡報所提的 4 個改善前/後易肇事路口案例，就衝突量與衝突風險數來看似乎都沒有得到太好的改善效果。對於路口改善分析的方式，一種是針對車禍事件找出改善策略，另一種則是本研究透過衝突點分析來對應改善措施，此為一個需要去研發與思考如	1. 交通衝突分析的目的指在找出潛在交通問題，並透過衝突發生之過程找出原因，讓分析人員能篩選出風險較高的路口進一步分析評估，但目前尚未有通用型 SOP 指出甚麼類型的衝突對應相對的安全改善。 2. 目前的處理方法，是將頻率較高的衝突型態，對應至「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」之肇事型態，找出最	同意辦理

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
何實際應用的方式。在此肯定此研究，也建議後續能夠對所蒐集的資料 open source，讓更多的研究人員能夠去使用。	適用之改善措施。 3. 同意委員之建議，未來可整合交通車禍事件型態及衝突事件型態所得出之改善策略，以及研發實際應用的方式。 4. 感謝委員建議，資料授權及軟體的分享相關事項將與承辦單位討論。	
8. 本研究使用 TTC 來做衝突分析，我們也有在一些路口裝設攝影機，蒐集 24hr 的數據做 PET 的衝突分析，以判斷改善措施後的衝突是否有變化。後續臺大可以與團隊互相分享研究資源，讓雙方有更好的研究成果。	1. 本研究之軟體有計算 TTC 及 PET 之功能，已於第六章之案例一補充 PET 分析的說明。 2. 感謝委員建議，資料授權及軟體的分享相關事項將與承辦單位討論。	同意辦理
3. 本研究的影像辨識對空拍的解析度與拍攝高度有沒有相關規格的要求，若要用此軟體有沒有建議的拍攝調整的數值。	1. 攝影機需有三軸穩像裝置，影像解析度建議為 4K 影像，拍攝高度 75m。 2. 請見期末報告章節 3.1.1 無人機空拍攝影作業流程。	同意辦理
4. 如何分析改善措施是否有效，建議所分析方向應該回歸到當初的改善目的，例如是發生了什麼車禍，因此要做改善措施，知道改善的緣由後將改善前/後的空拍數據進行目的性的衝突分析，或許能夠更清楚的看出改善差異。	感謝委員的建議。案例分析之改善措施是「臺灣地區易肇事路段改善計畫」之內容，因本團隊並未參與改善計畫討論，無法得知當初的討論過程及改善目的。後續如有本案軟體的應用推廣，建議可納入委員之提議。	同意辦理
5. 設計衝突指標的目的是為評估潛在的交通衝突，因	感謝委員的說明。	同意辦理

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
當初試辦時不可能等車禍發生再進行評估，因此使用衝突指標評估的結果是有效益的。在分流式指向線實施超過一年後，統計實際事故數量是有降低，因此也驗證了此衝突指標之有效性。		
6. 簡報 P.37，案例一的號誌週期秒數為 163 秒，一般而言號誌週期秒數理應為 5 的倍數，請再確認。	由影像中反覆判斷，確認週期秒數為 163 秒無誤。	同意辦理
(三) 交通大學 易志偉教授		
1. 近期無人機法規與考照規範已成形，建議團隊可將空拍經驗寫成空拍建議手冊，讓未來若有其他團隊負責執行空拍任務，能有一個參考規範。	感謝委員的建議，後續會再整理相關資訊於期末報告書。	同意辦理
2. 影像處理的深度學習模型，建議可將其整合為一個模型，節省整體運算資源。	感謝委員的建議，目前已針對 YOLOv4 設計旋轉框偵測機制，未來研究計畫可視需求進行討論規劃。	同意辦理
3. 計畫本身著重於交通衝突分析，但其車輛軌跡用途廣泛，建議可將此數據做更多的加值分析。	感謝委員的建議，本研究已針對人車流動空拍影像軌跡，提出多項的交通應用情境架構與內容（第八章），後續可根據需求進行更多的加值分析。	同意辦理
(四) 中華智慧運輸協會 孫瑀副理事長		
5. 建議後續選擇分析路口，可尋找一些其他研究也有分析改善之路口，藉此讓本研究能與其他分析方式併行討	感謝委員的建議。	同意辦理

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
論。		
6. 建議未來可評估夜間衝突分析的可行性。	1. 感謝委員的建議。 2. 未來若有分析夜間路口的需求，團隊將嘗試採用低照度/紅外線鏡頭，做空拍影像蒐集，並評估是否能進行分析應用。 3. 夜間影像因車燈與光照程度不同，勢必影響車輛偵測效果。	同意辦理
7. 內線禁行機車、兩段式左轉，為我國獨特的道路文化，未來若能透過本研究評估其效益將是一大助力。	感謝委員的建議，有關是否取消兩段式左轉的確是近期蠻熱門的議題，未來可視需要進行研究。	同意辦理
8. 本研究的空拍影像是否足夠清晰，未來應能搭配路側裝置成為交通執法的輔助工具。	1. 感謝委員的建議，透過空拍攝影鏡頭變焦功能，基本上能獲取足夠清晰之影像。 2. 本研究無使用變焦鏡頭，只能使用觀看軟體放大影像，恐無法滿足此一需求。 3. 此需求非本研究範圍。未來研究計畫可視需求進行討論規劃。	同意辦理
9. 各地方政府有一些新的交通改善措施，未來或許能與其做結合，讓其成為衝突分析的參考數據。	感謝委員的建議。	同意辦理
(五) 台灣世曦工程顧問股份有限公司 鄭宏逵協理		
7. 建議期末報告書專有名詞的定義可以再加強說明，新增一覽表供讀者瀏覽。	遵照辦理。	同意辦理
8. 同意易教授觀點，雖然目前期末報告書已有空	感謝委員的建議，後續會再整理相關資訊於期末報告書。	同意辦理

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
拍流程說明，若能夠將其整理成一份獨立的空拍 SOP 手冊，可提升觀看品質。		
9. 期末報告書第 2.5 節(P.45)，前兩期之研究成果回顧有提到，針對自行車查全率(recall rate)較低有透過其與機車的車速差異做區辨，這部分可再多說明一些。另外目前的自行車查全率已提升至 80%，未來是否還能夠再提升，可再補充說明。	1. 深度學習主要依賴訓練資料之多樣性是否近似現實情況，隨著訓練資料逐步增加，未來仍有提升可能。 2. 利用車速差異提升部分將會於定稿報告補充。	同意辦理
10. 教育訓練的意見回饋，建議可在期末報告書中加強說明。	相關說明已補充於期末報告書，附錄-教育訓練辦理情形。	同意辦理
11. 未來若有將本研究的軟體進行開放使用，建議需考量資訊安全。	感謝委員的建議，若未來本案軟體推出 Web 版本，會在上線前進行完整的資安檢測。	同意辦理
12. 期末報告書之表 3.1-5，建議可再增加拍攝日期等資訊。	感謝委員的建議，後續將再補充說明於期末報告書。	同意辦理
13. 期末報告書第 3.3.2 節(P.70)，有針對法國製無人機 Parrot ANAFI 進行飛行，建議可再補充說明後續是否還有對其無人機所拍攝的影像進行分析。	感謝委員的建議，法製無人機 Parrot ANAFI 團隊在「B3 臺中市北屯區文心路四段與 北屯路路口」及「C2 桃園市桃園區成功路二段與 朝陽街一段路口」都有進行飛行測試並對其影像進行分析，後續將再補充說明於定稿報告書。	同意辦理
14. 透過 AI 影像處理取得的車輛矩形框及軌跡的誤差，是否有相關的量化	1. 由於空拍與深度學習的跨領域研究發展歷程尚短，目前並沒有統一的車輛位置誤差估測方	同意辦理

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
精度，另外軌跡的座標為絕對座標還是相對座標，是否有使用全球導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）獲得大地座標，若有的話建議可將相關數據回饋到自駕車所需的高精地圖。	法。本案的原始軌跡座標為影像上座標，若需映射至實際大地座標需要進一步的後續處理工作。 2. 目前非本研究討論範圍。未來研究計畫可視需求進行討論規劃。	
15. 目前的研究分析主要為正交四岔路口，建議未來也可以針對不同的路口型態做分析。	感謝委員的建議，因目前研究尚在驗證階段，因此以較單純之四岔路口為主要對象，其他不同路口型態建議可納入後續的研究方向。	同意辦理
(六) 人工智慧實驗室		
2. AI 產業首重利他，眾智成城及前輩無私分享，造就 AI 驚人的成就，建議成果數據可公開供大眾驗證。	感謝建議，資料授權相關事項將與承辦單位討論。	同意辦理
3. 建議改善前/後的路口分析除了透過交通衝突指標，也可增加 throughput 做比較。	感謝建議，throughput 通過量是判斷路口效率（efficiency）的績效指標，並非本研究分析之目標。通過量可運用於延滯調查，評估路口的效率方面是否有改善。	同意辦理
4. 受限於計畫時限，分析的路口需能在年底前進行改善，但可能因習慣、標示問題，得到的結論可能還有些不確定因素，建議未來能繼續追蹤過往的分析路口，將改善後的效益評估期限拉長。	1. 感謝建議。團隊認同持續追蹤可將評估時期拉長，或能達到更明確的結論。惟本計畫結案後，應無法進行持續追蹤之工作。 2. 本案的技術未來可協助路口數據的持續收集，建議可針對特定議題（如交通大執法），定期蒐集數據並累積，評估交通行為的演變。	同意辦理

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
5. 建議建立雲端服務給予地方標註實際事故事件，產出 ground truth 數據集，讓本研究的數據能夠得到更真實的驗證。	感謝建議。本研究目前在研發及驗證階段，只有數個路口，無建立雲端服務之必要。如未來擴大辦理，可依建議，規劃建立雲端服務，結合事故資料及各調查的衝突分析結果，供分析人員使用。	同意辦理
(七) 臺北市電腦商業同業公會		
4. 本期影像技術提升，使用改良版 SCRDet、YOLOv4 其與前期在精準度上比較有多少提升，請補充說明。	前期結果為偵測後經追蹤之結果;本期因著重在偵測技術的更新上，故主要探討偵測部分與現有主流方法比較之精準度，測試資料集也不盡相同。基本上來說，在沒有追蹤協助的前提下，本期單純偵測的結果即可達到與前期偵測加追蹤的效果差不多的水準。	同意辦理
5. 影像處理混淆矩陣的非車輛定義可以再補充說明。	非車輛包含誤偵的安全島、道路、建築、設施等任何被誤偵測出的非車輛物件。	同意辦理
6. 未來影像偵測針對自行車是否能有更進一步的提升？請補充說明。	深度學習主要依賴訓練資料之多樣性是否近似現實情況，隨著訓練資料逐步增加，未來仍有提升可能。	同意辦理
7. 簡報 P.63，交通應用情境-高速公路匝道/路口之車輛延滯調查是個不錯的應用，建議未來可多做相關的考量。	感謝建議。	同意辦理
8. 本研究所使用的硬體運算需求，建議可再補充說明。	1. 使用上建議使用 Nvidia 1080ti 以上等級 GPU。 2. 詳細規格說明於期末報告書附錄 I 分析軟體硬體電腦規格表。	同意辦理
(八) 高雄市交通局(書面意見)		
1. 依據本報告第六章內容顯示改善對策施作後再	本研究評估改善措施績效的方式分為 3 部分：(1) 檢視易肇事路段改	同意辦理

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
透過無人機觀測其改善成效，建議補充使用無人機觀測進行改善之績效評估量化原則。	善計畫之建議改善項目與現場調查觀察之異同、(2) 檢視改善措施是否對車流有產生預期之效果，達到改善措施之目的、(3) 運用衝突分析及車流動線分析，探討其他未改善或潛在問題。相關說明已補充於第六章之前言。	
2. 傳統事故分析以事故數量作為績效指標，無人機觀測可進一步使用衝突數進行分析改善與否，惟實務上因資源有限，需進行路口改善時，即使衝突數多，而事故數並不高，是否改善優先順序仍以事故數做為績效指標？另若仍回到事故數做為評比依據，建議說明使用無人機之成本效益，以做為後續地方政府應用之依據。	1. 在已進行事故數量分析的情況下，在訂定路口改善優先順序時，建議仍依事故數量作為主要的績效指標，交通衝突分析為輔。 2. 交通衝突分析的主要功能是快速評估改善措施是否有達到預期之成效，免卻要改善措施實施後重新等待 1 至 3 年的時間蒐集交通事故資料，以進行後續追蹤及績效評估。	同意辦理
(九) 本所運安組(書面意見)		
1. 本研究內容主要為空拍影像、影像分析、交通衝突分析軟體改善、交通衝突與行為分析、交通應用情境盤點等五部分，研究團隊在每個部分均有具體進度，亦遵循每月工作會議討論內容執行計畫，相關研究成果尚仍能符合契約要求。	感謝提供意見。	同意辦理

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
2. 有關期中報告審查意見的後續處理回應，請全面檢視並增補遺漏部分，例如：期末報告初稿未見查全率等定義說明。	查全率、查準率、IoU 等定義請見期末報告第 4.3 章節：“為了瞭解偵測物體與實際物體範圍間的重疊度，傳統上常利用 IoU (Intersectionover Union)作為評估依據，如圖 4.3-3 所示。…為預測對象與結果之排列組合，查準率(precision)與查全率(recall)定義分別如(7)、(8)所示。”	同意辦理
3. 請補充關於無人機空拍影像結合深度學習技術於後續交通應用情境的推動建議。	已補充於定稿報告書第 9.2.3 節。	同意辦理
4. 請補充說明教育訓練之執行情況，包括參加人數、教育訓練成效等。	已補充於定稿報告書，附錄-教育訓練辦理情形。	同意辦理
5. 請更新 1.1 節及 2.3.1 節中關於交通事故的統計數據到較近年之資料。	已更新交通事故統計數據於 1.1 節及 2.3.1 節。	同意辦理
6. 圖 1.4-1 之流程圖內容並未包含所有的工作內容，請修正，另 1.4 節說明內容，亦請同步修正。	已更新 1.4 節的內容。	
7. 請以本所出版品的角度，全面檢視並修改期末報告書的表達方式，例如：1.2 節「與交通運輸研究所商議後」等用詞。	遵照辦理。	同意辦理
8. 請依本所出版品規定，檢視及修正報告書格式，例如：表 2.5-1、表 8.3-5、表 8.5-1、表 8.5-	遵照辦理，將依規定修改報告書格式。	同意辦理

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
2 跨頁表格的規定等。		
9. 請研究團隊於 109 年 12 月 25 日前提送定稿報告書及衝突分析軟體(含案例資料)。	遵照辦理。	同意辦理
(十) 主席結論		
1. 本期計畫進行衝突分析的路口，其選擇原因請在期末報告書中做強化說明。	遵照辦理，後續將補充說明路口選擇原因於期末報告書。	同意辦理
2. 本研究選擇易肇事路口進行改善前/後分析，但其路口實際的改善措施是由「臺灣地區易肇事路段改善計畫」提出，建議說明清楚，避免讀者誤解。	遵照辦理，已補充說明於第六章前言。	同意辦理
3. 政策性主題式的交通分析，如兩段式左轉、機車禁行內側道等等，建議團隊可思考其可行性，看是否能補充於未來建議或附錄進行討論。	感謝主席的建議，因計畫時程關係，加上未有針對這些議題進行現場調查，無法進行相關討論。已將這些提議納入報告書之結論與建議，作為後續的研究方向。	同意辦理
4. 仍建議期末報告書新增一覽表說明各個影像辨識中英文專有名詞定義(含分子、分母)及其意義，俾便閱讀。	遵照辦理。	同意辦理
5. 請團隊再檢視期末報告書，針對本研究的 TTC、PET、衝突熱區等指標，對其定義再補充說明。	遵照辦理。	同意辦理

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
6. 從衝突分析到交通改善措施，還是要回到交通工程設計規範，建議期末報告書可再多加著墨說明，整體分析與改善建議的作業流程與應用。	遵照辦理，已於第六章前言加強說明整體分析之流程。	同意辦理
7. 本計畫的數據原則上開放，但數據整理與統一格式等工作尚需進行，因此鼓勵研究團隊與各位委員可以先進行交流，充實研究內涵。	遵照辦理。	同意辦理
8. 本案期末審查原則通過。請研究團隊依委員及代表等意見，研提處理情形答覆意見修正報告，於 12 月 25 日前完成修正定稿提送本所，並依契約規定辦理相關作業及請款事宜。	遵照辦理，謝謝主席。	同意辦理

附錄 K. 期末報告審查簡報



路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較
期末審查

2020/12/09

訊力科技
C-LINK Tech. INC.

期末審查－大綱

1. 計畫重點與期程
2. 空拍資料收集與衝突軟體改善精進
3. 影像式車流分析技術
4. 交通衝突分析技術
5. 交通應用情境架構與內容
6. 研究成果與未來建議

CONFIDENTIAL

2



1.計畫重點與期程

計畫重點

1. **充實交通衝突軟體功能**
   - 針對108年研究之交通衝突分析軟體，相關功能與分析參數進行探討與修正。
   - 撰寫分析平台使用手冊、辦理教育訓練。

2. **解析交通工程改善前、後分析，探討設計效益**
   - 結合107年研究、108年研究與今(109)年的示範路口之交通衝突分析資料進行探討。
   - 依據衝突分析結果，檢討衝突分析軟體功能，並加以調整與改善。

3. **研提人車流動空拍影像之交通應用情境**
   - 彙析綜整國內外使用人車流動空拍影像之應用與研究文獻。
   - 辦理專家學者座談會，蒐集前揭交通應用情境架構與內容初稿的意見盤點。

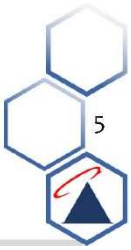
4. **研發空拍影像技術**
   - 持續研發人車流動空拍影像之人車辨識與追蹤技術，改善無人機系列研究之空拍影像辨識與追蹤技術瓶頸。

CONFIDENTIAL

計畫期程 (3/16 ~ 12/31)







CONFIDENTIAL



2. 空拍資料收集與衝突軟體改善精進

無人機飛行作業標準程序

任務前

■無人機任務前須完成以下項目

1. 無人機註冊、檢驗
2. 操作人員測驗
3. 投保責任保險
4. 法人能力審查
5. 活動申請

■申請項目請使用電子憑證登入「遙控無人機管理資訊系統 (https://drone.caa.gov.tw)」辦理（保險投保除外）。



任務中

■無人機現場作業標準程序

1.起降場準備	• 選擇適合起降場地 • 架設警示標語
2.飛行前檢查	• 無人機任務確認 • 飛行前360度檢查
3. 正式飛行	• 飛行活動報到 • 異常狀況排除
4. 飛行後檢查	• 飛行活動報離 • 飛行後360度檢查

■無人機任務檢查表



■飛行前360度檢查表



CONFIDENTIAL

本年度交通衝突分析的路口

編碼	易肇事改善前後路口名稱
A1	新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街
A2	雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路
A3	台南市永康區中華路 & 勝華街
A4	桃園市桃園區三民路三段 & 永安路
編碼	分流式指向線路口名稱
B3	台中市北屯區文心路四段 & 北屯路
編碼	非號誌化路口名稱
C2	桃園市桃園區成功路二段 & 朝陽街一段



新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街



雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路



台南市永康區中華路 & 勝華街



桃園市桃園區三民路三段 & 永安路



台中市北屯區文心路四段 & 北屯路



桃園市桃園區成功路二段 & 朝陽街一段

CONFIDENTIAL

無人機適用機型比較

機型	客製國產無人機	市售小型無人機	市售中型無人機
示意圖			
飛行時間	35~45分鐘。	約15~20分鐘。	約20~25分鐘。
軸距	70公分，體積小可背包攜帶。	24公分，體積小可背包攜帶。	35公分，體積小可背包攜帶。
重量	約5.0公斤。	約0.3公斤。	約1.4公斤。
單價	約15萬元。	約3萬元。	約5萬元。
解析度	2.7K線性/30fps。	4K/30fps	4K/30fps。
最大風速	8 m/s	8 m/s	10 m/s
優點	飛行時間較長。	機身輕巧，具備快速起降之特性 可遠端啟動錄影功能	機身輕巧，具備快速起降之特性。 可遠端啟動錄影功能；有過熱警示
缺點	成本高;體積稍大，攜帶較不便;影像較易晃動且解析度較低。	飛行時間較短。	飛行時間較短。

9

CONFIDENTIAL

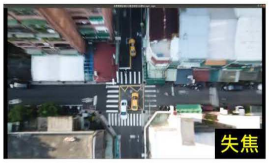
無人機影像拍攝重點

無人機	中小型無人機
飛行高度	75公尺
風速	9 m/s以下, 越小越好
錄影解析度	4K/30fps
攝影機自動調整功能	攝影機亮度、對比、白平衡、曝光值、光圈F, 快門速度(Shutter Speed)SS, 感光速度ISO等設定歸零或固定為預設值
畫面設定方式	1. 主要道路橫向置中、次要道路縱向置中 2. 90度垂直路面 3. 確認影像對焦 4. 陰天無光影較佳

避免以下情形









正確拍攝範圍





10

CONFIDENTIAL

交通衝突分析軟體改善精進(1/4)

1. 本期依據路口衝突分析結果及實際需求，完成以下功能擴充或升級
   - 交通衝突型態分類調整
   - 衝突事件過濾功能升級
   - 路口進出口方向判定優化
   - 衝突熱點影片索引回放功能
   - 車流軌跡繪製功能
   - 路口轉向速度統計

CONFIDENTIAL

交通衝突分析軟體改善精進(2/4)

1. 交通衝突型態分類調整
   - 參考「各肇事型態-交通安全工程改善設計範例」、「美國交通衝突技術手冊」等進行衝突型態分類調整。
   - 更適用於衝突分析，並達到與所內研究之改善建議措施結合之目的。



2. 衝突事件過濾功能升級
   - 本期針對行人、兩車車種、速度等條件新增篩選功能。
   - 針對兩物件相對速度過低或非研究關注之事件，可篩選出更適切之衝突事件，貼近路口交通表現。

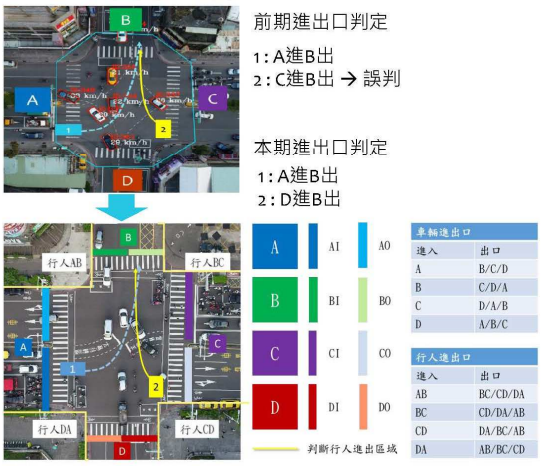


CONFIDENTIAL

交通衝突分析軟體改善精進(3/4)

3. 路口進出口方向判定優化

- 本期每個路口區分進出方向，提升進出口判定準確度。



本期進出口判定示意圖

4. 衝突熱點影片索引回放功能

- 提供使用者點選衝突熱點，連結觀看衝突事件之車輛經過起訖影片
- 快速分析可能發生衝突的原因，大幅提升分析查看衝突事件之效率。

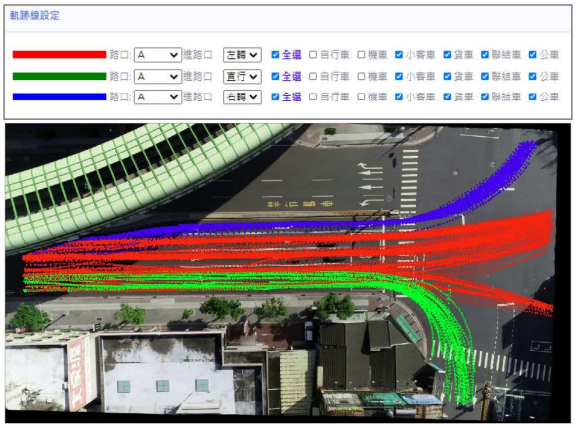


CONFIDENTIAL

交通衝突分析軟體改善精進(4/4)

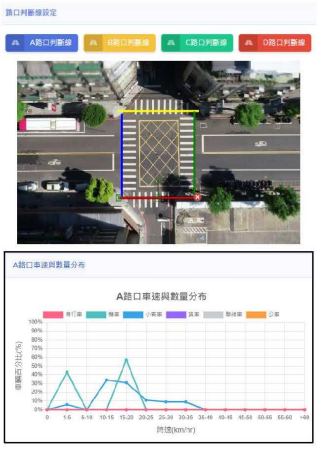
5. 車流軌跡繪製功能

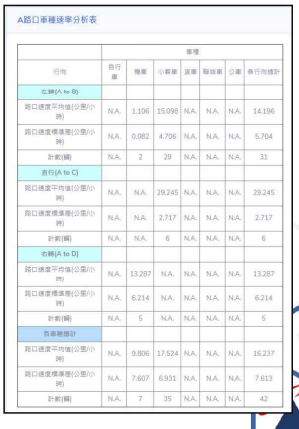
- 因應分流指向線效益評估，提供快速便利的繪製功能。
- 可依車種或行進方向進行車流軌跡繪製。



6. 路口轉向速度統計功能

- 因應非號誌化路口分析，提供轉向速度統計與圖表繪製。
- 快速了解該路口車輛行為與速度表現。





CONFIDENTIAL



3. 影像式車流分析技術

15

影像處理

- 新技術的引入與更新
  - 行人與兩輪車輛偵測: YOLOv3-CSPnet → YOLOv4
  - 四輪車輛偵測: Mask RCNN+矩形擬合 → 修正版SCRDet

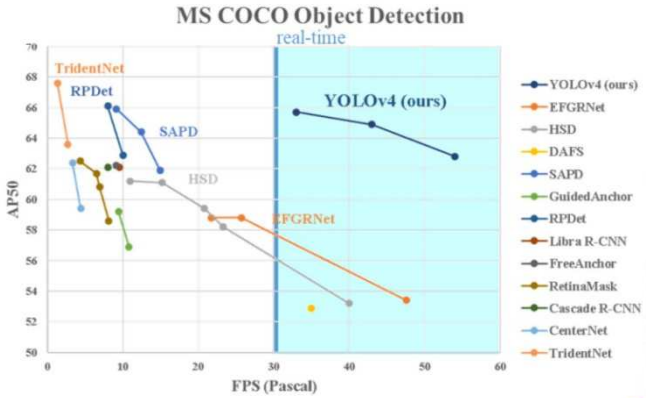
- 與前技術之主要差異性
  - YOLOv4: 目前公認效能與準確率表現最好的偵測機制
  - 修正版SCRDet: 更精準的車輛貼合度、可直接取得具方向性的矩形框

16

CONFIDENTIAL

影像處理

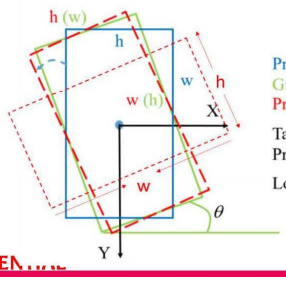
- YOLOv4
  - 作者Alexey Bochkovskiy, 王建堯, 廖弘源於2020/4/23發表
  - 對現有物件檢索方法、架構、技巧進行全面整理分析，選取出效能最佳組合
  - 目前效能最好、明顯領先於其他架(包含未受普遍認可的YOLOv5)。在同等偵測速度下，前期計畫採用YOLOv3-CSPnet較原始YOLOv3版AP_{50}約高出5~7%; 而YOLOv4較原YOLOv3版本AP則高出近7~10%。



CONFIDENTIAL

影像處理

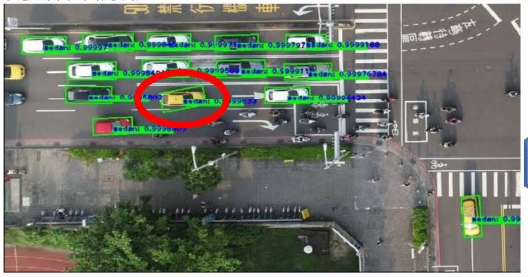
- SCRDet
  - 2019年發表，主要用於空拍/衛星影像中，偵測建築物、船艦、車輛等物件
  - 基於faster R-CNN之兩階段(two-stage)架構，可直接偵測具方向性之矩形框
  - 原方法在損失函數上對角度的迴歸計算有缺失，偶爾會產生無法貼合車輛情形，本計畫提出了改善方案，成功大幅改善偵測框的貼合情形



Proposal: (0, 0, 100, 25, -pi/2)
Ground-Truth: (0, 0, 25, 100, -pi/8)
Predict box: (0, 0, 100, 25, -5pi/8)

Target offset: (0, 0, log(1/4), log(4), 3pi/8)
Predict offset: (0, 0, 0, 0, -pi/8)

Loss=Smooth-L1(Predict - Target) >> 0

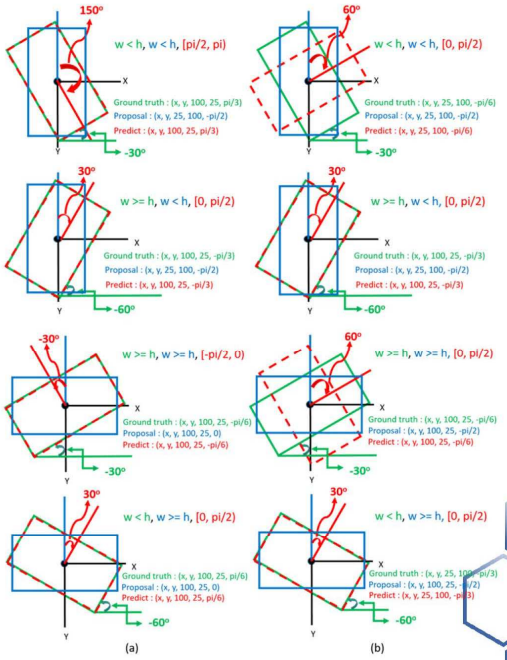


CONFIDEN...

影像處理

- 修正SCRDet
  - 原方法在損失函數上對角度的迴歸計算有缺失
  - 原方法將旋轉角度限制在[0, pi/2)範圍，但實際可能旋轉角度為[-pi/2, pi/2)。在訓練回歸過程中，為了讓預測框能擬合實際結果，可能受限於角度導致預測框的寬、高只能與實際結果相反，導致迴歸目標的損失值難以下降。下表為根據寬、高情況重新校正目標角度函數t_θ。

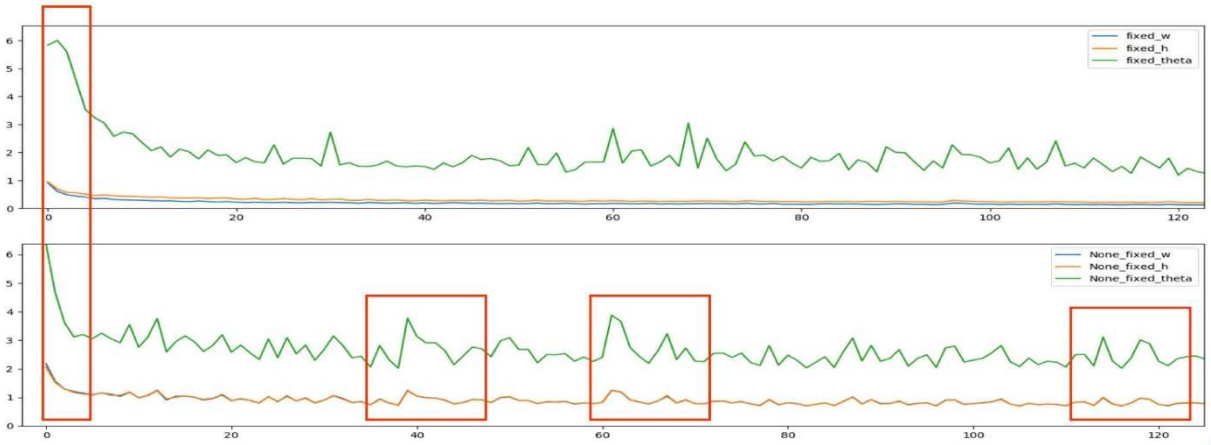
$\text{Ground truth}_{w,h}$	$\text{Proposal}_{w,h}$		θ	θ_p		t_θ
w >= h	w >= h	➡	[-pi/2, 0)	- (0)	→	[-pi/2, 0)
w >= h	w < h	➡	[-pi/2, 0)	- (-pi/2)	→	[0, pi/2)
w < h	w >= h	➡	[0, pi/2)	- (0)	→	[0, pi/2)
w < h	w < h	➡	[0, pi/2)	- (-pi/2)	→	[pi/2, pi)



修正角度計算方法後　　原始SCRDet方法

CONFIDENTIAL

修正後的目標參數損失下降情況



上: SCRDet改善後的損失函數值走勢
下: 原SCRDet改善後的損失函數值走勢

CONFIDENTIAL

測試集

	畫面數	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	四輪車總數	行人	自行車	機車	行人/兩輪車總數
測試集	157	1784	178	45	15	14	2036	290	114	2368	2772

測試集路口畫面 (解析度皆為1024x1024)



21

CONFIDENTIAL

空拍影像測試集

	畫面數	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	四輪車總數	行人	自行車	機車	行人/兩輪車總數
測試集	157	1784	178	45	15	14	2036	290	114	2368	2772

偵測分類結果之混淆矩陣

(正確、誤分類、失偵、誤偵)

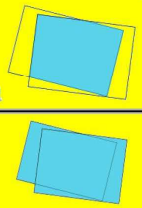
(↓)YOLOv4 (→)SCRDet

實際車種 \ 偵測分類結果	機車	自行車	行人	未偵測出
機車	2184	26	22	132
自行車	23	49	8	34
行人	11	16	201	62
非車輛	16	7	28	N/A
(Recall)				

實際車種 \ 偵測分類結果	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未偵測出
小轎車	1778	3	0	0	0	2
貨車	3	174	0	0	1	0
巴士	0	0	45	0	0	0
聯結車頭	0	0	0	13	0	1
聯結車身	0	0	0	0	11	0
非車輛	4	3	0	1	3	N/A

評量四輪車輛之偵測框貼合度

$$IOU = \frac{\text{Area of Intersection}}{\text{Area of Union}}$$



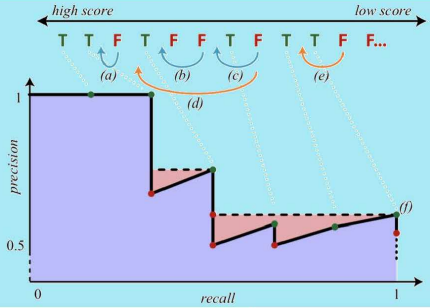
IoU越高 → 偵測框與實際車輛範圍越貼合

	預測為目標對象 (Positive)	預測為非目標對象 (Negative)
預測正確 (True)	TP (True Positive)	TN (True Negative)
預測錯誤 (False)	FP (False Positive)	FN (False Negative)

查準率Precision = TP/(TP+FP)
查全率Recall = TP/(TP+FN)
查準率越高→系統偵測出的車輛正確率越高
查全率越高→越多實際車輛能被系統偵測出

AP_{IoU} = Average Precision @ IoU
→高於特定IoU前提下的平均查準率

平均查準率Average Precision越高
→依偵測信心度排序，計算TOP1、TOP2、....、TOPN下的平均查準度越高
→信心度排名越能確實反映出偵測正確率



CONFIDENTIAL

評量四輪車輛之偵測框貼合度

	AP_{50}	AP_{75}	AP
Ours	0.93955	0.89037	0.73050
SCRDet	0.91345	0.83313	0.66618
R²CNN	0.93686	0.71555	0.58628
RRPN	0.83964	0.53453	0.47045

考量IoU=0.5~0.95這個區間的貼合度要求，修正版SCRDet的整體偵測表現明顯勝過其他

貼合度要求較高時，修正版SCRDet的偵測表現明顯勝過其他

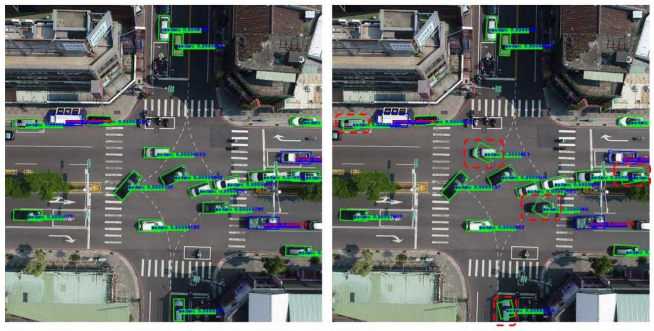
貼合度要求不高時，修正版SCRDet的偵測表現勝過其他方法

AP_{IoU} = Average Precision @ IoU
→高於特定IoU前提下的平均查準率

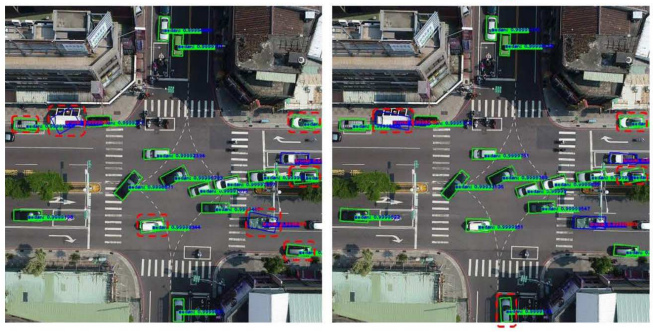
$$AP = mean(AP_{50} + AP_{55} + \dots + AP_{90} + AP_{95})$$

CONFIDENTIAL

四輪車輛偵測結果比較



改善後SCRDet　　原始SCRDet



R^2CNN　　RRPN

CONFIDENTIAL

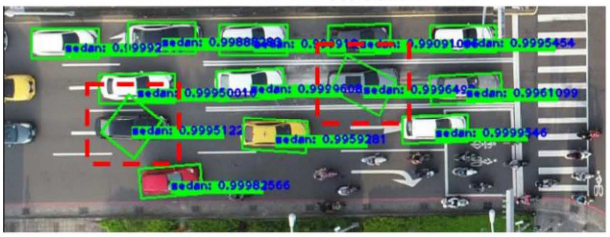
四輪車輛偵測結果比較



(a) 改善後SCRDet



(b) 原始SCRDet



(c) R^2CNN



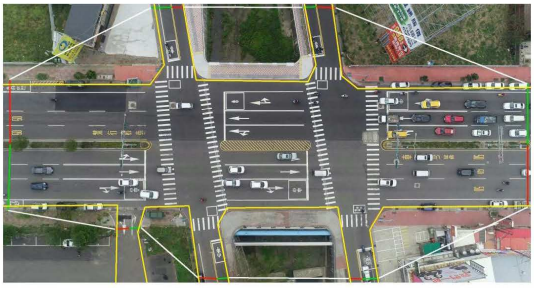
(d) RRPN

CONFIDENTIAL

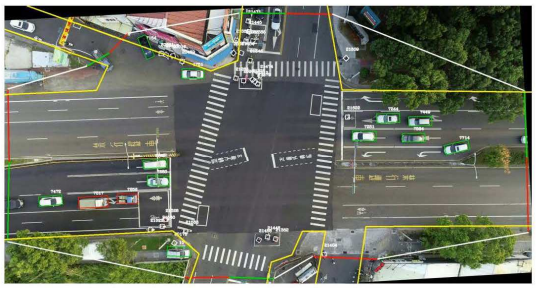
Demo



台南市永康區 中華路 & 勝華街



新竹縣竹北市 自強北路 & 勝利七八街



雲林縣斗六市 大學路三段 & 中山路

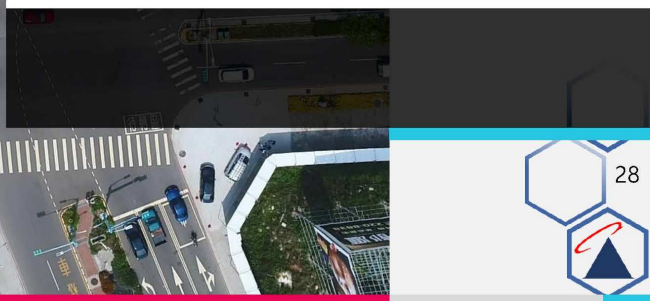


台中市北屯區 文心路四段 & 北屯路

CONFIDENTIAL



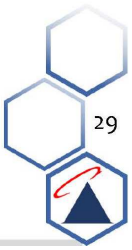
4. 交通衝突與行為分析



交通衝突與行為分析

1. 交通工程改善前、後之分析程序
2. 交通行為分析初探

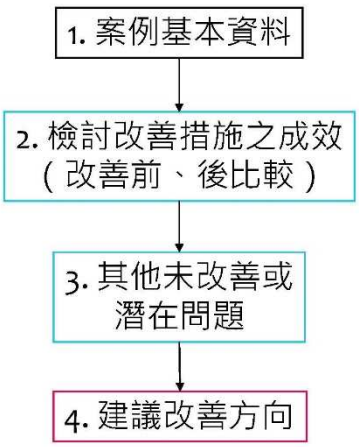
分析項目	案例
交通工程改善前、後之分析	案例一：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口
	案例二：桃園市桃園區三民路三段及永安路口
	案例三：台南市永康區中華路及勝華街口
	案例四：新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口
交通安全及行為分析	分流式指向線效益評估 案例：台中市文心路四段及北屯路路口 西側入口方向
	非號誌化路口資料蒐集 案例：桃園市成功路二段/朝陽街一段



CONFIDENTIAL

交通工程改善前、後之分析

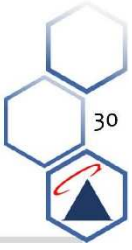
分析程序



- 觀測資料：調查時間、拍攝範圍
- 易肇事路段改善計畫資料：
  肇事資料、建議改善措施、實際修正情況

- 車流型態與動線之影響
- 交通衝突分析
  - ✓ 衝突事件
  - ✓ 統計摘要
  - ✓ 衝突熱區圖
  - ✓ 衝突型態

- 「交通安全工程改善設計範例」
- 其他改善措施



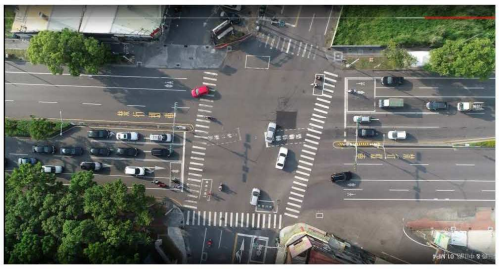
CONFIDENTIAL

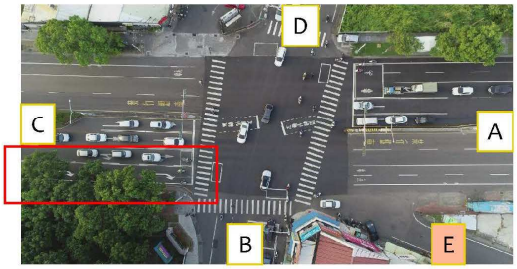
案例一：案例基本資料

案例一：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口

- (1) 改善前、改善後之交通衝突分析
- (2) 參考「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」提出交通安全工程改善建議

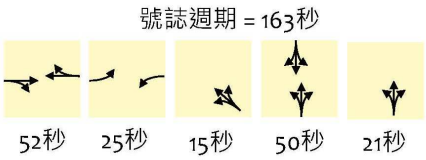
拍攝情景	拍攝時間	影片長度
改善前	2019/5/14	19 分鐘
改善後	2019/10/15	15 分鐘





改善項目：

1. 鋪面重鋪、標線重畫
2. C進口外側車道：機車優先道改為右轉車道
3. 號誌時制沒有調整
4. 無法確定是否還有其他改善措施如交通標誌



CONFIDENTIAL

案例一：案例基本資料

資料來源：第36期臺灣地區易肇事路段改善計畫

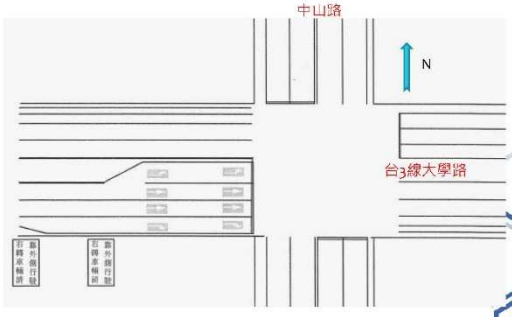
106年全年A1及A2肇事記錄

- **11次肇事、0人死亡、14人受傷**
- **主要肇事型態**
  - 16車與車-側撞
  - 11車與車-對向擦撞
  - 12車與車-同向擦撞
- **主要肇事原因**
  - 6未依規定讓車
  - 23駕駛人-未注意車前狀態
  - 8左轉彎未依規定

  （肇事型態與原因係依據【道路交通事故現場圖與調查報告表填表須知】分類）
- **主要肇事時段** 8、17、19

建議改善措施

- 增加右轉專用道
- 車道預告指示牌：「右轉車輛請靠外側行駛」



CONFIDENTIAL

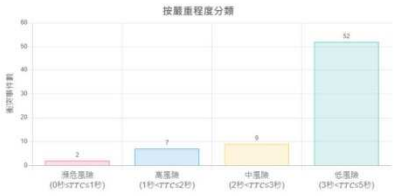
案例一：檢討改善措施之成效

- 交通衝突統計摘要（*僅包含二車最大速度大於10公里/小時之衝突）

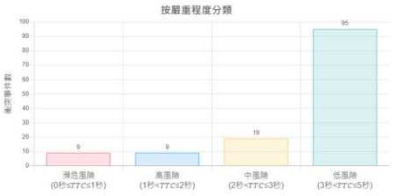
1. 按嚴重程度分類

- 改善前後差異不大，惟改善後衝突稍增。

改善前



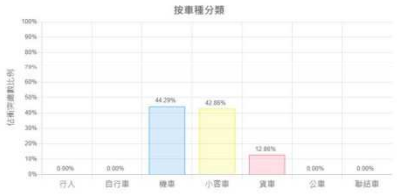
改善後



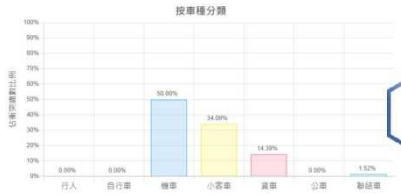
2. 按車種分類

- 車種以機車為主

改善前



改善後



CONFIDENTIAL

案例一：檢討改善措施之成效

1. 過濾規則：僅包含中、高、瀕危風險衝突且二車最大速度大於10公里/小時。
2. 本案例路口的交通衝突分析發現無嚴重之交通安全問題：衝突以同向直行減速衝突為主。
3. 易肇事路段改善計畫對於車流行為沒有顯著影響：C進口外側改為右轉車道而同向右轉跟車衝突確有減少，但改善前已很少。

衝突類型	衝突類別		改善前		改善後	
			衝突次數	衝突次數/總交通量	衝突次數	衝突次數/總交通量
同向衝突	1.1	同向左轉跟車衝突	0	0.0000	1	0.0007
	1.2	同向右轉跟車衝突	2	0.0015	1	0.0007
	1.3	同向直行減速衝突	11	0.0084	16	0.0119
	1.4	同向變換車道衝突	1	0.0008	2	0.0015
	1.5	兩車左轉切入衝突	0	0.0000	0	0.0000
穿越衝突	3.2	右轉穿越衝突(右側)	0	0.0000	0	0.0000
	3.4	左轉穿越衝突(左側)	0	0.0000	0	0.0000

- 衝突次數
  包括瀕危、高、中風險程度之交通衝突事件
- 總交通量
  包括路口所有機動車輛的車輛數

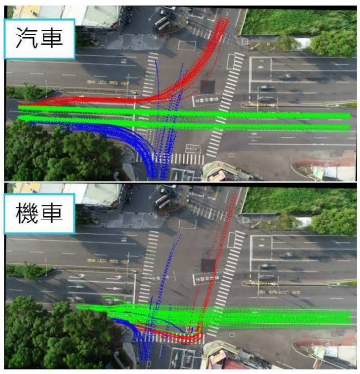
CONFIDENTIAL

案例一：檢討改善措施之成效

- 改善措施對車流型態與動線影響（C方向進入之車流）

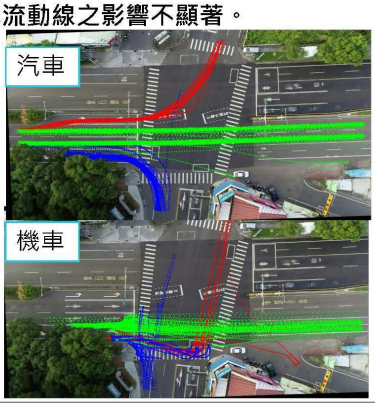
1. 改善前

- C路段最外側為直行與右轉共用道。
- 由C路段進入之機車直行與二段式左轉均會使用最外側車道。



2. 改善後

- 改善後C路段最外側為右轉專用道。
- 由C路段進入之機車直行與二段式左轉仍會使用最外側車道。
- **機車車流動線之影響不顯著。**



35

CONFIDENTIAL

案例一：檢討改善措施之成效

- 發現交通工程改善措施有執行不完整的情況

1. 改善前

- 外側為直行與右轉共用道、機慢車道



2. 改善後

- 外側第一車道為右轉專用道
- 外側第二車道為直右車道，而建議改善措施是修改為直進車道



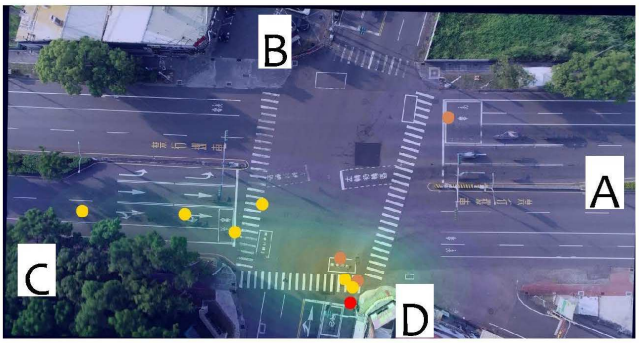


36

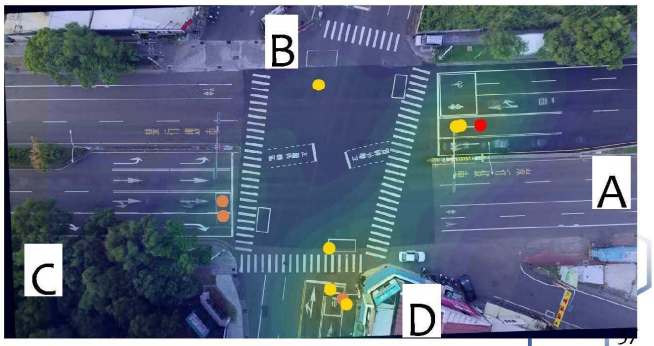
CONFIDENTIAL

案例一：其他未改善或潛在問題(1)

1. 本路口中中、高、瀕危風險之同向直行減速同空間分多位於鄰近停止線處。
2. 該態樣與【交通安全工程改善設計範例】內所描述之追撞較接近。



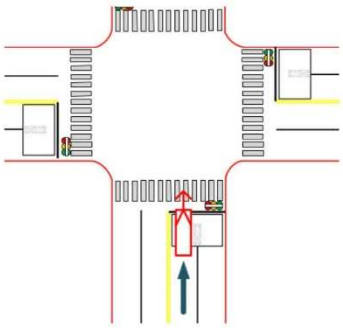
改善前



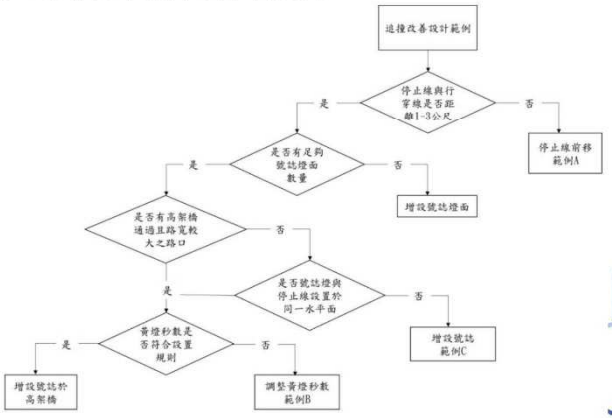
改善後

案例一：建議改善方向(1)

- 交通安全工程改善設計範例
  - 追撞之可能肇因，理論上可透過「追撞改善設計」加以改善。
  - 惟本路口之同向直行減速衝突似乎均不適用各改善範例。



停等追撞示意圖



資料來源：各肇事型態的交通安全工程改善設計範例
（混合車流路口道路與交通工程設計範例（3/4）之附錄A）

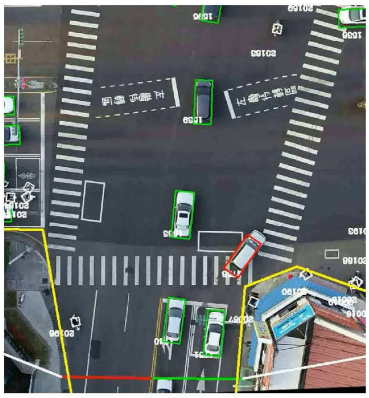
案例一：其他未改善或潛在問題(2)

1. 南北向之車流存在大量低風險之同向直行減速衝突，進一步針對該案例探討衝突事件的過程及原因，並提出交通安全改善建議。
2. 經車流軌跡圖判斷，由B路段進入路口的左轉汽車停等於路口中而影響了直行汽車之動線，因而產生大量低風險同向直行減速衝突，並且進而影響D路段進入之直行汽車。

南(B)北(D)向進入路口之車流衝突



B入口之車流影像

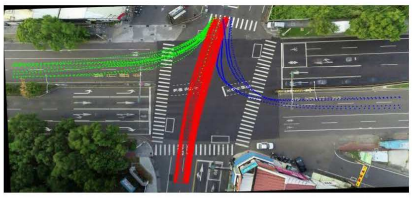


CONFIDENTIAL

案例一：建議改善方向(2)

1. D路段直行軌跡為閃避於路口中央等待左轉之B路段左轉車流而呈現微向外側彎曲。
2. B路段最內側為直行與左轉共用車道，該車道直行車為超越等待左轉之左轉車而與向外側切入並與該車道直行車產生衝突。
3. 建議調整號誌，錯開南北向之車流，B方向號誌遲閉改為早開，以便左轉車流先消散。

由D進入之汽車



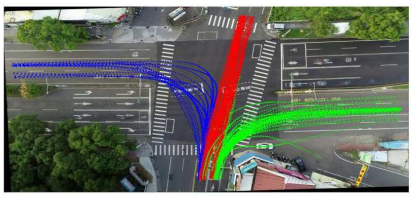
號誌週期 = 163秒



52秒 25秒 15秒 50秒 21秒

現行號誌

由B進入之汽車





52秒 25秒 15秒 21 秒 50秒

建議可透過**調整時相及順序**，改善南北向交通動線之問題

CONFIDENTIAL

案例二：案例基本資料

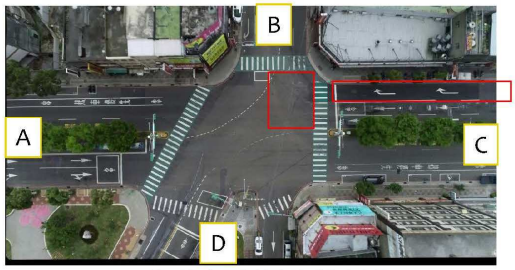
案例二：桃園市桃園區三民路三段 & 永安路

- (1) 改善後之交通衝突分析
- (2) 參考「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」提出交通安全工程改善建議

拍攝情景	拍攝時間	影片長度
改善後 (1)	2020/3/30	17 分鐘
改善後 (2)	2020/7/23	17 分鐘



改善完前期



改善完4個月後穩定期

改善項目：

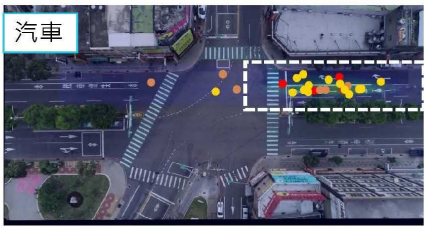
1. 取消機慢車兩段式左轉標誌，並磨除機車待轉區標線（第一次拍攝時已完工）
2. C方向右轉專用道路邊重鋪、標線重畫（非易肇事路段改善計畫建議）

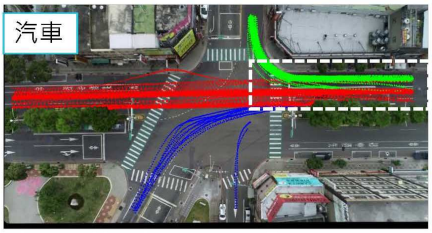
41

CONFIDENTIAL

案例二：分析結果

改善措施	• 取消機慢車兩段式左轉標誌，磨除機車待轉區標線 • C方向右轉專用道路邊重鋪、標線重畫
改善成效	• 機車採直接左轉，改善措施有效
其他交通問題	• 三民路三段入口之「同向執行減速衝突」衝突數高，有右轉車輛佔用直行車道情況
改進建議	• 設置**「車道預告輔助標誌」**，提醒用路人及早變換車道 • 建議**加強執法**





「變換車道或方向不當」，對應至（同向）擦撞改善範例

42

CONFIDENTIAL

案例三：案例基本資料

案例三：台南市永康區中華路 & 勝華街

- (1) 改善前、改善後之交通衝突分析
- (2) 參考「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」提出交通安全工程改善建議

拍攝情景	拍攝時間	影片長度
改善前	2019/8/27	14 分鐘
改善後	2019/11/27	18 分鐘





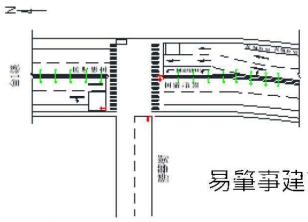
改善項目：

1. 標線補繪
2. 未有依據第36期臺灣地區易肇事路段改善計畫之建議改善措施進行施工

CONFIDENTIAL

案例三：分析結果

改善措施	• 增設左轉號誌及前方預告號誌1組、增設輔1標誌1面，以及配合調整標線及磨損標線補繪
改善成效	• **實際改善項目僅有標線補繪** • 車流型態與動線改變不大，沒有明顯差別
其他交通問題	• 勝華街方向之同向兩車左轉衝突增加 • 易肇事分析的建議措施尚未修正，左轉車流仍有阻擋直線車流的情形
改進建議	• 勝華街方向建議可透過**「左轉導引設計」之範例C**加以改善 • 建議參考易肇事分析的改善措施，**補充增設左彎專用道**



易肇事建議改善措施





CONFIDENTIAL

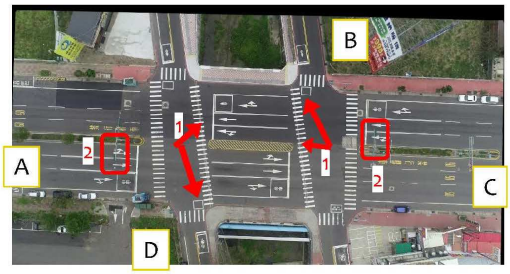
案例四：案例基本資料

案例四：新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口

- (1) 改善前、改善後之交通衝突分析
- (2) 參考「各肇事型態的交通安全工程改善設計範例」提出交通安全工程改善建議

拍攝情景	拍攝時間	影片長度
改善前	2019/5/14	16 分鐘
改善後	2019/12/17	15 分鐘





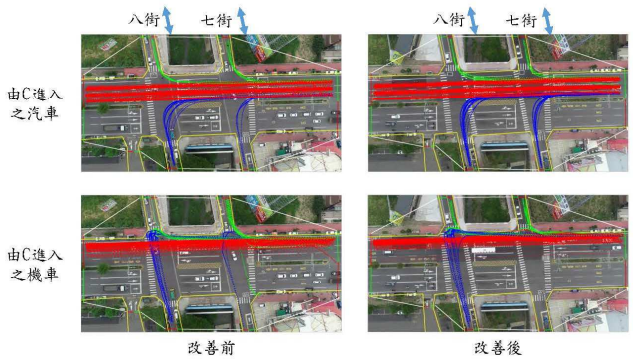
改善項目：

1. 增繪機車待轉區、行人穿越道
2. 自強北路號誌自三燈調整為五燈（透過比較19年2月與20年9月Google街景確認）
3. 時制計畫有配合調整。

CONFIDENTIAL

案例四：分析結果

改善措施	• 標線調整（增繪機車待轉區，車道擴大、路肩縮小、增加行穿線） • 號誌改善、路口時相改善
改善成效	• 車輛動線已有改變，但交通衝突有增加趨勢（改善後調查車流量較大）
其他交通問題	• 改善後衝突事件數有所增加，可能是改善後現場調查的車流量較改善前稍多所導致
改進建議	• 取消慢車道設計準則範例C • 此為特殊六向路口，建議未來可依據專案需求進行軟體擴充處理。





衝突集中於最外側直行與右轉混流車道，為右轉車輛減速造成後車迴避而產生衝突

CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (1/9)

- 探討「分流式指向線」的效益評估方式，針對車道使用分布分析進行軟體功能設計。
- 參考「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」（許添本等人，2018），分析右轉汽車與直進機車間衝突



圖 4.2-15 臺中市北屯文心路口南側改善前後現場照片(事前：上，事後：下)



圖 4.1-3 汽機車衝突示意圖

資料來源：
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，民國107年6月。

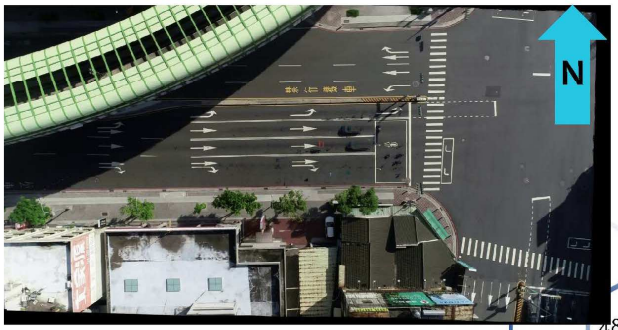
CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (2/9)

本研究採用之無人機AI 人車流動線之評估方式：

- **製作車流軌跡動線圖**
  區分機車與非機車二車種，各車種再區分是否曾停等。
- **製作車輛橫向分布圖**
  由停止線起往上游每10m取一斷面，再以每0.2m一組計算各斷面上各組累積通過車輛。區分機車與非機車。
- **指標一**：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離
- **指標二**：潛在衝突指標
- **指標三**：右轉汽車與直行機車之交通衝突分析

分析案例：
台中市文心路四段 & 北屯路路口 西側入口方向



CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (3/9)

車流軌跡動線圖：汽車軌跡、機車軌跡

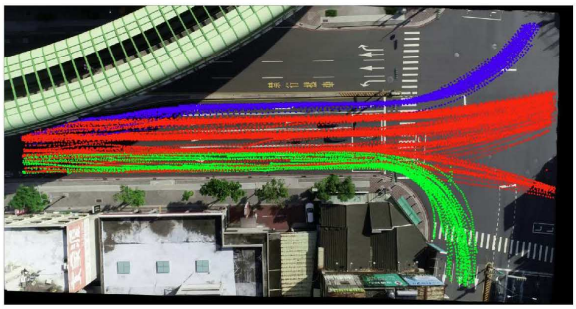
汽車車流量

左轉汽車	直行汽車	右轉汽車
36	139	33

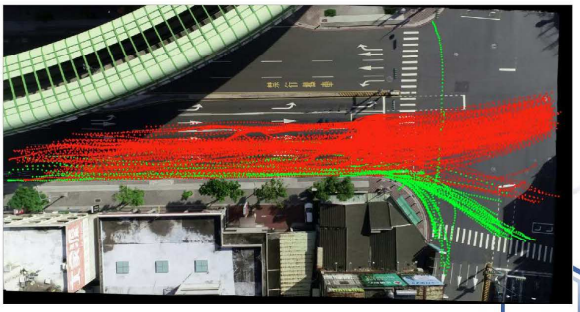
機車車流量

直行機車	右轉與二段式左轉機車
188	41

汽車軌跡圖：左轉、直進、右轉



機車軌跡圖：直進、右轉與二段式左轉

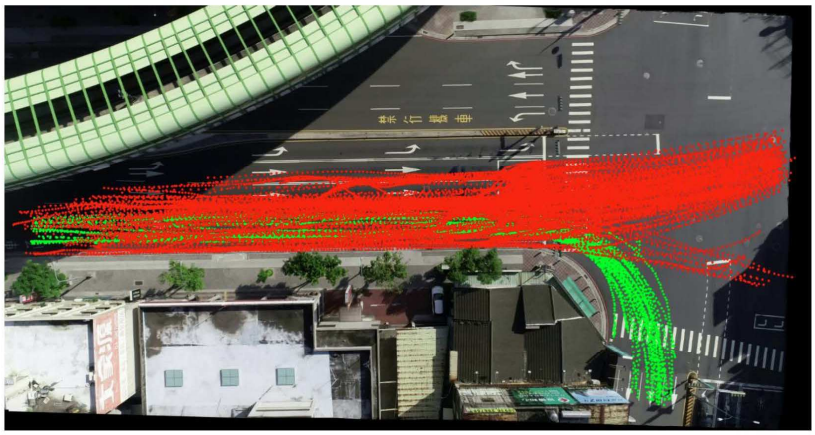


*動線圖以車輛中心點軌跡為依據

CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (4/9)

車流軌跡動線圖 - 右轉汽車 vs 直行機車



車流量

直行機車	右轉與二段式左轉機車	左轉汽車	直行汽車	右轉汽車
188	41	36	139	33

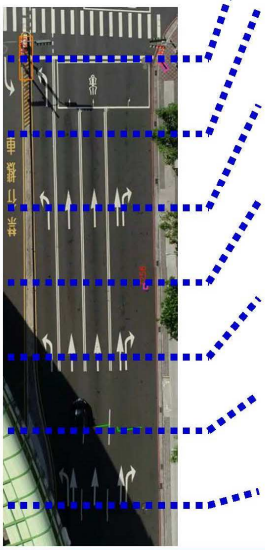
*動線圖以車輛中心點的軌跡為依據

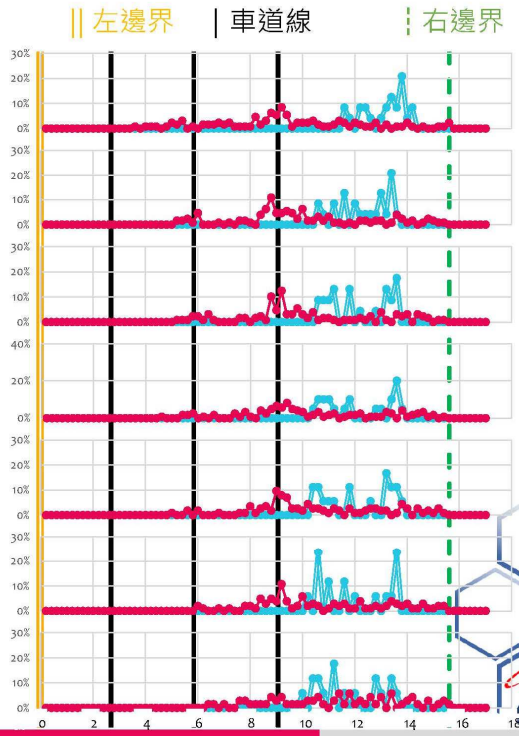
CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (5/9)

車輛橫向分布圖：右轉汽車 vs 直行機車

直行機車（紅線）
右轉汽車（藍線）

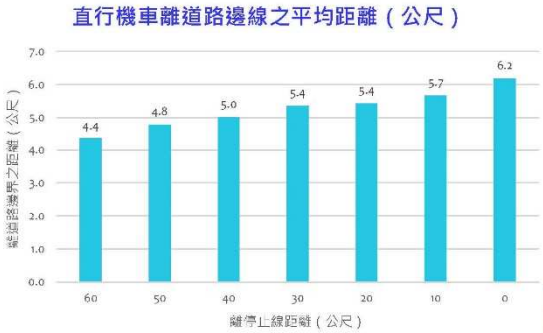




分流式指向線效益評估 (6/9)

指標一：直行機車、右轉汽車分別與邊線之距離





*距離之計算方式為右側邊緣與車輛中心點之間距

分流式指向線效益評估 (7/9)

指標二：潛在衝突指標

- 探討右轉車輛與直行機車併行之潛在衝突
- 汽車右轉安全範圍為汽車中心點至路緣約 2.5 公尺



圖 4.1-3 汽機車衝突示意圖

示意：指標=A×(C+D)+ B×D

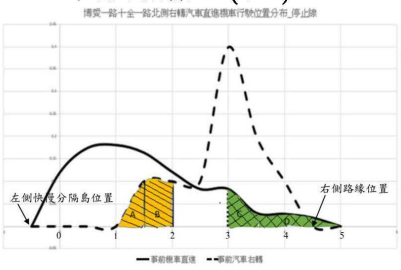


圖 4.1-4 高雄市博愛十全路口北側停止線汽機車行駛位置分布

衝突潛在指標計算方式

$$m = \sum_{i=1}^{\left[\frac{LW-2.5}{0.5}\right]+1} \left(\frac{v_i^c}{v^c} \times \sum_{j=i+3}^{\left[\frac{LW}{0.5}\right]+1} \frac{v_j^m}{v^m} \right)$$

m ：潛在衝突

LW ：路段寬度(以 0.5 公尺為單位)

v^c ：右轉汽車車輛數(輛)

v^m ：直行機車車輛數(輛)

v_i^c ：右轉汽車在路段第 i 個以 0.5 公尺單位長度斷面之車輛數(輛)

v_j^m :直行機車在路段第 j 個以 0.5 公尺單位長度斷面之車輛數(輛)

資料來源：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，民國107年6月。

CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (8/9)

指標二：潛在衝突指標

- 越靠近停止線，潛在衝突指標數字越小，顯示分流式指向線有效降低衝突風險
- 本研究透過自行拍攝之影片進行分析，採用15分鐘的影像資料，結論與原報告書一致。

	報告書評估	本研究
停止線	0.0017	0.0375
停止線上游30公尺	0.1946	0.1456
停止線上游60公尺	0.3847	0.2798

遞減

資料來源：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，民國107年6月。

CONFIDENTIAL

分流式指向線效益評估 (9/9)

指標三：右轉汽車與直行機車之交通衝突分析

衝突事件數：

- 右轉汽車與其外側之直行機車衝突可對應至本研究定義之「兩車右轉切入衝突」。

右轉	直行	風險				總數
		瀕危	高	中	低	
汽車	機車	3	0	1	1	5
機車	汽車	0	0	0	0	0
汽車	汽車	0	0	0	0	0
機車	機車	0	0	0	0	0

衝突熱點圖：

- 直行機車與右轉汽車衝突分布圖
- 部分衝突位置重疊故圖上僅呈現2點
- 整體而言，因分流式指向線已劃設，故衝突數偏低為合理情況，與原報告書之結論相符。



55

CONFIDENTIAL

非號誌化路口分析 (1/4)

- 非號誌化路口的車流特性資料蒐集，現場調查困難度高
  - 車流不會因號誌而停等，需要配置較多的人力
  - 非號誌化路口的重點是車輛是否有停、讓、車速資料
- 試做「非號誌化路口」的交通資料蒐集
- 參考「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」





56

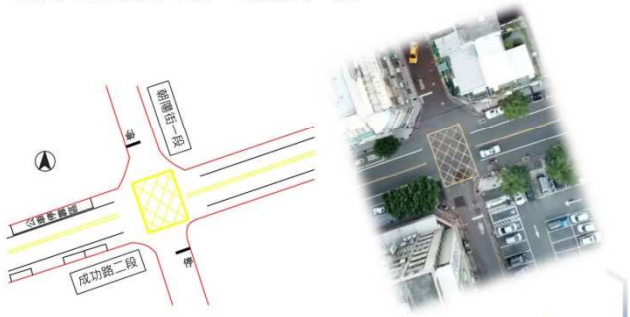
CONFIDENTIAL

非號誌化路口分析 (2/4)

本研究提出之無人機AI 評估方式：

1. 轉向交通量
   - 設定路口進出口速度計算基準線
   - 輸出按車種、轉向分類
2. 車速統計
   - 各車種、轉向的速度統計
   - 拍攝期間之所有車輛（非抽樣）
3. 未來可持續擴充應用範圍
   - 進一步探討停、讓的行為分析
   - 進行其他已開發功能之分析工作

分析案例：
桃園市成功路二段、朝陽街一段



資料來源：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

CONFIDENTIAL

非號誌化路口分析 (3/4)

- 設定路口轉向速度計算基準線



CONFIDENTIAL

非號誌化路口分析 (4/4)

- 轉向交通量、車速統計

北側資訊統計

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(B to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	7.354	N.A.	N.A.	7.354
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	0	N.A.	N.A.	0
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	1	N.A.	N.A.	1
直行(B to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	10.524	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	10.524
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0
計數(輛)	N.A.	1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1
右轉(B to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	10.151	2.615	7.118	N.A.	N.A.	5.924
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	0.813	0	N.A.	N.A.	2.965
計數(輛)	N.A.	1	2	2	N.A.	N.A.	5
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	10.339	2.615	7.197	N.A.	N.A.	6.785
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0.186	0.813	0.111	N.A.	N.A.	2.975
計數(輛)	N.A.	2	2	3	N.A.	N.A.	7

南側資訊統計

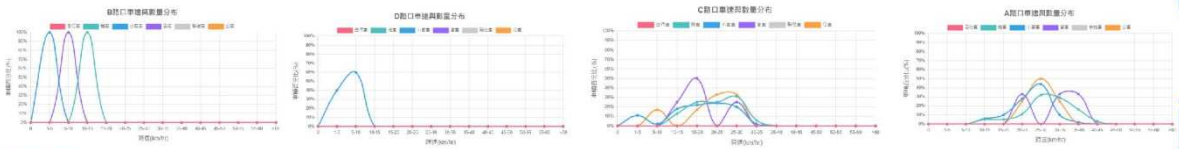
行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(D to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	6.786	N.A.	N.A.	N.A.	6.786
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.581	N.A.	N.A.	N.A.	0.581
計數(輛)	N.A.	N.A.	3	N.A.	N.A.	N.A.	3
直行(D to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
計數(輛)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
右轉(D to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	3.714	N.A.	N.A.	N.A.	3.714
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	0.299	N.A.	N.A.	N.A.	0.299
計數(輛)	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	2
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	5.557	N.A.	N.A.	N.A.	5.557
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	1.582	N.A.	N.A.	N.A.	1.582
計數(輛)	N.A.	N.A.	5	N.A.	N.A.	N.A.	5

東側資訊統計

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(C to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	11.833	9.121	N.A.	N.A.	N.A.	9.664
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	6.535	N.A.	N.A.	N.A.	5.945
計數(輛)	N.A.	1	4	N.A.	N.A.	N.A.	5
直行(C to A)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	22.488	20.136	19.213	N.A.	19.975	20.83
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.41	6.721	5.788	N.A.	6.946	6.483
計數(輛)	N.A.	15	37	4	N.A.	6	62
右轉(C to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	N.A.	7.915	N.A.	N.A.	N.A.	7.915
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	N.A.	2.591	N.A.	N.A.	N.A.	2.591
計數(輛)	N.A.	N.A.	4	N.A.	N.A.	N.A.	4
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	21.822	18.071	19.213	N.A.	19.975	19.141
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.839	7.831	5.788	N.A.	6.946	7.411
計數(輛)	N.A.	16	45	4	N.A.	6	71

西側資訊統計

行向	車種						
	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	各行向總計
左轉(A to B)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	15.332	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15.332
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0.366	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.366
計數(輛)	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2
直行(A to C)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	30.553	25.618	29.453	N.A.	28.314	27.808
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	5.42	4.631	6.426	N.A.	3.374	5.435
計數(輛)	N.A.	35	48	3	N.A.	8	94
右轉(A to D)							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	13.735	12.474	N.A.	N.A.	N.A.	12.894
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	0	1.34	N.A.	N.A.	N.A.	1.245
計數(輛)	N.A.	1	2	N.A.	N.A.	N.A.	3
各車種統計							
路口速度平均值(公里/小時)	N.A.	29.309	25.093	29.453	N.A.	28.314	27.104
路口速度標準差(公里/小時)	N.A.	6.72	5.224	6.426	N.A.	3.374	6.122
計數(輛)	N.A.	38	50	3	N.A.	8	99



59

CONFIDENTIAL



5.交通應用情境架構與內容



60

交通應用情境架構與內容 (1/4)

- 研擬人車流動空拍影像的交通應用情境架構與內容
  1. 彙析綜整使用人車流動空拍影像之應用與研究文獻
  2. 研擬人車流動空拍影像的交通應用情境架構與內容初稿
  3. 專家學者座談會、教育訓練，蒐集各界意見

基本應用情境

參考國內既有交通規劃、設計、管理等相關規範及手冊資料，當中有明確定義資料蒐集格式及調查方式的應用

- ✓ 交通工程手冊、交通工程規範
- ✓ 交通號誌時制重整計畫(I)、(II)、(III)
- ✓ 2011 年臺灣公路容量手冊
- ✓ 混合車流路口道路與交通工程設計範例 (2/4)、(3/4)

進階應用情境

參考近年運用影像、軌跡等資料進行分析的技術報告及學術文獻

- ✓ 交通號誌時制重整計畫
- ✓ 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
- ✓ 市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊
- ✓ 市區道路車道配置及車道寬度調整研究

CONFIDENTIAL

交通應用情境架構與內容 (2/4) – 分析方法

- 邀請產官學研各界
  - ✓ 共13個單位發表意見
- 基本應用情境
  - ✓ 普遍有需求
  - ✓ **1個新增情境**
- 進階應用情境
  - ✓ **2個新增情境**

文獻回顧 → 專家座談會 → 教育訓練

- 技術盤點
- 基本交通應用情境（11個）
  - ✓ **6個技術已成熟**
  - ✓ 2個技術未成熟
  - ✓ 3個不適合
- 進階交通應用情境（4個）
  - ✓ **4個原則上可行**，已試做1個

- 回收問卷8份
- 表達對於軟體的期待
- 實際執行的問題（如費用、分析時間、無人機操作、夜間飛行等）
- **新增1個應用情境（交維佈設之改善評估）**

CONFIDENTIAL

交通應用情境架構與內容 (3/4) - 基本應用情境

項目	應用情境	應用面向	應用空間	技術限制	開發方向	建議優先順序
1	路口轉向交通量調查	效率	路口	無人機續航力有限，長時間交通量調查應考慮CCTV 路側攝影機為較	已具備該功能	已具備
2	行人交通量調查	效率	路口	空拍行人影像辨識與追蹤不易，可採用接續方法進行調查	已具備該功能	已具備
3	交叉路口車輛延滯調查	效率	路口	需考量拍攝無樹木遮蔽之區域	分析速度未達門檻值的車輛數	1
4	現點速率調查	效率	路口、路段	需考量拍攝無樹木遮蔽之區域	已具備該功能	已具備
5	道路幾何特性調查	效率	路口、路段	需考量拍攝無樹木遮蔽之區域	歸類於輔助功能，提供底圖與量測距離工具	3
6	交通衝突分析	安全	路口、路段		已具備該功能	已具備
新增	高速公路匝道/路口之車輛延滯調查	效率	路口、路段、匝道		可依據項目3開發方向，匝道影像需蒐集測試	2

63

CONFIDENTIAL

交通應用情境架構與內容 (4/4) - 進階應用情境

項目	應用情境	應用面向	應用空間	技術限制	開發方向	建議優先順序
1	時制設計參數	效率	路口	• 無人機AI方案優於現場調查 • 需考量拍攝無樹木遮蔽之區域	請參閱報告書	6
2	分流指向線效益分析	安全	路口上游			1（本期研究已試做）
3	行人設施安全效益分析	安全	路口			2
4	車道配置及車道寬調整效益分析	安全	路段			5
新增	取消內側禁行機車	效率、安全	路段、路口	• 原則上可行，需進一步研擬評估方式		4
新增	轉彎車未禮讓行人 / 人車衝突評估	效率、安全	路口			3
新增	交維佈設之改善評估	效率、安全	路口、路段			7

64

CONFIDENTIAL



6. 研究成果與未來建議

研究成果

1. **精進交通衝突軟體功能**
   - 精進功能含: (1)交通衝突型態分類調整、(2)衝突事件過濾功能升級、(3)路口進出口方向判定優化、及(4)衝突熱點影片索引回放功能。

2. **研發空拍影像技術**
   - 實踐改良版SCRDet提供更精準物件外框擬合。
   - 實踐YOLOv4偵測行人、自行車、機車
   - 加添多樣天候及場域之訓練資料

3. **完成4案例之交通工程改善前、後分析**
   - 分析四案例含: (1)雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口、(2)桃園市桃園區三民路三段及永安路口、(3)台南市永康區中華路及勝華街口、及(4)新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口

4. **交通安全與行為分析**
   - 試做兩個分析: (1)分流式指向線效益評估、(2) 非號誌化路口資料收集

5. **研提人車流動空拍影像之交通應用情境**
   - 盤點現有技術 (交通無人機技術、AI影像技術、及國外使用空拍影像交通軟體)
   - 研提11項交通基本應用情境與4項進階應用情境。
   - 透過專家座談會與教育訓練，彙整產官學研各方意見。增加了1項交通基本應用情境、3項進階應用情境. 。

CONFIDENTIAL

研究成果– 107~109年計畫 軟體功能比較表

期別	107	108	109
計畫名稱	道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用	路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發	路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較
AI影像車流技術	以四輪車為主，採用Mask RCNN架構	採用複合式影像分析技術，包括YoloV3及Mask RCNN，可針對行人、自行車、機車、四輪車進行	(1)改善SCRDet的偵測效果 (2)引進YOLOv4 (3)全畫面影像分析 (4)進出口方向判定優化
衝突呈現功能	依據TTC/PET指標繪製衝突熱區	整合SSAM計算TTC/PET，具備完整衝突資訊； 可依嚴重程度繪製衝突熱點圖，並以密度分布圖或斑點圖呈現	(1)新增衝突熱點影片索引回放功能及衝突事件進階過濾功能 (2)優化衝突分類型態
交通量分析	無	路口車輛OD統計表	擴增OD表統計方式，並將行人數量獨立顯示
車流特性統計	統計十字路口平均車速與轉向資訊	可繪製十字路口平均車速及數量分布	(1)可選擇不同入口方向、不同車種，繪製平均車速 (2)新增路口轉向速度計算與統計 (3)繪製車種速率交岔分析表及車輛速度分布圖
車流軌跡繪製功能	影像分析軟體提供車流軌跡影片	影像分析軟體提供車流軌跡影片	提供使用者可選擇不同進入路口、行進方向及車種等條件進行車流軌跡繪製，利於了解路口車流表現。

7

CONFIDENTIAL

未來建議（1/2）

1. 無人機交通觀測技術

- 評估具備雨天飛行能力之無人機影像蒐集方法。
- 研究多架無人機組合飛行之可行性。
- 評估無人機進行長時間連續4K影像蒐集之方法。

2. AI影像處理技術:

- 大小車輛偵測，統一透過單一偵測架構來完成(例如YOLOv4)。
- 開發基於GPU的影片穩定化軟體，以因應大量影片下的處理效率問題。

68

CONFIDENTIAL

未來建議（2/2）

3. 交通衝突分析技術

- 資料蒐集
  - 進行長期的資料蒐集及累積，進行安全與效率兩大面向的相關資料之分析。

- 軟體功能
  - 可強化動線與速度的結果輸出及應用探討。
  - 可觀察不同轉向及車種之車流動線，運用於微觀車流模擬的建模。
  - 根據人車流動空拍影像之交通應用情境，開發新功能。

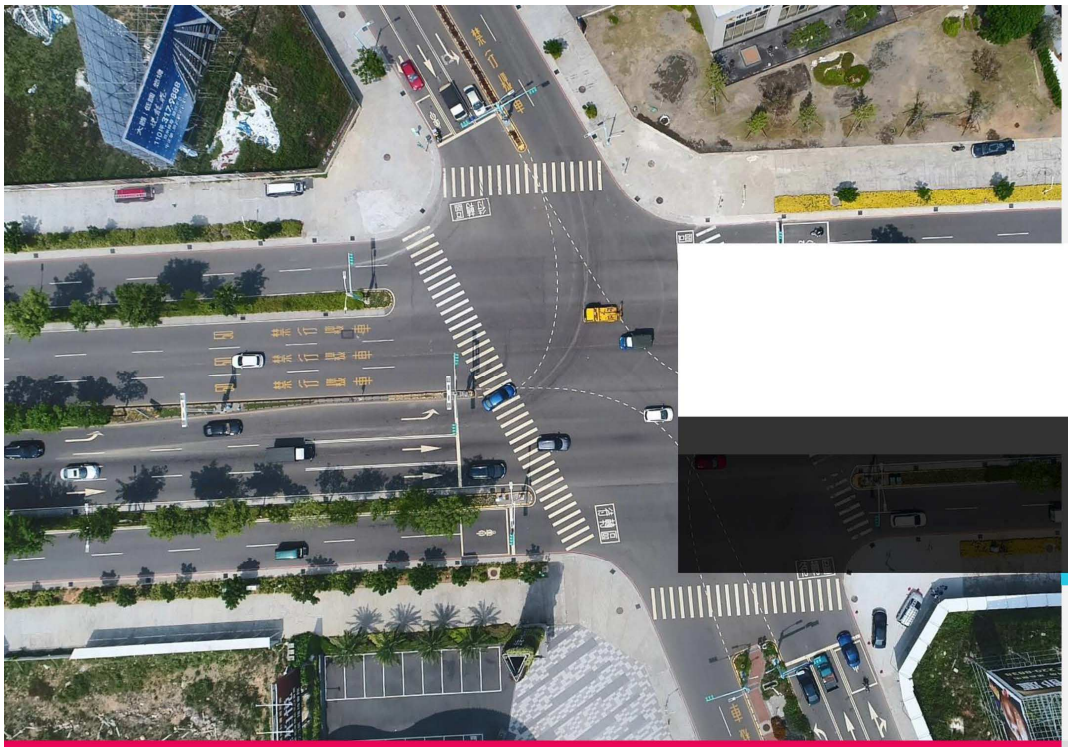
- 衝突分析方法
  - 可考量國內的交通情況，精進交通衝突分析的方法，或發展本土化的衝突指標。
  - 交通衝突與肇事並非相等，因此分析過程中有發現部分的交通衝突結果無法直接對應「各肇事型態的交通工程改善設計範例」的改善方案，建議未來再進一步探討。

- 推廣應用
  - 與地方政府或顧問公司合作，進行案例分析及討論。

CONFIDENTIAL



Q & A



附錄

71

教育訓練意見整理

單位	意見
道勤工程顧問有限公司	1.希望可以提供軟體試用版本 2. 若同路口，不同時段之分析，是否可以整合呈現? 3. 本計畫主要針對路口，是否也可應用於路段壅塞或事故分析? 4. 期望本軟體亦可應用於交維佈設之改善
連江縣警察局	1. 車流軌跡是否可能有個體辨視能力(ID)，以資監理或保險公司可審核，彌補駕照考試過於弱智之問題? 2. 視距建構是否已精確正規化?可資現場圖不需額外量測與拍照? 3. 無人機3D成像技術已趨成熟否?減少肇因研判錯誤之問題 4. 潛在衝突指數是否能真實反映易肇事路口?亦或單純只是理論? 5. 謝謝訊力願意為交通安全提供服務，若能有更長期之研究並結合事故率，將可更有效改善台灣交通困境，讓技術不只能分析，進一步能提出方案與模擬(包含駕駛行為之預測)，維護國人之安全
鼎漢	1. 車流量越大，代表衝突一定越大，且影像辨識非常注重影像品質，因此夜間昏峰的安全性評估於未來要如何克服夜間問題?
鼎漢	1. 分流式指向線若未正確劃設，效果也有限，建議在成效分析時放入事前分析(Before)能更清楚改善效果 2. 車輛近路口本就會分流，想了解的是效果如何 3. 另軌跡分析中，紅燈機車在車陣中鑽行現象或許可考慮排除? 4. 大方向很好
台中市政府交通局	1. 對於車輛軌跡熱點顯像分析部分，可以分析完主動轉向，配合替代道路，提早分流。 2. 道路斷面設計時，機車行駛路權是否可以獨立分析解讀 3. 車流分析可否能做為車輛進入路口前約 視距與速差分析(考量駕駛人的視覺感與反應時間)，提升駕駛人對於進入路口應當減速，轉彎預作準備變換車道等
台北市交通管制工程處	1.本處有數處CCTV放置於高樓向下俯視，分析是需要多少畫質和FPS才能完成，或是高度限制等
新竹市政府交通處	1.相關無人機操作，執行預算概估?交通部是否有相關操作人員考證列管?執行廠商或機關皆須有操作證? 2. 無人機資產是租用或執行機關自行添購?地方政府因受限財源短絀易打退堂鼓 3. 執行範圍受限標準是否授權地方政府制定(因地制宜)?因受限於禁止夜間操作，因交通流量收集尖峰時間還包括下班時間。 4. 新議題: 類行人統計，例如賽格威，電動輔助代步車族群
嘉義市政府	1. 此套系統建置的費用及無人機每次飛行費用? 2. 易肇事路口改善評估所需時間? 3. 無人機技術是否能運用於夜間? 4. 無人機所能拍攝之區域有多大?及其是否有限制條件?