

109-095-3486
MOTC-IOT-108-SEB006

路口無人機交通攝影及衝突分析 技術開發

著者：溫基信、王宏生、黃家耀、蘇志文、周業凱、楊植竣、
張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正

交通部運輸研究所

中華民國 109 年 7 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發

/溫基信等著.-- 初版.-- 臺北市

交通部運研所, 民 109.7

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-157-5 (平裝)

1.交通安全、2.交通流量、3.交通事故

557

109008759

路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發

著 者：溫基信、王宏生、黃家耀、蘇志文、周業凱、楊植竣、
張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正

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 109 年 7 月

印 刷 者：長達印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 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)23496880

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號·電話：(02)25180207

五南文化廣場：400002 臺中市中山路 6 號·電話：(04)22260330

GPN：1010900885

ISBN：978-986-531-157-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-531-157-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1010900885	運輸研究所出版品編號 109-095-3486	計畫編號 108-SEB006
本所主辦單位：運輸安全組 主管：張開國 計畫主持人：張開國 研究人員：葉祖宏、孔垂昌、黃明正 聯絡電話：(02)23496860 傳真號碼：(02)25450429	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、蘇志文 地址：新北市中和區中正路 738 號 13 樓之 5 聯絡電話：(02)82262008 ext. 1261 傳真號碼：(02)81924158	研究期間 自 108 年 2 月 至 108 年 12 月	
關鍵詞：無人機、深度學習、車流軌跡、衝突熱區(TTC、PET)			
<p>摘要：</p> <p>為能有效率掌握高事故風險地點特性，本研究運用交通衝突分析技術，並結合無人機空中拍攝、影像分析等新興技術，自動化找出人車流衝突事件及熱區，建立高交通事故風險地點的診斷分析工具。分析結果可供交通管理單位與道路設計者，評估交叉路口衝突或風險，俾能在交通事故發生前診斷出交通衝突問題，並做為研擬預防性交通改善之參考資訊，降低交通事故發生數及嚴重性。</p> <p>本研究延續 106 年「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」(以下簡稱前期研究)之成果，針對軟體架構及分析方法進行精進，重點有兩部分。第一部分透過無人機酬載高解析數位相機，拍攝高事故風險地點人車流動影像，透過影像分析技術，計算車流軌跡資訊包括車輛位置、車種、車流量、車速等，並針對大型車的取樣樣本不足、機車的追蹤容易受到地面標線的干擾；以及行人與自行車的辨識受限於影像畫素與特徵不足等問題進行改進，改善前期研究之瓶頸與課題，精進車輛辨識與追蹤工作，以提升精確度。第二部分是考量國內的混合車流情況，規劃分析軟體的具體功能樣貌，運用車輛軌跡資料計算交通衝突事件，並製作衝突熱區分析功能，後續可交由交通工程人員依分析結果的衝突型態與區位，找出對應的交通工程手段進行改善，提升交通安全。影像分析所得之車流軌跡，再產生不同車種的車流速度及轉向交通量等車流特性，可供交通分析或號誌時制設計之用。</p> <p>本研究建立無人機交通攝影技術與工具，蒐集與辨識交通資訊及車流路徑資料，供後續交通管理與安全分析之用，並開發自動化之道路交通安全診斷技術，減輕易肇事路段改善之肇因分析工作負擔，以協助交通管理單位與道路設計人員做為預防性交通安全改善之參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
109 年 7 月	326	500	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Development of Traffic Collision Analysis Technology using UAV Aerial Videography at Intersections			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-157-5 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010900885	IOT SERIAL NUMBER 109-095-3486	PROJECT NUMBER 108-SEB006
DIVISION: Safety Division PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kai-Kuo Chang PROJECT STAFF: Tsu-Hurng Yeh; Shu-Te Lin; Chui-Chang Kung PHONE: 886-2-23496860 FAX: 886-2-25450429			PROJECT PERIOD FROM February 2019 TO December 2019
RESEARCH AGENCY: C-LINK Technology Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chi-Sin Wen PROJECT STAFF: Hong-Sheng Wang, Ka-Io Wong, 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: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), In-depth Learning, Vehicle Flow Trajectory, Collision Hot Zone (Time to Collision (TTC), Position Encroachment Time (PET)			
<p>ABSTRACT:</p> <p>In order to effectively control the characteristics of locations with high accident risk, this Study uses Traffic Collision Analysis Technology, combined with emerging technologies of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) aerial photography and image analysis to automatically identify pedestrian and vehicle collision accidents and hot zones to establish diagnostic analysis tools for high traffic accident risk locations. The analysis results can be used by the Traffic Administration Agencies and Road Designers to evaluate the collisions or risks at the intersections in order to diagnose traffic collision problem before the traffic accidents occur, and serve as the reference information for the development of preventive traffic improvements to reduce the number of traffic accidents and severity.</p> <p>This Study continues the results of "Development and Application of Road Traffic Flow and Accident Risk Detection Analysis Tools" (hereinafter referred to as the Previous Study) conducted in 2017, aiming at the improvement of software architecture and analysis methods focusing on two tasks. The first task uses the UAV loaded high-resolution digital camera to capture the images of pedestrians and vehicles flow at selected intersections with high accident risk locations, and uses the computer image analysis technology to compute the vehicle flow trajectory information including the vehicle location, vehicle type, traffic volume and vehicle speed, and improve the problems of insufficient sampling for large vehicles, tracking of motorcycle easy to be interfered by the ground markings; as well as the identification of pedestrian and bicycle limited by image pixels and insufficient feature extractions, improve the bottlenecks and issues in previous Study, and improve vehicle identification and tracking works, to improve the accuracy of the vehicle trajectory. The second task is to take the domestic mixed traffic situation into consideration, to plan and analyze the specific functional appearance of the software, uses the vehicle trajectory data to compute the traffic collision accidents, and produces collision hot zone analysis functions, to subsequently deliver to the Traffic Engineers to derive corresponding traffic engineering measures for improvement according to the analysis results of collision type and location, to improve the traffic safety. The traffic flow trajectories obtained from the image analysis can be used to generate traffic flow characteristics of traffic flow speed and turning traffic volume of different types of vehicles, which can be used for traffic analysis or traffic signal system design.</p> <p>This Study establishes Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Traffic Videography technology and tools to collect and identify traffic information and traffic flow route data for subsequent traffic management and safety analysis, and develops automated road traffic safety diagnostic technology to mitigate the cause analysis workload of improving the road section easy to cause accident, to assist the Traffic Administration Agencies and Road Designers as the reference for preventive traffic safety improvements.</p>			
DATE OF PUBLICATION July 2020	NUMBER OF PAGES 326	PRICE 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 研究背景	1
1.2 研究範圍與對象	1
1.3 研究內容	2
1.4 研究流程	2
第二章 文獻回顧	5
2.1 國內外無人機法規.....	5
2.1.1 歐盟	6
2.1.2 美國	8
2.1.3 中國大陸	9
2.1.4 日本	11
2.1.5 我國無人機法規及趨勢	14
2.2 無人機應用於交通領域案例	19
2.2.1 美國	19
2.2.2 中國大陸	20
2.2.3 我國	22
2.3 影像分析技術應用	23
2.3.1 基於卷積神經網路之物件偵測技術	23

2.3.2	物件追蹤技術	27
2.4	交通衝突分析技術.....	30
2.4.1	衝突之定義	30
2.4.2	交通衝突理論之發展.....	30
2.4.3	交通衝突型態	31
2.4.4	交通衝突指標	35
2.4.5	交通衝突分析工具.....	39
第三章 無人機交通觀測方法.....		45
3.1	作業流程及無人機適用機型說明	45
3.1.1	無人機作業流程說明.....	45
3.1.2	無人機適用機型說明.....	47
3.2	無人機作業可行性評估	52
3.2.1	評估空拍地點	52
3.2.2	評估無人機性能	54
3.2.3	評估環境條件	55
3.3	限高場域申請	59
3.3.1	遙控無人機管理規則實施前.....	59
3.3.2	遙控無人機管理規則實施後.....	62
3.3.3	臺北飛航情報區 & 有效飛航公報.....	64
3.4	長大型路口方案規劃.....	67

3.5	號誌時相與影片對時做法規劃	68
第四章 空拍影像資料蒐集		75
4.1	訓練資料場地篩選與實拍	75
4.1.1	地點評估	75
4.1.2	空拍記錄	76
4.2	驗證資料場地篩選與實拍	81
4.2.1	地點評估	81
4.2.2	空拍記錄	82
4.3	小物件訓練資料標註	86
4.3.1	標註程式	87
4.3.2	標註操作標準	89
4.3.3	標註數量及工時	91
第五章 影像處理		93
5.1	影片前處理	93
5.2	四輪車輛偵測與追蹤	97
5.3	行人與兩輪小型車輛偵測與追蹤	99
5.4	軌跡資料格式	104
5.5	實驗分析	106
5.5.1	實驗相關資料	106
5.5.2	四輪車輛偵測追蹤結果	108

5.5.3	行人、自行車、機車追蹤偵測結果	113
5.5.4	實驗結論	115
第六章 建立交通衝突分析軟體.....		117
6.1	分析軟體功能與架構.....	117
6.1.1	分析軟體功能模組介紹	118
6.1.2	衝突計算方式	120
6.1.3	軟體使用流程及介面說明	121
6.1.4	分析軟體輸出型式說明	137
6.2	衝突分析軟體運算特性	145
6.2.1	車輛種類在衝突分析的影響	145
6.2.2	內輪差分析	147
6.2.3	可節省交通量調查所需人力與時間之效益	150
6.3	交通路口衝突分析結果	151
6.3.1	案例一：新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口 ..	152
6.3.2	案例二：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口	157
6.3.3	案例三：台南市永康區中華路及勝華街路口	163
6.3.4	案例四：高雄市三民區民族一路及十全一路路口	168
6.3.5	案例五：高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口	179
第七章 結論與建議		189
7.1	結論	189

7.1.1	無人機交通觀測方法.....	189
7.1.2	影像處理技術	194
7.1.3	分析軟體	194
7.2	建議	196
7.2.1	無人機交通觀測方法.....	196
7.2.2	影像處理技術	197
7.2.3	分析軟體	198
	參考文獻	201
	附錄 A. 分析軟體使用手冊	209
	附錄 B. 期中報告審查意見處理情形表.....	231
	附錄 C. 期末報告審查意見處理情形表.....	245
	附錄 D. 期末報告審查簡報	263

圖目錄

圖 1.4-1 本研究流程圖.....	3
圖 2.1-1 遙控無人機飛行之禁止空域.....	12
圖 2.1-2 不適用遙控無人機飛行方法之情況.....	14
圖 2.1-3 我國法規施行日期.....	15
圖 2.1-4 民用航空法遙控無人機專章修法過程(104~105 年).....	16
圖 2.1-5 民用航空法遙控無人機專章修法過程(105~107 年).....	16
圖 2.1-6 民用航空法遙控無人機專章法規架構.....	17
圖 2.1-7 遙控無人機管理規則（草案）法規架構.....	17
圖 2.2-1 臺科大研發軟體進行車禍空拍處理作業示意圖	22
圖 2.3-1 REDMON 等人提出的 ONE-STAGE 物件偵測方法.....	24
圖 2.3-2 REDMON 等人提出 DARKNET 的 19 層網路架構 DARKNET-19.....	25
圖 2.3-3 REDMON 等人提出 DARKNET 的 53 層網路架構 DARKNET-53.....	26
圖 2.3-4 DARKNET-53 與其他骨幹架構的第一準確率、前五準確率、計算 量、計算速度、影格數等比較.....	26
圖 2.3-5 卡曼濾波器遞迴示意圖.....	28
圖 2.4-1 安全階層金字塔圖.....	31
圖 2.4-2 交叉路口交通衝突分析圖	32
圖 2.4-3 四種交通衝突型態圖.....	33
圖 2.4-4 TTC 計算公式及示意圖 (A) 90 度直角碰撞、(B) 追撞、(C) 對撞	36
圖 2.4-5 兩車相同角度下的可能碰撞類別圖	37
圖 2.4-6 PET 計算公式及示意圖.....	37
圖 2.4-7 兩車同時出現於共同區域內但不產生碰撞之情況圖.....	38

圖 2.4-8 SSAM 交通衝突指標之計算定義.....	40
圖 2.4-9 SSAM 交通衝突類型與衝突角度.....	41
圖 2.4-10 SSAM 驗證報告之衝突數與交通事故數之關係.....	42
圖 3.1-1 無人機交通觀測作業流程.....	45
圖 3.1-2 長效無人機示意圖.....	49
圖 3.1-3 工研院中興院區 9 館路口及 51 館露台，測試長效無人機.....	49
圖 3.1-4 繫留多旋翼無人機示意圖.....	50
圖 3.1-5 工研院中興院區 9 館路口，測試繫留多旋翼無人機.....	51
圖 3.1-6 DJI PHANTOM 4 PRO 樣貌.....	52
圖 3.2-1 鐵路危險區域圖.....	53
圖 3.2-2 機場禁限航區危險區域圖.....	54
圖 3.2-3 中央氣象局天氣 10 日報參考圖.....	57
圖 3.2-4 中央氣象局鄉鎮預報圖.....	58
圖 3.2-5 WINDY 天氣預報整合網站圖.....	58
圖 3.3-1 限高場域申請流程.....	59
圖 3.3-2 機場四周禁止施放有礙飛航安全物體距離範圍示意圖.....	60
圖 3.3-3 限高申請文件示意圖.....	61
圖 3.3-4 政府機關(構)、學校或法人活動計畫書.....	63
圖 3.3-5 政府機關(構)、學校或法人作業手冊.....	64
圖 3.3-6 臺北飛航情報區.....	65
圖 3.3-7 臺北飛航情報區航路圖.....	66
圖 3.5-1 無人機影像蒐集時進行時間記錄.....	69
圖 3.5-2 號誌時相與影片對時示意圖.....	69

圖 3.5-3 雲林縣斗六市路口側錄畫面	70
圖 3.5-4 雲林縣斗六市路口綠燈開始畫面	71
圖 3.5-5 號誌時相與影片對時作業流程	72
圖 3.5-6 號誌時相與影片對時錄影箱，設備升級現場照片	72
圖 3.5-7 影片對時人工時相 - 台南市永康區中華路 & 勝華街	73
圖 3.5-8 台南市交通局永康區中華路 & 勝華街時制計畫	74
圖 4.1-1 DJI P4P_9 館路口	77
圖 4.1-2 X4 AIR 搭配 GOPRO HERO4_9 館路口	77
圖 4.1-3 聯結車	78
圖 4.1-4 貨卡車	78
圖 4.1-5 自行車、行人	79
圖 4.1-6 中午時間自行車、行人	79
圖 4.1-7 下班時間綜合客車、轎車、機車、自行車、行人	80
圖 4.1-8 行人	80
圖 4.2-1 中油台大站旁停車場、第 2 趟 1 分 09 秒畫面	82
圖 4.2-2 中油台大站旁停車場、第 4 趟 0 分 03 秒畫面	83
圖 4.2-3 雲林客運斗六停車場、第 2 趟 0 分 21 秒畫面	83
圖 4.2-4 雲林客運斗六停車場、第 4 趟 1 分 27 秒畫面，路口改善後 ...	84
圖 4.2-5 中華廣場夜市停車場、第 1 趟 0 分 41 秒畫面	84
圖 4.2-6 高雄市果菜批發市場停車場、第 1 趟 1 分 26 秒畫面	85
圖 4.2-7 明誠公園旁人行道、第 1 趟 1 分 21 秒畫面	85
圖 4.3-1 標註前後影像圖	86
圖 4.3-2 標註軟體圖	87

圖 4.3-3 標註物件參數定義圖	88
圖 4.3-4 標註檔 TXT 圖.....	90
圖 5.1-1 影像對齊法之流程示意圖	94
圖 5.1-2 空拍影像對齊示意圖	95
圖 5.1-3 前處理完之影片長寬範圍示意圖	96
圖 5.2-1 利用 FASTER R-CNN 進行車輛偵測與分類結果.....	97
圖 5.2-2 四輪車輛偵測結果.....	98
圖 5.2-3 聯結車的車頭與貨櫃車體為各自獨立標註.....	99
圖 5.3-1 YOLOv3 偵測行人與自行車、機車.....	100
圖 5.3-2 透過小物件之前後中心位置決定小物件範圍	102
圖 5.3-3 透過小物件之前後中心位置決定小物件範圍	103
圖 5.4-1 軌跡資料示意圖.....	105
圖 5.5-1 實驗驗證用之四個路口樣態; 左上、右上、左下、右下分別為 A、B、C、D 路口	108
圖 5.5-2 單一聯結車頭偵測結果之差異	111
圖 5.5-3 誤分、失真、誤偵和查準率、查權率之關係.....	112
圖 6.1-1 分析軟體架構圖.....	118
圖 6.1-2 交通衝突分析軟體功能模組圖	119
圖 6.1-3 影像車流軌跡轉換至 SSAM 輸入格式流程說明	120
圖 6.1-4 衝突分析軟體使用流程圖	122
圖 6.1-5 車流軌跡資訊說明.....	123
圖 6.1-6 進出口方向定義.....	123
圖 6.1-7 新增專案頁面圖.....	124

圖 6.1-8 專案分析頁面圖.....	125
圖 6.1-9 專案開始分析顯示 LOADING.....	125
圖 6.1-10 衝突事件表專案選取.....	126
圖 6.1-11 衝突型態對應圖.....	127
圖 6.1-12 勾選篩選條件並進行篩選.....	127
圖 6.1-13 衝突分析篩選結果.....	128
圖 6.1-14 匯出分析結果.....	128
圖 6.1-15 衝突事件匯出 CSV 檔案內容截圖.....	129
圖 6.1-16 統計摘要圖表.....	130
圖 6.1-17 車流特性圖.....	131
圖 6.1-18 衝突熱點圖篩選條件.....	132
圖 6.1-19 TTC 衝突熱點之密度分布及斑點圖.....	133
圖 6.1-20 號誌設定頁面.....	134
圖 6.1-21 路口及號誌編號圖.....	134
圖 6.1-22 號誌時相輸入頁面.....	135
圖 6.1-23 號誌同步影片展示頁面.....	136
圖 6.1-24 號誌同步影片開始播放.....	137
圖 6.1-25 以表格型式輸出分析結果.....	138
圖 6.1-26 衝突角度示意圖.....	139
圖 6.1-27 交通衝突形態及類別.....	140
圖 6.1-28 路口衝突事件統計摘要.....	142
圖 6.1-29 車流特性-路口車速分布圖及轉向交通量.....	142
圖 6.1-30 TTC 衝突熱點圖.....	143

圖 6.2-1 衝突計算依據測試方法	146
圖 6.2-2 公車轉向內輪差軌跡圖	147
圖 6.2-3 虛擬機車位置示意圖	148
圖 6.2-4 測試案例一之軌跡重疊	149
圖 6.2-5 測試案例二之軌跡重疊	150
圖 6.3-1 交通衝突分析軟體專案	151
圖 6.3-2 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口空拍圖	152
圖 6.3-3 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口分析統計摘要	153
圖 6.3-4 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之車速與數量分布圖	153
圖 6.3-5 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口 TTC/PET 衝突熱點圖	154
圖 6.3-6 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之影片展示	155
圖 6.3-7 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之衝突問題評析 ...	156
圖 6.3-8 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口空拍圖	157
圖 6.3-9 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口分析統計摘要	158
圖 6.3-10 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口之車速與數量分布圖	158
圖 6.3-11 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口 TTC/PET 衝突熱點圖	160
圖 6.3-12 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後拍攝畫 面	160
圖 6.3-13 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後之車流	

特性	161
圖 6.3-14 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後之衝突熱點圖	161
圖 6.3-15 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後之衝突熱點集中圖.....	162
圖 6.3-16 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口號誌時相調整建議.	162
圖 6.3-17 台南市永康區中華路及勝華街路口空拍圖.....	163
圖 6.3-18 台南市永康區中華路及勝華街路口分析統計摘要	164
圖 6.3-19 台南市永康區中華路及勝華街路口之車速與數量分布圖.....	164
圖 6.3-20 台南市永康區中華路及勝華街路口 TTC/PET 衝突熱點圖	166
圖 6.3-21 台南市永康區中華路及勝華街路口之影片展示	166
圖 6.3-22 台南市永康區中華路及勝華街路口之衝突問題評析	167
圖 6.3-23 高雄市三民區民族一路及十全一路路口空拍圖	168
圖 6.3-24 高雄市三民區民族一路及十全一路路口分析統計摘要	170
圖 6.3-25 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之車速與數量分布圖	171
圖 6.3-26 高雄市三民區民族一路及十全一路路口 TTC/PET 衝突熱點圖	175
圖 6.3-27 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之影片展示	175
圖 6.3-28 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之車流回堵問題.....	176
圖 6.3-29 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之機車相關衝突分析	177
圖 6.3-30 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之小型車相關衝突分析	

.....	178
圖 6.3-31 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之行人相關衝突分析	
.....	178
圖 6.3-32 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口示意圖	179
圖 6.3-33 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口分析統計摘要	181
圖 6.3-34 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口之車速與數量分布圖 .	182
圖 6.3-35 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口 TTC/PET 衝突熱點圖 .	186
圖 6.3-36 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口展示影片	187
圖 6.3-37 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口衝突熱點圖（同向衝突）	
.....	188
圖 6.3-38 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口衝突熱點圖（行人相關衝突）	188
圖 7.1-1 空域各點框線編號依照順序.....	190

表 目 錄

表 2.1-1 各國無人機法規之進展	5
表 2.1-2 各國無人機法規比較	5
表 2.1-3 我國目前法規	14
表 2.2-1 NASA 無人機放飛環境，技術效能等級	20
表 2.4-1 交通衝突類型與衝突類別	34
表 3.1-1 最佳拍攝影像設定表	46
表 3.1-2 無人機型式規格及實測結果比較	47
表 3.2-1 UAS/RPAS 名稱及其性能	55
表 3.2-2 蒲福風級對照表	56
表 3.3-1 有效之航空公報 (AIC)	66
表 3.4-1 長大型路口方案	67
表 4.1-1 訓練資料場地飛行評估總表	75
表 4.1-2 訓練資料場地空拍記錄	76
表 4.2-1 驗證資料場地飛行評估總表	81
表 4.3-1 功能對照之快捷鍵	89
表 4.3-2 版本更新	89
表 4.3-3 標註地點與數量表	91
表 5.4-1 軌跡紀錄表範例	105
表 5.5-1 四部實驗影片路口經過車輛數	107
表 5.5-2 針對 A、B、C、D 四個路口偵測追蹤四輪車輛之混淆矩陣 ..	110
表 5.5-3 預測對象與實際結果之排列組合情況	112
表 5.5-4 四輪車輛整體查準率與查全率表現	113

表 5.5-5 針對 A、B、C、D 四個路口偵測追蹤行人、自行車與機車之混淆矩陣.....	114
表 5.5-6 行人、自行車、機車整體查準率與查全率表現.....	115
表 6.1-1 交通衝突分析軟體的輸出項目及資料來源.....	144
表 6.2-1 不同車寬的衝突數比較.....	146
表 6.2-2 案例一衝突.....	149
表 6.3-1 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口分析表.....	152
表 6.3-2 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之起終點矩陣.....	154
表 6.3-3 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口衝突事件分析表.....	157
表 6.3-4 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口之起終點矩陣.....	159
表 6.3-5 台南市永康區中華路及勝華街路口衝突事件分析表.....	163
表 6.3-6 台南市永康區中華路及勝華街路口之起終點矩陣.....	165
表 6.3-7 高雄市三民區民族一路及十全一路路口衝突事件分析表.....	169
表 6.3-8 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之起終點矩陣.....	172
表 6.3-9 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口衝突事件分析表.....	180
表 6.3-10 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口之起終點矩陣.....	183
表 7.1-1 無人機管理整理列表.....	189
表 7.1-2 無人機現場拍攝重點列表.....	191
表 7.1-3 號誌時相與影片對時作業重點列表.....	193
表 7.1-4 107 與 108 年交通衝突分析軟體功能比較表.....	195

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著都市人口的愈加密集化，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。依據交通部 108 年頒訂「混合車流路口道路與交通工程設計範例(2/4)」中統計 106 年交通事故資料顯示，在肇事地點方面，以交叉路口內及附近合計的比例最高，接近 50%^[1]；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 發生集中於交叉路口範圍內，在澳洲則分別為 43%及 11%^[2]。

本研究透過無人機蒐集高事故風險地點交叉路口之人車流動空拍影像，使用影像分析技術應用於偵測、辨識、及追蹤等方法，找出人車流衝突熱區，並精進 106 年辦理之「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」研究中，大型車的取樣樣本不足，機車的追蹤容易受到地面標線的干擾，以及行人與自行車的辨識受限於影像畫素與特徵不足等問題。本期計畫使用當前影像辨識技術，與前後物件之追蹤軌跡技術，改善前期研究之瓶頸與課題，精進車輛辨識與追蹤工作，以提升精確度。前期研究中，分析平台已初步包含基本交通資訊蒐集、以及碰撞時間(Time to collision ,TTC)/後侵占時間(Post encroachment time ,PET)的分析功能，本研究依據前期開發成果基礎上，精進大型車、機車、行人及自行車的影像分析，並擴大軟體的架構與功能於交通衝突分析，計算交通衝突事件，根據使用者設定之參數輸出分析結果，並提供圖形化之成果展示。

1.2 研究範圍與對象

106 年辦理之「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」研究已完成無人機攝影路口交通狀況的嘗試，也初步實證影像辨識技術用於無人機攝影影像的車輛辨識、追蹤與分類之可行性，同時建立路口車流分析軟體進行基本交通資訊與衝突指標的分析。本研究選定五個交通事故數較多之交叉路口為對象進行分析，進一步充實無人機交通觀測技術、車輛影像辨識與追蹤、交通衝

突分析等功能。

1.3 研究內容

本計畫以都會區交通環境為背景，進行十字路口影像分析與調查，鑒於一般路口監視攝影機之拍攝角度易造成不同車輛大小、方向、形狀之差異，且易有車輛影像遮蔽之問題，故本計畫採用無人機進行路口影像拍攝，以正攝角度進行十字路口影像搜集，有效解決死角或遮蔽問題。

前期計畫已導入無人機進行路口影像拍攝及開發一套影像車流軌跡分析軟體，雖可初步排除攝影機角度及遮蔽問題，並可將空拍影像進行影像晃動校正、車輛偵測、車輛追蹤，對應產出相關之車流影像軌跡，並依據分析結果繪製車流軌跡動畫，並計算 TTC 及 PET 交通衝突事件指標，提供交通分析及改善參考。然因路口空拍影像涵蓋範圍較大，無人機至少需飛行至 75 公尺以上高度，其拍攝之影像存在行人與自行車影像畫素較小，以及部分車種取樣數量不足等情形，故本期增加大型車取樣數，並提出行人、自行車、機車等小型車偵測追蹤改善方案，以利完善車流影像分析之結構，並整合美國聯邦公路局開發之 SSAM(Surrogate Safety Assessment Model)衝突分析模組，確保 TTC/PET 等衝突指標計算結果之可靠性。此外，為了解號誌對於交通路口衝突之影響，本期加入號誌同步對時紀錄，並於衝突分析軟體中提供號誌影像同步功能，以利進一步分析相關議題。

1.4 研究流程

本研究主要採用無人機進行路口空拍影像資料搜集、車流影像深度學習訓練及分析處理，並建立一套交通衝突分析軟體，提供完整的交通路口數據整理與分析工具，研究流程主要分為三大部分，如圖 1.4-1 所示：

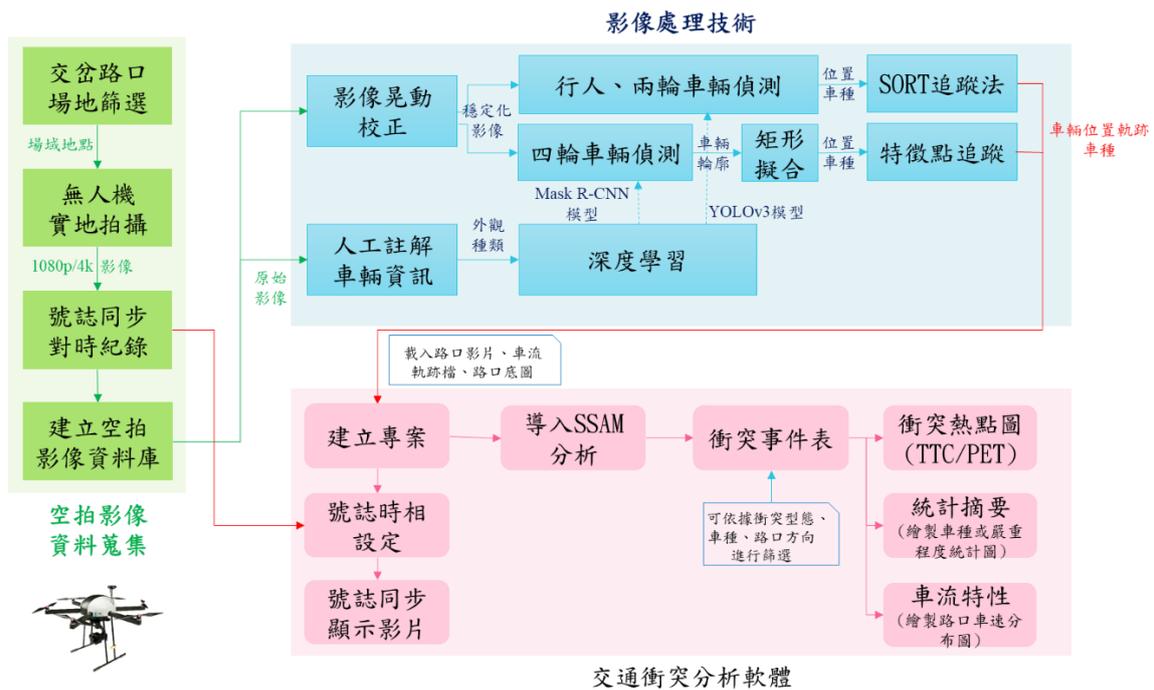


圖 1.4-1 本研究流程圖

1. 空拍影像資料蒐集：

本研究選定具代表性及參考性之高事故風險地點，蒐集大量 2.7K/4K 高解析空拍影像，作為系統開發與測試所需之影像資料庫。並針對路口號誌與空拍影像對時方案進行規劃設計，同步紀錄空拍影像與路口號誌變化，以利分析軟體產生對應之號誌同步顯示影片。

2. 影像處理技術：

將取得原始之空拍影像透過一連串之影像處理技術，從影像中取出計算交通衝突所需之基本參數，如車輛位置、軌跡及車種速度等交通資訊。要對一部原始空拍影像抽取出上述交通資訊，首先須透過影像處理減少影像拍攝時的晃動問題，再由車輛偵測方法取出單張影像上的所有車輛位置，並透過影像上的特徵點追蹤同一部車輛在時間上的連續位置(亦即車輛軌跡)；本期將車輛影像區分為四輪車輛及行人、兩輪車輛兩大類，並採用不同之深度學習模型進行偵測及追蹤。除此之外，在空拍影像資料庫中，事先蒐集之大量影像，則會透過人工註解影像中的車輛位置，取出外觀特徵與車種資訊，並結合深度學習產生車輛分類器，依此分類器對影像中之車輛進行分類，辨識車種，並同時偵測車輛位置。

3. 交通衝突分析軟體：

經由影像處理技術得到路口車流影像分析軌跡，進行交通衝突分析，本軟體整合 SSAM 分析模組，確保衝突指標計算結果。首先讀取車流軌跡分析軟體之路口影片、路口底圖及車流軌跡檔，軟體會自動將車流軌跡檔案轉換成 SSAM 格式，分析完成可得到完整衝突事件結果，本研究額外加入參數提供使用者進行過濾篩選，包括衝突型態、進出路口及車種等條件，以利找出確切欲分析之重點，本軟體可因應篩選結果繪製相關圖表，如依車種統計之衝突表、路口車速分布圖、號誌同步顯示影片及 TTC/PET 衝突熱點圖等，以利快速找出該路口易發生衝突區域，協助交通管理人員檢視各種交通工程設施。

第二章 文獻回顧

2.1 國內外無人機法規

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，以下將對國內、外法令規章進行初步的整理探討。

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	民用航空法「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，及本研究繪製

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 英尺 (152.40 公尺)	400 英尺 (121.92 公尺)	120 公尺 (393.70 英尺)	150 公尺 (492.13 英尺)	400 英尺 (121.92 公尺)

資料來源：本研究繪製

2.1.1 歐盟

歐洲航空安全局（The European Aviation Safety Agency，EASA）2018 年公布了一份對於無人機的法規正式建議報告「Opinion No 01/2018」，此案特別重視隱私、安全、資料、保險及責任承擔等相關議題。

這份報告主要規範產品製造與航空法例訂立，同時牽涉製造商與用家。在針對用家方面，日後歐盟將把無人機分為「開放」、「特殊」及「審定」三類。「開放」類意指重量由 250 克至 25 公斤，並以拍照及攝影作主要用途的無人機，日後放飛限高 120 公尺，並需在目視內飛行；「特殊」類無人機意指在人口密集處使用，或目視外飛行的無人機，是類無人機操作員在使用前需經評核，或擁有相關證書。「審定」類考慮其風險，需有無人機飛機系統認證（Unmanned aircraft system，UAS），飛手須具備遠距飛行證照，並搭配一個主管當局批准的操作員，以確保適當的安全等級。

根據擬議的新基本法規「歐盟法規 Regulation (EU) 2018/1139」，歐洲航空安全局理事會、歐盟委員會和歐洲議會於 2017 年 12 月 22 日達成政治協議，歐盟的權限已涵蓋所有民用無人機飛機系統的監管（Unmanned aircraft system，UAS）。在法規實施前由於無法可管，歐洲無人飛行器駕駛擁有極大的自由，但是所造成的相關問題，迫使歐盟不得不訂定新的法律來規範。

本法規的目的是建立一個新的監管框架，實施以運營為中心，確保 UAS 操作的高度統一和安全性，促進 UAS 市場的發展，有助於解決公民對安全、隱私、數據保護和環境保護的關注，定義了減輕以下行動風險的措施：

1. 開放類 OPEN（低風險）

- (1) 針對重量 25 公斤以下，可視範圍且離人與地面 150 公尺安全距離內飛行之無人機
- (2) 針對風險非常低的無人機運行類型。
- (3) 無論民用或商用皆無需通過航空監管部門的審理。
- (4) 無要求營運商飛行員的資質要求。
- (5) 該類別由警方監管。

2. 特殊類 SPECIFIC (中等風險)

- (1) 無人機的設備、零件及功能須各自取得認證通過，例如「偵測及閃避裝備」等。
- (2) 需通過對於設備和人員能力之限制來控制風險。
- (3) 該類別需由成員國民航局核准。

3. 審定類 CERTIFIED (高風險)

- (1) 類似於正常載人航空器運營的風險水平，將被歸類在審定類。
- (2) 該類別的要求與載人飛機適航管理相同。
- (3) 由成員國民航局（發照和維修、營運、訓練及飛航管理、飛航服務的認可）及和歐洲航空安全局共同監管。

擬議的法規將為成員國 (Member States, MSs) 提供靈活性，主要是允許它們在其領土內創建區域，例如禁止、限制或促進使用 UAS。根據新基本法規，市場產品法規標誌 (Conformité Européenne marking, CE) 確保符合在「開放」類別中運行的批量生產 UAS 的技術要求。依其定義，提出了兩項遵循不同採用程序的行為：1. 定義了市場上提供 UAS 的條件的授權行為和第三國運營商進行的 UAS 運行的條件，2. 以及實施規則定義了操作 UAS 的條件和註冊條件。擬議的監管框架預計將提高 UAS 運營的安全水平，協調歐盟成員國的立法，並創建一個降低 UAS 成本並允許跨境運營的歐盟市場。

EASA 的新穎之處在於這些新規則中產品和航空立法的結合。特別是檢驗與操作，小型無人機 (最大重量為 25 千克) 的設計要求將通過使用著名的 CE 標誌 (Conformité Européenne marking, CE) 來實現在歐洲上市的产品。所有歐洲無人機都將指定一個帶有 0 到 4 之間數字的 CE 標記，用於指定無人機的等級 (C0, C1, C2, C3, C4)。附帶的產品使用說明提供安全守則，包含每個等級如何安全駕駛無人機的“do's and don'ts”^{[4][5]}。

EASA 新基本法規正式通過之前，成員國應負責所有重量超過 150 公斤的無人機。在授權擴展之前，EASA 於 2018 年 2 月決定向歐盟委員會發布法規的提案 EASA Opinion No 01/2018。EASA 過去兩年一直致力於該條例草案，同時考慮到成員國所獲得的專業知識和國際舞台上的所有發展，例如在國際民用航空組織 (International Civil Aviation organisation, ICAO) 及無人機系統規則制定

的聯合機構（Joint Authorities for the Rulemaking of Unmanned Systems，JARUS）完成的工作；以及在為期四個月的公眾諮詢期間收到的來自私人公民，工業和運營商的數千條意見。擬議的法規將協調歐洲的運營法規，為無人機創造一個共同的歐盟市場。將允許每個人購買和操作無人機，確保：

1. 保險：使無人機遠離有人駕駛飛機，保護人員和關鍵和敏感的基礎設施；
2. 安全：將無人機與核反應堆，軍事基地或石油管道保持適當距離；
3. 私隱：通過與居民區的適當分離；
4. 環境：通過降低噪音水平。

「歐盟法規 Regulation (EU) 2018/1139」該規定於 2018 年 8 月 22 日被刊登在歐盟官方公報，並於 2018 年 9 月 11 日生效。法規本文：2018 年 7 月 4 日歐洲議會和歐洲航空安全局理事會，關於民用航空領域共同規則和建立歐盟航空安全局的法規 (EU) 2018/1139，以及修訂歐洲議會和理事會的法規 (EC) No 2111/2005, (EC) No 1008/2008, (EU) No 996/2010, (EU) No 376/2014，修訂指令 2014/30/EU 和 2014/53/EU，廢除歐洲議會和理事會的法規 (EC) No 552/2004 and (EC) No 216/2008，廢除理事會法規 (EEC) No 3922/91 與 EEA 相關的文本^[6]。保障和靈活性條款：法規 (EU) 2018/1139 為成員國提供了以下工具，以降低各國實施法規的困難，保障條款第 70 條、豁免條款 71(1), 71(2)、修改請求 71(3)、個人飛行時間規範方案 (Individual Flight Time Specification Schemes ,IFTSS) 的提案 76(7)^[7]。

2.1.2 美國

美國聯邦航空局 (Federal Aviation Administration, FAA) 於 2016 年 6 月 21 日通過商用小型無人機安全使用規範最終版，於 8 月 29 日開始執行，准許重量 25 公斤以下小型無人機從事農業、勘查、學術、研發、航拍或救援等用途。根據 FAA 公佈的新規範，主要如下：

1. 無人機連機載貨重量不得超過 55 磅(25 公斤)。
2. 只可在日出及日落前 30 分鐘飛行。
3. 無人機在操作員視線範圍內飛行，飛行高度在 400 英尺(約 122m)以下，飛行時速在 100 英里(約 161km/h) 以下。
4. 新規列明無人機不可在特定地區空域飛行，包括夏威夷、哥倫比亞特區

等。

5. 無人機操作人員，必須年滿 16 歲，並持有遙控飛行證書。
6. 營運商必須取得「無人飛行器營業執照」，執照的效期為 2 年。
7. 執照取得方式：必須通過 FAA 航空知識測驗或線上訓練課程以及美國運輸安全局（Transportation Security Administration ,TSA）審查等程序。

此法規對於亞馬遜（Amazon）、谷歌(Google)、沃爾瑪（Walmart）等計劃以無人機送貨的業者來說，仍然形成阻礙，原因在於 FAA 要求無人機飛行期間不得離開操作者視線範圍，還有無人機重量 25 公斤上限須包含機身、配備裝置及承載貨品重量，可說是相當不利於送貨服務。

2.1.3 中國大陸

中國大陸民航局於 2018 年 6 月 1 日正式實施「民用無人駕駛航空器經營性飛行活動管理辦法（暫行）」^[8]，規定 250 公克或以上無人機必須取得經營許可證，才可開展航空噴灑、航空拍攝、飛行表演等作業和無人駕駛員培訓的經營活動，載客、載貨類商用飛行活動則不適用。民航局將對經營許可證實施統一監督管理，並由民航地區管理局負責頒發許可證及監管管理。而且所有 250 克以上(含 250 克)的無人機都必須於中國民用航空局的無人機實名登記系統網頁進行實名註冊，並需將完成註冊後取得的二維碼黏貼至該無人機外殼上。

1. 取得無人機經營許可證必須符合以下條件：
 - (1) 從事經營活動的主體應當為企業法人，法定代表人為中國籍公民。
 - (2) 企業應至少擁有一架無人機，且以該企業名稱完成實名登記。
 - (3) 具有行業主管部門或經其授權機構認可的培訓能力。
 - (4) 投保無人機地面第三人責任險。
2. 申請人可通過「民用無人駕駛航空器經營許可證管理系統」線上申請有關經營許可證，填報合法、有效的真實訊息，包含：
 - (1) 企業法人基本信息。
 - (2) 無人機實名登記號。
 - (3) 駕駛員培訓機構認證編號。

- (4) 投保地面第三人責任險承諾。
- (5) 企業擬開展的無人駕駛航空器經營項目。

民航地區管理局在確認申請的二十日內決定是否批出電子經營許可證，被拒絕的個案可在線查詢原因。即使申請成功，許可證持有人應持續符合獲批核的條件，並遵守法律和無人駕駛航空器管理有關規定，包括在許可證列明的經營範圍內開展經營活動，否則可被撤銷資格。飛行活動結束後，許可證持有人需於 72 小時內，通過系統報送相關作業信息。

另外，對於無人機的操作範圍限制，操作 1.5~7 公斤的無人機飛行(4 公斤以上的無人機飛航時需另設定飛行範圍的電子圍籬)，離操作者距離需小於 500 公尺，飛行高度不可超過 120 公尺。禁止於夜晚操作無人機，也禁止進入機場或軍事管制區之 5 千公尺內，其它對於劃定的禁航區也不可飛行無人機。

而對於無人機的操作人員也制定了「民用無人機駕駛員管理規定」，主要內容簡述如下：

1. 駕駛員等級：a.視距內等級；b.超視距等級；c.教員等級
2. 駕駛員執照期限:駕駛員執照有效期限為兩年，持有人應在執照期限前三個月內向局方申請重發執照；若執照過期，駕駛員需重新通過相應的理論及實踐考試，方可申請重發執照。
3. 免飛行執照範圍: 無人機起飛重量 7 公斤或以下、室內飛行及在非人口稠密區試驗的無人機毋須執照，其餘無人機的駕駛員需取得由官方統一發出之相應執照。(若進行超視距飛行則需持照)
4. 類別等級: a.固定翼；b.無人直升機；c.多旋翼；d.垂直起降固定翼；e.無人自轉旋翼機；f.無人飛艇；g.其他。

2.1.4 日本

日本對無人機的安全規定於 2015 年 12 月 10 日生效，依據日本國土交通省網站資訊^[9]，及中華民國律師公會全國聯合會李憲人先生論文^[10]，對遙控無人機之規制構造與法條，規則細節如下：

1. 遙控無人機之定義

在日本將遙控無人機分為二類，其一為「航空法所定遙控無人機」；其二為「遙控模型航空機」。

航空法所定「遙控無人機」，係依航空法第 2 條第 22 項及航空法施行規則第 5 條之 2 規定，指得以供作航空使用之飛機、直昇機、滑翔機、飛行船及其他政令所定之機器中而在構造上無法供人乘坐者，透過遠端操作或自動操控（指以電腦程式實施自動化操控），使其得以飛行之機器〔未滿 200 公克重量（含機體本體與電池之合計重量）之機器，除外〕，包含空拍機、RC 遙控飛機，及農業用無人機。

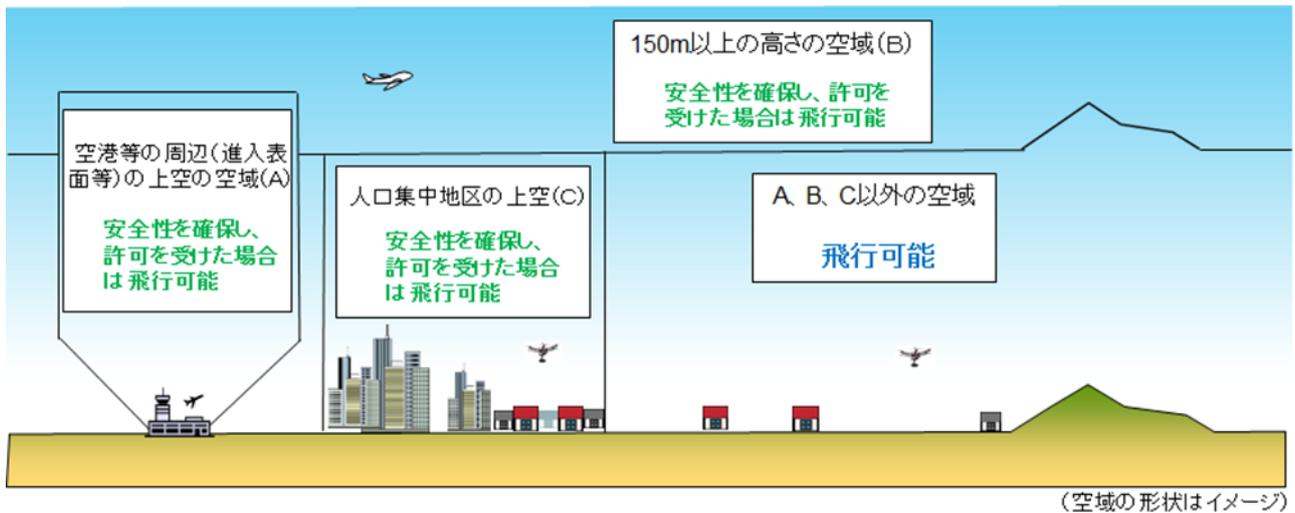
至於未滿 200 公克重量之「遙控模型航空機」，則非該國航空法所規範之遙控無人機，並不適用「航空法所定遙控無人機」之飛行規範。

2. 遙控無人機飛行禁止空域之規制

(1) 飛行之禁止空域：遙控無人機原則上禁止在下列空域，進行飛行（航空法施行規則第 236 條參照）。

- ① 機場等周邊之空域：包含管制區域、管制地帶等（日文為：在該國航空法中用語稱「進入表面、轉移表面或水平表面」），或依航空法第 56 條第 1 項規定國土交通大臣所指定延長機場周邊等（進入表面、圓錐表面或外側水平表面）之上空空域（如圖 2.1-1 之 A）。
- ② 地面或水面上起 150 公尺以上高度之空域（如圖 2.1-1 之 B）。
- ③ 日本平成 22 年國勢調（類似於我國人口普查）結果之人口集中地區（如圖 2.1-1 之 C）之上空空域（航空法施行規則第 236 條之 2 參照）禁止在人口密度每平方公里達 4,000 人之地區飛行，由總務省確定及公告的人口密集居住區（Densely Inhabited

District, DID)。



資料來源：日本国土交通省網站

圖 2.1-1 遙控無人機飛行之禁止空域

(2) 飛行禁止空域之許可規制：雖然任何人在前揭遙控無人機飛行禁止空域（即圖 2.1-1A、B、C 之禁止空域），原則上不得使用遙控無人機飛行。但國土交通大臣認為其飛行並不致危害航空器飛航安全，及地上、水面之人與物件安全之虞而為許可者，則得使用之（該法第 132 條但書參照）。亦即，申請許可在前揭空域中飛行遙控無人機之人，應記載下列事項之申請書，向國土交通大臣提出。

- ① 姓名及住所。
- ② 遙控無人機之製造者、名稱、重量及其他特定遙控無人機所必要之事項。
- ③ 飛行之目的、日時、路線及高度。
- ④ 飛行禁止空域之理由。
- ⑤ 關於遙控無人機之功能及性能事項。
- ⑥ 關於使用遙控無人機之飛行經歷，與飛行遙控無人機所必要之知識及能力事項。
- ⑦ 關於飛行遙控無人機之際，確保安全所必要之體制事項。

⑧ 其他參考事項。

上述申請許可等之期間，原則上以 3 個月為限，但明顯為繼續性的實施遙控無人機飛行者，則得以 1 年為限。

3. 遙控無人機飛行方法之規制

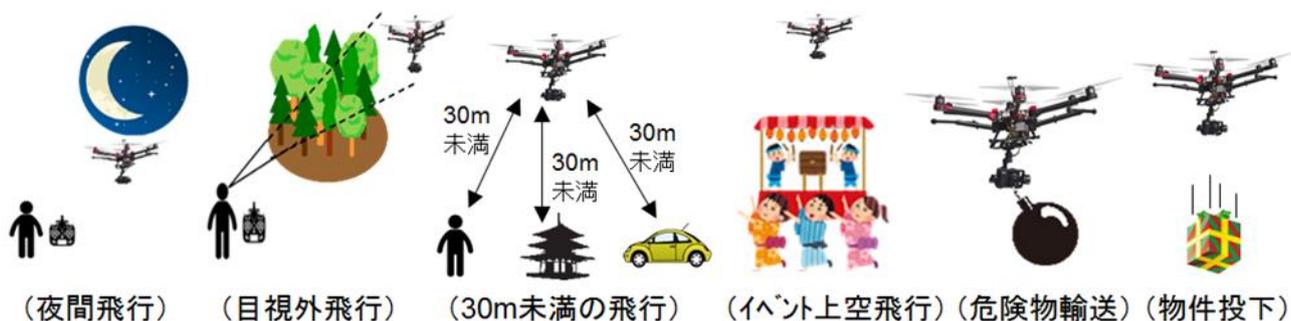
(1) 遙控無人機之飛行方法：使用遙控無人機飛行者，應依下列方法飛行之（航空法第 132 條之 2 參照）。

- ① 須在日出後日沒前之時間內飛行（不得在夜間飛行）。
- ② 以目視持續監控該遙控無人機及其周圍之狀況進行飛行（不得目視外飛行）。
- ③ 該遙控無人機與地上、水面上之人、物件間，須保持 30 公尺以上距離進行飛行（不得從事未滿 30 公尺之飛行，航空法施行規則第 236 條之 4 參照）。
- ④ 須在民俗節日、慶典、展覽會及其他多數人聚集所舉辦之場所上空以外之空域進行飛行（不得在慶典活動之上空飛行）。
- ⑤ 不得以該遙控無人機，載送具有爆炸性或易燃性之物件及其他會對人或其他物件造成危害或損害之虞之物件而為國土交通省令所定者（不得運輸危險物品飛行）。
- ⑥ 除不會對地上或水面上之人或物件造成危害或損害之虞而為國土交通省令所定之物件者外，不得從該遙控無人機上空投物件（不得空投物件飛行）。

(2) 不適用遙控無人機飛行方法之規則者，須經國土交通大臣同意。使用遙控無人機飛行者，原則上應採取上述方法飛行之。但依國土交通省令規定，不採取上述方法飛行，並不致危害航空器飛航安全及地上、水面之人與物件安全之虞者，得經國土交通大臣之事前同意，而按其同意情形，使用遙控無人機飛行之。「不適用遙控無人機飛行方法」之情況，如圖 2.1-2，簡要如下：

- ① 夜間飛行。
- ② 目視外飛行。
- ③ 未滿 30 公尺之飛行。
- ④ 祭禮、慶典活動之上空。
- ⑤ 運輸危險物品之飛行。

⑥ 空投物件之飛行。



資料來源：日本国土交通省網站

圖 2.1-2 不適用遙控無人機飛行方法之情況

2.1.5 我國無人機法規及趨勢

我國目前法規包含「民用航空法遙控無人機專章」、「無人載具科技創新實驗條例」、「遙控無人機管理規則」、「遙控無人機檢驗及操作人員測驗委託辦法」公布日期如表 2.1-3 及圖 2.1-3。

表 2.1-3 我國目前法規

法規名稱	公布日期
民用航空法遙控無人機專章	2018/04/25
無人載具科技創新實驗條例	2018/12/19
遙控無人機管理規則（草案）	2019/01/04
遙控無人機檢驗及操作人員測驗委託辦法	2019/01/04

資料來源：本研究繪製



資料來源：本研究繪製

圖 2.1-3 我國法規施行日期

其中「遙控無人機管理規則」、「遙控無人機檢驗及操作人員測驗委託辦法」原預定於 2019 年 7 月 1 日上路，然而日前民航局指，因為全台各縣市的禁航圖資還未完備，要延至 2020 年第一季，才實施無人機監管。

民航局建立禁航區的圖資，用意是製作臺灣的無人機 App，讓飛友可以得知身處地方是否禁航區，目前預定紅色為禁航區域，綠色為合法操作區，據悉有可能會加設黃色區域，只能作有條件操作。限航區除了機場範圍，還有核電廠、水庫、煉油廠等設施都在其中，當無人機禁航圖資 App 建設完成，民眾可以較便利地查閱。根據無人機專章規定，闖入禁飛區、機場等範圍，可罰款新台幣 30-150 萬；另外未有操作證、未投保而操作無人機，則罰新台幣 6-30 萬。而且上文的違例情況嚴重的話，有可能會被沒收無人機。

雖然新法延期上路，但據民航局標準組組長林俊良表示，無人機證照的預考仍會進行。目前已有 900 人報名，因為人數眾多，可能會分別在北、中、南部

設考場進行考試。據悉考生合格後會發出紙本證明，到 2020 年新法上路後再換發證照^[11]。



資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 2.1-4 民用航空法遙控無人機專章修法過程(104~105年)



資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 2.1-5 民用航空法遙控無人機專章修法過程(105~107年)

一般規定(§99-9)	<ul style="list-style-type: none"> • 建築物外開放空間從事遙控無人機飛航活動。 • 負使用安全、風險管理、法規遵循及飛航安全事件通報責任。
註冊、操作證、檢驗及外國人(§99-10~99-12)	<ul style="list-style-type: none"> • 無人機應註冊(具有射頻識別)；操作人員應持有操作證。無人機之設計、製造、改裝應申請檢驗。認可外國人持有外國政府之證明文件。
空(區)域及操作限制(§99-13~99-14)	<ul style="list-style-type: none"> • 規範中央與地方政府之禁止、限制區域、相關操作規定等，以及政府機關(構)、學校或法人申請程序。
損害及責任保險(§99-15)	<ul style="list-style-type: none"> • 規範操作遙控無人機之賠償責任及政府機關(構)、學校或法人投保責任保險。
政府機關特別規定(§99-16)	<ul style="list-style-type: none"> • 政府機關為執行災害防救、偵查、調查、矯正業務等法定職務，得不受相關申請規定之限制。
授權子法(§99-17~99-18)	<ul style="list-style-type: none"> • 遙控無人機管理規則及委託管理辦法之授權。
罰則(§118-1~118-3)	<ul style="list-style-type: none"> • 違反相關規定可處新臺幣1萬元至150萬元罰鍰。

資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 2.1-6 民用航空法遙控無人機專章法規架構

遙 控 無 人 機 管 理 規 則	第1章 總則(§1~§5)	本規則之訂定依據、用詞定義及操作準則。
	第2章 遙控無人機註冊及射頻管理(§6~§11)	遙控無人機之註冊、變更及註銷、註冊號碼之標示及其效期。
	第3章 遙控無人機系統檢驗、製造者與進口者之登錄及責任(§12~§18)	遙控無人機設計、製造、進口之檢驗給證，檢驗合格證書效期及不安全事件之通報及改正等事項。
	第4章 遙控無人機操作人之測驗及給證(§19~§24)	遙控無人機操作人之學、術科測驗及給證；操作人之報考資格限制及持有操作證之權利。
	第5章 操作限制及活動許可(§25~§35)	遙控無人機之飛航活動應遵循之規定；政府機關(構)、學校或法人等之飛航活動申請規定。
	第6章 飛航安全相關事件之通報與處理(§36~§37)	遙控無人機飛航安全相關事件之通報與處理之規定。
	第7章 附則(§39~§42)	外國人認可、保險、費用收取及施行日期。

資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 2.1-7 遙控無人機管理規則法規架構

「遙控無人機管理規則」如圖 2.1-7，是依據「民用航空法遙控無人機專章」圖 2.1-6 訂立的管理辦法，細節已於前期之期末報告書中說明。紅框定義了現行 10 大操作限制，及政府機關(構)、學校、法人從事無人機活動流程，包含操作限制排除、禁止/限制區域活動申請。10 大操作限制的前 8 項，政府機關(構) 學校或法人得申請例外核准，摘錄如下：

1. 高度超過四百呎
2. 投擲或噴灑任何物件
3. 裝載危險物品
4. 管理規則所訂限制-半徑九百公尺等
5. 人群聚集或露天集會上空活動
6. 夜間之時間飛航
7. 視距外方式操作
8. 一臺多機
9. 操作人應隨時監視該遙控無人機之飛航及其週遭狀況。
10. 應防止遙控無人機與其他航空器、障礙物接近或碰撞。

2018/11/30 我國立法院三讀通過「無人載具科技創新實驗條例」，容許在特定條件下，排除相關法律限制，藉此支持業界發展無人載具的創新科技和相關應用。容許業者暫時排除相關法規，運用地方政府場地，發展無人載具創新科技，希望能帶動臺灣本地科技產業發展。

創新實驗原則上以 1 年為期限，申請展延也只有 1 次，最長不可超過 1 年。在實驗期間，經濟部應公告實驗內容、範圍及排除適用法律等資訊^[12]。基於讓產學研各界於實際場域進行無人載具科技、服務及營運模式之創新實驗時，能夠在特定範圍及條件下，透過法律暫行排除相關監理規範之適用，所以新訂規範以供無人載具能在安全環境下實驗。

2.2 無人機應用於交通領域案例

2.2.1 美國

NASA 無人機交通管制系統進入最後階段，飛行測試將分別在 2019 年 3~6 月及 7~8 月，先後在內華達州和德州舉行。在經過 4 年時間的努力後，美國太空總署(NASA)的無人機交通管制系統(UAS Traffic Management system, UTM) 進入最後的技術演習階段，並選定拉斯維加斯 Nevada Institute for Autonomous Systems，及德州 Lone Star UAS Center for Excellence & Innovation 的兩個機構負責是次演示，以確定 NASA 的這個系統能夠安全、有效地在市區管理無人機的交通秩序。

該署指出，演習可容許他們及 FAA 等合作伙伴，向商用無人機行業展示在市區飛行所面對的挑戰，並稱演習的結果有助奉告「在人煙稠密地區安全飛行的未來規範、政策及交通管控制程序」。是次演習將要展示的技術包括自動安全降落、飛行器之間通訊，以及防撞機制等。NASA UTM 項目經理 Ronald Johnson 坦言，這一階段的演習是至今為止最複雜的。

2016 年，美國太空總署 (NASA) 完成無人機交通管理系統 (UTM) 的首個跨州測試，同步監察來自 6 個州，總共 24 部無人機的飛行過程，為日後管理空域內的民用及工商無人機做好準備。無人機交通管理系統是大型綜合低空監管系統，透過雷達、數據網絡、ADS-B、GPS，整合環境與飛行數據，並即時通報機主狀況及能否起飛。NASA 於 2016 年 4 月 19 日完成測試了 UTM 的研究平台，搜集數據方便日後開發。這個簡化版本能檢查 24 部無人機的飛行計劃有否衝突，再由控制中心審批放飛。NASA 把無人機放飛環境劃分成 4 個「技術效能等級」，各自對無人機有不同的功能、軟件、程序、政策要求；是次測試地點屬於第一級環境的郊外地區，乃風險級別最低的環境，如表 2.2-1。

表 2.2-1 NASA無人機放飛環境，技術效能等級

級數	適用範疇
第一級	農業、滅火、監察基建等通常於郊外地區操作的無人機；測試已經完成
第二級	在人口稀疏地區，放飛至超越視線範圍的無人機；已於 2016 年 10 月測試
第三級	人口一般密集地區；能追蹤合作和不合作的無人機；已於 2018 年 1 月測試
第四級	在高密度市區，用於新聞現場採訪和運送貨物的無人機；設有減輕風險及應急機制；暫定於 2019 年測試

資料來源：dronesplayer

2.2.2 中國大陸

中國珠海、南寧等城市正使用無人機來監控交通秩序，包括高空整治違規切線、違規停車、駕駛中使用手機等。

1. 整治違規切線

結合無人機及監控鏡頭，珠海交警逮近千車輛違規切線。高空搜證掃蕩聚賭、捉違泊、調查非法傾廢...過往已有不少例子證明大陸公安多麼擁抱無人機技術，尤其是在交通秩序整治方面。近日，珠海交警結合現場執法、無人機抓拍、舉報等，查處了多宗車輛違規切線，涉事司機被罰款及扣分。

2019 年 5 月 15 日展開全市違規切線整治行動，交警部門共查處了 196 宗違法「切線」行為、32 宗不禮讓行人穿越道，以及 63 宗開車使用手機、穿拖鞋和沒用安全帶等違法行為。而自珠海交警展開該項整治行動以來，當局共查處了 3,165 宗「切線」的違法行為，其中由無人機和高清監控鏡頭逮到的就有 948 宗，約佔 3 成。

2. 整治違規停車

中國南寧警方用無人機揪出違法停泊車輛，雖然起用無人機的確可加大執法力度，但有聲音關注無人機在鬧市飛行的安全及隱私問題。有關方面指出，無人機拍下的影像能清晰見到車牌，還會經過人工辨別，減少誤判率，但坦認一些如火車站、機場及黨政機關所在地屬於禁飛區，無人機不能飛進去執法，但可依靠交警巡查。

據《南寧晚報》報導，當地交警部門自 2018 年年底引入無人機，用於路況巡查、違規取證、事故現場勘查。截至 2 月 26 日，無人機已協助查處近千宗機動車違法亂停的個案。而單單在 2 月，南寧市公安局交警支隊七大隊就利用無人機查處了 438 宗機動車違法亂停、24 宗不禮讓行人穿越道、8 宗駕駛時使用電話、39 宗違反限行規定通行、13 宗未按規定使用安全帶。七大隊副大隊長謝陸軍接受訪問時表示，南寧東站附近違停情況嚴重，無人機執法的效果明顯，近期違停車輛少了。

海南、寶雞、濟南等地也陸續起用無人機協助城市交通管理，同樣監察違停、開車玩手機等行為。在海南，公安廳交警總隊於剛過去的春節啟用無人機，開展空中巡邏執法，查處了 130 宗違法行為。

3. 駕駛中使用手機

山東濟南市公安局交警隊 2018 年 4 月起試建警務航空隊，使用無人機在空中進行交通執法，主要針對行車時打電話或玩電話的違規行為進行抓拍，並直接錄入違法處理系統，在一個月內已發現 1000 多宗妨礙安全駕駛的案件，成效顯著。

濟南交警支隊航空警務隊目前擁有 4 台可拍攝 4K 影像的多旋翼無人機，在 7 月 31 日首日運行半小時內已抓拍 5 宗違規玩手機的事件，2018 年 12 月 22 至 1 月 25 日期間，抓拍事件更上升至過千宗。無人機抓拍的實時視頻與相片，可成為日後執法證據。

濟南交警支隊航空警務隊隊長黃鈺峰指出，開車玩手機、抽煙、飲食對交通安全造成嚴重威脅，惟過往現場執法倚賴路口電子監控，道路上的移動狀態違法取證不易，而無人機的靈活性剛好彌補上述取證缺陷。

2.2.3 我國

花蓮縣警空拍車禍現場採證，與臺灣科技大學合作，耗時 6 年研究以無人機在交通意外現場蒐證。無人機透過人為操縱起飛，在 40 公尺高度下飛行，俯瞰拍攝現場情況，員警可從空拍照獲得真實確切的第一手採證，避免二次事故及爭議。用無人機採證，整個過程連同自動返航最快只需 4 分鐘，比人工測量與搜證縮短 10 分鐘。台科大資訊工程系戴文凱教授指出，交通事故愈複雜，利用無人機拍照所能節省的時間就愈多。

車禍事故後之現場採證對當事人異常重要，可直接影響案件處理與責任歸屬。臺灣花蓮縣警局擬以無人機輔助自動測量數據，進行事故鑑定，取代派遣人手到現場蒐證，料比傳統方法準確和精密，並大幅省時約三分之二，然而執行上之各困難仍有待解決。雖警方盼未來擴大運用無人機在交通事故鑑定，但無人機價格不菲，一台專用無人機花費約需 5 萬台幣，在預算有限的情況下難以大規模實施。

另外，市售無人機面臨環境干擾、機體過熱、續航力不足的問題，操作員亦要勤加演練，放飛時閃避障礙物，團隊現正自行組裝一架巡邏專用的無人機。此系統包含了自動測光驗證、跟隨 ROI (Region of Interest) 驗證、點拍精準度、自動返航精準度、事故現場圖測距精準度。以目前人工作業為例，處理 1 件車禍約花費 20 分鐘，改以空拍繪製現場圖相較於傳統繪圖方法，可節省 66% 的作業時間和降低測距誤差至 5.43 公分。



資料來源：“空拍機應用於道路交通事故處理”，國立臺灣科技大學資訊工程系

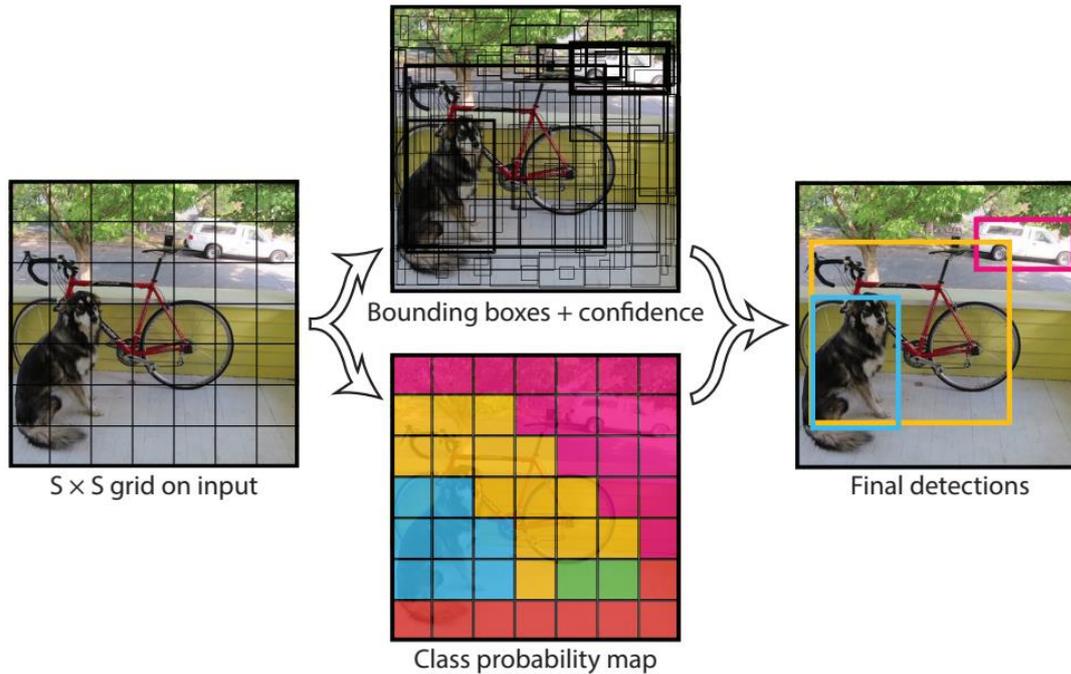
圖 2.2-1 臺科大研發軟體進行車禍空拍處理作業示意圖

2.3 影像分析技術應用

2.3.1 基於卷積神經網路之物件偵測技術

自從 2012 年 Alex(2012)等人^[13]提出了著名的 AlexNet 之後，卷積神經網路開始迅速的蓬勃發展，近年來不斷有許多基於卷積神經網路的優良架構被陸續提出，包含讓網路深度加深至十餘層的 VGG 架構^[14]，與及減緩梯度消失問題以突破上百層深度的 ResNet 架構^[15]。每年 ImageNet 百萬級圖像分類競賽冠軍的 top-5 錯誤率更是一直不斷地降低，甚至低於 3.5% 的人類辨識錯誤率。深度學習本身在物件辨識上的高準確性，近年已快速而全面地取代傳統方法，包含 AlexNet、VGG、ResNet 等以分類為目的之卷積神經網路成為現今物體偵測技術之骨幹(backbone)，應用於車輛偵測與分類問題上。包含前期計畫中用於偵測四輪車輛之 Mask R-CNN^[16]與 Faster R-CNN^[17]等都是透過提取可能含有物件的外接框(bounding box)位置，再對矩形內的特徵圖(feature map)進行分類，進而提高物體辨識速度。然而由於在前期計畫執行期間，多數 CNN (Convolution Neural Networks) 架構之深度學習方法並非針對影像中小面積物體而設計，因此對於面積最小約 $10 \times 10 \sim 25 \times 15$ 像素的行人、腳踏車與機車難以有效偵測。

Mask-RCNN 這類先提取可能的物體外接框，再將矩形內的特徵圖進行分類的方法稱之為兩階段(two-stage)物件偵測方法。為了進一步減少運算量，Redmon 等人^[18]在 2015 年提出了新的單一階段(one-stage)物件偵測方法，稱為 You Only Look Once (YOLO)，如圖 2.3-1。他們利用整張彩色影像做為 CNN 的輸入，把影像分割成 $N \times N$ 個區塊(grid)，每個區塊預測出 B 個可能的物體外接框和它們的信心度，及每個類別的機率。這個方法計算快速，但外接框若沒有覆蓋到物件則無法偵測，因此初期的 YOLO 版本對小物件的預測效果較差。



資料來源：[18]

圖 2.3-1 Redmon 等人提出的 one-stage 物件偵測方法

Redmon 等人^[19]之後提出了針對第一版本 YOLOv1 的改進方法 YOLOv2，在每個卷積層(convolutional layer)加入了批次正規化(batch normalization)以改善訓練效率與穩定度，提升了 2%的 mAP(mean Average Precision)。作者們採用了 Faster R-CNN^[17]中的錨框(anchor box)觀念來預測物體外接框，把影像分割成 13x13 個區塊(grid)，每個方格用 5 個不同長寬比的錨框預測外接框，在訓練的過程中會隨機的用不同的影像尺寸進行訓練，以提升多尺度下的模型偵測效果。並用邏輯激活函數(logistic activation)預測外接框中心對每個區塊左上角的偏移量，將預測值限制在 0 到 1 的範圍內，以提高模型的穩定性，YOLOv2 使用錨框比 YOLOv1 提升了 5%的 mAP。在速度改善方面，作者提出了一個新網路架構 Darknet 做為 YOLOv2 的骨幹，如圖 2.3-2。Darknet 有多個 1x1 的卷積層，和 YOLOv1 相比大幅減少了 35%的計算量。

Type	Filters	Size/Stride	Output
Convolutional	32	3 × 3	224 × 224
Maxpool		2 × 2/2	112 × 112
Convolutional	64	3 × 3	112 × 112
Maxpool		2 × 2/2	56 × 56
Convolutional	128	3 × 3	56 × 56
Convolutional	64	1 × 1	56 × 56
Convolutional	128	3 × 3	56 × 56
Maxpool		2 × 2/2	28 × 28
Convolutional	256	3 × 3	28 × 28
Convolutional	128	1 × 1	28 × 28
Convolutional	256	3 × 3	28 × 28
Maxpool		2 × 2/2	14 × 14
Convolutional	512	3 × 3	14 × 14
Convolutional	256	1 × 1	14 × 14
Convolutional	512	3 × 3	14 × 14
Convolutional	256	1 × 1	14 × 14
Convolutional	512	3 × 3	14 × 14
Maxpool		2 × 2/2	7 × 7
Convolutional	1024	3 × 3	7 × 7
Convolutional	512	1 × 1	7 × 7
Convolutional	1024	3 × 3	7 × 7
Convolutional	512	1 × 1	7 × 7
Convolutional	1024	3 × 3	7 × 7
Convolutional	1000	1 × 1	7 × 7
Avgpool		Global	1000
Softmax			

資料來源：[19]

圖 2.3-2 Redmon 等人提出 Darknet 的 19 層網路架構 Darknet-19

Redmon 等人^[20]在 2018 年再提出了 YOLOv2 的改進版本 YOLOv3。不同於 YOLOv2 的特徵圖只有 13×13 一種尺度，YOLOv3 使用了 FPN (Feature Pyramid Network)^[21]多尺度預測架構，增加了 26×26、52×52，共 3 種尺度的特徵圖，每格用 3 個錨框進行外接框的預測。因外接框在數量上比 YOLOv2 多了 4.2 倍，加上使用 FPN 可在 52×52 尺度層取得更豐富的特徵資訊，因此提升了對小物件的偵測效果。另一方面，作者也對原先 19 層的 Darknet 架構做了改進，提出了新一代 53 層的 Darknet 網路架構，如圖 2.3-3，做為 YOLOv3 的骨幹。為了解決因層數增加而帶來的梯度消失問題，引進 ResNet^[15]概念以計算最佳的網路權重，因此與 YOLOv2 相比速度略為下降，但在準確率上則獲得更進一步的提升，如圖 2.3-4。

	Type	Filters	Size	Output
	Convolutional	32	3 × 3	256 × 256
	Convolutional	64	3 × 3 / 2	128 × 128
1×	Convolutional	32	1 × 1	128 × 128
	Convolutional	64	3 × 3	
	Residual			
	Convolutional	128	3 × 3 / 2	64 × 64
2×	Convolutional	64	1 × 1	64 × 64
	Convolutional	128	3 × 3	
	Residual			
	Convolutional	256	3 × 3 / 2	32 × 32
8×	Convolutional	128	1 × 1	32 × 32
	Convolutional	256	3 × 3	
	Residual			
	Convolutional	512	3 × 3 / 2	16 × 16
8×	Convolutional	256	1 × 1	16 × 16
	Convolutional	512	3 × 3	
	Residual			
	Convolutional	1024	3 × 3 / 2	8 × 8
4×	Convolutional	512	1 × 1	8 × 8
	Convolutional	1024	3 × 3	
	Residual			
	Avgpool		Global	
	Connected		1000	
	Softmax			

資料來源：[20]

圖 2.3-3 Redmon 等人提出 Darknet 的 53 層網路架構 Darknet-53

Backbone	Top-1	Top-5	Bn Ops	BFLOP/s	FPS
Darknet-19 [15]	74.1	91.8	7.29	1246	171
ResNet-101[5]	77.1	93.7	19.7	1039	53
ResNet-152 [5]	77.6	93.8	29.4	1090	37
Darknet-53	77.2	93.8	18.7	1457	78

資料來源：[20]

圖 2.3-4 Darknet-53 與其他骨幹架構的第一準確率、前五準確率、計算量、計算速度、影格

數等比較

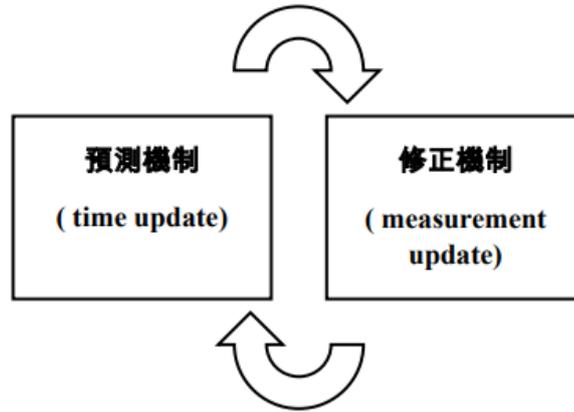
由於 YOLOv3 在小物件偵測上有不錯表現，且其架構在改寫上亦較有彈性，較能針對特定的小物件對象來優化架構，因此本計畫主要將採用 YOLOv3 來偵測空拍影片中的小物件，如行人、自行車與機車等。後續再透過追蹤技術，針對已偵測出之對象擷取出移動軌跡。

2.3.2 物件追蹤技術

物體追蹤是影像處理上歷史相當久的課題之一，其原本目的在於早期物體偵測的速度非常緩慢，因此希望藉由較快速的物體追蹤技術來取代後續的偵測動作，提升系統整體的效率。然而，隨著硬體效能與軟體演算法的改進，如今的物體偵測技術已能兼具準確與速度，因此目前的追蹤技術目的也從取代偵測來進行加速，演變為確認偵測結果是否失誤並校正物體位置。按照追蹤所使用的策略不同，大致可區分為下列一些追蹤方法：

1. 卡爾曼濾波器

此類方法針對目標物體的外觀特性與運動趨勢，在影像中尋找最可能的位置，例如早期追蹤方法常使用的卡爾曼濾波(Kalman filter)^[22]可利用假定的運動模式來預測後續位置，例如投手投出球的拋物線軌跡由於服從重力的影響，因此相當適合卡爾曼濾波來進行預測。卡曼濾波器由一組數學式所組成，在 1960 年由 R.E. Kalman 提出，之後便有許多人對它進行廣泛地研究並將它應用在自動導航的領域上。卡曼濾波器可以精準並有效率的估算一個系統過去、現在、甚至未來的狀態，即使在本研究無法明確觀察量測到整個系統的所有狀態參數時，它也一樣有效。卡曼濾波器系統可大致分為兩階段，如圖 2.3-5 所示，一為預測下一個時間點的系統狀態，稱為預測機制(time update)，二為依實際測量得到的資訊以對卡曼濾波器的各項參數做修正調整，稱為修正機制 (measurement update)。



資料來源：[22]

圖 2.3-5 卡曼濾波器遞迴示意圖

又例如粒子濾波器(particle filter)^[23]透過預測與更新機率密度函數，來預測非線性的下一次物體位置。近年來，如 KCF(Kernelized Correlation Filters)^[24]追蹤法等利用連續追蹤結果進行即時訓練，並找尋目標位置的方法亦開始興盛，但粒子濾波器與 KCF 追蹤法這些方法主要著重在難度較高的非剛體追蹤問題上，繁複的運算使其較適合少量，甚至是單一物體的追蹤問題上，因此並不適合在利用空拍影像追蹤大量目標且少有形變問題發生的車輛偵測問題上。

2. 光流法

此系列方法係利用影像上的局部特徵，透過局部運動連接物體位置，相對於前述針對物體本身特性進行追蹤的策略，這類方法則是蒐集廣布於影像上的局部特徵與運動向量(Motion Vector)，針對前一張影像的局部特徵找尋下一張影像中鄰近位置的相似局部特徵並加以匹配，估算出相似特徵在前後影像的位移作為追蹤結果。例如對影像中的角點(corner)進行偵測追蹤，或是透過光流法(optical flow)^[25]取出密集的局部運動資訊，透過這些局部運動資訊並配合前張影像之偵測/追蹤結果，可以利用前張影像車輛區域內之特徵點推估出其後續的位移情形。局部特徵追蹤演算法可分為以下幾個步驟：

- (1) 讀取相鄰的兩個影像（至少包含一移動目標(Moving Object)）。
- (2) 檢測第一影像中的特徵點，尋找影像中具有大特徵的角點。
- (3) 計算第二影像中的特徵點。
- (4) 計算各特徵點在相鄰影像間形成的光流，找出屬於運動目標的特徵點，

用以估計第一影像特徵點在第二影像中的位置，同時過濾位置不變的特徵點。

由於空拍影像中的物體基本上不會因攝影機角度變化而產生形變，因此本研究過去曾將局部特徵追蹤法應用於空拍影像中的四輪車輛追蹤問題，在效率上也遠比前一類方法更有效率。然而此類方法並不適用於複雜環境下的小物體追蹤，主要原因在於小物體所包含的特徵點勢必也較少，特別在路面行人穿越道等對比強烈的背景下，容易被背景中大量而強烈之特徵點所掩沒。只有當物體具有足夠面積時，才能透過較多的特徵點計算出較穩定一致的運動軌跡。

3. SORT (Simple Online and Realtime Tracking)

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^[85]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^[86]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 $\text{IOU} > 0.3$)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^[87]，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。

2.4 交通衝突分析技術

2.4.1 衝突之定義

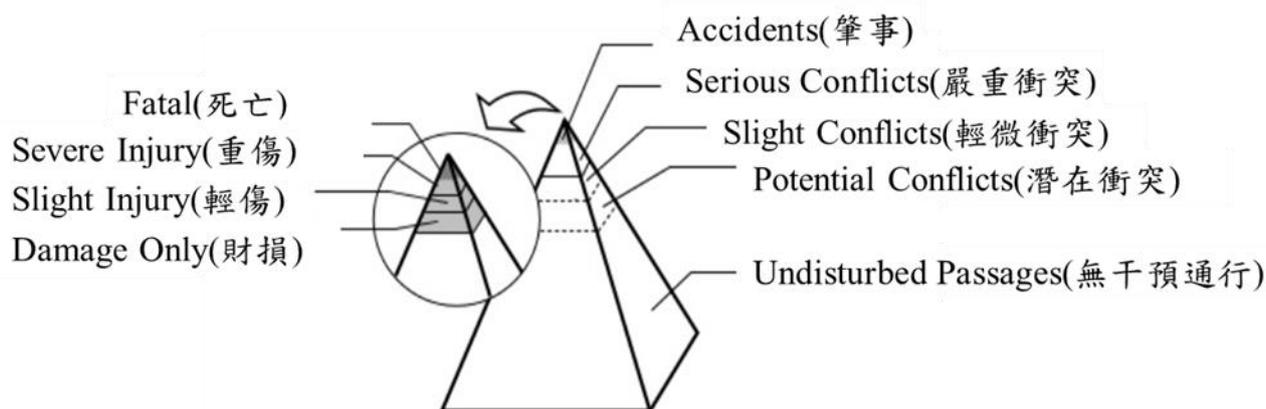
交叉路口是車流匯集及轉換方向之處所，當駕駛者將車輛由原車道轉換至另一車道，或行駛進入交叉路口時，會與其他車輛發生分流、並流、穿越等行為，同時用路人彼此之行車軌跡將產生合併、分離或交叉等情況而產生衝突區。依據交通部 105 年頒訂「機車交通政策白皮書」中統計 96 年至 100 年交通事故資料顯示，事故地點為交叉路口比例最高(高達 60.5%)^[1]；美國研究顯示都會區與郊區交通事故報導中，分別超過 1/2 與 1/3 發生集中於交叉路口範圍內，在澳洲則分別為 43%及 11%^[2]。

交叉路口之交通衝突研究起源，係美國通用汽車公司^[13]（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叉路口之交通衝突做出定義，美國通用汽車公司^[13]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^[27]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」。

2.4.2 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^[28]於 1987 年提出安全階層金字塔(Safety pyramid)也指出相同的概念，如圖 2.4-1 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直接有一具體關係。金字塔底層代表輕微平常的事件，其發生頻率高，相對於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，A. Tarko (2009)^[29]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。近代 E. Sacchia (2013)^[30]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：[28]

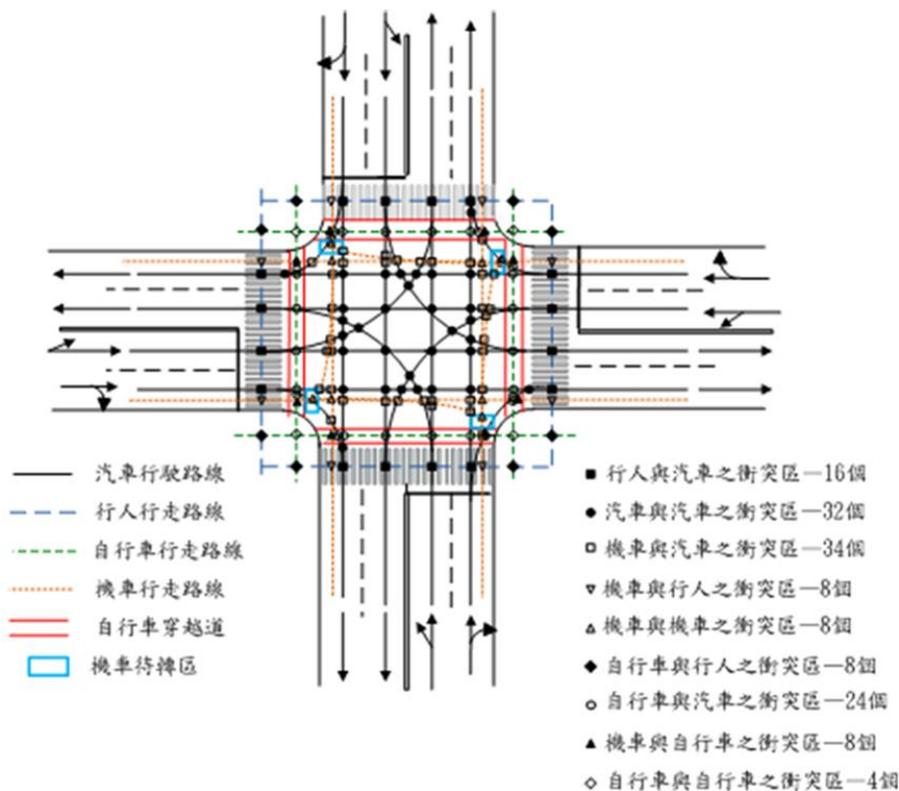
圖 2.4-1 安全階層金字塔圖

由於交通衝突分析之目的，為主動考慮可能發生肇事地點而預做防範處理，有鑑於我國汽機車混合是道路交通車流之一大特色，朱建全君 (1999)^[31]探討機車駕駛人面臨不同交通衝突情境及衝突刺激時之駕駛行為反應模式；張家豪君 (1996)^[32]基於交叉路口安全的觀點，以肇事次數、肇事率、肇事嚴重性、肇事風險、衝突次數以及衝突比例等六項作為交叉口左轉時相設計之安全衡量指標；黎俊彬君 (2005)^[2]以考量交叉路口型式、車輛尺寸、轉彎半徑、運行軌跡等多項因素，於號誌化平面交叉路口就對向左轉車輛通行安全進行探討。

2.4.3 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^[33]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，作為衝突分析的方法。一般而言，最常發生衝突之關鍵，在於突然變

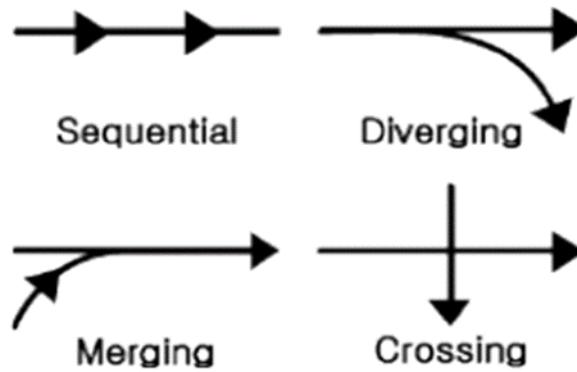
換車道、緊急煞車等行為，在必要的時刻駕駛可能會採取避免造成意外傷亡之預防性動作，以降低潛在的風險。應用交通衝突技術可作為診斷評估路口潛在衝突的工具，以預防事故發生，本節以各類道路使用者在穿越路口的動線為例，分析單向雙車道的交叉路口之交通衝突，如圖 2.4-2 所示。由圖中可看出，在沒有交通號誌管制的路口，行人與汽車的衝突區有 16 個，各方向的汽車與汽車的衝突區有 32 個，機車與汽車的衝突區有 34 個，機車與行人的衝突區有 8 個，機車與機車的衝突區有 8 個，自行車與行人的衝突區有 8 個，自行車與汽車的衝突區有 24 個，機車與自行車之衝突區有 8 個，自行車與自行車的衝突區有 4 個。



資料來源：[34]

圖 2.4-2 交叉路口交通衝突分析圖

交通衝突理論應用在交叉路口的設計，可依據車流交叉、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 conflict)、分流衝突(diverging conflict)、匯流衝突(merging conflict)及穿越衝突(crossing conflict)^[35]，如圖 2.4-3 所示，茲簡介如下：



資料來源：[35]

圖 2.4-3 四種交通衝突型態圖

1. 同向直行衝突(sequential conflict)：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 conflict)：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，是為交叉路口設計之主要考量點。

將交通衝突理論運用在交叉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^[36]。許添本等人(1999)^[37]將交通衝突理論的應用，擴及路口及路段兩個部份，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，在交叉路口經常發生。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^[37]），如表 2.4-1 所示：

表 2.4-1 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：本研究修改自[37]

2.4.4 交通衝突指標

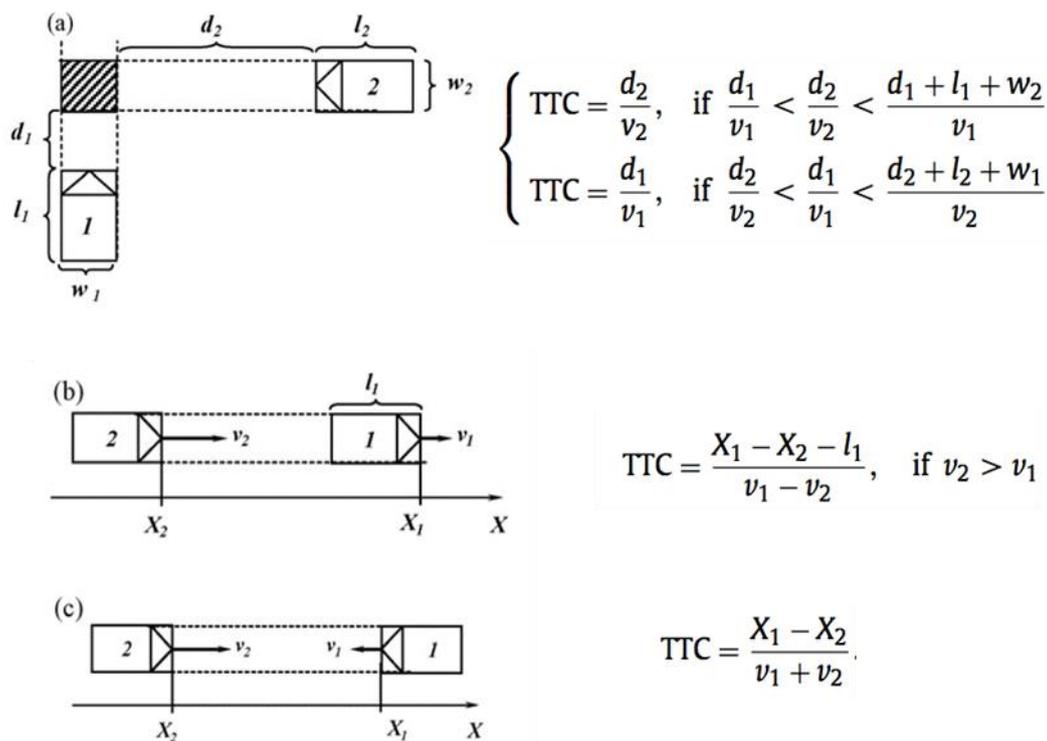
衝突事件的定義涵蓋範圍廣且模糊。美國運輸研究委員會的交通安全委員會根據醫學上對替代事件的定義延伸，提出以衝突替代肇事評估交通安全須滿足兩條件^[34]：

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。

透過判斷衝突區後，即可針對可能發生肇事的衝突區為建立衝突指標，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。以下介紹兩個常見的交通衝突指標(Conflict indicators)：

1. 碰撞時間(Time to collision, TTC)

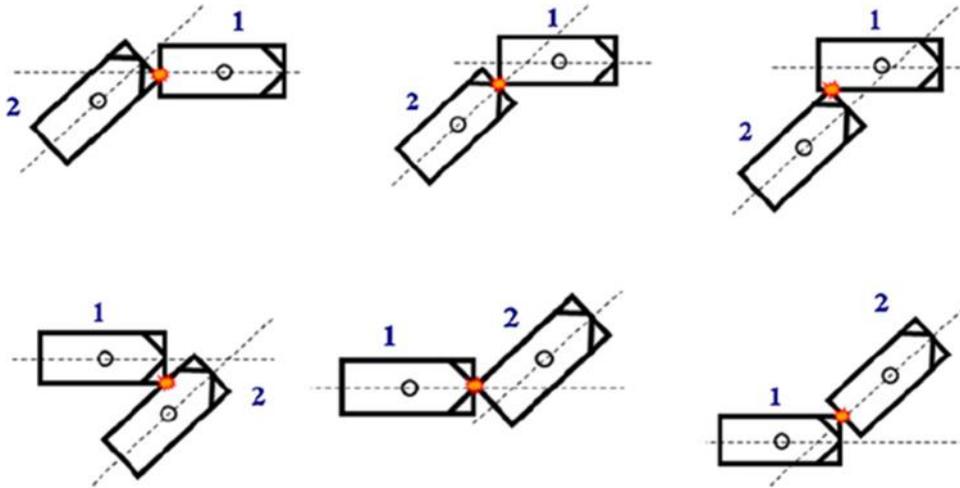
碰撞時間的定義為兩車維持當前速度與行駛方向不變的情況下，兩車碰撞所需的時間 (Hayward, 1972)^[38]。此指標為連續型，即每個時點均能產生一筆資料，實務上常以記錄時間中所得秒數最低的碰撞時間為參考。此指標僅限於該時點處於即將碰撞(near miss)狀態下的車輛，並非所有車流交會都會產生 TTC 值。Laureshyn et al. (2010)^[39]整理出兩車不同角度下產生衝突，TTC 的計算需考慮碰撞類別及碰撞點，90 度直角碰撞(right-angle collision)、追撞(rear-end collision)、對撞(head-on collision)的 TTC 計算公式，示意圖如圖 2.4-4 所示：



資料來源：[39]

圖 2.4-4 TTC計算公式及示意圖 (a) 90度直角碰撞、(b) 追撞、(c) 對撞

當兩車相遇時的角度為任意角度時，有可能因前車與後車的碰撞點不同而產生不同的碰撞類別(Collision type)，Laureshyn et al. (2010)^[39]提出了更精細的計算方法。兩車為任意角度時，將會是一車的角(corner)碰撞到另一車的邊(side)，假設車輛以長方形代表，兩車相同角度下可產生(2車×4角×4邊)共32個“角-邊”組合的碰撞類別，示意圖如圖 2.4-5所示。可以以幾何投影的方式計算所有組合的TTC，再取最小的TTC值作為這個衝突事件的TTC (Laureshyn et al., 2010)^[39]。

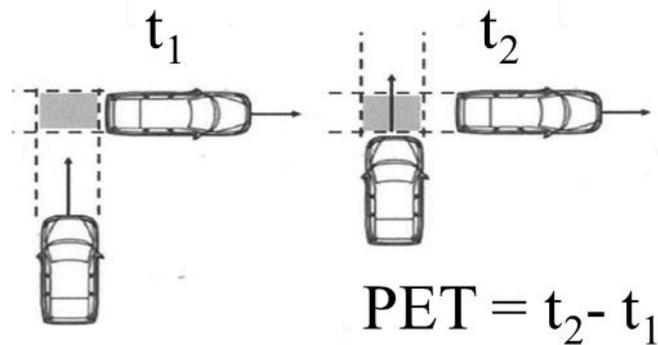


資料來源：[39]

圖 2.4-5 兩車相同角度下的可能碰撞類別圖

2. 後侵占時間(Post encroachment time, PET)

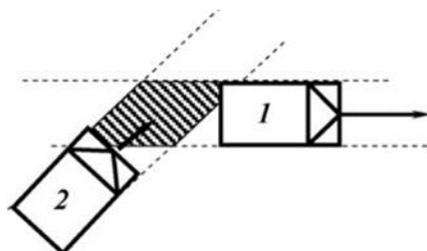
後侵占時間的定義為兩車軌跡交會，車輛一方通過衝突區(軌跡交會點)與另一方通過衝突區的時間差。後侵占時間對於軌跡相交的事件，必能產生一後侵占時間資料，相較於碰撞時間較易取得，然而測得 PET 不代表兩車輛必會經歷衝突狀態，因此也需要定義衝突門檻的問題。交叉撞的後侵占時間計算公式及示意圖如圖 2.4-6 所示：



資料來源：[39]

圖 2.4-6 PET計算公式及示意圖

後侵占時間的計算，需要先找出兩車軌跡的共同區域(common zone)。Laureshyn et al. (2010) 指出，在兩車呈直角 90 度的情況下，後侵占時間的計算簡單；但當兩車呈任意角度時，傳統上以幾何投影車輛軌跡的計算方法，可能會產生兩車同時出現於共同區域內但兩車不產生碰撞之情況，如圖 2.4-7 所示，因此計算定義及方式須加以調整。



資料來源：[39]

圖 2.4-7 兩車同時出現於共同區域內但不產生碰撞之情況圖

除了比較常用的 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)^[40] 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)^[41] 及 Johnsson et al. (2018)^[42] 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，發現指出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)^[43] 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)^[44] 分析了中國上海的一個車流密度極高的交叉路口，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) 可作為這種複雜無序的交通環境的適合指標，Chen et al. (2017)^[45]分析了交叉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。

2.4.5 交通衝突分析工具

在交通安全的評估工具方面，本研究將採用 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)^[46]軟體的開源程式碼進行交通衝突分析的部分計算，SSAM 是美國聯邦公路局(FHWA)開發的軟體 (Gettman and Head, 2003^[47]; Gettman et al., 2008^[48])，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)^[46]，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。

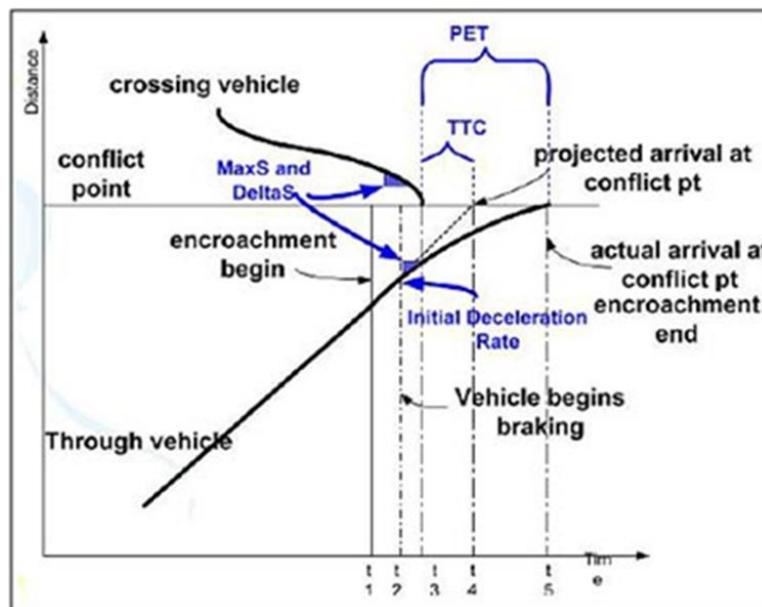
1. SSAM 背景及功能介紹

美國聯邦公路局 (FHWA) 開發出 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)^[46]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^[48]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)^[46]，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 2.4-8 兩車之時空軌跡圖所示，兩台車移動軌跡如產生交通衝突，紀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。



Source: FHWA

資料來源：[46]

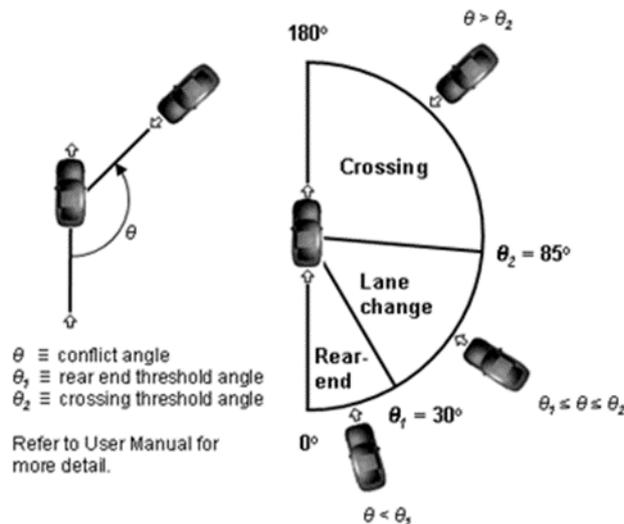
圖 2.4-8 SSAM 交通衝突指標之計算定義

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 作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 2.4-9 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：[46]

圖 2.4-9 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术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 個市區交叉路口，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 2.4-10，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：[48]

圖 2.4-10 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)^[51]探討 VISSIM 模擬軟體與 SSAM 進行交通衝突估計的準確性，並以十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；交叉衝突 (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 Stamatidis (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。

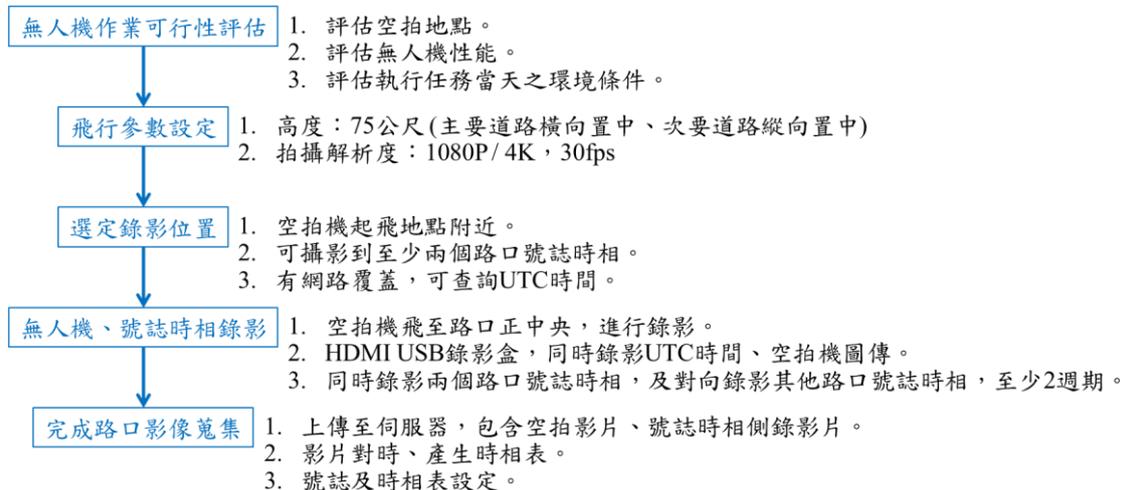
Vasconcelos et al. (2014a)^[58] 驗證 AIMSUM 模擬模式搭配 SSAM 進行路口安全分析的能力，針對四叉優先通行路口 (four-leg priority intersection)、單車道圓環 (single-lane roundabout) 以及交錯四叉路口 (four-leg staggered intersection)，探討在不同交通量下，比較模擬之衝突數量與事故預測模型 (accident prediction models, APM) 所計算之事故數量間之差異，結果發現隨著年平均每日交通量增加，衝突與事故增加趨勢大致相同。進一步比較數個路口的模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。

第三章 無人機交通觀測方法

3.1 作業流程及無人機適用機型說明

3.1.1 無人機作業流程說明

無人機交通觀測作業流程，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、選定錄影位置、無人機及號誌時相錄影、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，已於前期之期末報告書中說明。



資料來源：本研究繪製

圖 3.1-1 無人機交通觀測作業流程

前期研究已歸納出最佳拍攝影像設定，標準化之飛行參數請參考表 3.1-1。路口影像蒐集時係以主幹道為橫向，而非以正北方為拍攝方向，未來計畫可視需求進行討論調整。

隨著無人機技術持續演進，本研究嘗試採用長時效型無人機進行長時間之交叉路口影像蒐集。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。

表 3.1-1 最佳拍攝影像設定表

無人機	DJI Phantom 4 pro ^[73]
高度	75 公尺
風速	9 m/s 以下
拍攝解析度	1080P / 4K , 30fps
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

資料來源：本研究繪製

3.1.2 無人機適用機型說明

本研究導入三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。以下說明三種無人機型式規格、實測結果比較，如表 3.1-2。

表 3.1-2 無人機型式規格及實測結果比較

機型	長效無人機	繫留多旋翼無人機	市售無人機
示意圖			
飛行時間	45~60 分鐘。	2 小時以上，由地面電源遞送至無人機。	約 20~25 分鐘。
軸距	75 公分，體積小可背包攜帶，收折後約 A4 紙大。	100 公分。	35 公分，體積小可背包攜帶。
重量	約 3.1 公斤。	約 6.5 公斤。	約 1.4 公斤。
單價	約 15 萬元。	約 90 萬元。	約 5 萬元。
解析度	2.7K 線性 30fps。	1080p 30fps。	4K 30fps。
最大風速	8 m/s	8 m/s	10 m/s
優點	收折體積小且重量輕；飛行時間較長。	電源透過高拉力電源線由地面源源不絕的遞送至無人機上。	機身輕巧，具備快速起降之特性；空拍影片不需後製。
缺點	攝影機非一體成型，易受陣風影響，影像品質較不穩定。	起飛時電源線會橫跨路口，容易被靠近路邊行駛的行人、自行車、機車忽略。	飛行時間較短。
適用場域	風速小於 5 m/s 區域	適合空曠或非都會區域。	市區。

資料來源：本研究繪製

1. 長效無人機

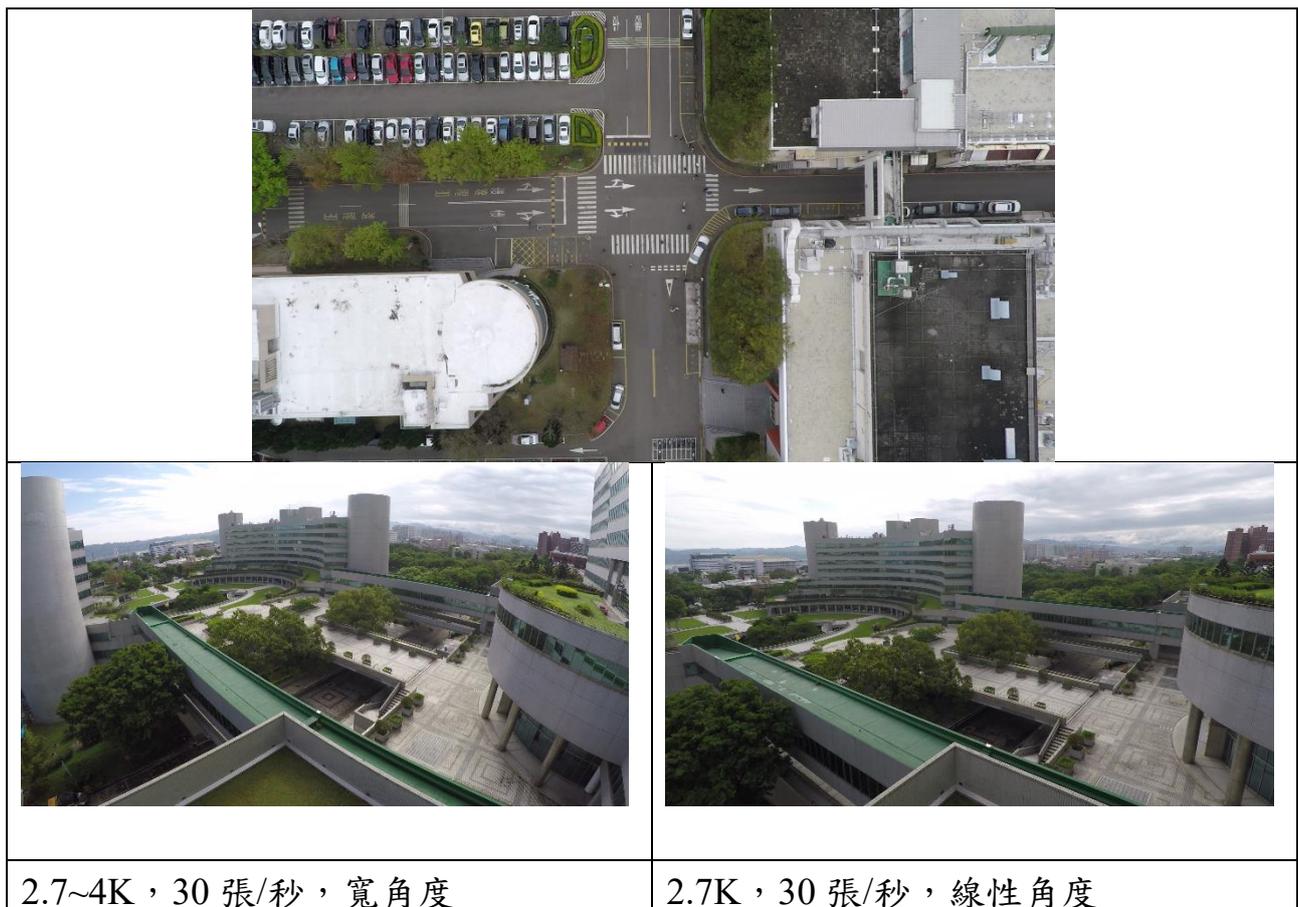
本研究導入長效無人機，主要是展延其飛行時間至 60 分鐘，而於搭載三軸雲台及運動相機(Gopro)之後仍有 45 分鐘的飛行時間，因此可適用於執行資料蒐集、搜索、檢測、偵查以及航空拍攝等多種空中任務。然因外掛攝影機非一體成型，易受陣風影響，影像品質較不穩定。

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 3.1-2。



資料來源：本研究繪製

圖 3.1-2 長效無人機示意圖



資料來源：本研究繪製

圖 3.1-3 工研院中興院區9館路口及51館露台，測試長效無人機

2. 繫留多旋翼無人機

由於長時路口影像蒐集需求，除了長效無人機外，亦導入繫留多旋翼無人機來達成，其電源透過高拉力電源線由地面源源不絕的遞送至無人機上，使無人機得以長時間的連續飛航與攝影。其示意圖請參考圖 3.1-4。

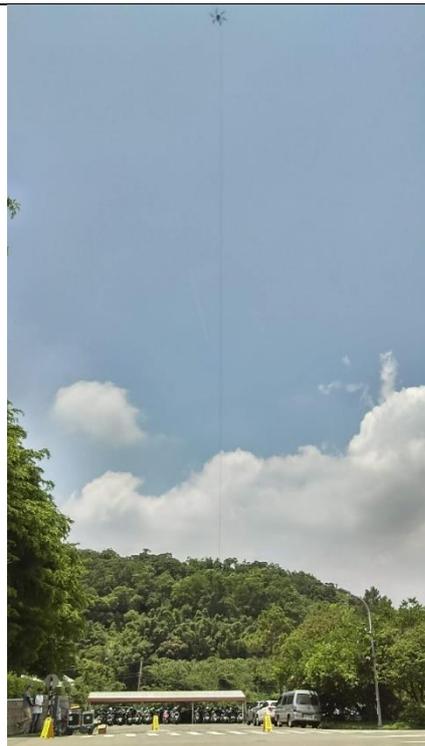
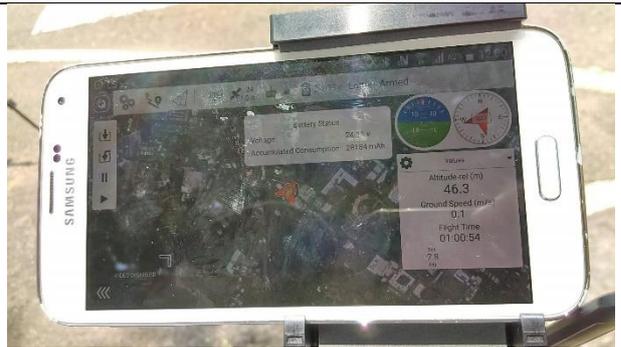
本機型於工研院實際路口測試，持續飛行時間 1 小時以上，如圖 3.1-5。因起飛時電源線會橫跨路口，即使加裝反光條也不明顯，容易被靠近路邊行駛的行人、自行車、機車忽略。若遠離路口起降，雖然安全較無疑慮，但空拍影像可能無法涵蓋全部路口；所需起降空間較大，符合條件的路口有限。評估後僅限於車流量較低，可等待起飛、降落完成，再通行的區域使用。

繫留無人機雖可提供長時拍攝，但現行繫留無人機需牽引一電力供應電線，飛行時對於交通路口有潛藏危機，不建議於路口使用。



資料來源：本研究繪製

圖 3.1-4 繫留多旋翼無人機示意圖



資料來源：本研究繪製

圖 3.1-5 工研院中興院區9館路口，測試繫留多旋翼無人機

3. 市售無人機

鑒於上期評估之 X6+ 與 P4P 無人機使用經驗，X6+為一款客製化無人機，雖 X6+滯空拍攝可達 40 分鐘以上，但體積較為龐大，於交叉路口執行勤務時恐易引發民眾圍觀造成維安上的不便，而 P4P 雖飛行時間較短，但因機身輕巧，具備快速起降之特性，相當適合於市區交叉路口迅速升空執行任務。因此本研究仍持續使用市售無人機進行實際拍攝工作，其外觀請參考圖 3.1-6。



資料來源：本研究繪製

圖 3.1-6 DJI Phantom 4 Pro 樣貌

3.2 無人機作業可行性評估

無人機作業需依據地點、天候環境及無人機性能等條件進行評估。綜合目前天氣預報能力，盡量在晴天、蒲福風級 <3 (3.4~5.4 m/s)出勤，最好上週五或當週一決定。其流程如下，將針對三項條件說明評估之方法。

1. 評估空拍地點。
2. 評估無人機性能。
3. 評估執行任務當天之環境條件。

3.2.1 評估空拍地點

空拍地點選擇首先需確認是否位於禁限航區或距離鐵路、高架橋等設施達 300 公尺以上，然後再選擇合適之起飛地點。查詢及評估方法說明如下，

1. 查詢是否位於禁限航區^{[71][72]}。若於限航區，申請方式請見 3.3 限高場域

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。

鐵路、機場禁限航區等危險區域，因應危機處理需訂定緩衝區，建議值為 300m(公尺)以上(如圖 3.2-1,圖 3.2-2)。本年度計畫已選定 5 個路口，包含「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」、「高雄市三民區民族一路 & 十全一路」、「高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路」，詳細評估過程說明放於附件 C1。



資料來源：Google Map

圖 3.2-1 鐵路危險區域圖



資料來源：flyerlee.com rcrmaps

圖 3.2-2 機場禁限航區危險區域圖

3.2.2 評估無人機性能

性能評估，例如抗風能力、懸停飛行能力、飛行及拍攝時間、軸距大小、飛行高度至少 75 公尺，及影像解析度、攝影機三軸穩像。以我國「交通部民用航空局 101 年 11 月 26 日發布之飛航公報 AIC 04/2012 無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業」^[62]為例，申請開放飛行限高時，需說明「UAS/RPAS 名稱及其性能諸元」(如表 3.2-1)，其中即包括無人機之抗風能力。

如表 3.2-1 所示，進場速度為 4 m/s(公尺/秒)，對照我國中央氣象局提供的「蒲福風級對照表」^[64](如表 3.2-2)，約為 3 級風 3.4~5.4 m/s 範圍，故圖中環境限制登錄為「3 級風，空中遇雨返航」。

雖然圖中最大巡航速度，標示為 20 m/s，但此模式會造成電力迅速消耗，失去長時穩定錄影，蒐集路口畫面的意義。另外，無人機雲台需支援三軸穩定功能，攝影機擇定無曲面效果且攝影角度大，解析度以 1080p 以上，4K 為佳。

無人機具備自動飛行模式，參數設定依現場狀況調整，起降路徑設定需避開障礙物。但在路口拍攝時，需確認拍攝畫面後停懸拍攝，而 GPS 定位差異有時會 10-15 米以上，不建議在路口使用這樣的方案。

表 3.2-1 UAS/RPAS名稱及其性能

名稱	四軸多旋翼無人飛機		型式	四軸固定式	
翼展 / 機身長 (毫 米)	350mm		機 身 空 重 (不含燃量/酬載)	無酬載	
最 大 籌 載 (公 斤)	無酬載		使 用 燃 料	鋰聚電池	
最大起飛總重 (克)	1380g		最 大 升 限 (米)	6000 米	
滯 空 時 間	約 28 分鐘		最 大 航 程	通訊斷線返航	
最大巡航速度 (哩 / 時)	20 m/s		最 小 巡 航 速 度 (哩 / 時)	無操作自動懸停	
爬 升 / 下 降 率 (呎 / 分)	4 m/s		最 大 轉 彎 率 (度 / 秒)	200 度/s	
進 場 速 度 (哩 / 時)	4 m/s		環 境 限 制 (風 速 / 雨 量)	3 級風，空中遇雨返航	
起 飛 方 式	跑道 <input type="checkbox"/>	手擲 <input type="checkbox"/>	降 落 方 式	跑道 <input type="checkbox"/>	降落傘 <input type="checkbox"/>
	彈射 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>		其他 <input type="checkbox"/>	攔截網 <input type="checkbox"/>
遙控方式 / 頻率	2.4G		導 航 方 式	GPS 自主定位導航	

資料來源：本研究繪製

3.2.3 評估環境條件

1. 風速與風向

風速大於 9 m/s，不建議飛行拍攝。如我國中央氣象局提供的「蒲福風級對照表」^[64]所述，風之強弱程度，通常用風力等級來表示，而風力的等級，可由地面或海面物體被風吹動之情形加以估計之。目前國際通用之風力估計，係以蒲福風級為標準。蒲福氏為英國海軍上將，於 1805 年首創風力分級標準。先僅用於海上，後亦用於陸上，並屢經修訂，乃成今日通用之風級。實際風速與蒲福風級之經驗關係式為：

$$V = 0.836 * (B ^{(3/2)})$$

B 為蒲福風級數 V 為風速（單位：公尺／秒）

另外，風向儘量和鐵路、機場禁限航區等危險區域相反(如圖 3.2-1,圖 3.2-2)，危機處理時較有操作緩衝區。現行蒲福風級標準(如表 3.2-2)，故出勤時需參照風速預報。

表 3.2-2 蒲福風級對照表

蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	公尺每秒 m/s	哩每時 kts
0	無風 calm	煙直上	不足 0.3	不足 1
1	軟風 light air	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。	0.3-1.5	1-3
2	輕風 light breeze	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。	1.6-3.3	4-7
3	微風 gentle breeze	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。	3.4-5.4	8-12
4	和風 moderate breeze	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。	5.5-7.9	13-16
5	清風 fresh breeze	有葉之小樹開始搖擺。	8.0-10.7	17-21

資料來源：中華民國交通部中央氣象局

2. 天氣預報

雨天、強風、起霧、冰雪，不建議飛行拍攝。以我國中央氣象局天氣 10 日報^[65](如圖 3.2-3)、鄉鎮預報^[66](如圖 3.2-4)為例，天氣 10 日報資訊不足，鄉鎮預報可提供未來 7 天的 1 週預報，但精確度只有 12 小時為間隔。

首頁 > 天氣預報 > 1 週天氣 > 天氣 10 日報

1 週天氣 | 溫度趨勢圖 | 1 週旅遊 | 1 週概況 | 1 週農業氣象 | 天氣 10 日報

週二至下週日(4日至9日)鋒面逐漸北抬，結構亦減弱，對臺灣的影響減小，週二仍有些水氣，各地白天有斷續降雨，入夜後趨緩，週三起天氣主要受西南風影響，僅迎風面的南部地區有不定時小範圍短暫陣雨，其他地區天氣穩定，為多雲到晴午後有局部短暫雷陣雨的天氣；氣溫方面，晨間舒適、白天悶熱。

10日至12日另一鋒面滯留於臺灣北部海面，天氣再轉不穩定，中部以北及東北部地區有短暫陣雨，其他地區亦有局部短暫陣雨；提醒大家，梅雨季期間，鋒面附近容易伴隨著中尺度對流系統，造成短時強降雨及劇烈天氣現象，請隨時留意氣象局發布的最新天氣訊息。

另外，週四以前金門及馬祖易有局部霧或低雲影響能見度，尤其清晨、深夜機率更高一些，交通往返請注意航班資訊。

根據行政院環保署空氣品質預報資訊：3日鋒面仍位於臺灣北部海面，臺灣位於鋒面前緣，天氣不穩定，各地皆有降雨發生的機會，有利於污染物洗除，污染物濃度將視降雨時間及強度而有所變化；竹苗、中部、雲嘉南、高屏、宜蘭、花東空品區及金門、澎湖地區為「良好」等級；北部空品區及馬祖為「普通」等級；詳情請參考網址 <http://goo.gl/hE5Oct>。

資料來源：中華民國交通部中央氣象局

圖 3.2-3 中央氣象局天氣 10 日報參考圖



資料來源：中華民國交通部中央氣象局

圖 3.2-4 中央氣象局鄉鎮預報圖

以 Windy 天氣預報整合網站^[67] (如圖 3.2-5)為例，雖然有提供 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 歐洲中期天氣預報中心), GFS (Global Forecast System, 全球預報系統), METEOBLUE (瑞士巴塞爾大學創建的氣象服務) 數家天氣預報資料，最多可達 9 天，但精確度達 3 小時為間隔的預報，只有提供最近 6 天。



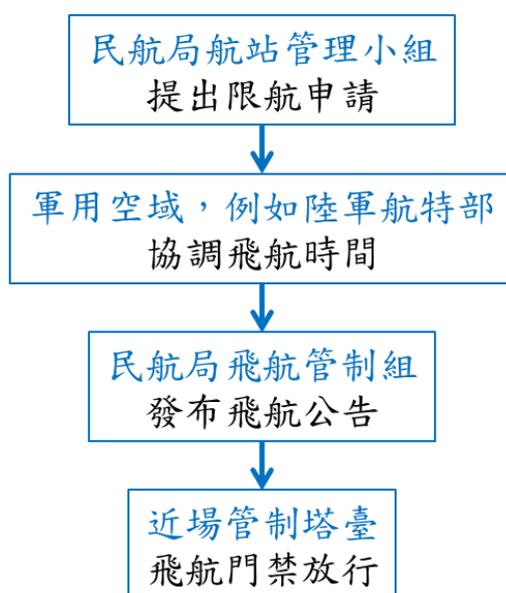
資料來源：Windy.com

圖 3.2-5 Windy天氣預報整合網站圖

3.3 限高場域申請

「遙控無人機管理規則(草案)」^[61]「遙控無人機檢驗及操作人員測驗委託辦法(草案)」原預定於 2019 年 7 月 1 日上路，然而當前因全台各縣市的禁航圖資還未完備，預定要延至 2020 年第一季，才實施無人機監管。

因此在「遙控無人機管理規則」正式實施前，依照我國交通部民用航空局公布的規定，以「機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點」^[61]為主，請見圖 3.3-1 限高場域申請流程，將說明如下。

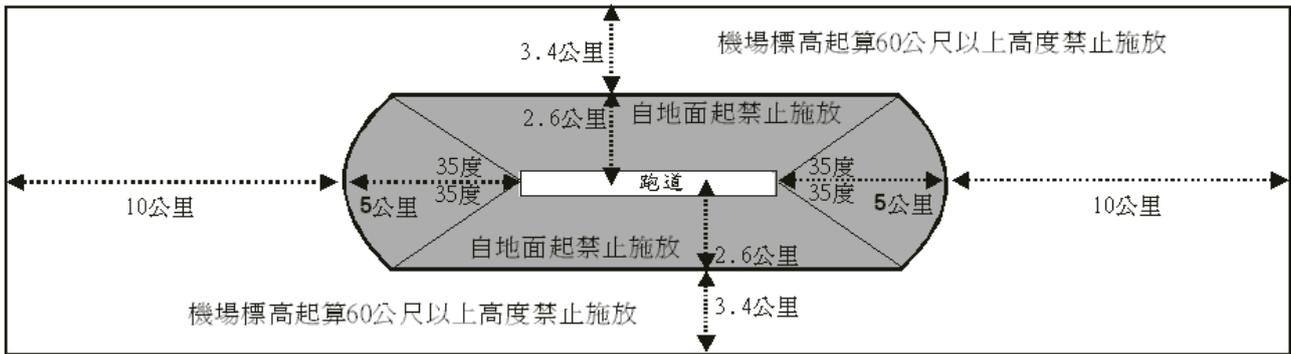


資料來源：本研究繪製

圖 3.3-1 限高場域申請流程

3.3.1 遙控無人機管理規則實施前

我國現行規定包含「交通部民用航空局對機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點」^[61](如圖 3.3-2)、「飛航公報 AIC 04/2012 無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業」^[62]生效期 01 JAN 2013 截止 PERM(永久)、臺北飛航情報區飛航指南



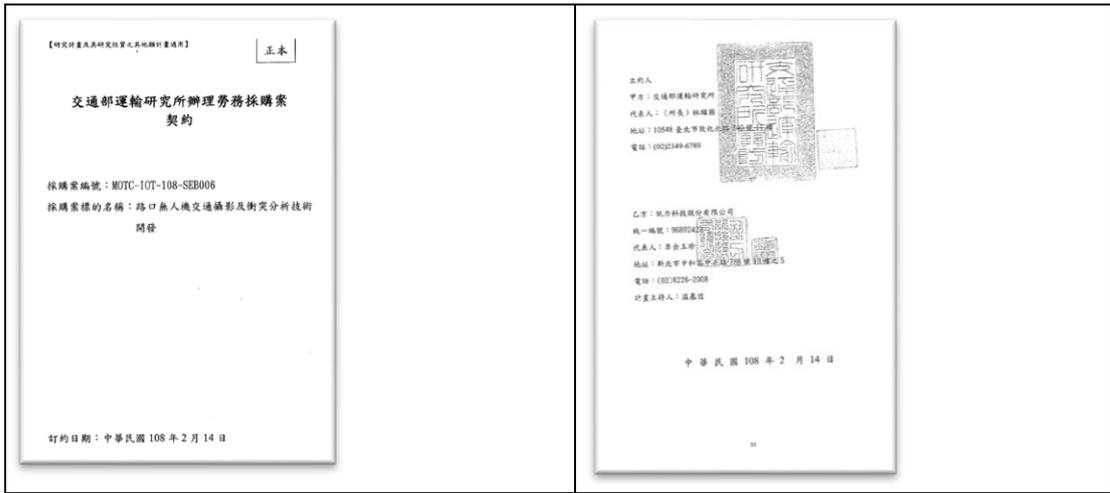
資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 3.3-2 機場四周禁止施放有礙飛航安全物體距離範圍示意圖

查詢方法說明如下，

1. 交通部民用航空局無人機專區 > 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) [71]
2. 空拍機常見之禁航區地圖，含臺灣禁限航區 [72]

申請時應檢附主管機關使用無人載具之計畫核定文件(如圖 3.3-3)，包括「合約書」、「無人航空器系統 (UAS) 作業申請表」，需有申請單位官防用印。並登錄 UAS/RPAS 名稱及其性能(如表 3.2-1)、UAS/RPAS 附圖、UAS 起降場地暨障礙物附圖、UAS 作業空域附圖(含座標)。

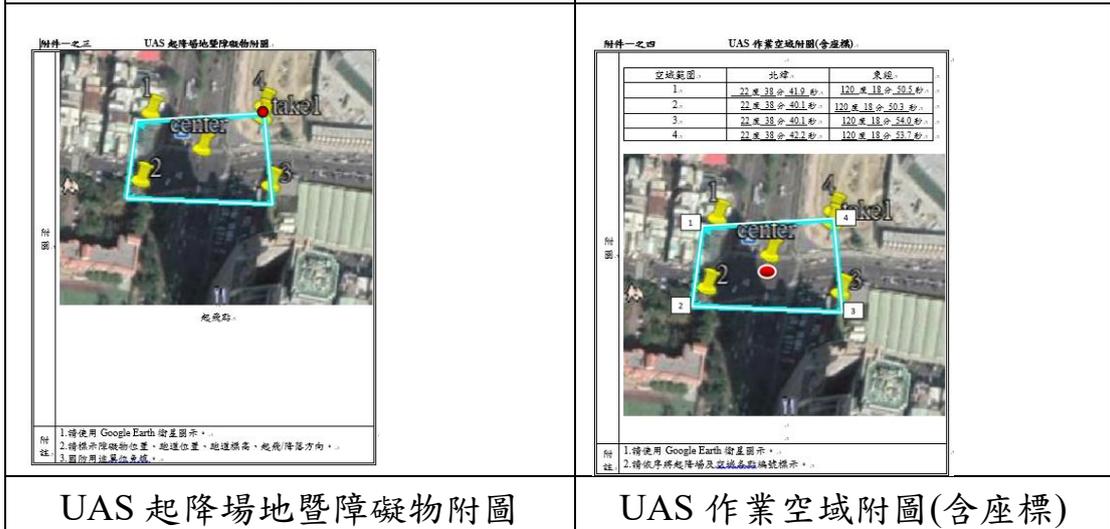


交通部運輸研究所辦理勞務採購案契約



無人航空器系統 (UAS) 作業申請表

UAS/RPAS 附圖



UAS 起降場地暨障礙物附圖

UAS 作業空域附圖(含座標)

資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 3.3-3 限高申請文件示意圖

3.3.2 遙控無人機管理規則實施後

和「遙控無人機管理規則」實施前相同，申請時應檢附主管機關使用無人載具之計畫核定文件(如圖 3.3-3)，包括「合約書」、「無人航空器系統(UAS)作業申請表」，及類似的「政府機關(構)、學校或法人活動計畫書」(如圖 3.3-4)，需有申請單位官防用印。

並登錄 UAS/RPAS 名稱及其性能(如表 3.2-1)、UAS/RPAS 附圖、UAS 起降場地暨障礙物附圖、UAS 作業空域附圖(含座標)。另需準備「政府機關(構)、學校或法人作業手冊」(如圖 3.3-5)，依據遙控無人機管理規則法規架構，需於活動前 15 日提出申請。

附件十六 政府機關(構)、學校或法人活動計畫書

規		定		說		明	
作業名稱							
申請單位承辦人							
作業現場負責人							
駕駛人員							
協同人員							
遙控無人機							
作業日期及時間 (24 時刻)							
空域範圍各點座標(WGS-84/可視需要增加欄位)							
作業高度							
UAS/RPAS 起飛/降落地點名稱與座標(WGS-84)							
作業範圍中心點座標(WGS-84)							
作業字樣(海運)							
作業概述							
操作限制排除項							

<input type="checkbox"/> 不得於日落后至日出前之時間飛行。 <input type="checkbox"/> 在日視範圍內操作，不得以除攝正鏡片外之任何工具延伸機飛行器距離。 <input type="checkbox"/> 操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。 註：1.本申請表填寫時，請自行依實際需要調整欄位。 2.請於實施作業前十五天，向交通部民用航空局提出申請。	
註：中請從事本法第九十九條之十四第一項第一款活動經民航局許可後，應遵照相關許可條件辦理或於每次活動前依許可內容與航管作業單位確認連絡人員派遣事宜。	
主管機關(民用航空局/直轄市、縣(市)政府)同意或許可及其條件	

遙控無人機作業空域附圖(含座標)	
附圖	
附註	1.請使用 TGOS MAP 衛星圖示。 2.請依序將起降場及空域各點編號標示。

資料來源：遙控無人機管理規則

圖 3.3-4 政府機關(構)、學校或法人活動計畫書

附件十五 政府機關(構)、學校或法人作業手冊

規	定	說	明
政府機關(構)、學校或法人為執行業務需要，從事本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款之操作者，應於作業手冊中敘明操作限制排除事項之相關設備與程序。其內容應至少包含但不限於以下之內容：		明定政府機關(構)、學校或法人申請能力審查之作業手冊內容應包含項目。	
一、 民航法第九章之二及本規則之法規符合陳述。			
二、 權責單位組織、職掌及主要管理人員、飛航操作相關人員安全職責。			
三、 主要管理人員、飛航操作相關人員之資格條件及訓練。			
四、 經註冊之遙控無人機及其相關系統設備清冊，內容應至少包含廠牌、型式、數量、性能規格等。			
五、 領有操作證之飛航操作人員清冊，內容應至少包含姓名、操作證類別及證號、效期，以及許可操作之遙控無人機型式等。但中華民國一百零九年一月一日前，未持有操作證之操作人員，應檢附相關經歷資料或由操作人所屬之政府機關(構)、學校或法人出具切結文件備查。			
六、 符合本法要求之安全管理、飛航操作、維修保養，以及緊急處理及通報程序。			
七、 欲排除本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款之操作限制項目、飛航操作標準及程序、緊急處理及通報程序。			

資料來源：遙控無人機管理規則

圖 3.3-5 政府機關(構)、學校或法人作業手冊

其他準備資料包含下列項目，

1. 解禁限高無人機設備清單，含電池 QC 證明。
2. 無人機操作證明，含上課證明書、初級操作證。

3.3.3 臺北飛航情報區 & 有效飛航公報

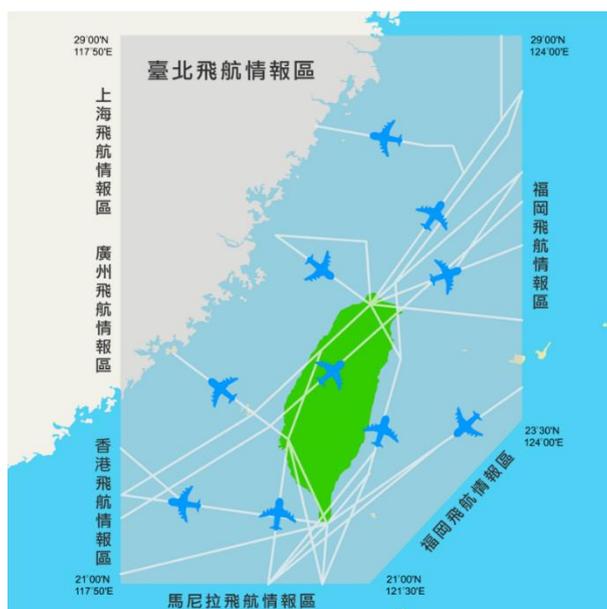
1. 臺北飛航情報區

國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)把全世界的天空分為大大小小的飛航情報區(Flight Information Region, FIR)，目前全球各地有 300 多個飛航情報區。

臺北飛航情報區(以下稱本區)是在民國 42 年劃定的，由飛航服務總臺全天候 24 小時針對飛航於此一區域內所有航空器，提供完善的飛航管制、飛航情報、

航空氣象、航空通信、地面助導航設施...等服務，時時守護著本區的飛航安全及空運便利。[63]

本區位在東經 117.5 度至 124 度，北緯 21 度至 29 度，東面、南面分別跟日本福岡及菲律賓馬尼拉的飛航情報區做鄰居；西面、北面則分別跟香港及中國大陸的廣州、上海飛航情報區相比鄰。目前共計有國際航路 14 條、區內過境航路 4 條及國內航路 4 條，位居西太平洋空中航路之樞紐，在民國 105 年提供將近 165 萬管制架次的服務，是東亞航空運輸網絡不可或缺的天空廊道(如圖 3.3-6)。



資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 3.3-6 臺北飛航情報區

2. 有效飛航公報

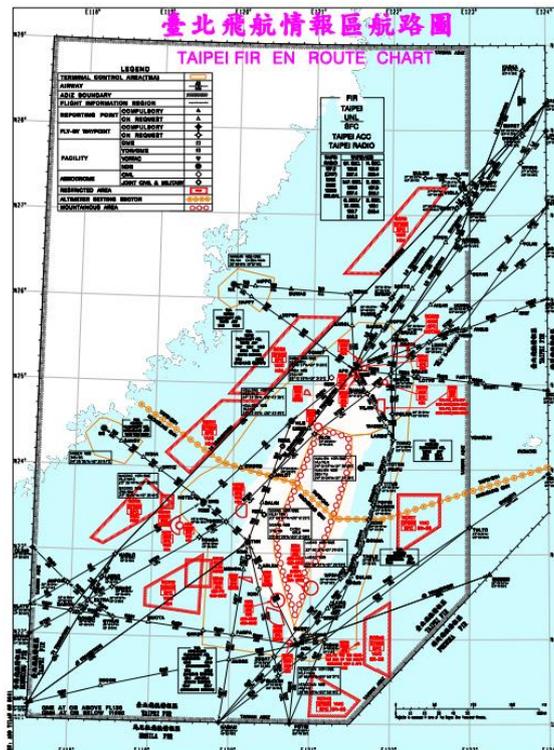
108 年 1 月 15 日仍有效之航空公報 (AIC) ^[74](如表 3.3-1)。

表 3.3-1 有效之航空公報 (AIC)

序號/年	標題
04/12	無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業
02/15	航班呼號混淆
02/16	臺北飛航情報區性能導航(PERFORMANCE-BASED NAVIGATION, PBN)實施計畫
01/19	有效航空公報(AIC)校對表

資料來源：中華民國交通部民用航空局

臺北飛航情報區電子式飛航指南^[63]，有提供「臺北飛航情報區航路圖」(如圖 3.3-7)，可對照機場、軍事基地、發電廠設施禁限航區。



資料來源：中華民國交通部民用航空局

圖 3.3-7 臺北飛航情報區航路圖

3.4 長大型路口方案規劃

除了標準的十字路口外，臺灣仍有超大型路口，如台北市仁愛路圓環，故需同時規劃長大型路口之觀測方法，如表 3.4-1 所示說明如下

方案一、飛行高度更高，以涵蓋全部範圍，以目前解析度來說，可能無法進行小於機車之物件分析。

方案二、使用魚眼鏡頭以涵蓋全部範圍，影像變形問題須處理，多數區域也會因扭曲而小到不行。

方案三、使用多無人機進行影像拼接，無人機影像同步及拼接問題須處理，會引發更多新問題。無人機影像同步及拼接所造成的影像失真將降低深度學習偵測的準確度。

方案四、先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。

依上述說明，將採用方案四進行長大型路口之交通觀測方案。

表 3.4-1 長大型路口方案

解決方案	方案說明	評估	結論
方案一	飛行高度更高，以涵蓋全部範圍	飛行高度超過150m，以目前解析度來說，可能無法進行小於機車之物件分析。	不建議
方案二	使用魚眼鏡頭以涵蓋全部範圍	影像變形問題須處理，多數區域也會因扭曲而小到不行。	不建議
方案三	使用多無人機進行影像拼接	無人機影像同步及拼接問題須處理，會引發更多新問題。	不建議
方案四	飛行高度低於150m，或先篩選易肇事路段進行局部分析	在限高內可以現行方式分析，或以離線方式逐漸擴展，雖然各區塊間缺乏連續資訊，但最可行。	建議

資料來源：本研究繪製

3.5 號誌時相與影片對時做法規劃

交通衝突主要集中於號誌化之交叉路口，許多的事故發生乃因搶紅燈或不遵守交通號誌指示所導致。當無人機由制高點且垂直角度往下拍攝，實無法清楚拍攝到號誌時相變化狀況，因此難以將無人機影像與號誌時相進行同步，如此可能無法判斷某些危險因素。

號誌時相表已向各單位索取多次，但因為時相表更新作業費時，和現場時相不一致的機率很高，各單位建議以現場為準。另外，特殊時相轉換的時間通常在整點，拍攝時已儘可能避開，目前約 30 趟次中，只有 1 趟次有遇到時相轉換。

本研究規劃路口號誌時相與影片對時之方法，以利後續進行交通安全診斷，使用 UTC 時間做同步對時，原則上可達毫秒等級，目前實測結果，其精準值可達 300ms。方法如圖 3.5-1，主要步驟如下：

1. 無人機影像蒐集時進行時間記錄
 - (1) 開啟 UTC 時間。
 - (2) 無人機起飛。
 - (3) 手機錄影「UTC 時間+無人機圖傳+號誌時相二週期+無人機穩定後錄影」。
 - ① 記錄無人機錄影後 UTC 時間。
 - ② 記錄燈號切換時 UTC 時間，例如記錄至少 2 次綠燈開始時間。
 - (4) 手機錄影結束。
 - (5) 空拍影片不需後製。
2. 進行時間比對，記錄校正時間。



資料來源：本研究繪製

圖 3.5-1 無人機影像蒐集時進行時間記錄

為降低人為及機械誤差，採用的「對時做法」為用手機錄影 UTC 時間、圖傳畫面及號誌，優點是記錄在側錄影片中，可事後比對降低人眼誤差。

採用兩階段比對(如圖 3.5-2)，第一階段，記錄「無人機穩定後錄影，UTC 時間」；第二階段，確認「號誌時相二週期，UTC 時間」。即可利用兩階段時間的差額，得知號誌時相週期開始的時間，位在空拍影片中的哪一個時間段。



資料來源：本研究繪製

圖 3.5-2 號誌時相與影片對時示意圖

以雲林縣斗六市路口為例(如圖 3.5-3)，因為臺灣位於 UTC time+8 時區，故側錄影片的時間需增加 8 小時。我們可由側錄影片，取得無人機開始存檔時間及綠燈切換時間，推得「綠燈開始時間」位在空拍影片中的 19.373 秒，此時間即為綠燈開始時間(17:18:55.615)，與無人機開始存檔時間(17:18:36.242)之差距。

比對空拍影片(如圖 3.5-4)，雲林縣斗六市路口第 2 趟 0 分 19 秒畫面，及雲林縣斗六市路口第 2 趟 0 分 20 秒畫面，可證明綠燈開始畫面，約在空拍影片第 19 秒處。



資料來源：本研究繪製

圖 3.5-3 雲林縣斗六市路口側錄畫面



雲林縣斗六市路口，第 2 趟 0 分 19 秒畫面

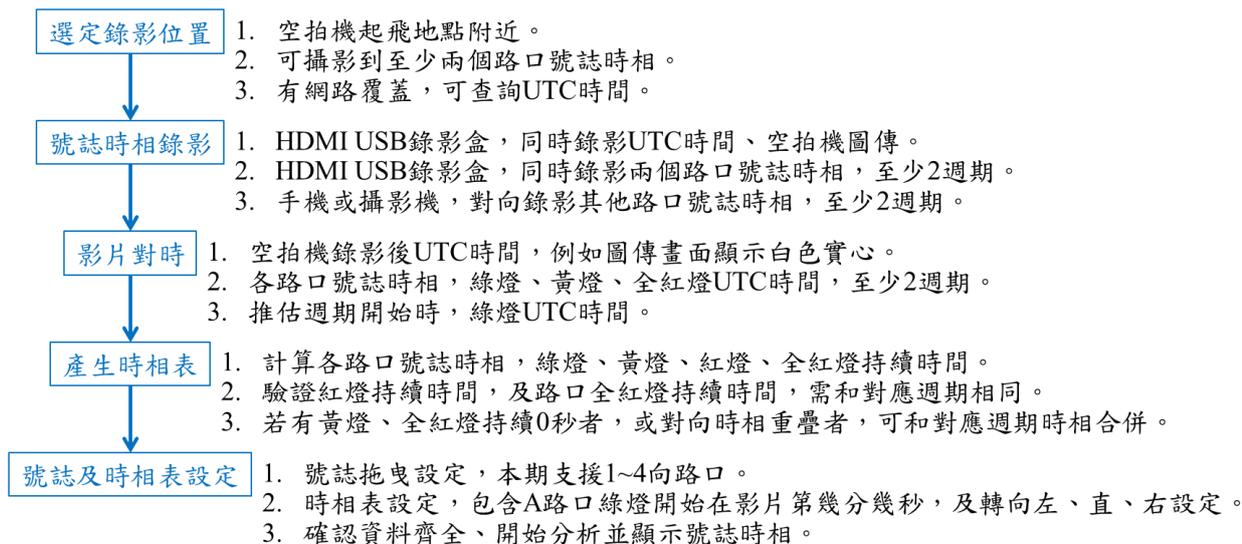


雲林縣斗六市路口，第 2 趟 0 分 20 秒畫面

資料來源：本研究繪製

圖 3.5-4 雲林縣斗六市路口綠燈開始畫面

號誌時相與影片對時錄影箱設備升級，可避免強光反射，畫質提升至 1080p/720p。使用 JVC 攝影機、Sony 相機鏡頭，搭配 HDMI 4 進 1 出影像分割處理器、HDMI USB 錄影盒即時錄影。注意不要在號誌時相轉換、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，作業流程請見圖 3.5-5。



資料來源：本研究繪製

圖 3.5-5 號誌時相與影片對時作業流程

錄影箱設備升級現場照片，如圖 3.5-6。左上畫面為錄影箱設備及 JVC 攝影機配置，包含 enerpad AC40K 萬用行動電源、HDMI 螢幕、Uptech HS450 HDMI 影像分割處理器、UPMOST MPB930 HDMI 錄影盒、外接式 SSD 行動硬碟。右上畫面為錄影盒記錄的影片，包含 UTC 時間、無人機圖傳、號誌鏡頭畫面。右側畫面為錄影箱設備升級現場照片，包含 UTC 時間、無人機圖傳、號誌鏡頭畫面。



資料來源：本研究繪製

圖 3.5-6 號誌時相與影片對時錄影箱，設備升級現場照片

圖 3.5-7 可知，(路口 A 紅燈持續 59 秒) - (路口全紅燈 2 秒) = (路口 b,d 綠燈、黃燈、全紅燈持續時間) + (路口 c 綠燈、黃燈、全紅燈持續時間)。(路口 b,d 紅燈持續 101 秒) - (路口全紅燈 3 秒) = (路口 c 綠燈、黃燈、全紅燈持續時間)。

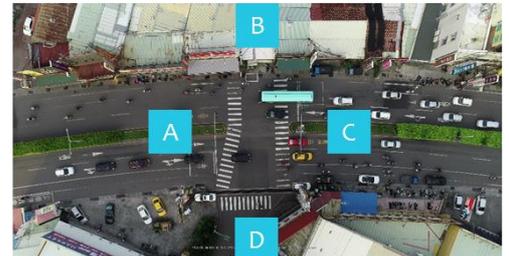
符號說明，

1. Video A 為第一架次影片，road b,d 為路口編號。
2. green 綠燈, yellow 黃燈, red 紅燈, all red 路口全紅燈
3. P4P recorder 無人機錄影時間, d 直走, r 右轉, l 左轉

```

14 <video A-road b,d
15 yellow start 0:35 3 sec
16 red start 0:38 101-3 sec
17
18 green start 2:19 36 sec
19 yellow start 2:55 3 sec
20 red start 2:58 101-3 sec
21
22 green start 4:39 36 sec
23 yellow start 5:15 3 sec
24 red start 5:18 -3 sec
25
26
27 <verify
28 1.road a (red 59-2) = road b,d (green 36 + yellow 3 + all red 3) + road c (green 10 + yellow 3 + all red 2)
29 2.road b,d (red 101-3) = road c (green 83+10 + yellow 3 + all red 2)
30 3.road c (red 44-2) = road b,d (green 36 + yellow 3 + all red 3)
31
32
33 <video A-road a
34 P4P recorder 17:08:27.975
35
36 green start 17:09:00.029 78 sec
37 yellow start 17:10:18.085 3 sec
38 red start 17:10:21.089 59-2 sec
39
40 green start 17:11:20.190 78 sec
41 yellow start 17:12:37.957 3 sec
42 red start 17:12:40.966 59-2 sec
43 green start 17:13:40.053

```



修正版	進	出	轉向	時相1,2	時相3	時相4
	A	B	左	0		
	A	C	直	0		
	A	D	右	0		
	B	C	左			0
	B	D	直			0
	B	A	右			0
	C	D	左		0	
	C	A	直	0	0	
	C	B	右	0	0	
	D	A	左			0
	D	B	直			0
	D	C	右			0
	綠燈			78	10	36
	黃燈			3	3	3
	紅燈			2	2	3

資料來源：本研究繪製

圖 3.5-7 影片對時人工時相 - 台南市永康區中華路 & 勝華街

台南市交通局提供的，永康區中華路 & 勝華街時制計畫如圖 3.5-8。拍攝時間為 2019/8/26(一)17:00~18:00，其中分相 1 中華路 16:00~19:00 綠燈 93 秒，即為 C 路口 83+10 秒，加上黃燈 3 秒、全紅燈 2 秒，等於時比 98 秒。分相 2 勝華街 16:00~19:00 綠燈 36 秒，即為 B, D 路口 36 秒，加上黃燈 3 秒、全紅燈 3 秒，等於時比 42 秒。

我們推測的週期 140 秒，即為時比 98+42 秒，長度正確。另外，我們取得的時制計畫表只有分兩主要週期，但該路口有轉向的早開/遲閉，並未記錄在表中，所以有必要現場確認作輔助。

大臺南智慧交通控制系統

分相 1: 中華路

分相 2: 勝華街

報表名稱：號誌中心時制計畫

路口名稱：S266801 永康區 中華路與勝華街口

	號誌編號	時制	週期	時差	基準方向	時相	分相號	時比	綠燈	黃燈	全紅	行閃	行紅	最長綠	最短綠
00:00	S266801	01	20	0	0	80	1	10	5	3	2	5	0	210	5
01:00	S266801	01	20	0	0	80	2	10	5	3	2	5	0	210	5
01:00	S266801	02	20	0	0	80	1	10	5	3	2	5	0	210	5
01:30	S266801	02	20	0	0	80	2	10	5	3	2	5	0	210	5
05:30	S266801	03	120	0	0	00	1	84	79	3	2	0	0	100	5
06:00	S266801	03	120	0	0	00	2	36	30	3	3	0	0	100	5
06:50	S266801	04	140	0	0	00	1	98	93	3	2	0	0	100	5
07:00	S266801	04	140	0	0	00	2	42	36	3	3	0	0	100	5
09:00	S266801	05	120	0	0	00	1	84	79	3	2	0	0	100	5
16:00	S266801	05	120	0	0	00	2	36	30	3	3	0	0	100	5
16:00	S266801	06	140	0	0	00	1	98	93	3	2	0	0	100	5
19:00	S266801	06	140	0	0	00	2	42	36	3	3	0	0	100	5
19:00	S266801	07	120	0	0	00	1	84	79	3	2	0	0	100	5
22:00	S266801	07	120	0	0	00	2	36	30	3	3	0	0	100	5
22:00	S266801	08	100	0	0	00	1	69	64	3	2	0	0	100	5
00:00	S266801	08	100	0	0	00	2	31	25	3	3	0	0	100	5

資料來源：本研究繪製

圖 3.5-8 台南市交通局永康區中華路 & 勝華街時制計畫

第四章 空拍影像資料蒐集

4.1 訓練資料場地篩選與實拍

4.1.1 地點評估

訓練資料場地共計評估臺灣北部 8 個路口，預計進行 5 個路口，12 趟次空拍服務，補充自行車、行人、貨卡車、聯結車等訓練資料的不足。其中桃園市初選 5 個路口，選擇其中 2 個路口空拍；在新竹工研院中興院區場域，選擇 2 個路口空拍；在中和遠東世紀廣場，選擇 1 路口空拍。訓練資料場地飛行評估總表，請見表 4.1-1。詳細評估說明請見 3.2 無人機作業可行性評估。

表 4.1-1 訓練資料場地飛行評估總表

路口名稱	訓練資料	評估結果
新竹工研院中興院區9館路口75公尺	自行車、行人	現場評估
新竹工研院中興院區67 & 77館路口75公尺	自行車、行人及綜合	現場評估
楊梅中山北路一段 & 環東路75公尺	貨卡車、聯結車	現場評估
桃園市政府文化局75公尺	自行車、行人	現場評估
中和遠東世紀廣場75公尺	行人	現場評估
楊梅中山北路一段 & 裕成路	貨卡車、聯結車	不建議飛行
桃園經國路 & 有恆街	貨卡車、聯結車	不建議飛行
桃園火車站	自行車、行人	不建議飛行

資料來源：本研究繪製

4.1.2 空拍記錄

訓練資料在五個地點，共飛 12 趟次，其中「新竹工研院 9 館路口」2 趟次、「楊梅區中山北路一段 & 環東路」3 趟次、「桃園市政府文化局」1 趟次、「工研院 67 & 77 館路口」4 趟次、「中和遠東世紀廣場」2 趟次。

表 4.1-2 訓練資料場地空拍記錄

次數	出勤日期/地點	“固定”比例尺	設備“校時”	Drone開始錄影 “拍攝”手機時間	開始穩定錄影 “登記”手機時間	號誌一週期 綠燈到綠燈 紅燈到紅燈 “手機錄影”	Drone結束錄影 “拍攝”手機時間
1	2019/3/20 楊梅區中山北路一段 & 環東路	紅色三角架 外圍 43.5x43.5cm	√	DJI P4P穩定才錄	10:43:08	√ 影片長度2:59	10:55:22 (影片長度12:14)
2	2019/3/20 楊梅區中山北路一段 & 環東路	紅色三角架 外圍 43.5x43.5cm	√	DJI P4P穩定才錄	11:04:09 (手記11:04:06)	√ 影片長度2:51	11:21:29 (手記11:21:27 影片長度17:20)
3	2019/3/20 楊梅區中山北路一段 & 環東路	紅色三角架 外圍 43.5x43.5cm	√	DJI P4P穩定才錄	11:42:15 (手記11:42:11)	√ 影片長度2:46	12:01:12 (手記12:01:08 影片長度18:57)
4	2019/3/20 桃園市政府文化局	紅色三角架 外圍 43.5x43.5cm	√	DJI P4P穩定才錄	16:10:10 (手記16:10:10)	無	16:26:37 (手記16:26:35 影片長度16:26)
5	2019/3/21 工研院67 & 77館前	停車格 白線外圍 204x510cm	√	DJI P4P穩定才錄	11:38:09 (手記11:37:22)	無	11:54:45 (手記11:53:59 影片長度16:36)
6	2019/3/21 工研院67 & 77館前	停車格 白線外圍 204x510cm	√	DJI P4P穩定才錄	12:00:14 (手記12:00:13)	無	12:17:12 (手記12:17:11 影片長度16:57)
7	2019/3/27 工研院67 & 77館前	停車格 白線外圍 214x522cm	√	DJI P4P穩定才錄	16:59:04 (手記16:59:04)	無	17:15:54 (手記17:15:54 影片長度16:49)
8	2019/3/27 工研院67 & 77館前	停車格 白線外圍 214x522cm	√	DJI P4P穩定才錄	17:19:22 (手記17:19:21)	無	17:35:48 (手記17:35:48 影片長度16:26)
9	2019/2/26 工研院9館行人	無	√	DJI P4P穩定才錄	10:43:08	無	10:55:22 (影片長度12:14)
10	2019/2/26 工研院9館行人	無	√	DJI P4P穩定才錄	11:04:09	無	11:21:29 (手記11:21:27 影片長度17:20)
11	2019/3/21 中和區遠東世紀廣場行人	無	√	DJI P4P穩定才錄	11:37:58	無	11:54:18 (影片長度16:19)
12	2019/3/21 中和區遠東世紀廣場行人	無	√	DJI P4P穩定才錄	12:07:34	無	12:26:37 (影片長度19:03)

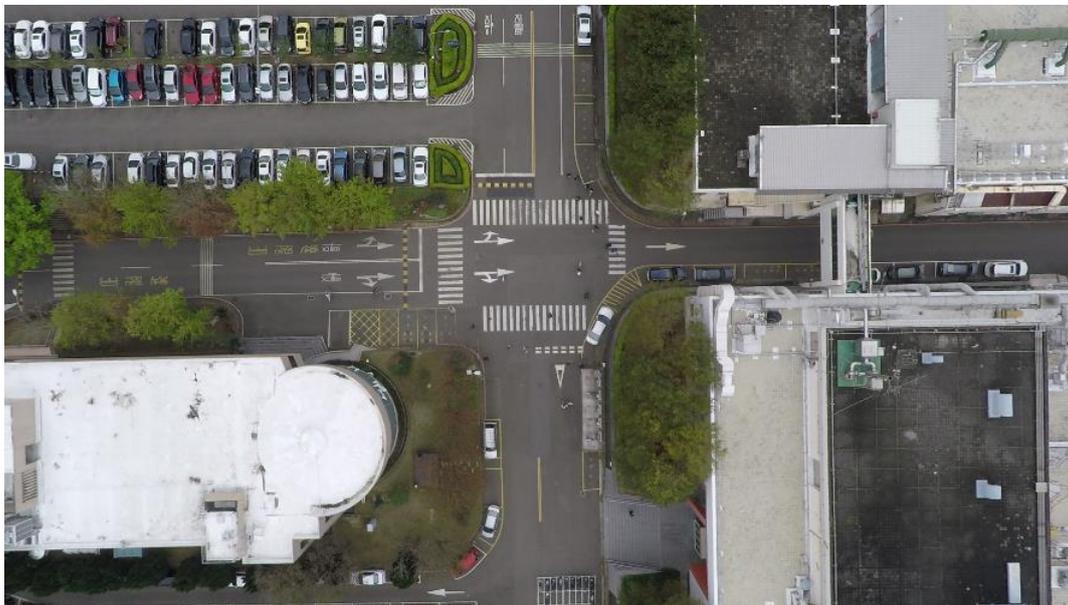
資料來源：本研究繪製

1. [自行車、行人] 新竹工研院中興院區 9 館路口 75 公尺



資料來源：本研究繪製

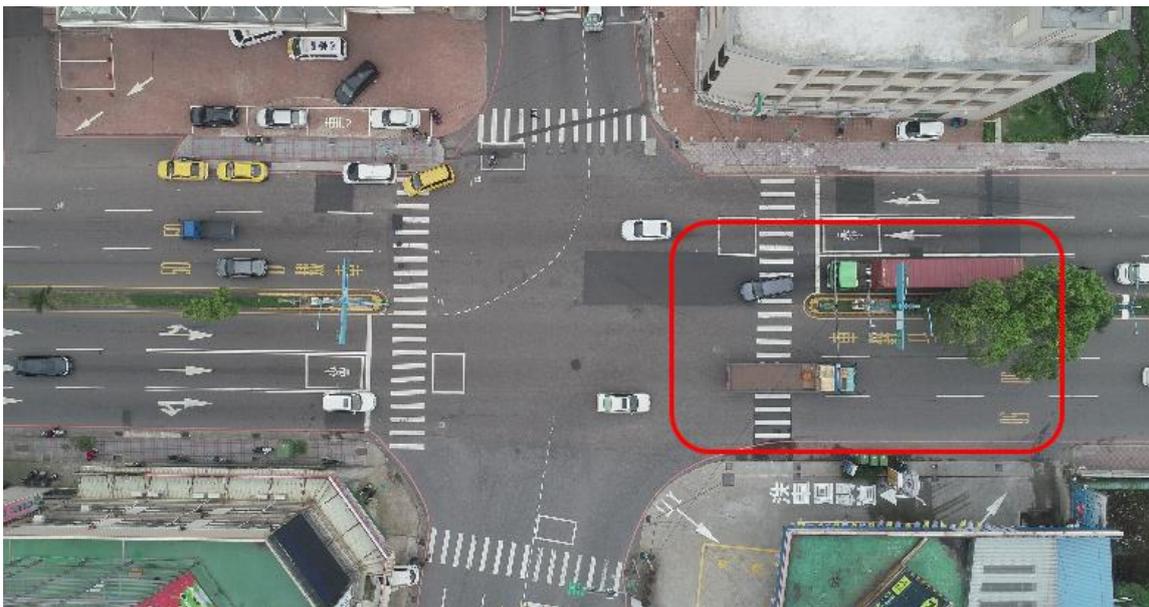
圖 4.1-1 DJI P4P_9館路口



資料來源：本研究繪製

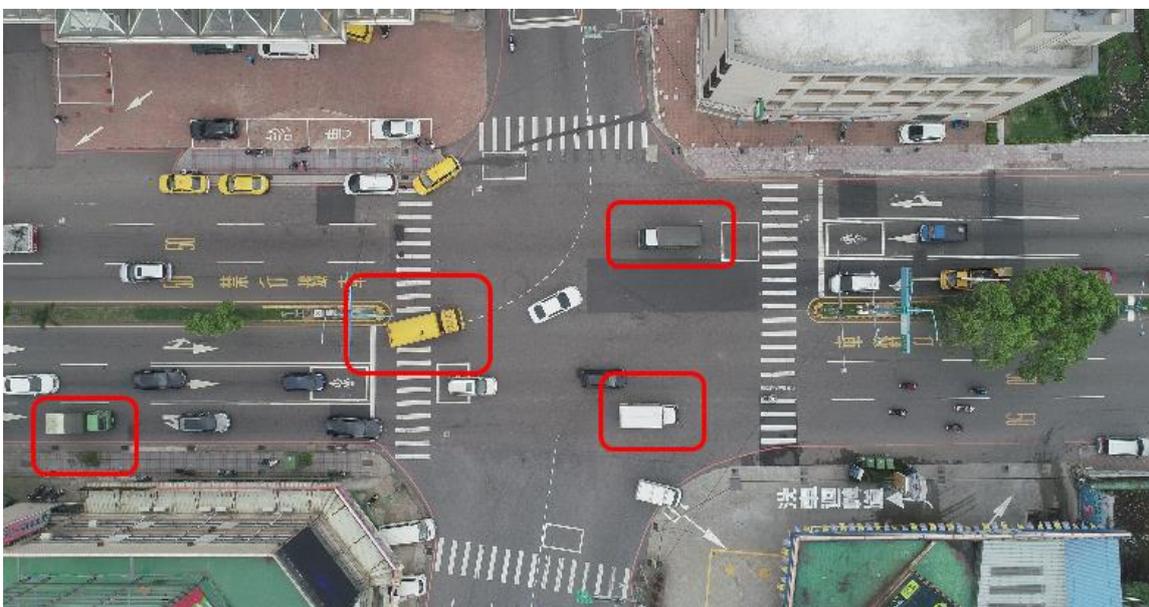
圖 4.1-2 X4 air搭配gopro hero4_9館路口

2. [貨卡車、聯結車] 楊梅中山北路一段 & 環東路 75 公尺



資料來源：本研究繪製

圖 4.1-3 聯結車



資料來源：本研究繪製

圖 4.1-4 貨卡車

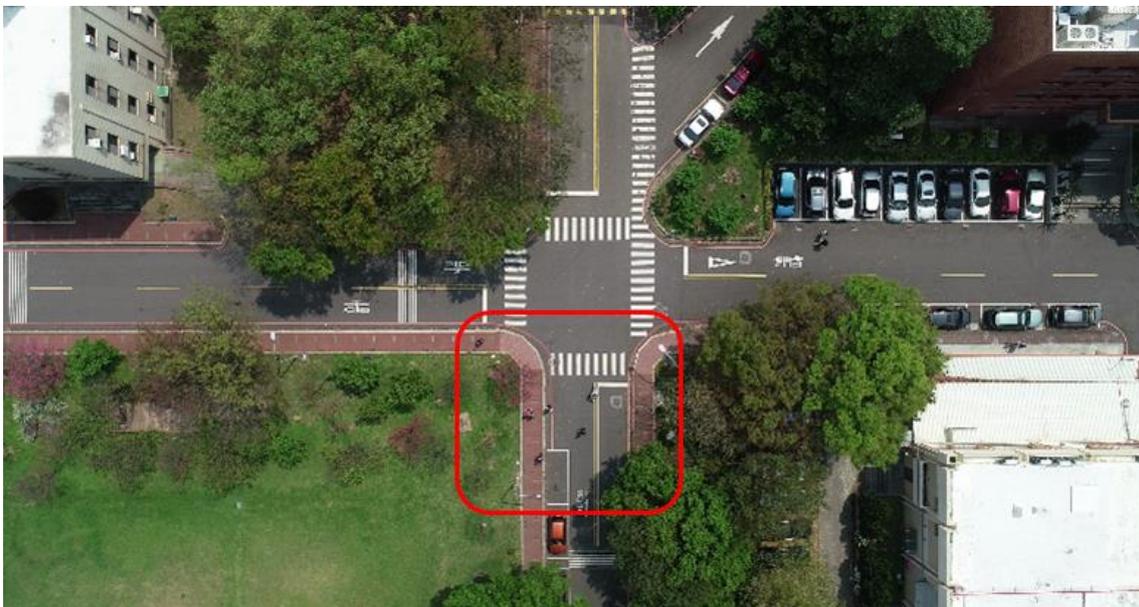
3. [自行車、行人] 桃園市政府文化局 75 公尺



資料來源：本研究繪製

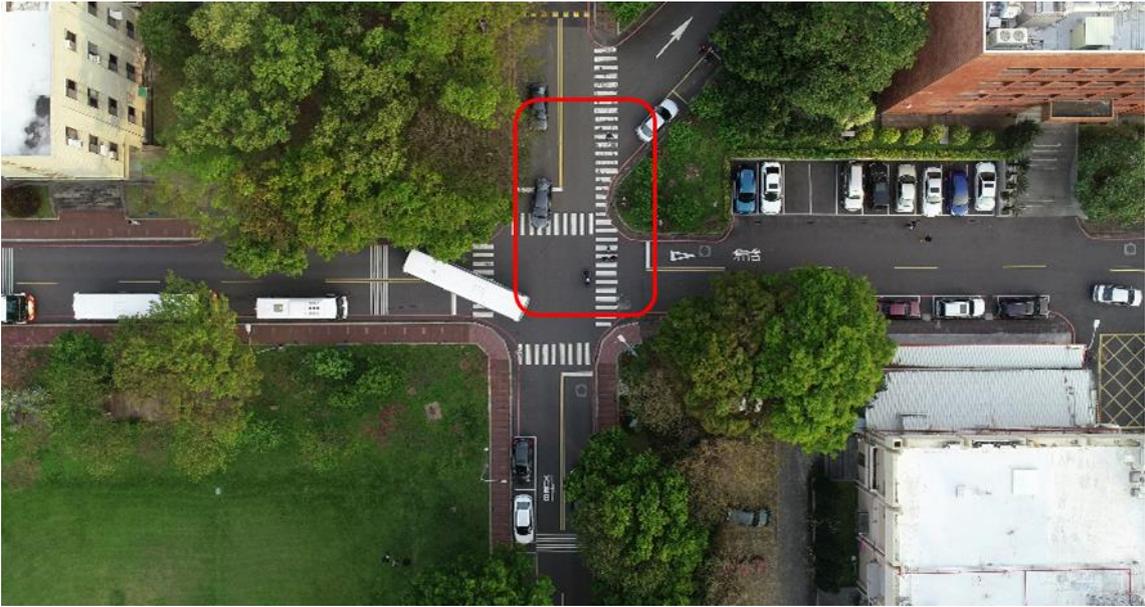
圖 4.1-5 自行車、行人

4. [自行車、行人及綜合] 新竹工研院中興院區 67 & 77 館路口 75 公尺



資料來源：本研究繪製

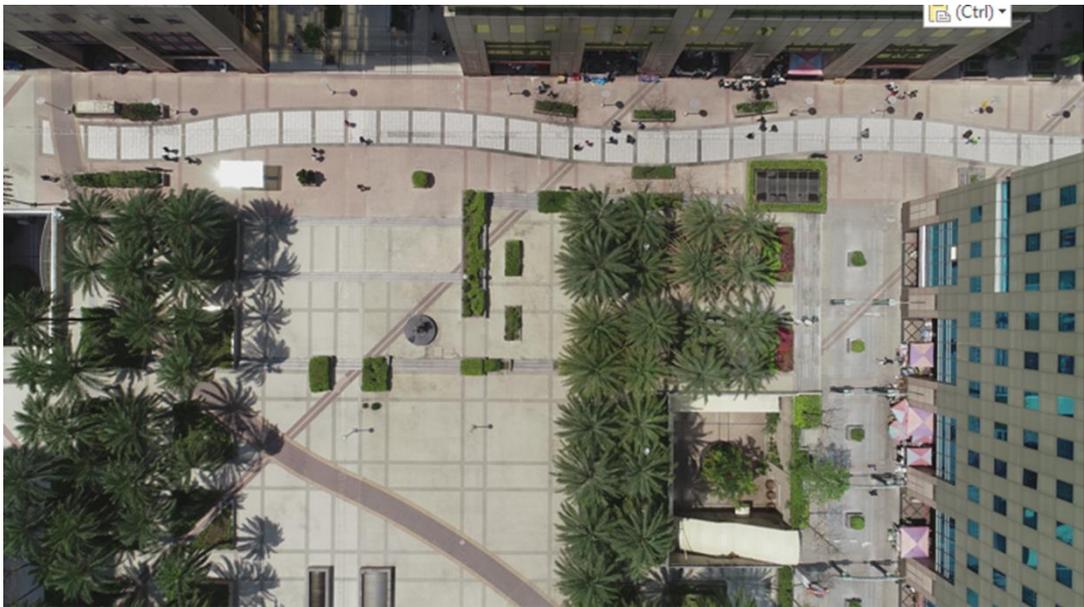
圖 4.1-6 中午時間自行車、行人



資料來源：本研究繪製

圖 4.1-7 下班時間綜合客車、轎車、機車、自行車、行人

5. [行人] 中和遠東世紀廣場 75 公尺



資料來源：本研究繪製

圖 4.1-8 行人

4.2 驗證資料場地篩選與實拍

4.2.1 地點評估

驗證資料場地共計評估全臺灣 19 個路口，預計在 5 個路口，進行 20~30 趟次空拍服務。配合高雄市交通局需求，在高雄市飛行場域依其選定之 4 個路口，選擇其中 2 個路口空拍，包含「高雄市三民區民族一路 & 十全一路」、「高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路」；配合路口改善計畫，由交通部運輸研究所初選全臺灣 15 個路口，選擇其中 3 個路口，於施工前後分兩階段空拍。驗證資料場地飛行評估總表，請見表 4.2-1。詳細評估說明請見 3.2 無人機作業可行性評估。

民族一路 & 十全一路路口，乃高雄市交通局選定，雖然非完全正交，但還是能進行分析處理。衝突分析技術之應用不受限於路口之幾何型態，本研究的實作地點選擇以高風險路口為主，非完全正交之路口也可納入分析對象。

表 4.2-1 驗證資料場地飛行評估總表

路口名稱	建議起飛地點	評估結果
新竹縣竹北市自強北路&勝利七八街	中油台站旁 停車場 03 550 4424 建議 西風 飛行	現場評估
雲林縣斗六市大學路三段&中山路	雲林客運 斗六停車場 0800 285 897 建議 西風 飛行	機關同意後，現場評估
台南市永康區中華路&勝華街	大九九大賣場 停車場 06 313 9099 建議 西風 飛行	店家同意後申請，現場評估
高雄市三民區民族一路&十全一路	愛國國小旁 人行道 07 316 1191 不限風向，但 東風 尤佳	現場評估
高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路	明誠公園、三民家商旁 人行道 07 552 5887 不限風向	現場評估
新竹縣新豐鄉新興路&建興路	台鐵50m，緩衝不足300m	不建議飛行
新竹縣竹東鎮公道五路&員山路	全國加油站商店空地03 582 2826	現場評估
南投縣南投市南陽路&平和街	豐年五金行旁人行道?、南投縣商業會屋頂	機關同意後，現場評估
南投縣草屯鎮御史里御富路&登輝路	千秋國小租用棒球場、全家便利商店停車場	機關同意後，現場評估
南投縣草屯鎮仁愛街&碧山南路	無起飛可目視空地	不建議飛行
屏東縣東港鎮東隆街45號	無起飛可目視空地	不建議飛行
嘉義縣民雄鄉嘉107線&嘉178線	嘉178線鄉道，資訊不足無法評估	資訊不足無法評估
雲林縣斗六市雲林路一段&民生路	台鐵200m，緩衝不足300m	不建議飛行
嘉義市新生路&台林街	台電超高壓變電所40m，無適當起飛點	不建議飛行
嘉義市忠孝路&保健街	台鐵170m，緩衝不足300m	不建議飛行
宜蘭縣宜蘭市中山路二段&舊城南路&神農路	宜蘭美術館空地；麥當勞、新月廣場旁人行道	現場評估
宜蘭縣羅東鎮中正路&大同路&公正路	台鐵210m，緩衝不足300m	不建議飛行

資料來源：本研究繪製

4.2.2 空拍記錄

驗證資料預計在 5 個地點，進行 20~30 趟次空拍服務，其中配合高雄市交通局需求，「高雄市三民區民族一路 & 十全一路」「高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路」已完成共 6 趟次。

配合路口改善計畫，第一階段路口改善前，「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」已完成共 18 趟次。第二階段路口改善後，「雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路」已完成共 3 趟次。

1. 新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街

第一階段空拍任務，5 月初因天候取消兩次後，於 5/14(二)上午 08:00~9:30 空拍完成。飛行高度 90 公尺。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-1 中油台大站旁停車場、第2趟1分09秒畫面

號誌時相與影片對時，錄影箱設備升級後，於 8/22(四)上午 08:00~9:30 空拍完成。飛行高度 90 公尺。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-2 中油台大站旁停車場、第4趟0分03秒畫面

2. 雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

第一階段空拍任務，5月初因天候取消兩次後，於5/14(二)下午17:00~18:30空拍完成。飛行高度75公尺。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-3 雲林客運斗六停車場、第2趟0分21秒畫面

第二階段空拍任務，已確認路口改善計畫施工完成，於10/15(二)下午17:00~18:30空拍完成。飛行高度75公尺。

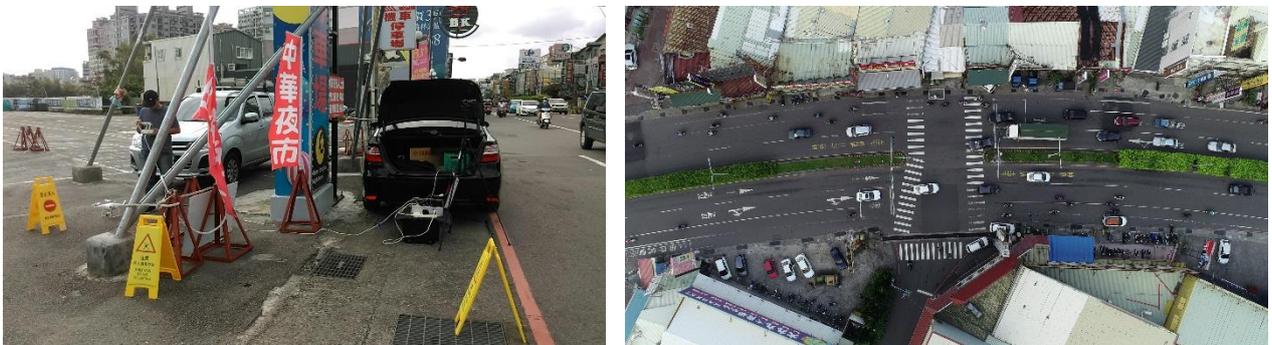


資料來源：本研究繪製

圖 4.2-4 雲林客運斗六停車場、第 4 趟 1 分 27 秒畫面，路口改善後

3. 台南市永康區中華路 & 勝華街

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 8/26(一)下午 17:00~18:30 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-5 中華廣場夜市停車場、第1趟0分41秒畫面

4. 高雄市三民區民族一路 & 十全一路

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 8/27(二)上午 08:00~9:30 空拍完成。飛行高度 90~110 公尺。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-6 高雄市果菜批發市場停車場、第1趟1分26秒畫面

5. 高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路

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 8/27(二)下午 17:00~18:30 空拍完成。飛行高度 75 公尺。



資料來源：本研究繪製

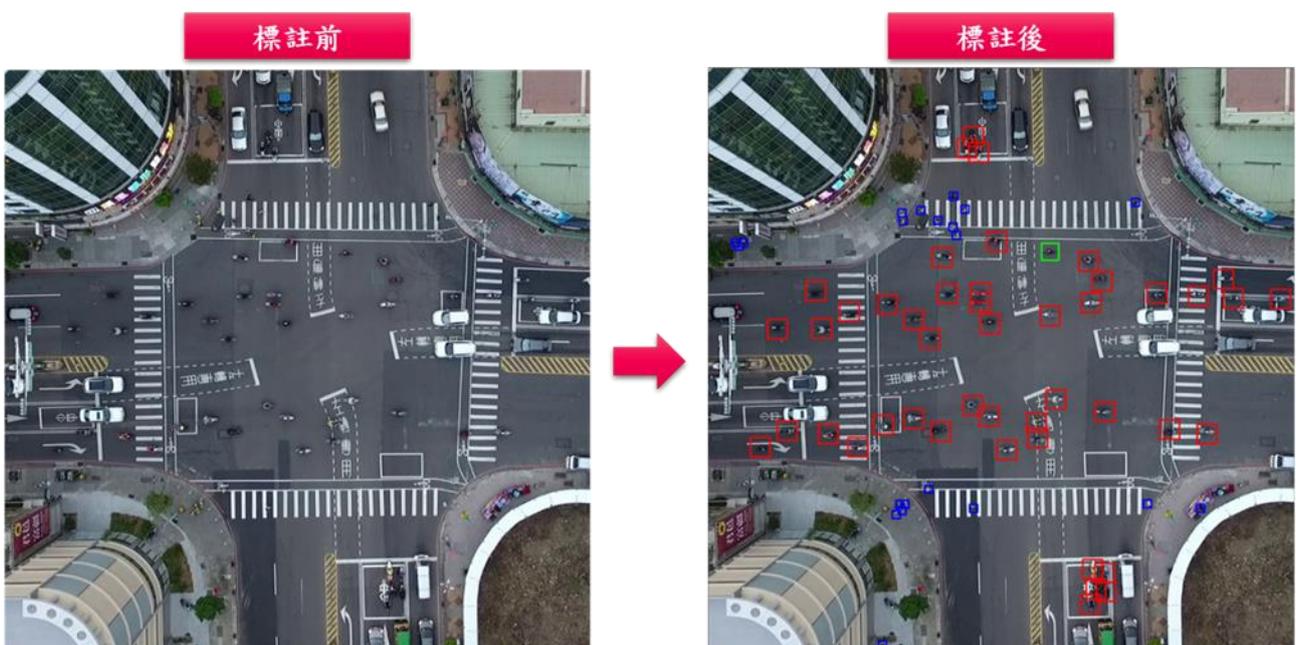
圖 4.2-7 明誠公園旁人行道、第1趟1分21秒畫面

4.3 小物件訓練資料標註

由於目前絕大多數的車輛偵測是應用在一般車用或路口攝影，並未有大型而公開的空拍道路影像資料庫，因此本計畫需自行訓練適用於空拍影像之車輛偵測與分類模型。

本訓練資料主要針對小物件(行人、腳踏車、機車)為標註目標，將小物件與小型車、大型車分開訓練是因其採用不同的偵測方式，小型車、大型車主要使用 Mask R-CNN 作物件偵測，在小物件的偵測上由於面積明顯較小，若與小型車、大型車同採 Mask R-CNN 將因影像像素過小或特徵點不足而判別失敗，因此小物件目前主要採用 YOLOv3 演算法，並以單張訓練和連續影像訓練作為訓練方式。

圖 4.3-1 紅框為機車、綠框為腳踏車、藍框為行人，我們將其賦予正確的類別編號，並且廣泛蒐集各種不同的場景的訓練樣本，再透過深度學習針對標註的小物件進行訓練，取得其網路層中的大量權重數據並作為偵測模型。

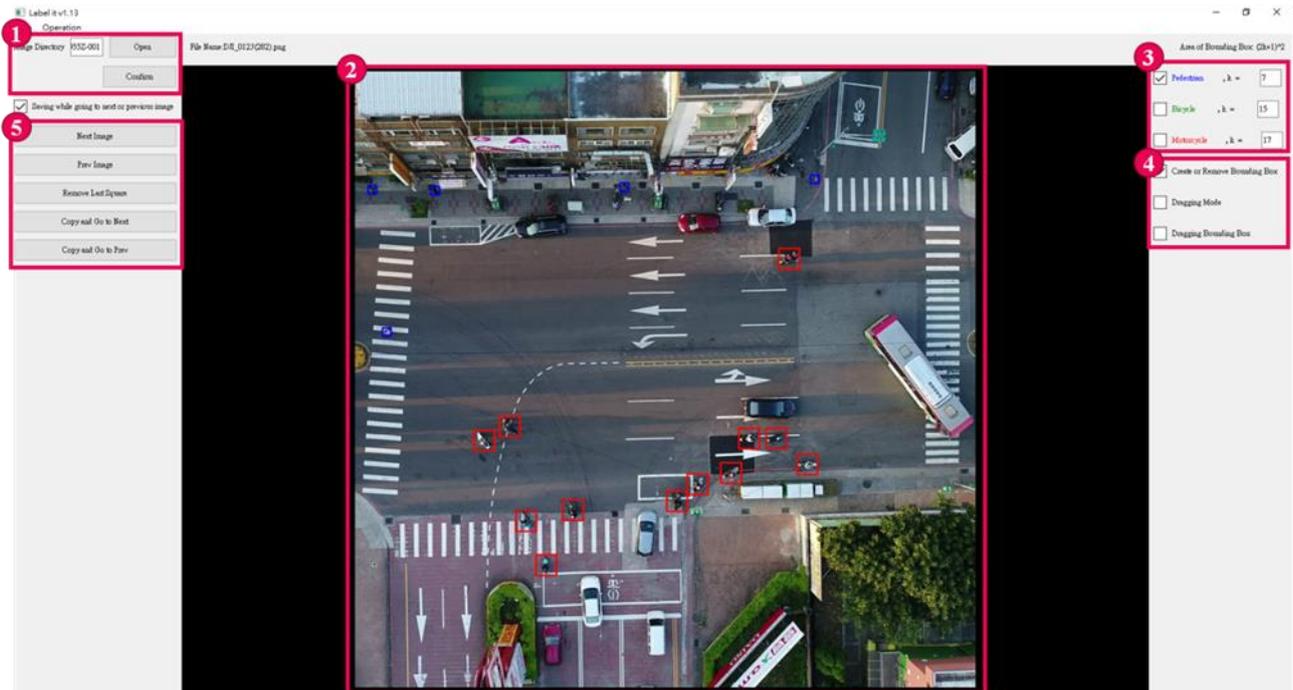


資料來源：本研究繪製

圖 4.3-1 標註前後影像圖

4.3.1 標註程式

圖 4.3-2 是本研究自行研發之影像資料標註程式，透過人工方式標註影像中小物件的矩形，並針對不同的小物件(行人、腳踏車、機車)給予不同類別編號，其軟體需求為 Python* 3.5 以上，工具包為 pyforms，影像需求尺寸為 1024x1024，格式 PNG。



資料來源：本研究繪製

圖 4.3-2標註軟體圖

標註程式操作介面如圖 4.3-2，以圖中紅框標示數字依序介紹操作功能：

1. 選擇欲開啟的影像(單張影像)或資料夾(多張影像)，確認後點擊 Confirm 鈕，影像將顯示於介面中央，標註點與類型將儲存成同名的 txt 標註檔，若開啟的資料夾內含有標註檔，標註框將自動匯入影像中，若資料夾已開啟多張影像建議檔案路徑不含有中文文字，開啟後的影像順序採數字排序由小至大。
2. 標註的矩形將呈現在影像中，影像可透過滑鼠滾輪做縮放動作、勾選右側欄位的 Dragging Mode 後可以對影像實施拖移動作。

3. 勾選欲標註物件的類別：Pedestrian 行人、Bicycle 腳踏車、Motorcycle 機車，類別旁的數字為參數可調整標註框大小，目前訓練樣本參數設定行人為 7、腳踏車為 15、機車為 17，圖 4.3-3 參數的值是已標註點為中心向外移相應像素數值。



資料來源：本研究繪製

圖 4.3-3標註物件參數定義圖

4. 操作功能可勾擇 Create or Remove Bounding Box(創建/刪除標註框)、Dragging Mode(拖移影像)、Dragging Bounding Box(拖移標註框)，介紹如下：
 - (1) 創建/刪除標註框：透過滑鼠左鍵點擊欲標註影像可創建標註框，滑鼠右鍵點擊影像上欲刪除的標註框可刪除其標註框。
 - (2) 拖移影像：影像上點擊滑鼠左鍵並且按住不放，將滑鼠往欲察看的反方向移動至定位後鬆開滑鼠左鍵，完成影像拖移。
 - (3) 拖移標註框：對影像上的單個標註框做拖移，於標註框內點擊滑鼠左鍵且按住不放，將滑鼠往標註框欲移動之方向移動至定位後鬆開滑鼠左鍵，完成標註框拖移。
5. 資料夾開啟多張影像做標註提供影像切換功能，按鈕用由上至下分別為：Next Image(下一張)、Prev Image(上一張)、Remove Last Square(刪除最後的標註框)、Copy and Go to Next(複製標註框至下一張)、Copy and Go to Prev(複製標註框至上一張)。

標註影像為靜態圖像人工辨識有時會不易判別，因此標註軟體將上述操作功能建立快捷鍵，表 4.3-1 供標註者透過鍵盤做控制，可利用按鍵 F、S 做影像的切換快速確認物件是否為需標註物件，透過按鍵 E、D 切換勾選類別，如行人、腳踏車、機車。

表 4.3-1 功能對照之快捷鍵

快捷鍵	F	S	E	D	R	W	Space	V	X
功能	上一張	下一張	向上選擇類別	向下選擇類別	創建/刪除標註框	拖移圖像	拖移標註框	複製標註框至下一張	複製標註框至上一張

資料來源：本研究繪製

標註軟體因應演算法所需的要求以及增加標註效率做為更新目標，目前標註軟體版本已更新至 1.1.3。CRNN 演算法採用連續影像訓練，影像間的變化較小，因此在 1.1.2 版本新增複製當前標註框至下一張或上一張的功能，藉此提升標註效率，表 4.3-2 為歷代版本的更新內容。

表 4.3-2 版本更新

版本	1.0.0	1.0.2	1.1.2	1.1.3
更新內容	<ul style="list-style-type: none"> ● 標註框選擇 ● 影像縮放 ● 最後標註框移除鍵 	<ul style="list-style-type: none"> ● 修正部分 bug ● 標註框移除鍵 ● 影像拖移 	<ul style="list-style-type: none"> ● 修復選取 bug ● 修復拖移 bug ● 優化影像切換 ● 標註框拖移 ● 複製標註框 ● 新增快捷鍵 	<ul style="list-style-type: none"> ● 修復縮放 bug ● 修復複製 bug

資料來源：本研究繪製

4.3.2 標註操作標準

標註標準程序如下：

1. 標註已中心點概括其物件為主
2. 行人穿雨衣、撐雨傘都需標註
3. 被輕微遮蔽的物件仍予以辨識及標註

4. 行人牽腳踏車、開啟車門等尚未乘坐動力工具的皆標註為行人
5. 影像中尚未被乘坐的動力工具不須標註，如放置於騎樓的腳踏車、機車

標註完成的影像將產生與其同名的 txt 檔儲存其標註類別與位置，圖 4.3.4 的 txt 標註檔存有每個標註物件的資訊，儲存內容由左至右為類別、位置 x、位置 y、類別框長度、類別框寬度，介紹如下：

1. 類別：0(行人)、1(腳踏車)、2(機車)
2. 位置 x、y：標註框的中心點為座標，x 為橫軸、y 為縱軸儲存方式採像素位置/影像大小，圖 4.3-4 中 txt 檔紅框註明的類別 1(腳踏車)來說明其 $x = 0.5830078125$ ($597/1024$)、 $y = 0.3154296875$ ($323/1024$)
3. 類別框長、寬：小物件採正方形做標註框因此長寬相同，同以上述做說明腳踏車標註框的參數設定為 15 其採中心點做擴展因此長寬各為 30，於標註檔上存取的資訊為 0.029296875 ($30/1024$)



資料來源：本研究繪製

圖 4.3-4標註檔txt圖

4.3.3 標註數量及工時

本研究小物件訓練標註資料來自無人機所拍攝的空拍影像，以人工標記行人、腳踏車、機車所在區域，每張標記影像約需花費 4~6 分鐘，始能將畫面上所有目標物件進行標註。

表 4.3-3 詳列本研究目前在小物件上的訓練與驗證影像上之標註量達 945 張，每張平均超過 20 個標註物件，其標註工時量約 100 小時。整個標註過程由選擇標註影像、指派人員標註、檢查標註內容，長達一個月，若單以標註人員做標註影像的工時，其耗費 2 名人員 7 個工作天(1 天 = 8 小時)。

表 4.3-3標註地點與數量表

地點	中和遠東世紀廣場人行道	新竹工研院 67 館	桃園區楊梅運研梅	桃園區桃園市政府文化局	桃園區中正路與大興西路	八德區中華路與茄苳路	桃園區中正路與三民路	桃園區中山路與上海路
影像								
張數	66	182	231	66	100	100	100	100
工時	平均 1 張：4~6 分鐘							
備註	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> ■ 本期無人機影片:補足訓練資料的多樣性 </div> <div style="text-align: center;"> ■ 上期無人機影片:行人、機車、腳踏車數量大 </div> </div>							

資料來源：本研究繪製

第五章 影像處理

在本章節中，將詳述如何透過深度學習與傳統影像處理方法，自原始空拍影像中擷取每部車輛之軌跡，包含車種、進出口時間與路口方向、單張畫面中的車輛位置等資訊，具體流程如圖 5-1 所述。首先，我們會從空拍影片中挑選適當的訓練影像，進行人工標註後再透過深度學習技術，訓練出四輪車輛以及行人、兩輪車輛之偵測模型。在本計畫中我們採用了 Mask R-CNN 與 YOLOv3 兩種架構，分別處理面積較大且呈明確矩形的四輪車輛以及面積明顯較小的行人、自行車與機車。取得單張下的初步偵測結果後，再透過特徵點追蹤與 SORT 追蹤兩種不同的追蹤機制，依據目標特性進行時間上的車輛追蹤，並對未偵測出之車輛進行預測，以擷取完整之車輛軌跡並記錄歸檔，提供後續平台分析之用。



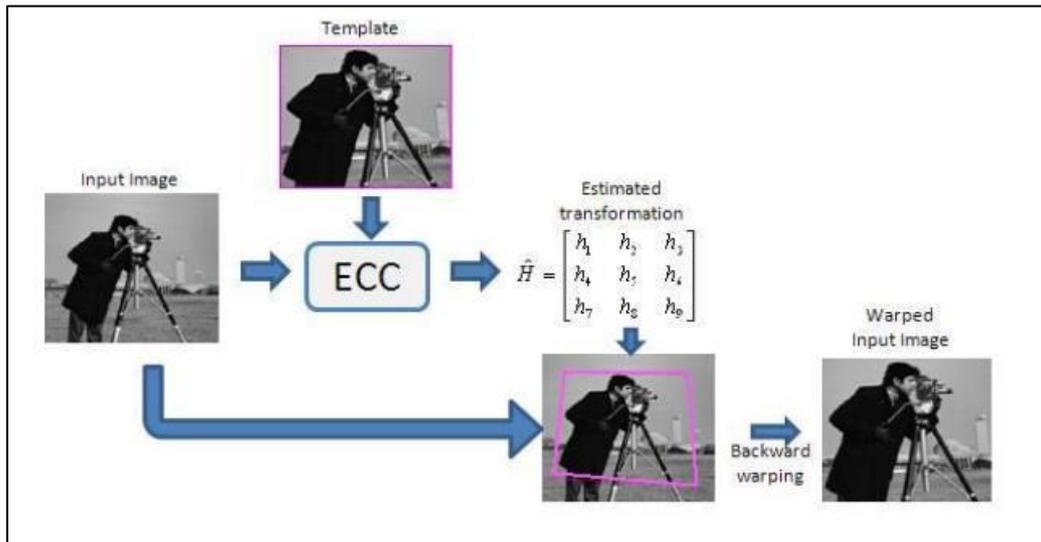
資料來源：本研究繪製

圖5-1 空拍影像處理流程圖

5.1 影片前處理

在利用空拍影像進行交通車流分析之前，由於無人機本身會受到陣風影響，導致影像中的街道位置偏離，因此須先針對影像進行對齊校準(image alignment)，以確保所有影像中的道路、車輛物件皆維持在同一個平面座標系統。本研究採用 2008 年由 Evangelidis(2008)與 Psarakis(2008)所提出的 ECC (Enhanced Correlation Coefficient) 影像對齊技術^{[83][84]}，透過找尋輸入影像與樣板影像間最大的相關係數，決定出一個 3×3 的轉換矩陣，讓輸入影像中的所有點都能透過這個轉換矩陣，投影到與樣板影像一致的平面座標系統，如圖 5.1-1 所示。ECC 影像對齊演算法可分為以下數個步驟：

1. 讀取彩色影像 (包含目標影像及其他影像)
2. 轉換彩色影像為灰階影像
3. 選擇一運動估測模型(motion model)
4. 配置記憶體空間貯存轉換矩陣
5. 使用 ECC 相關係數法進行轉換矩陣估計，直到滿足設定之終止條件
6. 將其他影像以估測所得之轉換矩陣進行影像對齊



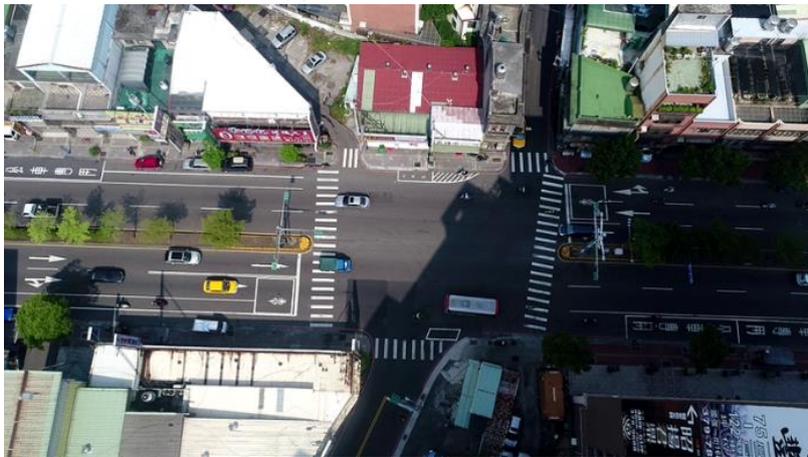
資料來源：[83]

圖 5.1-1 影像對齊法之流程示意圖

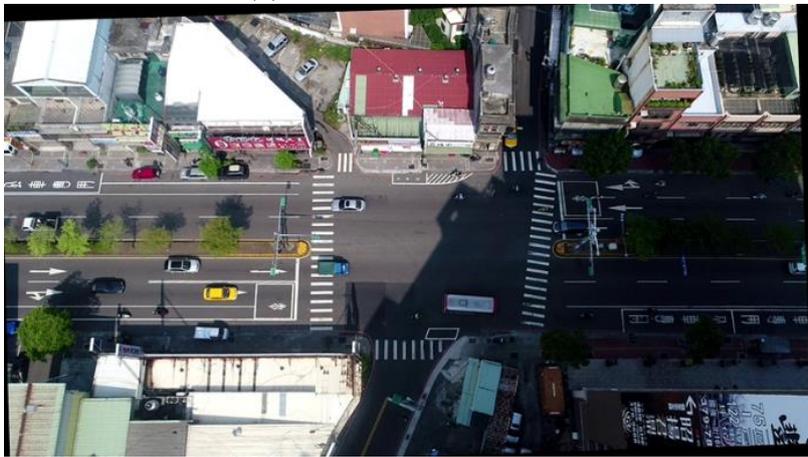
圖 5.1-2 為利用 ECC 影像對齊技術以空拍影像中首張影像為樣板之對齊結果。由圖中可明顯發現無人機所拍攝之影像，在 5 分鐘後(圖 5.1-2(b))與首張影像(圖 5.1-2(a))有了明顯的位置改變。原本首張影像中大致水平的橫向道路，在 5 分鐘後產生了明顯的傾斜。但在經過影像對齊處理之後(圖 5.1-2(c))，橫向道路重新旋轉回到水平的位置，影像邊緣的黑色區域則是屬於旋轉前的原影像外區域，因此缺乏實際影像內容資訊。在經過影像對齊處理後，後續的影像資料才能在同一個平面座標系統進行分析處理，減少車輛軌跡因無人機晃動位移而產生顯著誤差。



(a)首張空拍影像圖



(b)第 5 分鐘空拍影像圖

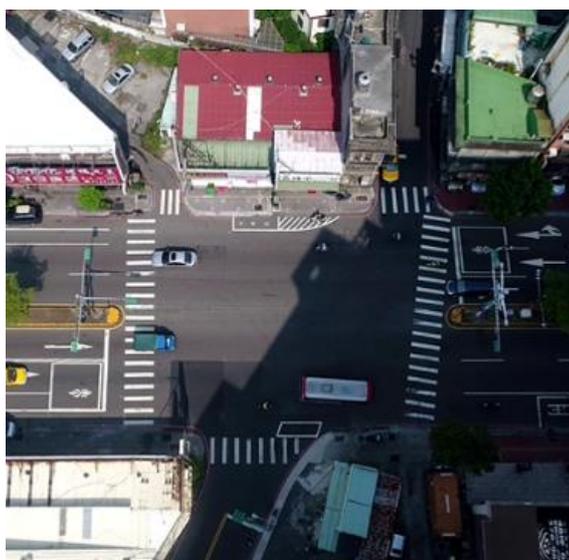


(c)經對齊之第 5 分鐘空拍影像圖

資料來源：本研究繪製

圖 5.1-2 空拍影像對齊示意圖

由於後續透過深度學習偵測車輛需耗費相當大的電腦計算量，為了有效減輕計算負擔，所有對齊校正完之 HD 影片(解析度 1920×1080)會以路口為中心裁切為 1024×1024 之影片。若為 4K 影片(解析度 3840×2160)，則以路口為中心之 2048×2048 範圍，縮小為 1024×1024 之影片，如圖 5.1-3。此一 1024×1024 之尺寸大致是 Mask-RCNN 架構在頂級消費型顯示卡(如 GeForce GTX 1080Ti 與 GeForce RTX 2080Ti)上能執行的最大影像尺寸。



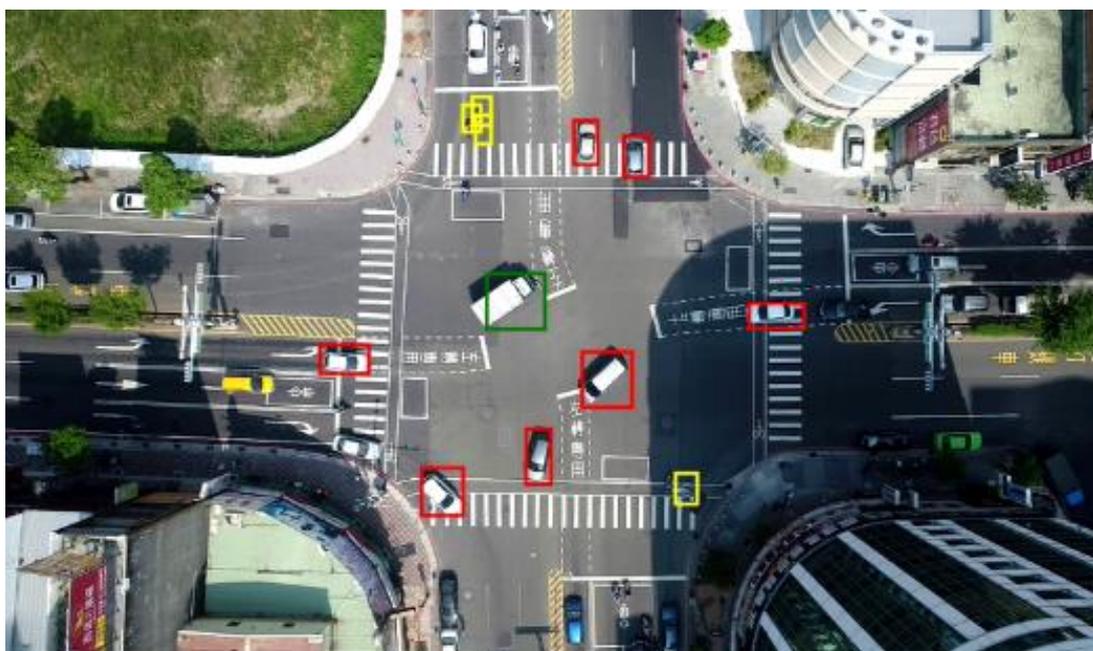
資料來源：本研究繪製

圖 5.1-3 前處理完之影片長寬範圍示意圖

為了進一步加速處理速度，本研究也對影片畫面進行等間隔採樣，以求減少非必要的多餘計算。由於國內一般高解析影片多採 29.975FPS，所有影片會以每 3 張畫面間隔進行取樣，得到之影片 FPS 為每秒 9.99 張。

5.2 四輪車輛偵測與追蹤

由於 Faster R-CNN 等一般的物件偵測方法無法準確偵測物體外型，僅能找出由物體上下左右端點圍起的外接框，如圖 5.2-1 所示。然而，這樣的偵測結果無法正確表示轉彎中車輛的傾斜矩型範圍，因此需要能提供更精確車輛外型的車輛偵測架構。Mask R-CNN 是 2017 年由何愷明(2017)等人^[16]所提出的 CNN 架構，相較於 Faster R-CNN 的外接矩形區域，Mask R-CNN 進一步提供了像素級(pixel-level)的完整物體區域範圍，本研究再利用可傾斜之矩形去擬合每個車輛的像素集合，進而成功取出可貼合轉彎中車輛外緣的矩形範圍。這樣的作法大幅改善了車輛表示位置的精確度，有助於進一步提升風險評估的準確性。由於 Mask R-CNN 在偵測出車輛位置時，也同時預測了其所屬的車輛種類，可同步完成偵測與分類工作，有效簡化整體處理流程。



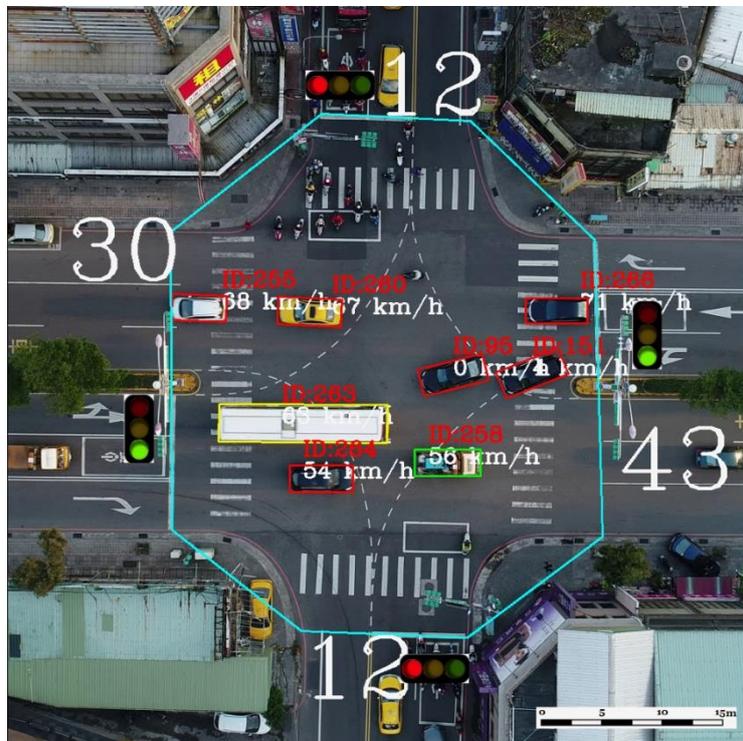
資料來源：本研究繪製

圖 5.2-1 利用Faster R-CNN進行車輛偵測與分類結果

在四輪車輛的軌跡方面，我們也依賴光流法對車輛特徵點進行追蹤，再透過類似 5.1 節估測整張畫面位移的方式，改為針對每部四輪車輛的局部範圍影像，估測第 i 張畫面中某一車輛 V_i 在下一畫面的矩形位置 P_{i+1} 。之後，再將預測位置 P_{i+1} 與 Mask R-CNN 在下一畫面的所有偵測到車輛的位置比對，若 P_{i+1} 與其中一

個偵測位置 D_{i+1} ，兩者間的矩形範圍重疊程度最高，則表示兩者極可能為同一部車輛的預測與偵測結果，因此 D_{i+1} 即設定為 V_i 在下一畫面的實際位置。這是由於 Mask R-CNN 的偵測結果 D_{i+1} ，往往較利用特徵點估測出的位置 P_{i+1} 更為精準可靠，藉此提升四輪車輛在追蹤上的可靠性。若找不到任何偵測車輛位置與估測位置 P_{i+1} 高度重疊，則由於缺乏合適的偵測結果，將 P_{i+1} 視為 V_i 在下一畫面的實際位置。

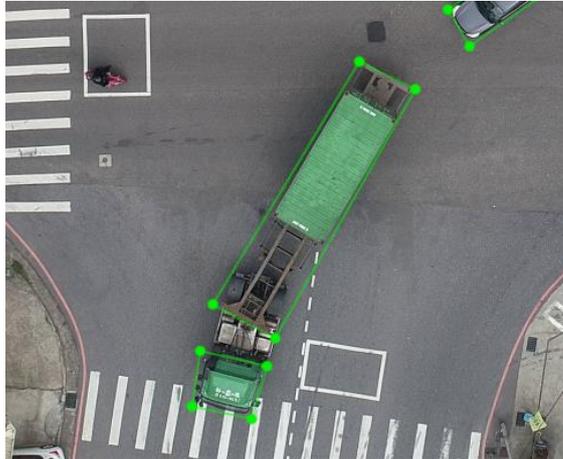
由於同一部車輛在不同畫面可能被分類於不同車種，因此會再透過投票機制對於每一部行經交叉路口之車輛，透過車輛追蹤結果來統計該車輛在每張畫面上被分類車種之次數，並決定同一部車在所有畫面中，最常被分類到的車種作為最終的分類結果。例如若被分類為小客車之次數最多，則該部車輛在所有畫面中的分類結果統一為小客車。圖 5.2-2 為前期計畫所開發完成之四輪車輛偵測結果截圖，途中紅色矩形框為小客車、綠色矩形框為貨車、黃色矩形框為巴士。包覆整個路口之青色輪廓線為路口的進出邊界，白色數字為從各邊界離開的車輛總數。每部車輛鄰近位置除了以紅色標示車輛編號(ID)外，也可透過軌跡資訊與比例尺關係計算出車輛當下時速。相對於一般外接框的偵測結果，透過 Mask-RCNN 可以取得緊密貼合車輛的矩形範圍，有助於取得更精確的車輛行經區域。



資料來源：本研究繪製

圖 5.2-2 四輪車輛偵測結果

此外，本研究也針對前一期計畫中較缺乏的聯結車車輛，進行了相關訓練資料的蒐集。由於聯結車車頭與貨櫃車體在轉彎時無法以單一矩形進行描述，因此本研究將車頭與貨櫃車體視為不同偵測對象，如圖 5.2-3 所示，以獨立的矩形範圍描述各自移動軌跡，但給予同樣之車輛編號。



資料來源：本研究繪製

圖 5.2-3 聯結車的車頭與貨櫃車體為各自獨立標註

另一方面，由於一般 CNN 架構之深度學習方法對小面積物體表現普遍不佳，因此對於面積最小的行人與自行車、機車等兩輪小型車輛，本研究採 YOLOv3 架構進行偵測，並對偵測結果進行後續軌跡追蹤。

5.3 行人與兩輪小型車輛偵測與追蹤

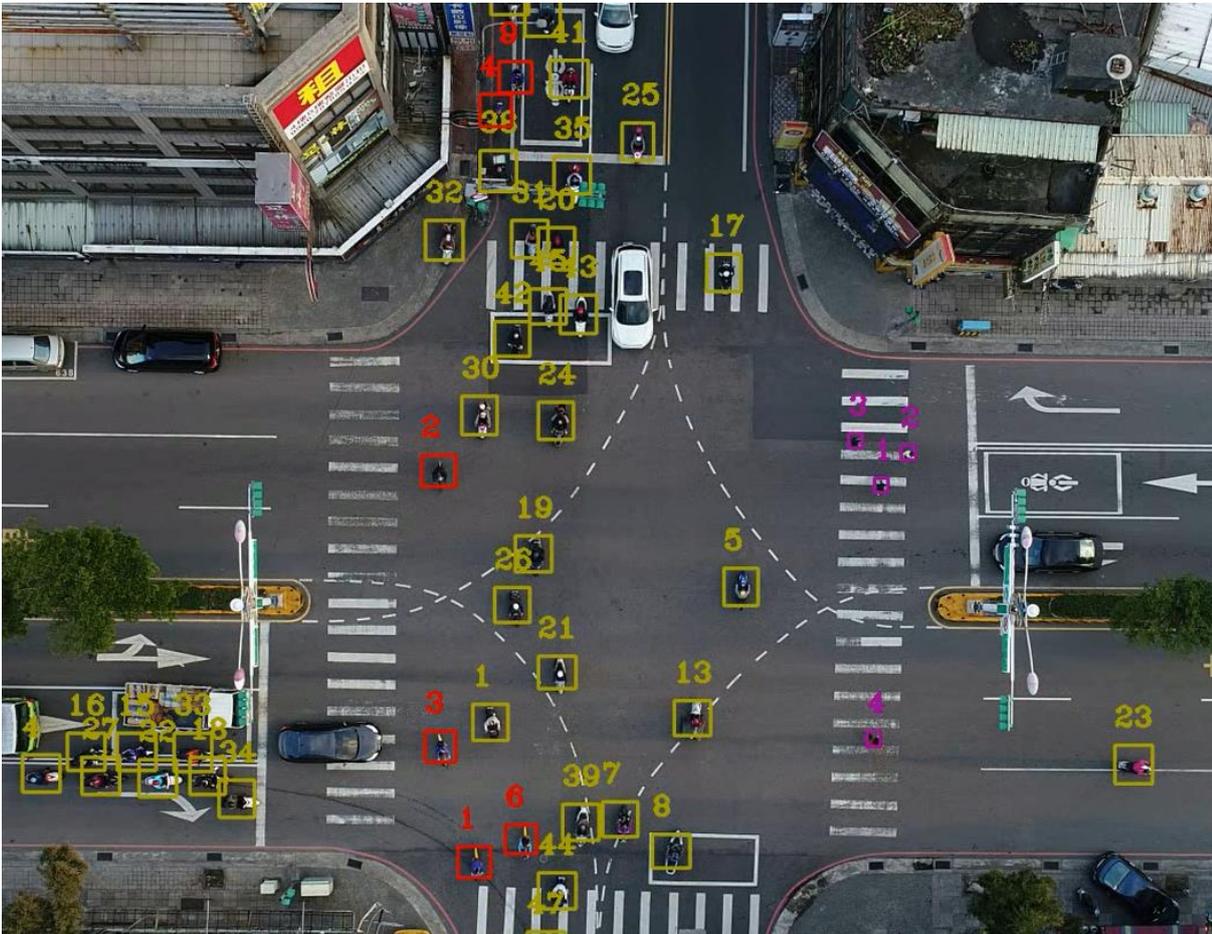
由於深度學習的發展歷史尚淺，過去 CNN 物件偵測方法主要著重在對所有尺度物體的整體表現，直到 2018 年起小物件偵測才逐步獲得了重視。本研究採用 YOLOv3 作為小物件偵測的基本架構，主要原因有三：

1. YOLOv3 在偵測小物件上的表現不錯。
2. YOLOv3 程式在架構更改上遠較 Faster-RCNN、Mask-RCNN 等容易，方便針對實際需求加以改進。
3. YOLOv3 在執行效率上也遠較 Faster-RCNN、Mask-RCNN 等架構更為快速，可避免追加過多的計算時間負擔。

傳統上在標註一般訓練物件的外接框時，是指定外接框的左上角與右下角

來取得位置資訊。有鑑於空拍影像中行人與兩輪小型車輛等並非矩形，加上面積小難以準確決定其實際範圍，因此本研究在行人與自行車、機車的訓練上，統一採用正方形外接框進行標註。如此僅需指定小物件中心位置，即可配合固定邊長來快速對大量相關物件進行標註，可以大幅減輕標註的困難度。

圖 5.3-1 為透過 YOLOv3 偵測行人與自行車、機車之結果圖。其中，紫色、紅色與褐色框分別代表偵測出之行人、自行車與機車，框上數字則為物件編號。從圖中可以發現行人面積相當小，僅占約 10×10 的像素範圍，人眼甚難分辨。另一方面，自行車與機車的差異也很難透過人眼進行快速的判別。以目前訓練結果而言，緊鄰的人群與部分自行車有時仍會被誤認為機車，但機車由於蒐集的樣本數較大，因此單張畫面上的機車失偵(miss detection)與誤偵(false detection)情況相較自行車與行人較低。

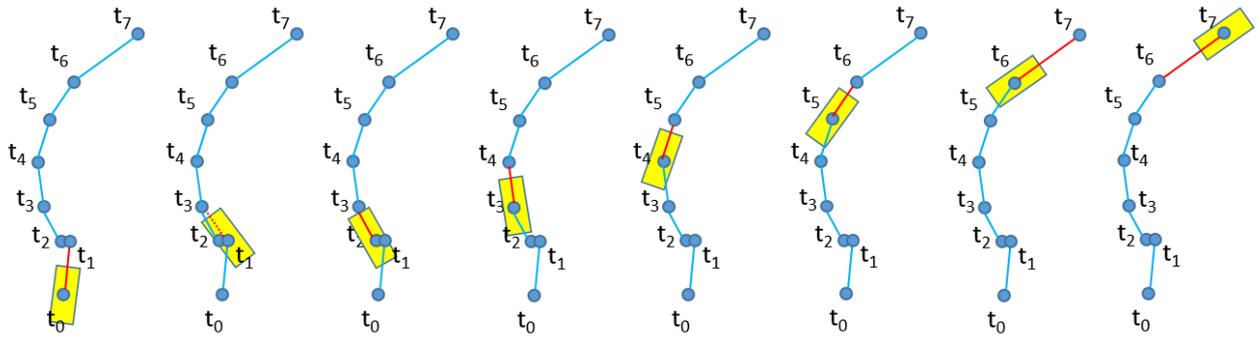


資料來源：本研究繪製

圖 5.3-1 YOLOv3偵測行人與自行車、機車

在行人與兩輪小型車輛的追蹤問題上，由於前期計畫採用的特徵點追蹤方式，容易受行人穿越道本身的強烈特徵點影響而失敗，加上小物件內的有效特徵點亦少，因此，本研究將利用 SORT 演算法對偵測出之行人與兩輪小型車輛進行追蹤。由於 SORT 演算法主要基於卡爾曼濾波器進行線性運動預測，將預測結果與偵測結果的偵測框進行匹配，取出高重疊率的匹配組合來完成追蹤，因此不會受路面線道等顯著外觀變化影響。考量本研究採用之空拍影像不會有車輛間的遮蔽問題，且經過晃動校正排除攝影機運動(camera motion)影響後，一般兩輪車輛與行人在短期間內的運動模式亦多符合線性假設，因此採用 SORT 演算法來追蹤小物件的移動軌跡。另一方面，Deep SORT 雖然改善了一般監視器角度下，容易因遮蔽引起的物體編號改變問題，但由於本研究採用之空拍畫面在先天上避免了傳統攝影機的遮蔽問題，加上 Deep SORT 原始訓練出的外觀資訊來自一般攝影機視角之側拍行人資料庫，因此也不適合直接用於本研究空拍影像中的俯視行人與機車、腳踏車等兩輪車輛情形。

在軌跡表現上，由於小物件難以利用 Mask-RCNN 取得其實際範圍，因此我們利用 YOLOv3 架構偵測以小物件中心為基準的正方形外接框，並對行人、自行車、機車賦予特定的不同邊長大小。但由於此外接框雖有利於資料標註上的方便性，但卻明顯小於對象的實際所占區域(特別是對自行車與機車而言)。為了提取出更精準的小物件範圍，本研究針對小物件訂定了對應的矩形範圍，並根據下一刻的位移方向來決定行人/車體方向。若下一刻位移量太小，則再往後續軌跡點尋找，直到找出一個與現今軌跡點間有足夠明顯位移(例如機車車身長度之一半)的軌跡點，作為車體方向之參考。以圖 5.3-2 為例，軌跡上的一連串圓點代表時間點 t_0 至 t_7 的連續機車中心位置，黃色矩形則代表了機車範圍，紅線代表機車車體主軸的參考方向。其中， t_1 與 t_2 由於定點等待等原因，造成中心位置十分接近。為了讓車體主軸不會因短距離的位移而產生不合理的大幅度改變，因此我們利用較遠的 t_3 時間點位置與 t_1 時間點位置所成之連線向量，做為 t_1 時車體方向之參考。這樣的作法有助於提供慢速或靜止機車一個較穩定一致的車體主軸方向。此外，由於最後一個軌跡點並沒有後續軌跡點可供參考，因此使用前一個足夠明顯位移的軌跡點，作為車體主軸方向之參考，如圖 5.3-2 中所示時間點 t_7 的車體主軸。



資料來源：本研究繪製

圖 5.3-2 透過小物件之前後中心位置決定小物件範圍

原本透過 YOLOv3 偵測出的行人、自行車與機車等方形區域，經過 SORT 追蹤取出中心點之連續移動軌跡後，重新以 11×11 、 11×25 、 15×35 等 3 種矩形範圍來分別代表行人、自行車與機車所占空間，並根據軌跡點的後續移動方向來決定車身方向。圖 5.3-3 顯示了行經路口之機車代表區域，每部機車車頭、車尾分別以綠線與紅線表示。由圖中可見機車即便是通過行人穿越道亦能有效追蹤，線道不會對車輛追蹤之結果造成明顯影響。



資料來源：本研究繪製

圖 5.3-3 透過小物件之前後中心位置決定小物件範圍

在目前架構下，錯誤的軌跡資訊來自三個方面：

1. YOLOv3 在偵測上的失偵，這類情況可能造成追蹤上找不到適當繼承者的問題。目前透過 SORT 演算法可以透過線性運動假設來對失偵車輛進行短期位置預測，因此可以容忍短期的失偵現象，並給予重新偵測到之小物件同樣編號。一旦發現該編號之小物件重新被追蹤成功，再透過線

性內插方式填補失偵期間的小物件位置。

2. YOLOv3 在偵測上的誤偵/誤分類。一般來說，單純的誤偵情況遠較失偵情況更少，影響甚小。由於誤偵對象一般不具移動性，且不易被連續偵測出，因此實務上會被 SORT 演算法以新物件無法連續追蹤成功 3 次之條件加以排除，難以形成軌跡。另外一種誤分類情況，通常是行人或自行車被誤認為機車車輛。由於目前本研究在追蹤上是對予行人、自行車、機車三者統一進行追蹤，如同四輪車輛作法先產生軌跡，再根據同一軌跡在不同時間的分類情況進行投票，決定該軌跡所屬的車種，因此可減少因誤分類而產生的追蹤不連續問題。
3. 追蹤對象的混淆導致同一物件編號改變，這類情況在機車擁擠的情況下較容易發生。在採用 SORT 演算法後，由於其引入了卡爾曼濾波器來區分不同運動趨勢的物件，並採用匈牙利演算法優化物件群間的整體配對誤差，因此表現相當良好。惟有部分慢速劇烈轉向車輛在失偵時，可能因為前後運動趨勢的差異性而改變了追蹤編號。

考慮以上各種錯誤的軌跡資訊來源與成因，在引入 SORT 演算法後多數獲得了一定程度的改善，未來可考慮讓卡爾曼濾波器引進非線性之運動趨勢估算，抑或是利用 deep SORT 針對空拍畫面車輛偵測框進行外觀特徵之訓練，嘗試透過外觀特徵修正原本小物件的單純基於運動的匹配模式，取得更可靠之物體預測位置，以強化追蹤效果。

5.4 軌跡資料格式

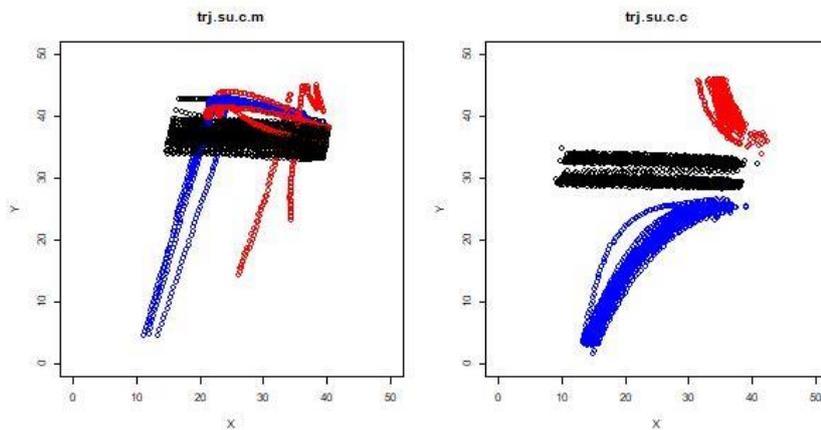
透過本研究發展方法擷取出之行人、自行車、機車、汽車、貨車、巴士與連結車等車輛軌跡，會以 CSV 檔方式加以記錄儲存，以方便後續分析平台及其他交通分析人員讀取車輛軌跡資訊並加以運用。CSV 檔中每一列即為一部車輛在通過路口期間的完整軌跡資料。針對每一部車輛，系統將依序紀錄該部車輛進入路口時間(frame)、離開路口時間(frame)、進入路口代號、離開路口代號、車種(p 為行人、u 為自行車、m 為機車、c 為汽車、t 為貨車、b 為巴士、h 為連結車車頭、g 為連結車車身)、連續的軌跡位置資訊。所有四輪以上車輛將紀錄構成其矩形範圍之四個角點座標 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) 。行人、自行車、機車亦根據行進方向分別以 11×11 、 11×25 、 15×35 之矩形代表其範圍，並同樣記錄四個角點座標 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) 。以表 5.4-1 為例，第一列顯示的資訊為編

號 4(欄位 A)車輛從第 1 幀畫面(欄位 B)由路口 A(欄位 D)進入，至第 48 幀畫面(欄位 C)由路口 C(欄位 E)離開之小轎車車輛(欄位 F 顯示代號 c)。該車第一個位置之四個角點座標分別為(168, 734), (168, 696), (245, 696), (245, 734)、第二個位置為(186, 735), (186, 696), (265, 696), (265, 735)，以此類推。這些資料除了是平台計算 PET、TTC 等風險指標的基礎，更可以提供使用者根據自己需求，透過 Excel 試算表等工具，自行計算軌跡相關之交通調查資料，如速率變化、路口轉向分布、路口車流量變化等不同用途分析。軌跡檔可依入口方向及車種繪製車流軌跡圖，以圖 5.4-1 為例，可看出右側方向進入路口之機車及小型車動線之差異，小型車可以直接左轉，而機車則需要進行兩段式左轉。

表 5.4-1 軌跡紀錄表範例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
4	4	1	48	A	C	c	168	734	168	696	245	696	245	734	186	735	186	696	265	696	265	735	206	735	206	696	283	696	283	735	224	735	224
5	5	1	238	A	B	m	357	582	357	566	341	566	341	582	371	581	371	565	355	566	355	582	386	581	385	565	369	566	370	582	399	580	398
6	7	1	32	D	C	m	380	773	381	757	365	756	364	772	403	773	402	757	386	757	387	773	423	774	422	758	406	759	407	775	442	772	442
7	8	1	45	A	C	c	212	663	212	628	295	628	295	663	232	665	232	627	315	627	315	665	252	663	252	628	335	628	335	663	355	663	272
8	9	1	248	A	B	m	215	576	215	560	199	560	199	576	233	576	233	560	217	561	217	577	250	576	250	560	234	560	234	576	265	576	265
9	10	1	35	C	A	c	907	423	907	386	988	386	988	423	882	424	882	386	962	386	962	424	856	423	856	387	936	387	936	423	828	425	828
10	11	1	40	D	C	m	257	782	256	766	240	766	241	782	276	782	276	766	260	766	260	782	296	781	296	765	280	765	280	781	318	781	319
11	12	1	31	B	A	c	632	351	632	312	721	312	721	351	612	351	612	314	699	314	699	351	590	352	590	314	677	314	677	352	570	353	570
12	13	1	11	B	A	c	213	346	213	309	301	309	301	346	192	349	192	310	281	310	281	349	170	349	170	310	259	310	259	349	147	348	147
13	14	1	241	C	B	m	747	536	744	521	728	524	732	540	748	536	745	520	729	523	732	539	748	536	745	520	729	523	732	539	748	536	745
14	10	1	267	A	D	m	50	249	66	244	61	229	46	234	50	249	66	244	61	229	46	234	50	249	66	244	61	229	46	234	51	249	66

資料來源：本研究繪製



(a) 右側入口之機車 (b) 右側入口之小型車

資料來源：本研究繪製

圖 5.4-1 軌跡資料示意圖

5.5 實驗分析

5.5.1 實驗相關資料

為了驗證行人、自行車、機車、小轎車、貨車、巴士、聯結車等偵測與追蹤之實際效果，本計畫在台南市永康區中華路與勝華街交會路口(簡稱 A 路口)、雲林縣斗六市大學路三段與中山路交會路口(簡稱 B 路口)、高雄市鼓山區裕誠路與博愛二路交會路口(簡稱 C 路口)、以及新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交會路口(簡稱 D 路口)等四個不同尺度大小路口，從高度 75 公尺處拍攝之約 100 秒空拍影片作為實驗對象。每部影片原始規格為解析度 3840×2160、每秒 29.97 幀之 4K 影片，在經過影片穩定化處理後，以路口為中心選取 2048×2048 區域，重新縮小壓制為 1024×1024、每秒 9.99 幀(即每 3 幀保留 1 幀)之影片，以節省處理時間並滿足 Nvidia 1080/2080 ti 之 11G 記憶體限制需求。圖 5.5-1 依序顯示了 A、B、C、D 四個路口的樣態與單張偵測結果。紫色包圍路口之線段為路口區域邊界，僅進出邊界路口車輛會被記錄，其他始終停滯於邊界內或邊界外之車輛將不被記錄，並排出在需要偵測追蹤之對象外。四輪車輛分別以不同顏色表示車身邊界，包含小轎車(紅)、貨車(藍)、巴士(綠)、聯結車(車頭黃色、拖車部分水藍色)。對於較小的偵測對象，實驗中主要以固定寬度方型區域配合不同顏色作為代表，如行人(水藍)、自行車(黃)、機車(白)，並以紅色代表正面方向。此外，在每個框中心可見一條白色線段，指向同 ID 物件的前一幀位置，以便檢查車輛彼此交錯時是否發生 ID 互換的追蹤錯誤情形。每部實驗影片通過路口之車輛數如表 5.5-1 所示，每部影片長度約 100 秒，包含 1000 張連續畫面做為測試影片。

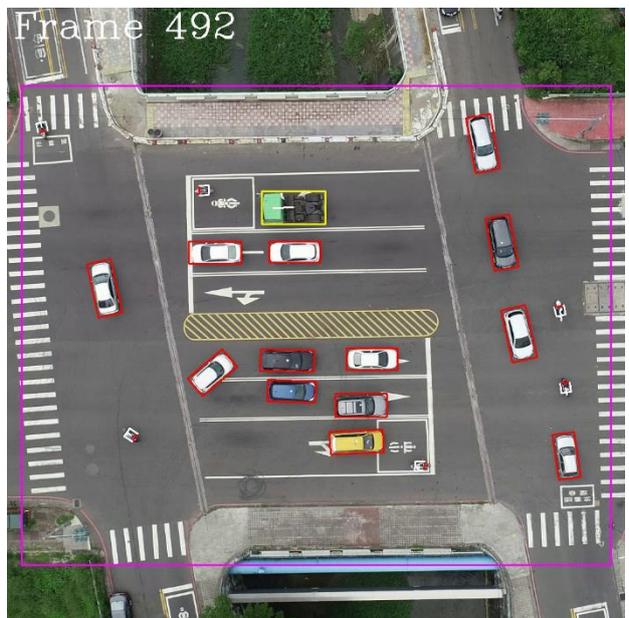
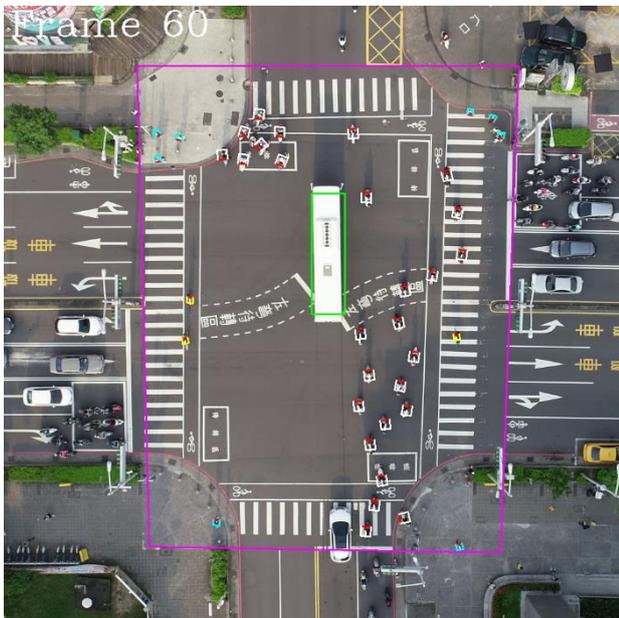
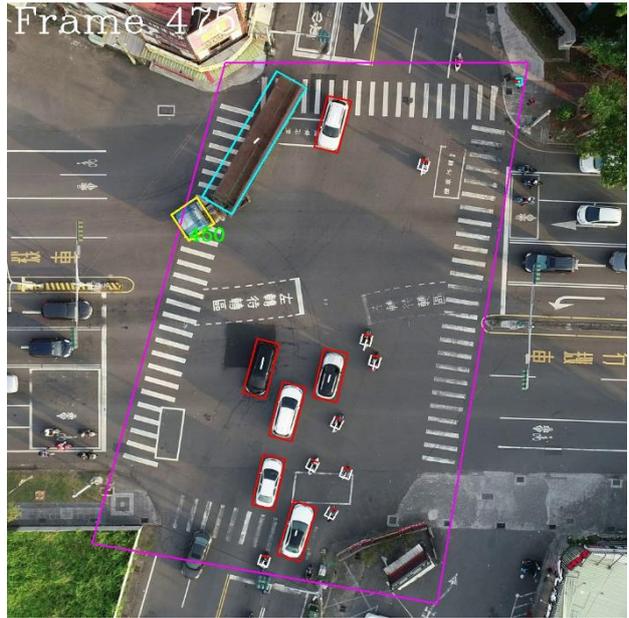
表 5.5-1 四部實驗影片路口經過車輛數

路口代號	行人與兩輪車輛			四輪車輛				
	行人	自行車	機車	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身
路口 A	0	3	114	52	9	0	0	0
路口 B	2	9	81	59	3	0	2	2
路口 C	27	5	161	65	2	2	0	0
路口 D	0	0	61	76	2	0	1	0

資料來源：本研究繪製

在測試影片中，每部車輛需花費數秒乃至數分鐘時間行經路口，為了驗證每部車輛在行經路口期間的偵測追蹤情況，因此我們統計了 1000 張畫面中所有車輛的總出現次數，也就是同一部車若在 1000 張畫面中有 100 張畫面在路口區域內，則該部車總出現次數為 100 次。在 5.5.2 與 5.5.3 節中，我們將分別討論可偵測追蹤出的車輛數量、整體查準率(Precision)與查全率(Recall)等數據。

由於行人/兩輪車輛以及四輪車輛分別採用了 YOLOv3 以 Mask R-CNN 兩種，因此我們蒐集了約 1500 張人工註解影像，其中包含了 5014 位行人、1120 輛自行車、18076 部機車用於訓練 YOLOv3 模型； 25835 部小轎車、2896 部貨車、189 部公車、303 部聯結車頭與 306 部聯結車身用於訓練 Mask R-CNN 模型。在四輪車輛方面，相較於前期的訓練資料，貨車大幅增加了 2 倍以上訓練資料，並新增了 300 餘部聯結車訓練資料。在行人、自行車、機車方面亦蒐集了可觀的數量，惟自行車相對數量礙於道路車輛比例問題較難蒐集，且 Youbike 數量佔了大宗。



資料來源：本研究繪製

圖 5.5-1 實驗驗證用之四個路口樣態; 左上、右上、左下、右下分別為A、B、C、D路口

5.5.2 四輪車輛偵測追蹤結果

雖然許多車輛分析研究習慣以"行經車輛數"為分析標準，但如此往往僅考量到車輛"計數"問題，而無法作為車輛軌跡完整程度之參考。由於車輛軌跡為本研究最重要之產出資訊，每一時刻行經路口的車輛位置皆甚為關鍵，故需更精細地以單幀(frame)畫面為單位分析車輛追蹤結果。若僅以同一車輛

是否可被偵測到做為評估標準，便無法看出行經路口車輛之軌跡完整度。此外，由於四輪車輛與較小之行人/兩輪車輛在偵測與追蹤上皆採用了不同架構與機制，兩者間幾乎不會產生相互誤認之情形，因此我們將小物件與較大型的四輪車輛之偵測追蹤結果分別進行討論。為釐清車種間的誤認關係，本研究以混淆矩陣(confusion matrix)來評估單張畫面下的車種分類結果。在四輪車輛方面，表 5.5-2 代表各測試影片中四輪車輛分類的混淆矩陣情況。1000 張測試畫面中的每部車輛都會針對其分類情況進行獨立計數。以台南市永康區中華路與勝華街交會路口為例，1000 幀測試畫面中，52 部小轎車(表 5.4-1)被成功追蹤的次數為 1509 次，僅 10 次被誤分類為貨車；9 部貨車被成功追蹤出 139 次，其中某部大型貨車車頭剛進路口時有 4 幀被誤分類為聯結車頭。表 5.5-2 中，對角線白色數據代表各車種在所有影片畫面中被正確偵測出位置的累計次數；誤分、失偵、誤偵欄位中之數字則分別代表下列涵義：

1. 誤分：可偵測出車輛位置，但將實際車種誤分類為其他特定車種之次數。
2. 失偵：無法偵測出該類型車輛位置之次數。
3. 誤偵：被偵測為某類型車輛，但該位置其實上不存在任何車輛之次數。

由此，我們可以進一步定義出下列比率：

$$\text{正確率} = \frac{\text{偵測出正確}}{\text{正確偵測出該車種位置之次數}} \div \text{某車種實際出現次數} \quad (1)$$

$$\text{誤分類率} = \frac{\text{偵測出位置但誤分類為其他車種次數}}{\text{某車種實際出現次數}} \quad (2)$$

$$\text{失偵率} = \frac{\text{無法偵測出該類車輛位置之次數}}{\text{某車種實際出現次數}} \quad (3)$$

$$\text{誤偵率} = \frac{\text{偵測出非實際存在車輛之次數}}{\text{偵測出某車種之次數}} \quad (4)$$

表 5.5-2 針對A、B、C、D四個路口偵測追蹤四輪車輛之混淆矩陣

台南市永康區中華路與勝華街交會路口		偵測追蹤結果					
		小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
實際車輛	小轎車	1509	10 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	貨車	0 誤分	139	0 誤分	4 誤分	0 誤分	0 失偵
	巴士	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	聯結車頭	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 失偵
	聯結車身	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 失偵
	非四輪車	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

雲林縣斗六市大學路三段與中山路交會路口		偵測追蹤結果					
		小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
實際車輛	小轎車	4024	47 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	97 失偵
	貨車	0 誤分	102	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	巴士	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	聯結車頭	0 誤分	0 誤分	0 誤分	67	4 誤分	19 失偵
	聯結車身	0 誤分	0 誤分	0 誤分	1 誤分	48	4 失偵
	非四輪車	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

高雄市鼓山區裕誠路與博愛二路交會路口		偵測追蹤結果					
		小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
實際車輛	小轎車	3571	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	貨車	0 誤分	267	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	巴士	0 誤分	0 誤分	87	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	聯結車頭	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 失偵
	聯結車身	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 失偵
	非四輪車	6 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交會路口		偵測追蹤結果					
		小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
實際車輛	小轎車	7360	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	貨車	0 誤分	134	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	巴士	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	聯結車頭	0 誤分	0 誤分	0 誤分	485	0 誤分	0 失偵
	聯結車身	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 失偵
	非四輪車	12 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

資料來源：本研究繪製

由於貨車、巴士、聯結車相較於小轎車的出現比例不高，因此我們先就數量最多、較具代表性的小轎車進行說明。四個路口中，偵測追蹤出之小轎車幾乎皆為正確分類，僅有總計 18 次誤偵發生在 C、D 路口。此外，有 97 次失偵發生在 B 路口的兩部小轎車上(全程未被偵測追蹤到)，與及 57 次被錯誤分類為貨車。在貨車方面，除前述 A 路口有大型貨車車頭剛進路口時有 4 幀被誤分類為聯結車頭外，與公車同樣並無失偵誤偵情形發生。相對前述

車輛，聯結車較容易發生誤分類與失偵情形。聯結車由於車頭與拖車車身採獨立運動，因此在偵測上區分為兩個獨立矩形區域，其中車頭部分較容易與其他車輛混淆或產生誤分類 (A 路口)、失偵等問題(B 路口)，其主要原因在於難以衝高訓練上的樣本數，且車頭型態較無一致性所致。此外，D 路口影片中包含一部聯結車頭(見圖 5.4-1 右下 D 路口空拍圖)，雖然可追蹤出該聯結車頭在影片中之完整軌跡，但由於訓練資料中對於加掛拖板車下之車頭部分，無法標示車頭後半部車體(如圖 5.2-3 所示)，因此在偵測聯結車頭時，有時會產生如圖 5.5-2 兩種偵測情況，未來需增加單一聯結車頭之訓練樣本以強化其後半部車體偵測，或透過程式判斷自動補足後半車體。



資料來源：本研究繪製

圖 5.5-2 單一聯結車頭偵測結果之差異

我們透過查準率(Precision)與查全率(Recall)來評估 4 部影片中，各類車輛的整體偵測追蹤情形。根據預測對象與實際結果之不同情況(如表 5.5-3)，查準率與查全率可以分別定義為式(5)與式(6)。其中，查準率代表所有被系統偵測為該類車輛的正確比例、查全率則代表實際該類車輛可被系統正確偵測出之比例。在四輪車輛方面，除聯結車效果稍差、部分載人箱型車有時會被歸類為貨車外，表現相當可靠穩定，與前期結果相比有著明顯改善。

表 5.5-3 預測對象與實際結果之排列組合情況

	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：本研究繪製

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

查準率(Precision)與查全率(Recall)和前述之誤分、失偵、誤偵的關係如圖 5.5-3。已貨車的偵測結果為例子，表 5.5-3 所述之 TP 等同於藍色框的值(139)，FP 為紅框的值(10+0+0+0)，FN 為綠框的值(0+0+4+0+0)。因此 4 個路口的貨車查準率 $91.8\%(\frac{267+134+102+139}{267+134+102+139+47+10} \doteq 91.8\%)$ ，查全率 $99.4\%(\frac{267+134+102+139}{267+134+102+139+4} \doteq 99.4\%)$ 。

台南市永康區中華路與勝華街交會路口		偵測追蹤結果					
		小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
實際車輛	小轎車	1509	10 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	貨車	0 誤分	139	0 誤分	4 誤分	0 誤分	0 失偵
	巴士	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 誤分	0 失偵
	聯結車頭	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 誤分	0 失偵
	聯結車身	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0	0 失偵
	非四輪車	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

資料來源：本研究繪製

圖 5.5-3 誤分、失真、誤偵和查準率、查權率之關係

表 5.5-4 四輪車輛整體查準率與查全率表現

	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身
Precision	99.9%	91.8%	100%	99.1%	92.3%
Recall	99.1%	99.4%	100%	96.0%	90.6%

資料來源：本研究繪製

5.5.3 行人、自行車、機車追蹤偵測結果

相對於四輪車輛，行人、自行車、機車等顯著較小物件之偵測，在偵測率上通常較一般大小物件要來得低，隨著近年來深度學習研究課題的不斷擴張，以包含 YOLOv3 為主的多種物件偵測架構正逐漸改善前述情況。另一方面，隨著物件偵測效果的逐步提升，SORT 等基於 tracking-by-detection 的追蹤技術也越加受到重視，甚至結合了深度學習模型，發展出 Deep SORT 等緩解遮蔽問題的進階追蹤方法。但由於本計畫採用的空拍影像不存在車輛間的遮蔽問題，因此直接透過 SORT 即可取得相當理想的結果。表 5.5-5 針對 A、B、C、D 四個路口偵測追蹤行人、自行車與機車之混淆矩陣。在行人方面，C 路口有 27 位行人行經路口，較具代表性。在 C 路口中，行人誤分類為其他車輛之比例低於 1% ($\frac{42}{11404+42+0+2829} < 1\%$)、偵測追蹤失敗率則約占 20% ($\frac{2829}{11404+42+0+2829} \doteq 19.8\%$)。事實上，由於俯視下行人極度缺乏外觀特徵，主要是仰賴 SORT 的持續追蹤效果，即使連續 3 至 4 幀未偵測到行人，也可透過線性假設對移動緩慢之行人進行預測，大幅改善了原本的偵測效果。同樣地，機車也因為 SORT 追蹤法的引進而有顯著改善，即使在機車擁擠且數量龐大的 C 路口(平均每張畫面約有 19 部機車)，失偵率亦僅約 8% ($\frac{1446}{6+0+17437+1446} \doteq 7.7\%$)。相對於行人與機車，自行車有著明顯較高的誤分類比例，平均約 28.5% ($\frac{173+621}{173+117+245+621+28+112+1311+178} \doteq 28.5\%$) 的自行車會被誤分類為機車，與及 11.6% ($\frac{117+28+178}{173+117+245+621+28+112+1311+178} \doteq 11.6\%$) 的自行車無法被偵測追蹤出來。主要原因有二。一為自行車與機車外型較為接近，且自行車樣本數量明顯偏少，較容易被誤認為機車。二為目前搜集之自行車樣本多為 YouBike 等特定自行車為大宗，故不利於其他非都會區域自行車之偵測。

表 5.5-6 為行人、自行車、機車整體查準率與查全率表現。整體而言，行人雖然面積小且缺乏外觀特徵，仍可偵測出 80% 的行人。自行車雖然可正確偵測出之比例僅接近 6 成，但多數被誤判為相近外觀的機車。若將行人、自行車、機車視為同一小物件類型，有 90% 小物件可被偵測出，只是分類上有一定比例的

錯誤。

表 5.5-5 針對A、B、C、D四個路口偵測追蹤行人、自行車與機車之混淆矩陣

台南市永康區中華路勝華街交會路口		偵測追蹤結果			
		行人	自行車	機車	未認出
實際人車	行人	0 誤分	0 誤分	0 誤分	0 失債
	自行車	0 誤分	0	173 誤分	117 失債
	機車	19 誤分	0 誤分	5917	519 失債
	非小物件	39 誤偵	0 誤偵	13 誤偵	-

雲林縣斗六市大學路三段與中山路交會路口		偵測追蹤結果			
		行人	自行車	機車	未認出
實際人車	行人	996	0 誤分	0 誤分	64 失債
	自行車	0 誤分	245	621 誤分	28 失債
	機車	0 誤分	39 誤分	6845	9 失債
	非小物件	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

高雄市鼓山區裕誠路與博愛二路交會路口		偵測追蹤結果			
		行人	自行車	機車	未認出
實際人車	行人	11404	42 誤分	0 誤分	2829 失債
	自行車	112 誤分	1311	0 誤分	178 失債
	機車	6 誤分	0 誤分	17437	1446 失債
	非小物件	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交會路口		偵測追蹤結果			
		行人	自行車	機車	未認出
實際人車	行人	0	0 誤分	0 誤分	0 失債
	自行車	0 誤分	0	0 誤分	0 失債
	機車	0 誤分	0 誤分	6572	526 失債
	非小物件	0 誤偵	0 誤偵	0 誤偵	-

資料來源：本研究繪製

表 5.5-6 行人、自行車、機車整體查準率與查全率表現

	行人	自行車	機車	不分類小物件
Precision	98.6%	95.1%	97.9%	99.9%
Recall	80.9%	55.9%	93.5%	90.1%

資料來源：本研究繪製

5.5.4 實驗結論

整體而言，本計畫在四輪車輛偵測與追蹤上可以達到可靠的追蹤結果；在行人、自行車與機車等小物件偵測上，在不分類前提下亦可達到 90% 的正確追蹤結果，惟自行車礙於訓練樣本數量與外觀種類上的劣勢，容易被誤分為機車車輛。由於行人、自行車、機車一般有著截然不同的移動速率差距，因此事實上也可以透過計算軌跡中移動時的平均速率，對分類結果進行重新校正。此外，各車輛誤偵比例皆非常低，且在機車方面獲得還算不錯的偵測追蹤效果。相對於前期採用特徵點之偵測方式，本期透過 YOLOv3 大幅提高了單張畫面下的小物件偵測率，同時完全避免了因路上線道而引起的誤偵情況。儘管在行人穿越道上，行人、自行車、機車的偵測率相對一般路面仍有稍微降低之情況，但 SORT 追蹤法的引進可有效容忍數張畫面內的失偵問題，重新透過線性差補取得完整之軌跡資訊。即便是全程主要行走於行人穿越道之行人，亦可達到 80% 的偵測率。

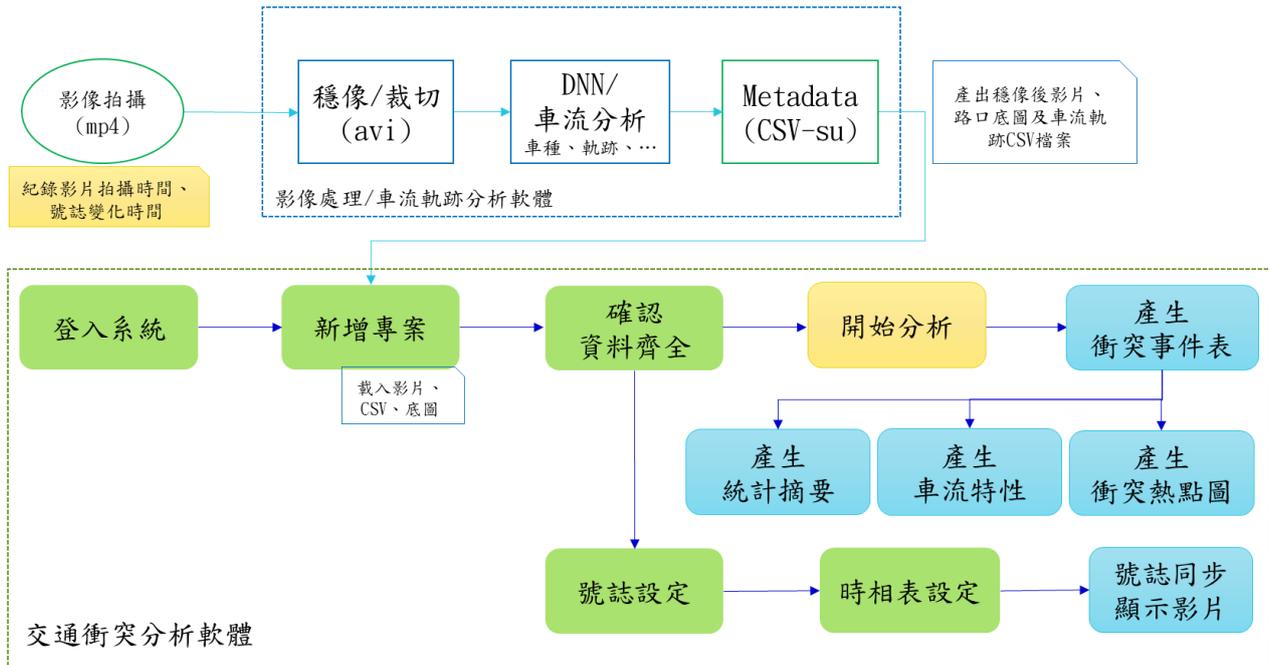
第六章 建立交通衝突分析軟體

6.1 分析軟體功能與架構

本研究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。分析軟體架構如圖 6.1-1 所示，按操作流程可分為兩大部份。第一部份為車流軌跡分析軟體，該軟體讀取無人機拍攝之影像，進行穩像、裁切、車種辨識、軌跡追蹤等影像處理，產生對應之車流軌跡資料檔。

第二部份為交通衝突分析軟體，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。

除此，本系統亦提供號誌同步顯示影片，透過使用者由拍攝端紀錄的時間、號誌變化過程及相關時制表等資料蒐集與整理，並將之輸入系統，設定號誌位置及相關時相變化資訊，即可自動完成號誌同步顯示影片；透過影片了解號誌對於車輛行為的影響等，進一步分析號誌與交通衝突之關聯，以期找出最適切的交通工程改善方案及對策。

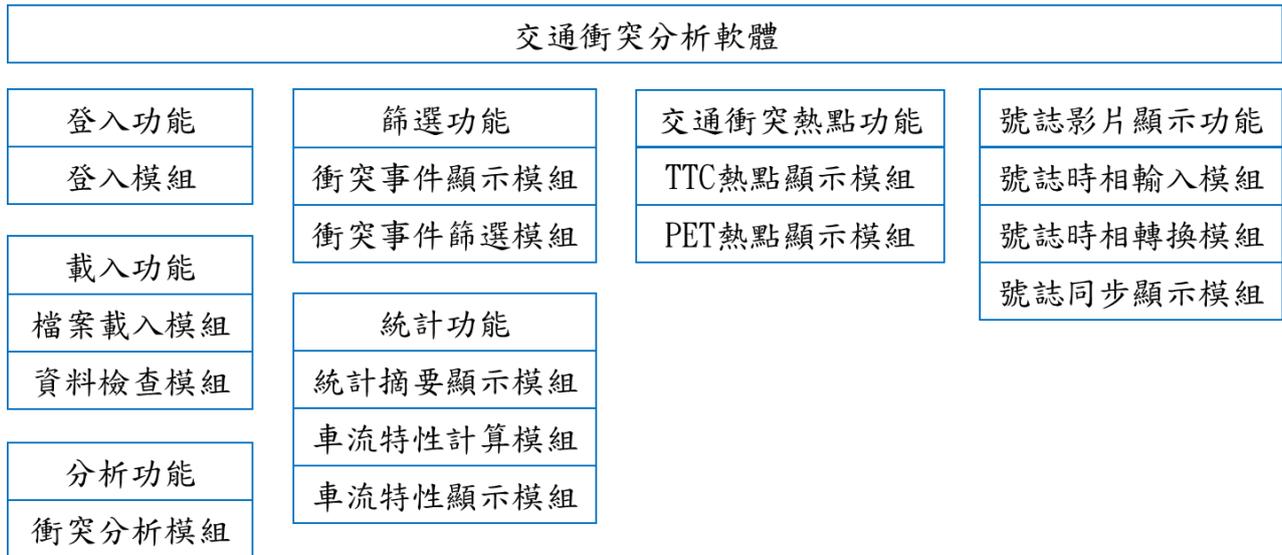


資料來源：本研究繪製

圖 6.1-1 分析軟體架構圖

6.1.1 分析軟體功能模組介紹

交通衝突分析軟體的功能模組如圖 6.1-2 所示，主要分為登入功能、載入功能、分析功能、篩選功能、統計功能、交通衝突熱點功能、號誌影片顯示功能等七大項目，每個功能需要不同的程式模組，以下將簡述每個流程功能及介面說明，詳細內容可參閱附錄 A.分析軟體使用手冊。

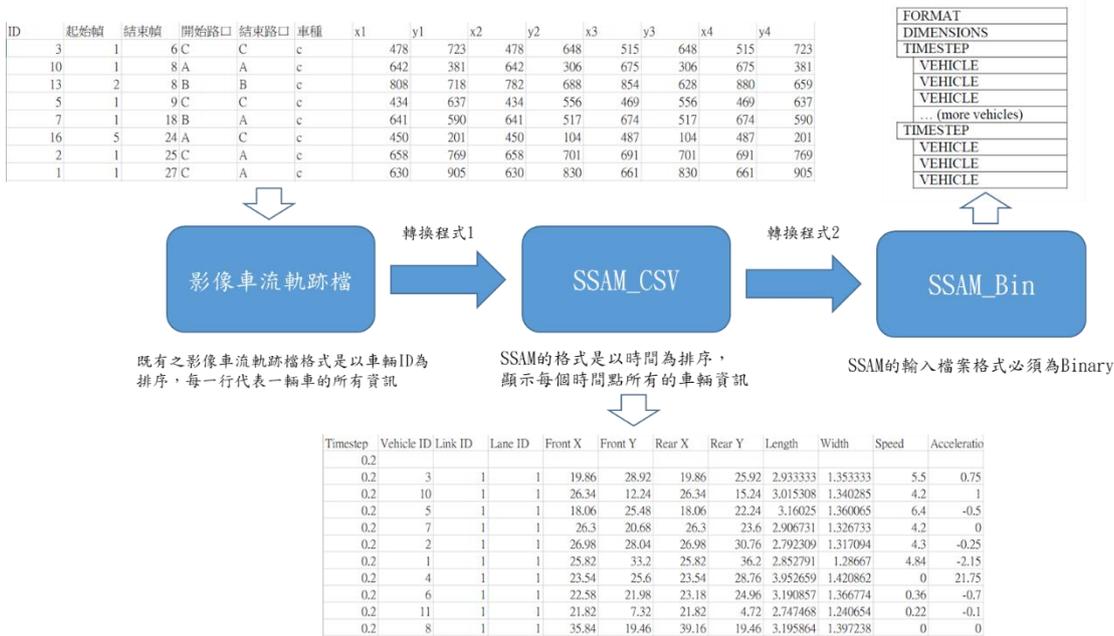


資料來源：本研究繪製

圖 6.1-2 交通衝突分析軟體功能模組圖

1. 登入功能：進行基本身分認證，只允許有帳號密碼的使用者登入使用，提升軟體使用安全，並提供基本使用權限。
2. 載入功能：提供使用者載入分析所需之資料，包括路口影片、路口底圖，以及車流軌跡檔，系統確認資料都載入後，才能進行分析作業。
3. 分析功能：根據車流軌跡，計算衝突事件及衝突指標等屬性。目前採用 SSAM 開源軟體進行衝突事件的計算，由於 SSAM 輸入格式與既有之車流軌跡格式不同，故須設計自動轉換程式，由影像車流軌跡檔自動轉換成 SSAM 格式(如圖 6.1-3)，才能進行分析作業；此外，本研究根據分析情境之需求，進一步加入衝突事件的型態、車流轉向、車種分類等計算，並於 6.1.2 節詳細說明。
4. 篩選功能：提供使用者進行衝突事件參數篩選，可篩選之條件如衝突型態、車種、車輛進出口方向等，使用者可依據需求自行選擇過濾條件，篩選出最適切的衝突結果。
5. 統計功能：依據分析篩選結果，將資料進行統計，並以圖表方式顯示之，如統計摘要，包括嚴重程度比例、車種分類、車流特性等，可快速掌握路口衝突事件統計資訊。
6. 交通衝突熱點功能：依據衝突分析結果，統計 TTC 及 PET 衝突熱點，並將熱點繪製於路口底圖，以利掌握路口衝突熱點區域。

7. 號誌影片顯示功能：號誌對於路口交通扮演至關重要的角色，因此透過號誌同步顯示功能，更易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。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-3 影像車流軌跡轉換至SSAM輸入格式流程說明

6.1.2 衝突計算方式

本研究以 TTC、PET 作為計算衝突事件的指標，衝突事件的計算方式採用 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)^[46]的開源程式碼，該軟體是 2004 年由美國聯邦公路總署(FHWA)開發，主要功能是讀取微觀車流模擬模式所輸出的車流軌跡檔並進行分析，以交通衝突技術計算模擬情境下的衝突事件。SSAM 的相關說明研究可參考 2.3.4 節的文獻回顧。

SSAM 於 2017 年推出第三代 (SSAM Version 3.0)^[46]，改寫程式碼架構以改善計算效能，並開放原始碼供研究人員使用，適合本研究所採用，目前亦無其他類似的開源軟體。本研究將影像分析所得的車流軌跡轉換成 SSAM 讀取格式並

執行計算，產生衝突事件的結果，經由本軟體程式所讀取。SSAM 的輸出包括衝突事件發生的時間、衝突事件位置、碰撞時間(TTC)、後侵占時間(PET)、兩個最大車速、兩車速度差、衝突角度等資訊，將予以保留。

因 SSAM 的輸出結果並未能完全滿足國內汽機車混合車流的複雜車流特性，因此本軟體將 SSAM 的輸出結果結合車流軌跡的原始資料加以分析，進一步加入交通衝突型態、車流轉向、車種種類等資訊，可供分析人員作進階的應用。車種種類根據影像分析所能辨別的種類為主，包括小客車、貨車、聯結車、機車、行人、自行車。車流轉向包括車輛進入路口的方向、離開路口的方向、轉向（直行、左轉、右轉、迴轉）。交通衝突事件根據車輛之進入路口之方向及轉向進行分類，交通衝突型態包括五大類：(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。

6.1.3 軟體使用流程及介面說明

軟體使用流程可參考圖 6.1-4 所示，首先將資料載入並輸入相關資訊如路口名稱、拍攝時間等，接著經由分析作業後產生衝突事件，使用者可透過條件篩選出特定衝突事件，然後觀察統計摘要、車流特性及衝突熱點圖等圖表資訊，快速掌握各路口衝突區域，以利交通狀況之改善。以下將分述每個流程功能及介面說明。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-4 衝突分析軟體使用流程圖

1. 新增專案(如圖 6.1-7)：

- (1) 輸入路口資訊：提供使用者輸入十字路口名稱，如桃園市八德區中華路與茄苳路口。
- (2) 選擇影片時間：選擇影片拍攝時間，此資訊可由拍攝時之側錄影像中取得。
- (3) 載入相關檔案，包括路口影片、路口底圖及車流軌跡資訊等檔案，以上三個檔案為影像分析軟體之輸出結果。車流軌跡資訊如圖 6.1-5，包括此一影片中所有車輛之車輛 ID、開始幀數、結束幀數、進入路口、離開路口、車種、軌跡座標等數值。其中進出口方向以 A~D 描述，定義如圖 6.1-6 進出口方向定義，軌跡座標則是以物件的左上、右上、左下、右下的 X,Y 座標定義之，並按照幀數依序排列座標數值。

Car ID	Start	end	in	out	class	軌跡																			
3	1	6	C	C	c	478	723	478	648	515	648	515	723	480	749	480	677	513	677	513	749	480	778	480	
10	1	8	A	A	c	642	381	642	306	675	306	675	381	642	359	642	286	675	286	675	359	640	337	640	
13	2	8	B	B	c	808	718	782	688	854	628	880	659	822	710	795	677	863	622	890	655	828	700	805	
5	1	9	C	C	c	434	637	434	556	469	556	469	637	434	669	434	588	469	669	436	699	436	699	436	
7	1	18	B	A	c	641	590	641	517	674	517	674	590	642	569	642	496	675	496	675	569	641	549	641	
16	5	24	A	C	c	430	201	430	104	487	104	487	201	430	229	430	142	487	142	487	229	432	275	432	
2	1	25	C	A	c	638	769	638	701	691	701	691	769	636	749	636	678	691	678	691	749	635	726	635	
1	1	27	C	A	c	630	905	630	830	661	830	661	905	626	879	626	808	659	808	659	879	626	859	626	
12	2	34	C	A	c	698	835	698	759	735	759	735	835	698	822	695	742	731	740	735	820	696	807	696	
20	10	48	C	A	c	704	929	704	856	735	856	735	929	704	915	704	841	735	841	735	915	702	901	702	
24	20	55	C	A	c	661	939	661	856	695	856	695	939	660	913	660	837	694	837	694	913	660	895	660	
28	33	63	C	A	c	660	921	657	840	691	838	694	919	658	899	657	822	690	821	662	898	655	879	655	
33	51	73	C	B	c	714	927	714	848	747	848	747	927	714	911	714	832	749	832	749	911	716	895	716	
35	53	73	A	C	c	454	182	454	98	487	98	487	182	454	217	454	132	489	132	489	217	454	247	454	
31	44	74	C	A	c	645	927	645	842	675	842	675	927	644	897	644	821	677	821	677	897	642	877	642	
34	52	79	C	A	c	640	945	634	864	668	862	674	942	639	921	632	838	666	835	673	918	631	897	631	
37	60	91	C	A	c	704	937	698	860	731	857	737	934	700	915	700	840	735	840	735	915	700	898	696	
39	93	116	C	B	c	716	929	716	854	749	854	749	929	716	911	716	838	749	838	749	911	715	897	715	

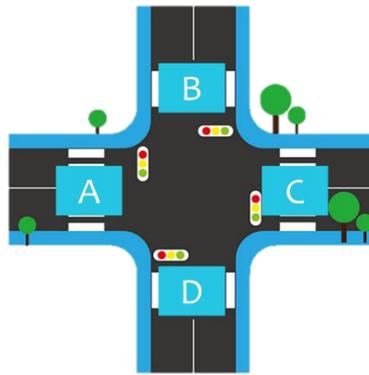
每列代表一台車的完整軌跡資訊，每一行代表的資訊如下

車輛ID	開始幀數	結束幀數	進入路口	離開路口	車種	軌跡
------	------	------	------	------	----	----

每列第七行開始為車輛軌跡的座標，每八個值為一組分別代表車輛方框左上、右上、左下、右下的x,y值

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-5 車流軌跡資訊說明



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-6 進出口方向定義

(4) 新增專案：完成上述 3 個流程後，則可建立一個分析專案。

新增專案

專案資訊

交通路口：桃園無時制路口

影片日期/時間：2019-09-20 14:59:16

載入資訊

載入影片：
載入 拖曳檔案

載入CSV：
載入 拖曳檔案

載入底圖：
載入 拖曳檔案

新增專案

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-7 新增專案頁面圖

2. 開始分析(如圖 6.1-8)：

確認所有資料載入及輸入完成後，即可開始進行分析作業，計算出該路口車流的衝突事件，並產生一個對應之衝突事件表。本分析以衝突指標 TTC 在 5 秒內、PET 在 5 在秒內作為門檻，記錄門檻內的衝突事件；超過 5 秒的衝突事件導致發生碰撞的機率極低，因此將不會被記錄。以下詳述分析流程：

- (1) 分析專案：進入「開始分析」頁面，會列出已建立的專案清單



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-8 專案分析頁面圖

- (2) 選取欲分析的專案名稱，點選「開始分析」，按鈕會轉變成「Loading」如圖 6.1-9，等待後即可呈現分析結果。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-9 專案開始分析顯示Loading

3. 衝突事件表：

衝突事件分析完成後，可進入分析結果之衝突事件表進行條件篩選，此功能提供使用者可依據不同需求、情境，過濾篩選出不同的衝突事件，參數包括衝突型態、車種、汽車進出口方向等，例如欲篩選出汽車與機車的碰撞結果，則勾選車種分類中的汽車與機車兩種類別即可；若希望篩選出追撞情形，則勾選衝突型態中的追撞類別即可。以下詳述流程：

- (1) 選取欲篩選的專案：如圖 6.1-10，分析完畢的專案，才可於「衝突事件表」中顯示並予以選取。

專案資訊

請選擇專案：5_A_高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路_01 (2019-08-27 16:58:52)

交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路_01

影片日期/時間：2019-08-27 16:58:52

衝突型態顯示(Filter Conflict Type) (多選)

全選

同向衝突	穿越交通衝突	行人與車輛衝突
<input checked="" type="checkbox"/> 同向左轉衝突	<input checked="" type="checkbox"/> 左轉穿越衝突(右側)	<input checked="" type="checkbox"/> 行人與小型車衝突
<input checked="" type="checkbox"/> 同向右轉衝突	<input checked="" type="checkbox"/> 右轉穿越衝突(右側)	<input checked="" type="checkbox"/> 行人與機車衝突
<input checked="" type="checkbox"/> 同向直行減速衝突	<input checked="" type="checkbox"/> 直行穿越衝突(右側)	<input checked="" type="checkbox"/> 行人與其他車輛衝突
<input checked="" type="checkbox"/> 同向變換車道衝突	<input checked="" type="checkbox"/> 左轉穿越衝突(左側)	<input checked="" type="checkbox"/> 行人與行人衝突
<input checked="" type="checkbox"/> 兩車左轉衝突	<input checked="" type="checkbox"/> 右轉穿越衝突(左側)	
<input checked="" type="checkbox"/> 兩車右轉衝突	<input checked="" type="checkbox"/> 直行穿越衝突(左側)	

對向衝突

對向左轉衝突

對向直移衝突

其他衝突 Unclassified

其他衝突

車輛類別顯示(Filter Car Type) (多選)

全選

- 行人
- 自行車
- 機車
- 小客車
- 貨車
- 聯結車
- 公車

車流方向顯示(Filter Traffic Direction) (多選)

進入路口方向

全選

- A
- B
- C
- D

離開路口方向

- A
- B
- C
- D

篩選

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-10 衝突事件表專案選取

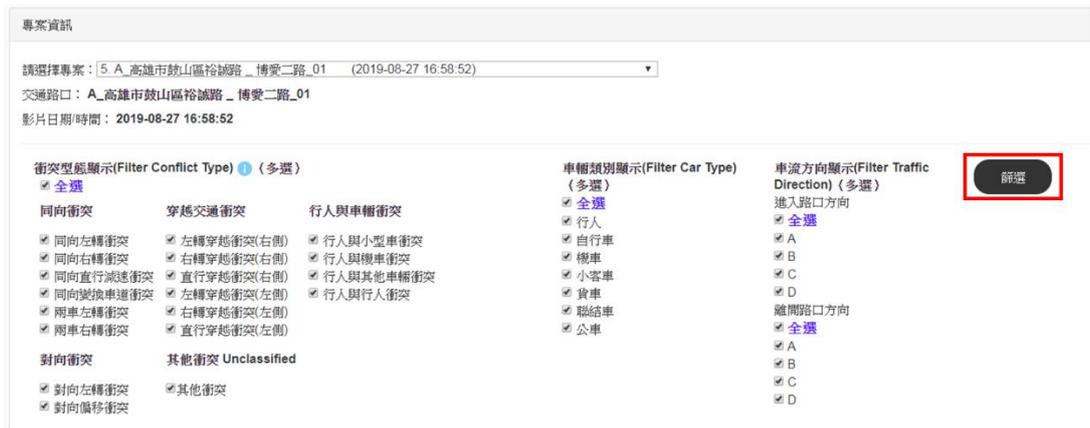
(2) 衝突型態輔助說明：點選「穿越交通衝突」旁的驚嘆號 ，如圖 6.1-11 會另開視窗顯示所有衝突型態。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-11 衝突型態對應圖

(3) 設定篩選條件後，按下「篩選」即可，如圖 6.1-12。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-12 勾選篩選條件並進行篩選

(4) 頁面下方會列出篩選結果，如圖 6.1-13：

- 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。

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	22.506	11.792	3.5	0.701	0.35	0.196345	-12.0093	同向左轉衝突
22.44	11.704	1.9	0	1.39	1.15776	171.341	同向左轉衝突	
1.001	22.132	14.883	0.400003	0	16.72	14.4573	59.6209	同向變換車道衝突
0.7	23.43	15.62	1.6	1.602	5.5	4.75707	-16.8153	其他衝突
2.402	29.964	38.368	0.000003	0	8.44	3.98	-106.172	同向左轉衝突
4.604	33.902	30.976	1	0.901	2.42	1.77815	-57.3896	其他衝突
7.007	19.514	22.858	0.200003	0.1	5.18	1.88642	2.7276	其他衝突
6.806	26.543	37.554	0.000003	0	9.42	7.09323	116.306	其他衝突
8.008	20.922	27.126	4.9	0.4	5.28	1.12726	8.0937	其他衝突
8.508	21.67	29.414	4.9	0.299999	5.02	0.717642	3.96791	其他衝突

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-13 衝突分析篩選結果

(5) 如圖 6.1-14，「匯出分析結果」按鈕，可轉出以下結果的 CSV 檔案，檔案內容如圖 6.1-15。

發生時間(秒) tMinTTC	X坐標 xMinPET	Y坐標 yMinPET	TTC(秒)	PET(秒)							
0.3	22.506	11.792	3.5	0.701							
VID	Length	Width	Heading	VminTTC	xCSP	yCSP	xCEP	yCEP	VehType	In	O
First:	6	2.70493	1.22978	221.185	0.35	22.506	11.792	22.418	11.715	c	A B
Second:	8	2.81103	1.25247	209.176	0.16	23.452	15.62	22.132	14.883	c	A C
1.201	22.44	11.704	1.9	0							
1.001	22.132	14.883	0.400003	0							
0.7	23.43	15.62	1.6	1.602							
2.402	29.964	38.368	0.000003	0							
4.604	33.902	30.976	1	0.901							
7.007	19.514	22.858	0.200003	0.1							
6.806	26.543	37.554	0.000003	0							
8.008	20.922	27.126	4.9	0.4							
8.508	21.67	29.414	4.9	0.299999							

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-14 匯出分析結果

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	發生時間	X坐標	Y坐標	M	TTC(秒)	PET(秒)	最大車速	相對車速	衝突角度	衝突型態	FirstVID	FirstLeng	FirstWidth	FirstHead	FirstVMin	xFirstCSP	yFirstCSP	xFirstCEP	yFirstCEP	FirstVehT
2	87.987	17.875	17.38	4.9	3.404	0.33	0.11316	-5.6525	同向直行	88	3.67318	1.56689	179.486	0.22	17.875	17.38	12.969	17.424	貨車	
3	168.168	38.621	31.416	3.3	0.901	4.34	1.01568	1.61697	同向直行	237	3.64576	1.46912	258.137	3.33	38.621	31.416	37.84	27.698	小客車	
4	274.974	34.815	22.297	2.1	2.40301	3.15	2.7046	28.8537	其他衝突	369	3.38475	1.53112	45.7539	0.45	34.694	21.824	37.994	25.212	小客車	
5	279.179	36.861	24.827	3.5	4.30402	2.13	2.83798	-133.37	其他衝突	369	3.38475	1.53112	23.6705	1.49	36.586	24.618	38.192	25.322	小客車	
6	284.984	37.708	31.427	4.8	1.901	14.3	14.0161	-126.63	其他衝突	383	3.23002	1.42865	246.038	13.92	39.842	33.077	38.874	30.899	小客車	
7	283.883	38.214	25.278	3.2	3.103	4.14	4.3278	147.827	其他衝突	369	3.38475	1.53112	119.299	0.22	38.203	25.278	36.487	28.336	小客車	
8	284.184	40.194	34.122	3E-06	0	23.22	1.02	-6.7047	同向右轉	383	3.23002	1.42865	256.149	1.29	40.194	34.122	40.194	34.122	小客車	
9	291.791	34.551	14.036	4.2	1.10101	3.52	0.81335	5.62994	其他衝突	369	3.38475	1.53112	261.697	2.31	34.562	14.102	33.891	9.504	小客車	

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-15 衝突事件匯出CSV檔案內容截圖

4. 統計摘要：

統計摘要可依照衝突型態或車種分類顯示次數或比例，例如統計衝突事件嚴重程度，按照 TTC 數值分為四級，分別為瀕危風險($TTC \leq 1$)、高風險($1 < TTC \leq 2$)、中風險($2 < TTC \leq 3$)、低風險($3 < TTC \leq 5$)，或依車種如行人、自行車、機車、小客車、貨車、巴士及聯結車等統計其比例，如圖 6.1-16。

文獻一般建議 TTC 門檻值約 2 秒至 3 秒，使用者可自由選取顯示不同等級之風險程度作為輸出結果，也可以用於不同設定下之敏感度分析。

統計摘要



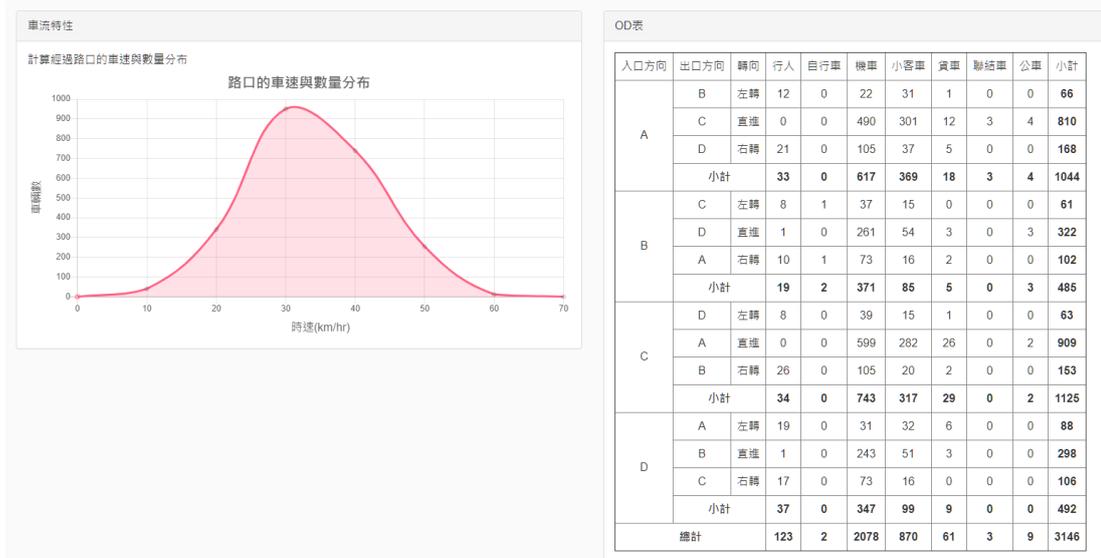
資料來源：本研究繪製

圖 6.1-16 統計摘要圖表

5. 車流特性：

根據該專案車流影像分析結果，整理該路口之起訖點交通量統計表(OD表)，並依據不同車種顯示其數量，以利了解該路口之交通流量與各車種數量。此外，計算經過該路口之直行車平均車速與數量之分布，並繪製一車輛數與車速之分布圖，如圖 6.1-17。平均車速與數量分布繪製準則如下：

- (1) 採用輸入影片中全部時段之各方向直行車輛，包括 A 到 C、B 到 D、C 到 A、D 到 B 四個方向之直行車，路口編號 A~D 請參考進出口方向定義圖 6.1-6。
- (2) 平均車速計算以下車輛種類，包括機車、小客車、貨車、聯結車及公車五種，不包括行人及自行車之速度。
- (3) 停等紅綠燈之車輛仍會加以計算，唯計算車速時，將去除速度低於 2 m/s 之數據，以濾除停等紅綠燈時之低速度車輛。
- (4) 繪製圖表時採用 Upper bound 處理，亦即 0~10 Km/hr 的平均車速將以 10 Km/hr 的速度呈現。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-17 車流特性圖

6. TTC/PET 衝突熱點圖：

依據衝突事件結果，分別繪製 TTC/PET 衝突熱點圖，以利透過路口衝突熱點位置，可更清楚快速地掌握可能發生衝突的區域，協助交通管理人員進一步分析改善措施。

- (1) 進行條件篩選，系統提供密度分布圖及斑點圖兩種圖形類別，並可選擇不同風險程度，繪出所選擇的種類圖，如圖 6.1-18。
- (2) 在篩選條件中，會列出各風險的次數，包括瀕危風險、高風險、中風險及低風險等，以利了解相關資訊。

衝突熱點

專案資訊

請選擇專案：3_A_高雄市三民區民族一路_十全一路_02 (2019-10-15 17:13:48) ▾

交通路口：A_高雄市三民區民族一路_十全一路_02

影片日期/時間：2019-10-15 17:13:48

篩選條件

請選擇顯示方式：全選 密度分布圖 斑點圖

請選擇顯示之風險程度：全選 瀕危風險 (33次) 高風險 (12次) 中風險 (6次) 低風險 (51次)

篩選

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-18 衝突熱點圖篩選條件

- (3) 點擊「篩選」後，即可得到圖表，如圖 6.1-19 顯示 TTC 衝突熱點之密度分布及斑點圖，並包含所有風險程度。

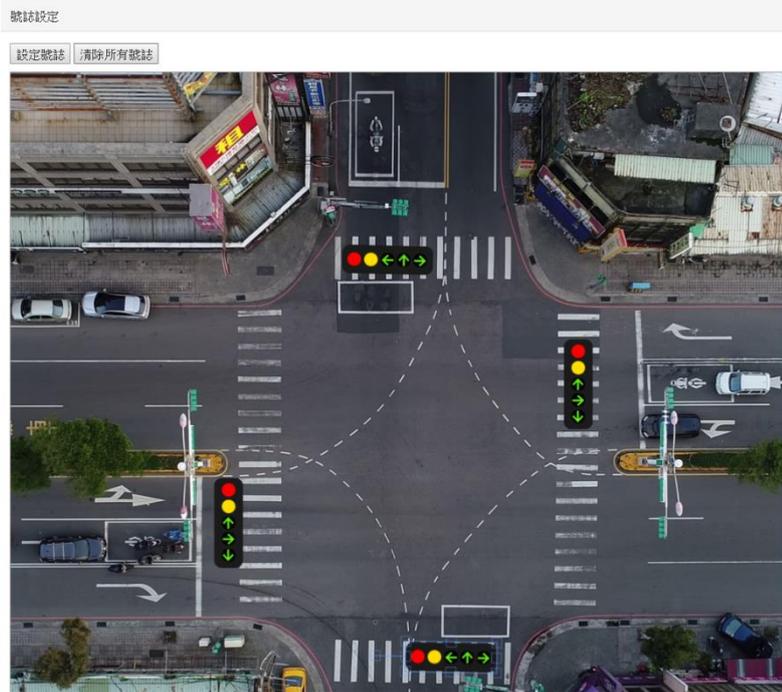


資料來源：本研究繪製

圖 6.1-19 TTC衝突熱點之密度分布及斑點圖

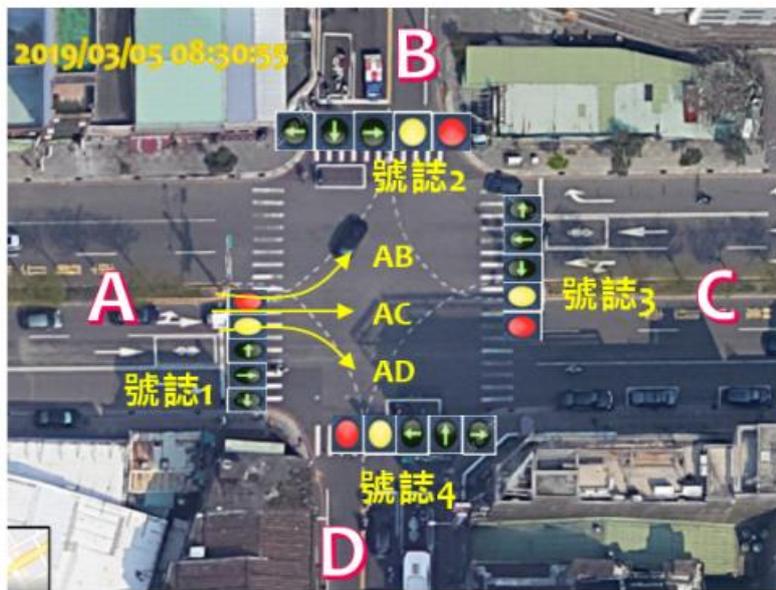
7. 號誌與時相：

- (1) 號誌設定：如圖 6.1-20 點選號誌設定，並依據圖 6.1-21 號誌 1~4 將號誌拉至對應區域，即可完成設定。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-20 號誌設定頁面



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-21 路口及號誌編號圖

- (2) 時相表設定：請選擇時間區間，並設定影片中「A向綠燈開始時間」，如圖 6.1-22。

時相表設定

時間區間： 起 ~ 迄 A向綠燈開始時間： :

進	出	轉向	時相1	時相2	時相3	時相4	時相5	時相6
A	B	左	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
A	C	直	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
A	D	右	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	C	左	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	D	直	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	A	右	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	D	左	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	A	直	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	B	右	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	A	左	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	B	直	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	C	右	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
綠燈			<input type="text" value="84"/> 秒	<input type="text" value="14"/> 秒	<input type="text" value="14"/> 秒	<input type="text" value="48"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒
黃燈			<input type="text" value="4"/> 秒	<input type="text" value="4"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒	<input type="text" value="3"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒
紅燈			<input type="text" value="2"/> 秒	<input type="text" value="2"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒	<input type="text" value="4"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒	<input type="text" value="0"/> 秒

資料來源：本研究繪製

圖 6.1-22 號誌時相輸入頁面

- (3) 依據路口號誌時制表依序輸入該時段之時相變化，以圖 6.1-21 為例，將路口分為 A、B、C、D 四向，每向將有三個行進方向，分別為左轉、直走及右轉，以 A 向為例，三個行進方向依序為 A 進 B 出、A

進 C 出，以及 A 進 D 出。一套時制最多有六個時相，若該向有三個時相，則分別輸入時相一至時相三，設定方式則以勾選方式(預設為 0，勾選則變更為 1)，若在時相一時，A 向之左轉、直走及右轉都可行進，則於該項目勾選，若該時相不能行進，則不勾選，保持為 0，設定表最下方則填上該時相之秒數變化，如綠燈 84 秒、黃燈 4 秒，以及紅燈 2 秒等資訊，全部填妥後，系統將自動計算各燈號之明暗變化，並與路口影片同步輸出。

- (4) 影片展示：進入「影片展示」頁面，並選擇欲觀看的號誌同步顯示影片之路口，按下播放後，可開始播放號誌同步的影片。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-23 號誌同步影片展示頁面



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-24 號誌同步影片開始播放

6.1.4 分析軟體輸出型式說明

經由衝突分析軟體處理後，產出之分析結果主要以下列輸出型式呈現：

1. 表格型式：如圖 6.1-25 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。

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					
4.504	20.875	38.125	3	0.501	9.62	1.34169	3.06103	其他衝突					
6.806	23.7125	36.25	0.000003	0.2	8.62	9.37559	173.581	同向左轉衝突					
6.906	20.625	32.075	3	0.4	7.78	1.23939	-7.30273	對向偏移衝突					
	VID	Length	Width	Heading	VminTTC	xCSP	yCSP	xCEP	yCEP	VehType	In	Out	
First:	32	1.69863	0.699555	87.5409	5.38	20.475	30.475	20.65	34.55	c	D	B	
Second:	69	1.70171	0.698366	80.2382	6.37	20.475	27.425	21.275	32.075	m	B	D	
6.206	26.825	20.4375	2.8	1.601	5.75	5.168	19.0711						同向左轉衝突
6.906	25.4875	34.75	1.6	1.301	4.52	3.51454	11.0274						兩車左轉衝突
9.209	24.525	31.2375	2.9	2.803	4.75	4.02	45.0042						同向左轉衝突
12.112	22.65	20.75	4.6	3.904	2.5	1.38	0.037155						直行穿越衝突 (左側)

資料來源：本研究繪製

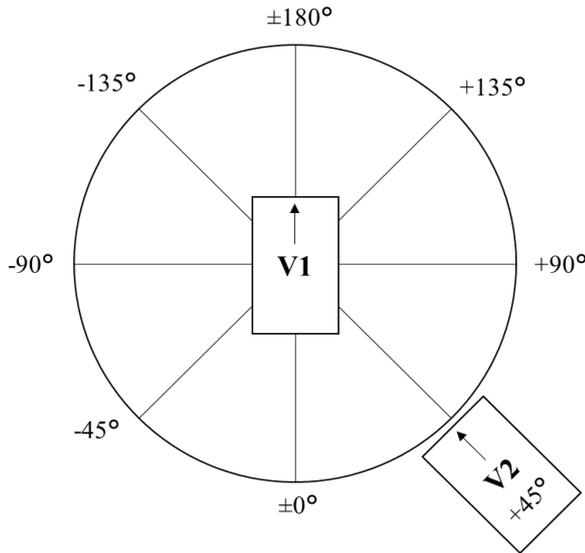
圖 6.1-25 以表格型式輸出分析結果

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 6.1-26 所示，V1 指衝突事件

中兩車的第一輛車(FirstVehicle)，V2 指第二輛車(SecondVehicle)，但無特別區分何者為 V1 或 V2，夾角相同。角度從 -180° 至 $+180^{\circ}$ ，負值表示第二輛車(V2)從左側接近第一輛車(V1)，正值表示從右側接近。



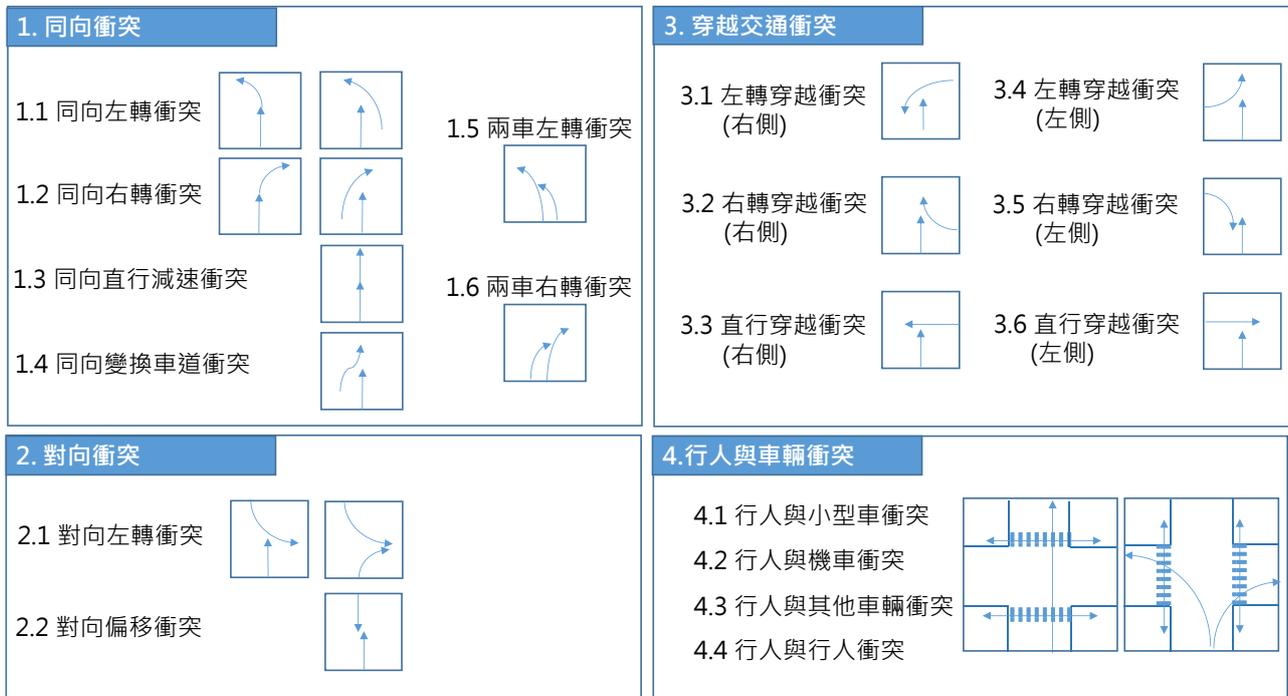
資料來源：SSAM 軟體

圖 6.1-26 衝突角度示意圖

⑨ 衝突型態：交通衝突型態包括(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，依據車輛種類、兩車進入路口方向、離開路口方向及車角度進一步分為數個類別，而行人行走於行穿線上，不需要再分方向，圖示說明如圖 6.1-27，分類如下。

1. 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、兩車左轉衝突、兩車右轉衝突。當中同向直行減速衝突、同向變換車道衝突之兩車進入方向相同，衝突角度在 0 至 30 度之間判別為同向直行減速衝突，衝突角度大於 30 度判別為同向變換車道衝突。
2. 對向衝突：對向左轉衝突、對向偏移衝突。
3. 穿越交通衝突：左轉穿越衝突(左側)、右轉穿越衝突(左側)、直行穿越衝突(左側)、左轉穿越衝突(右側)、右轉穿越衝突(右側)、直行穿越衝突(右側)。

4. 行人與車輛衝突：行人與小型車衝突、行人與機車衝突、行人與其他車輛衝突、行人與行人衝突。
5. 其他衝突：不包括於以上衝突類型之衝突。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-27 交通衝突形態及類別

(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：系統會紀錄衝突事件發生時第一輛車及第二輛車各自的車頭方向，其夾角為衝突角度。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份以圖表型式呈現，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 6.1-28 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%都與小客車有關聯，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

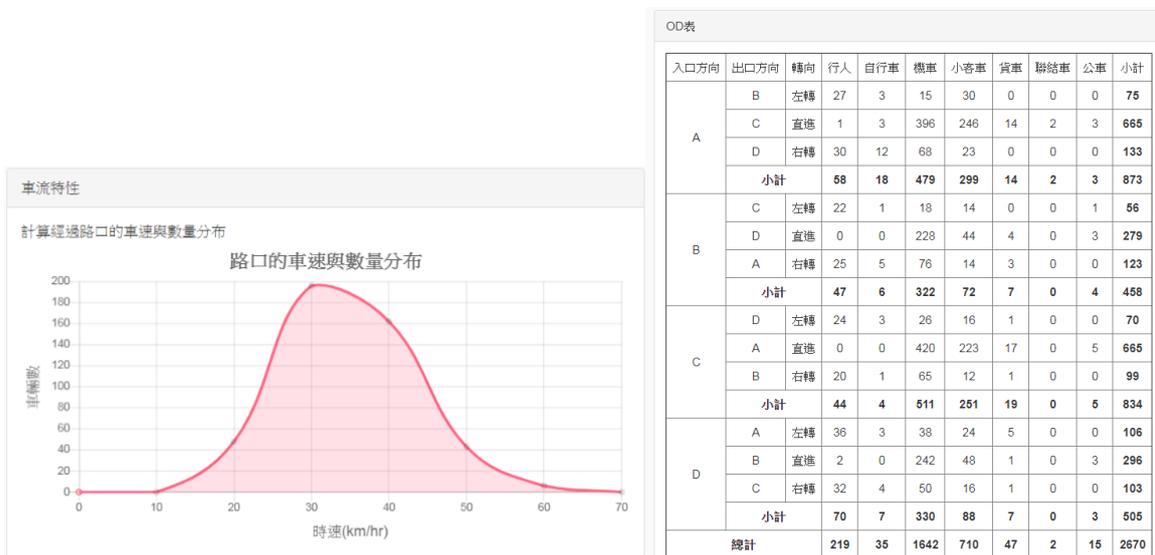
發生衝突的事件分布，以利進行交通管理的研擬與對策計畫的執行，有效改善路口衝突狀況。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-28 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 6.1-29。



資料來源：本研究繪製

圖 6.1-29 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、高風險、中風險及低風險等，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 6.1-30，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，透過影像可讓我們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：本研究繪製

圖 6.1-30 TTC衝突熱點圖

分析軟體的計算核心採用 SSAM 軟體，本研究針對國內的交通的分析需求，修訂或新增了一些輸出項目，整理如表 6.1-1。

表 6.1-1 交通衝突分析軟體的輸出項目及資料來源

類別	項目		資料來源	
	英文	中文	SSAM 輸出	本研究 新增/修訂
衝突事件相關	tMinTTC	發生時間	•	
	xMinPET	衝突點 x 座標	•	
	yMinPET	衝突點 y 座標	•	
	TTC	TTC 值	•	
	PET	PET 值	•	
	MaxS	最大車速	•	
	DeltaS	相對車速	•	
	ConflictAngle	衝突角度	•	
	ConflictType	衝突類型		•
衝突車輛相關 (First 第一車 Seconod 第二車)	VID	車 ID	•	
	Length	車長	•	
	Width	車寬	•	
	Heading	車角度	•	
	VMinTTC	衝突時車速	•	
	xCSP	衝突事件起始點 x 座標	•	
	yCSP	衝突事件起始點 y 座標	•	
	xCEP	衝突事件結束點 x 座標	•	
	yCEP	衝突事件結束點 y 座標	•	
	VehicleType	車種		•
	In	進入路口方向		•
	Out	離開路口方向		•
統計摘要相關	By severity	按嚴重程度分類		•
	By vehicle type	按車種分類		•
交通特性相關	OD matrix	起訖矩陣		•
	AverageSpeed	平均車速		•
衝突熱點圖相關	Density Map	密度分佈圖		•
	Spot Map	斑點圖		•

資料來源：本研究繪製

6.2 衝突分析軟體運算特性

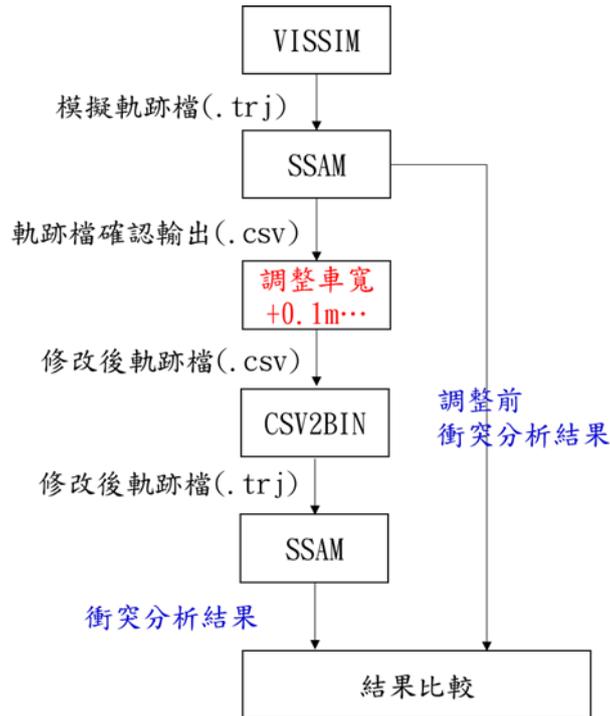
交通衝突分析軟體採用 SSAM 作為衝突事件指標的計算工具，SSAM 的模式計算理論已經於過去的技術報告書有充分的探討(Gettman et al., 2008)，本章節針對國內交通安全常見的車種種類及內輪差議題，進行運算特性測試及分析。

6.2.1 車輛種類在衝突分析的影響

SSAM 是運用微觀車流軌跡進行衝突分析軟體，軌跡檔格式中並不考慮車輛種類，然而，國內市區的車輛種類繁多，因此有必要探討 SSAM 如何在衝突分析中處理車種分類。輸入的車流軌跡中，除了包括每一時間點車輛之車頭及車尾座標位置外，尚包括每一車輛的車長及車寬，用以預測兩車發生衝突時的時點及位置。

為了確認車輛的大小能合理的反映在 SSAM 的衝突分析結果中，本研究透過 VISSIM 先取得微觀車流模擬軌跡檔，並透過 OpenSource 方式調整車流軌跡中的車輛寬度，並以 SSAM 進行分析，調整前後的衝突分析是否有差異。車寬增加代表車輛體積變大，可預期衝突數較多；若 SSAM 是以車輛中心線作為衝突判斷準則，改變車寬應不會使偵測到的衝突數有所改變。模擬測試的方式如圖 6.2-1 所示。

依據前述測試方法，透過將原軌跡的車寬進行調整，增加 0.1 公尺、增加 0.2 公尺、減少 0.1 公尺，並進行衝突分析，各情境的結果比較如表 6.2-1 所表示。結果顯示，衝突數隨車寬增加而遞增，得以驗證 SSAM 是以車輛邊框為衝突計算依據。



資料來源：本研究繪製

圖 6.2-1 衝突計算依據測試方法

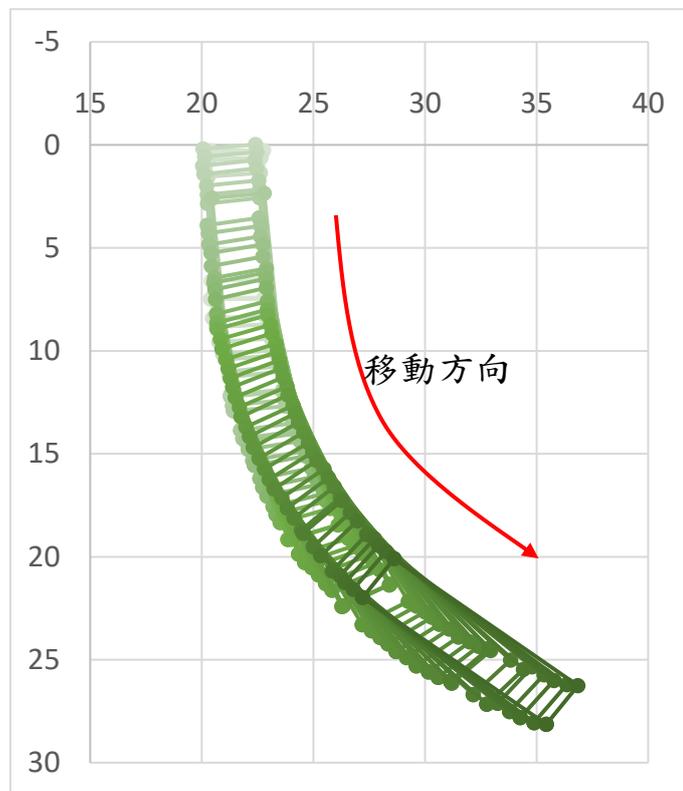
表 6.2-1 不同車寬的衝突數比較

衝突數	調整車寬	調整前	調整車寬	調整車寬
	W-0.1m	W	W+0.1m	W+0.2m
Lane-change	83	92	109	123
Rear-end	825	945	1260	2047
Crossing	17	17	18	20
Unclassified	0	0	0	0
Total	925	1054	1387	2190

資料來源：本研究繪製

6.2.2 內輪差分析

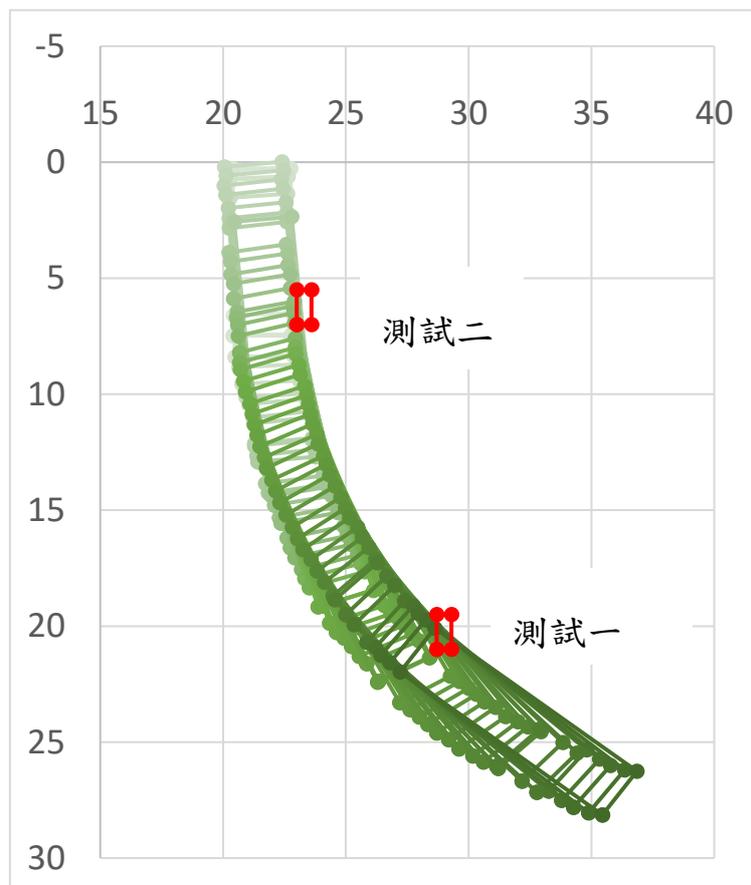
內輪差是車輛轉彎時內前輪轉彎半徑與內後輪轉彎半徑之差，交通工程中的定義為「比較內側最前方車輪與內側最後方車輪的行駛軌跡，會不盡相同，稱為內輪差」(陳惠國等人，2010)^[88]，主要發生在車體較長的公車或大貨車。內輪差常常導致嚴重的交通事故，但不容易偵測。本研究透過無人機空拍的軌跡能有效的觀察車輛的軌跡，透過繪製軌跡殘影能看出大型車轉彎所產生的內輪差的實際範圍。在影像軌跡檔中截取 1 台轉向公車的軌跡檔，以車輛四個角點繪製內輪差軌跡圖(長度單位為公尺)，由圖 6.2-2 中可見，影像辨識軌跡可顯現內輪差，分別以內側最前點與後點代表最前輪與最後輪。



資料來源：本研究繪製

圖 6.2-2 公車轉向內輪差軌跡圖

衝突分析技術並不針對內輪差進行特別分析，軌跡圖的目的是說明影像分析能夠成功偵測內輪差，為驗證 SSAM 影像辨識擷取的軌跡是否能反映內輪差問題，本研究自樣本中挑選一左轉之公車（ID 為 369）進行分析，再於輪差範圍內虛擬停等機車並製成軌跡檔，再運用 SSAM 進行衝突分析。本步驟共進行了二次測試，每次各虛擬一台 ID 為 99999 之停等機車，如圖 6.2-3 所示。



資料來源：本研究繪製

圖 6.2-3 虛擬機車位置示意圖

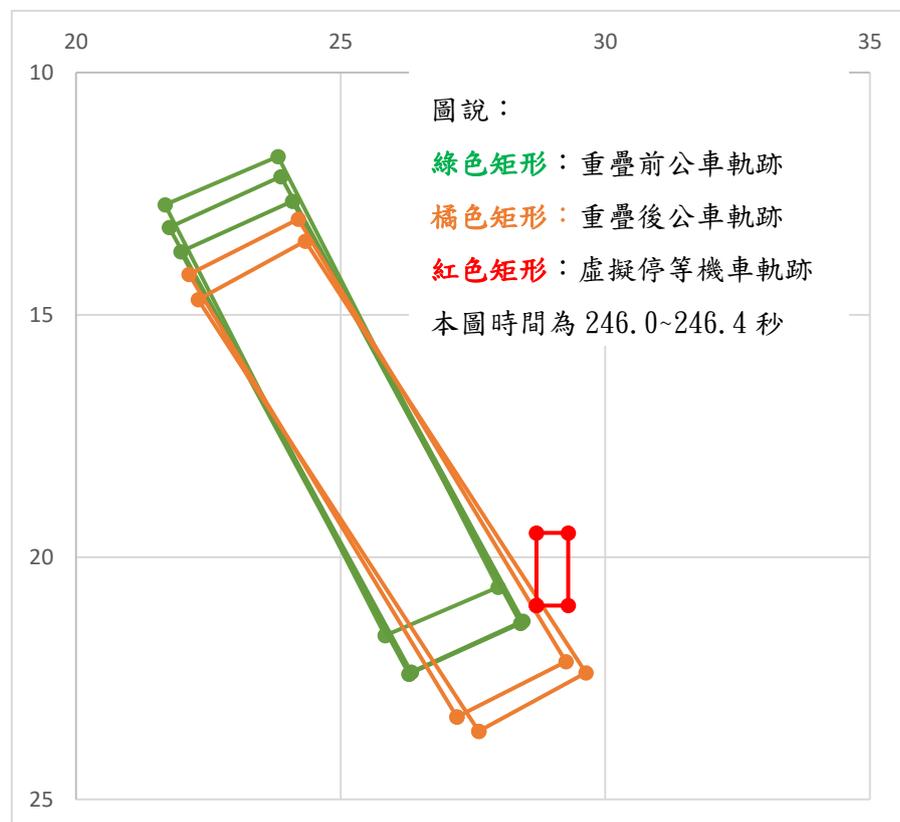
SSAM 分析結果如表 6.2-2 所示。測試例子一的結果顯示，SSAM 能成功偵測到公車內輪差所導致的衝突事件，該衝突事件是移動公車的左側（非車頭）與靜止機車之軌跡發生重疊。衝突事件的發生時間（ $t=242.54$ ）較軌跡重疊的時間（ $t=246.4$ ，如圖 6.2-4 所示，其中綠色矩形為尚未重疊時公車軌跡，橘色矩形

為重疊後公車軌跡)為早,原因是 SSAM 的衝突計算是以模擬方式投射 TTC 時
 階後之車輛軌跡是否發生碰撞以判斷車輛衝突。在測試例子二中 SSAM 所測得
 之衝突為 $t=244.44$, 恰好為軌跡重疊時間, 如圖 6.2-5 所示。兩個測試均說明
 SSAM 的計算能成功偵測出內輪差所導致的交通衝突事件。

表 6.2-2 案例一衝突

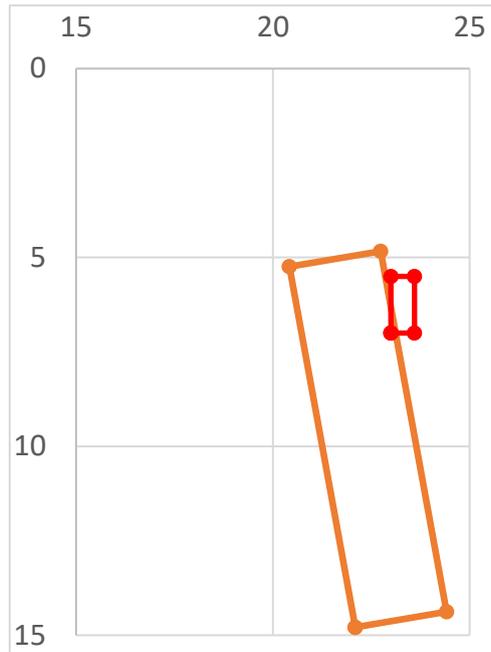
	tMinTTC 發生時間	xMinPET X座標	yMinPET Y座標	TTC	PET	MaxS(m/s) 最大車速	DeltaS(m/s) 相對車速	ClockAngle 衝突角度(度)	ConflictType 衝突類型	FirstVID	SecondVID
案例一	242.54	29	20.25	3.8	3.9	4.44	4.44	-16.59	rear end	99999	396
案例二	244.44	21.78	5.75	0	0	7.39	1.17	151.93	rear end	396	99999

資料來源：本研究繪製



資料來源：本研究繪製

圖 6.2-4 測試案例一之軌跡重疊



資料來源：本研究繪製

圖 6.2-5 測試案例二之軌跡重疊

6.2.3 可節省交通量調查所需人力與時間之效益

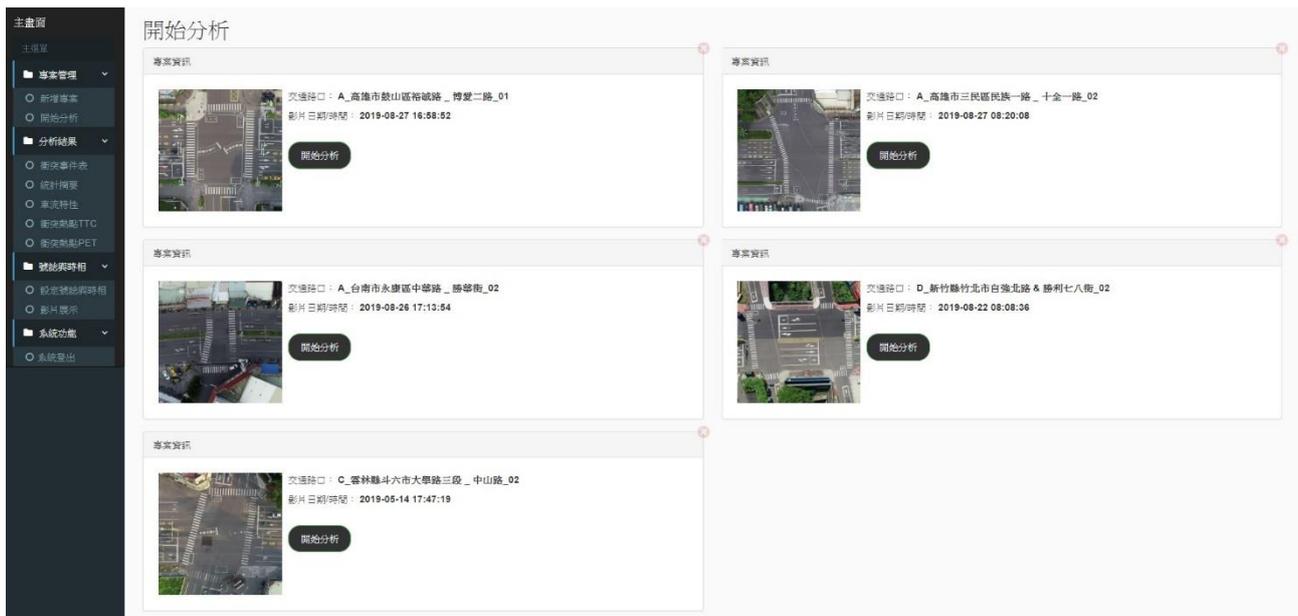
本軟體除了可以進行衝突分析，輸出衝突事件表及熱區圖外，也可輸出交通特性相關資訊，包括交通量及平均車速，可省卻現場進行交通量調查所需的人力與時間。路口轉向交通量調查蒐集交叉路口交通量、流向分佈及交通組成，每十五分鐘記錄通過停止線之之車輛，按流向(右轉、直進、左轉)、車種分別統計所通過之車輛數，一般而言，調查時間應涵蓋尖峰時間至少二小時，調查所需人力與時間成本跟路口地點、路口大小、車道數、車流量、調查時間長度等因素有關，依市場行情的收費標準概估成本約為 \$4000-\$8000 左右，此為可節省的總成本。本案之車流軌跡也能產生其他的傳統交通調查資料項目如停等延滯、闖紅燈違規等，但這些項目目前軟體並未計算，因此暫不列入比對項目。

透過無人機空拍調查，雖然能記錄轉向交通量，但依目前市售無人機的技術，一次起降的拍攝時間約 15 分鐘，較難以維持連續二小時的拍攝長度。一趟任務的拍攝總成本約\$10000-\$30000，再加上影像分析的設備需求及人力，如果單純是使用本軟體進行交通量調查，則不具備成本效益上的優勢。然而，軟體所產生的車流軌跡分析，能提供其他有用資料，如車流動線、平均車速（可按不同車種

及車流方向分別記錄)等，這些都是傳統現場調查方法無法取得的。因此在評估調查方法時，調查單位應依調查資料的使用目的，選擇合適的調查方案。

6.3 交通路口衝突分析結果

本期進行五個交通路口影像拍攝，並完成每個路口影片車流軌跡影像分析及交通衝突分析，首先我們將每段路口影片進行車流影像分析，產出對應之穩像影片檔、車流軌跡檔，以及路口底圖三個輸出檔案，並依序將之建立於交通衝突分析軟體中，如圖 6.3-1 交通衝突分析軟體中已建置各專案資料，以下將以實例說明五個路口分析結果，運用衝突熱點圖、車流特性、影片展示等結果，進行衝突問題評析。因本軟體主要是取代過去以人工方式觀察影片紀錄衝突事件之工作，案例中藉由影片探討衝突事件的成因是要核實軟體計算出的衝突事件判斷是否正確合理。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-1 交通衝突分析軟體專案

6.3.1 案例一：新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口

1. 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口分析結果

- (1) 路口資訊：長約 138 公尺，寬約為 77 公尺，路口類型為雙十字路口。
- (2) 飛行高度：90 公尺
- (3) 影片拍攝時間：2019/05/14 08:17:47 (影片長度 16 分 21 秒)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-2 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口空拍圖

(4) 交通衝突分析結果

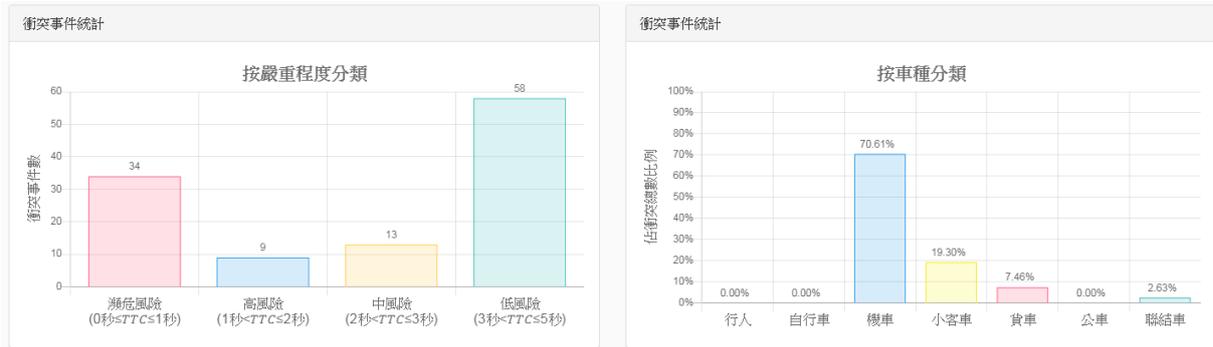
- ① 衝突事件總表：以此影片為例，彙整之衝突事件總表。

表 6.3-1 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口分析表

路口名稱	新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口							
總衝突數	114							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	34		9		13		58	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	0	0	161	44	17	0	6	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	35		2		3		74	

資料來源：本研究繪製

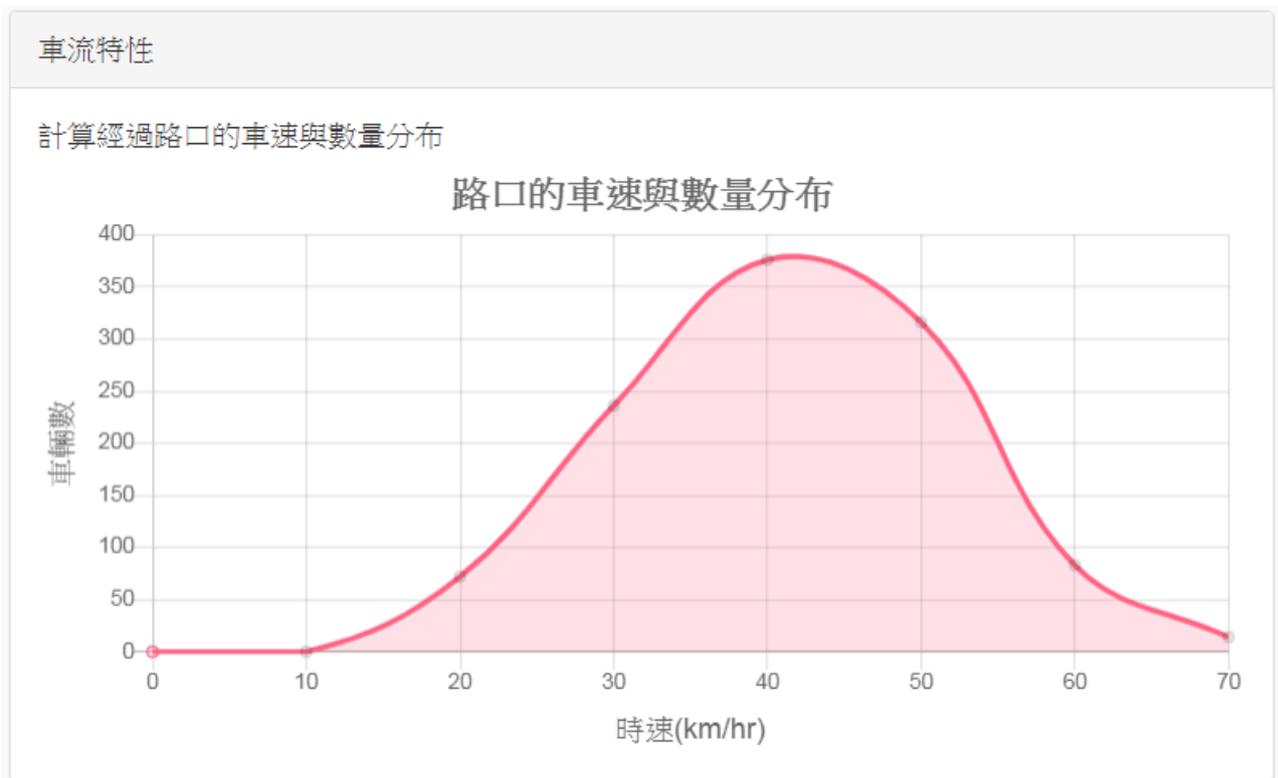
- ② 統計摘要：以此路口分析而言，機車造成之衝突事件最高。而以嚴重程度分類，此處為低風險路口。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-3 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口分析統計摘要

- ③ 車流特性：顯示路口直行車平均車速，本路口以 40km/hr 的車速為最多，車輛數約 375 輛左右。



資料來源：本研究繪製

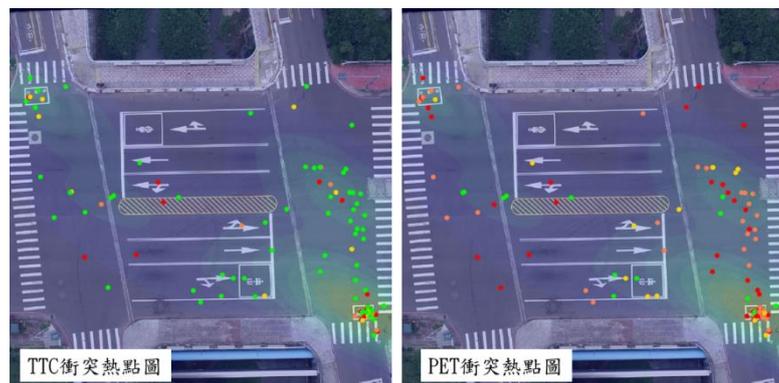
圖 6.3-4 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之車速與數量分布圖

表 6.3-2 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之起終點矩陣

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	0	0	31	13	1	0	0	45
	C	直進	0	0	281	220	30	3	2	536
	D	右轉	0	0	50	27	0	0	0	77
	小計			0	0	362	260	31	3	2
B	C	左轉	0	0	25	23	2	0	0	50
	D	直進	0	0	47	26	3	0	0	76
	A	右轉	0	0	8	4	1	1	0	14
	小計			0	0	80	53	6	1	0
C	D	左轉	0	0	11	18	3	0	0	32
	A	直進	0	0	123	218	38	4	0	383
	B	右轉	0	0	55	11	1	0	0	67
	小計			0	0	189	247	42	4	0
D	A	左轉	0	0	7	19	0	0	0	26
	B	直進	0	0	59	37	1	0	0	97
	C	右轉	0	0	27	21	3	2	0	53
	小計			0	0	93	77	4	2	0
總計			0	0	724	637	83	10	2	1456

資料來源：本研究繪製

- ④ 衝突熱點圖：TTC 衝突熱點與 PET 衝突熱點圖皆集中於路口右側，由勝利七街右轉自強北路之衝突較多且相對嚴重。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-5 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口TTC/PET衝突熱點圖

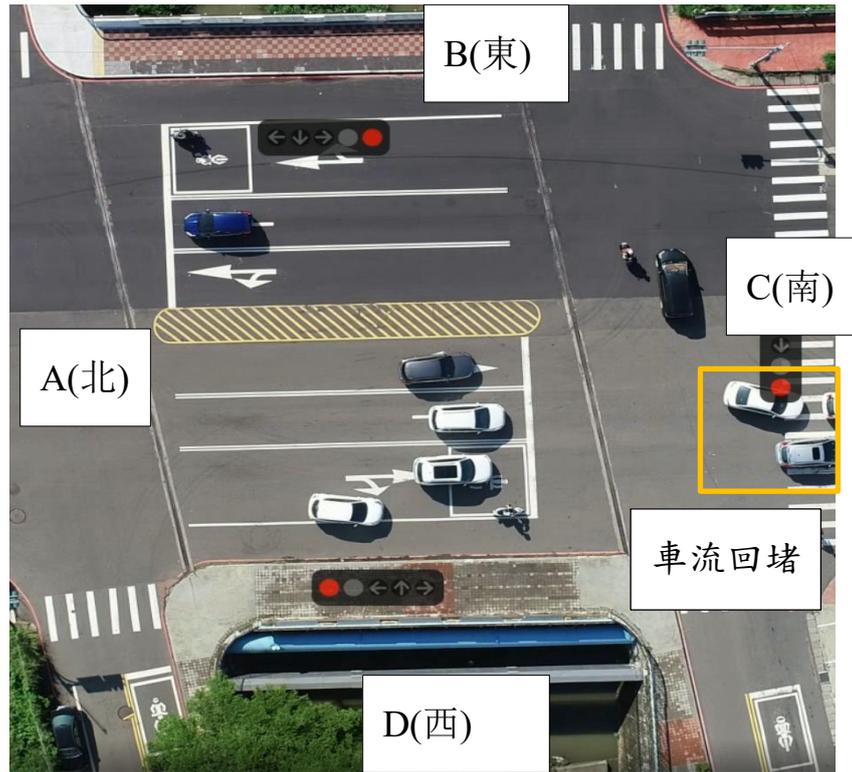
- ⑤ 影片展示：顯示號誌同步影片，可進一步了解是否有違規等情事發生，該路口雖屬於雙十字路口，但勝利七八街時相變化一致，故仍能以四向十字路口進行號誌設定，進行同步顯示。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-6 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之影片展示

- ⑥ 衝突問題評析：該路口的衝突數量不多，但集中於畫面的右下方，由衝突事件表可看出衝突事件的發生時間集中在 275 秒至 291 秒，翻看影片展示，可看出畫面右邊（C 方向）出口有車流回堵的現象，影響到需要其他車輛無法由出口離開路口，其他方向的车流動線也受到影響。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-7 新竹縣竹北市自強北路及勝利七八街路口之衝突問題評析

6.3.2 案例二：雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口

1. 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口分析結果

- (1) 路口資訊：長約 100 公尺，寬約為 60 公尺，五向路口(4+1)
- (2) 飛行高度：75 公尺
- (3) 影片拍攝時間：2019/10/15 17:00:14 (影片長度 14 分 47 秒)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-8 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口空拍圖

(4) 交通衝突分析結果

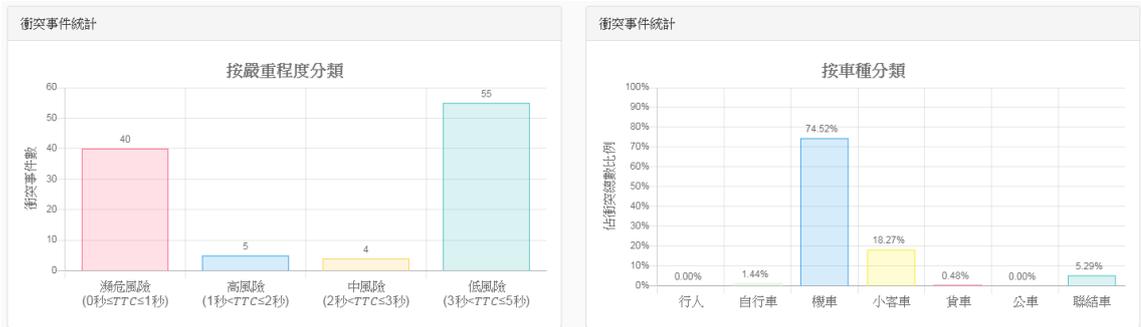
- ① 衝突事件總表：以此影片為例，彙整之衝突事件總表。

表 6.3-3 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口衝突事件分析表

路口名稱	雲林縣斗六市大學路三段_中山路							
總衝突數	104							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	40		5		4		55	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	0	3	155	38	1	0	8	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	58		0		7		39	

資料來源：本研究繪製

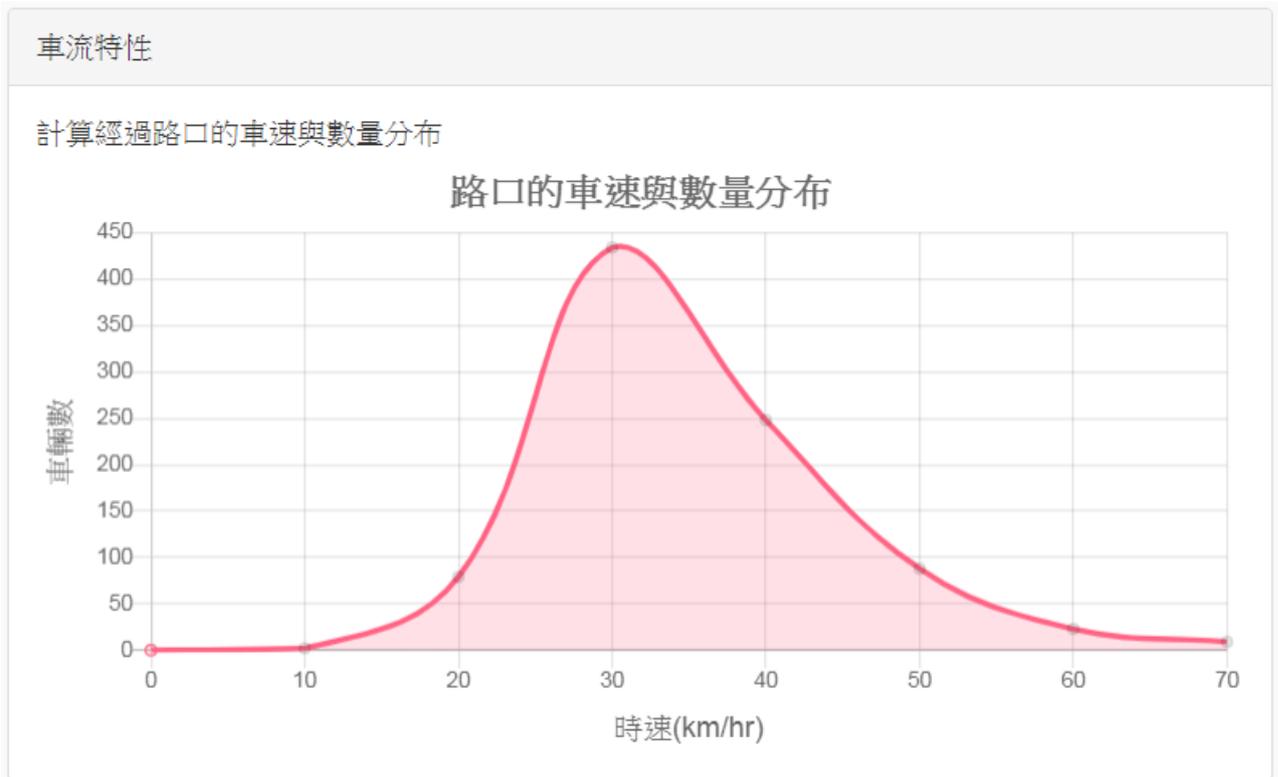
- ② 統計摘要：針對此路口分析結果可發現嚴重程度以低風險最高、瀕危風險次之，而以車種來看，機車造成之衝突事件最高、小客車次之。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-9 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口分析統計摘要

- ③ 車流特性：顯示路口直行車平均車速，此路口平均車速以 30km/hr 為最多，車輛數約 440 輛。



資料來源：本研究繪製

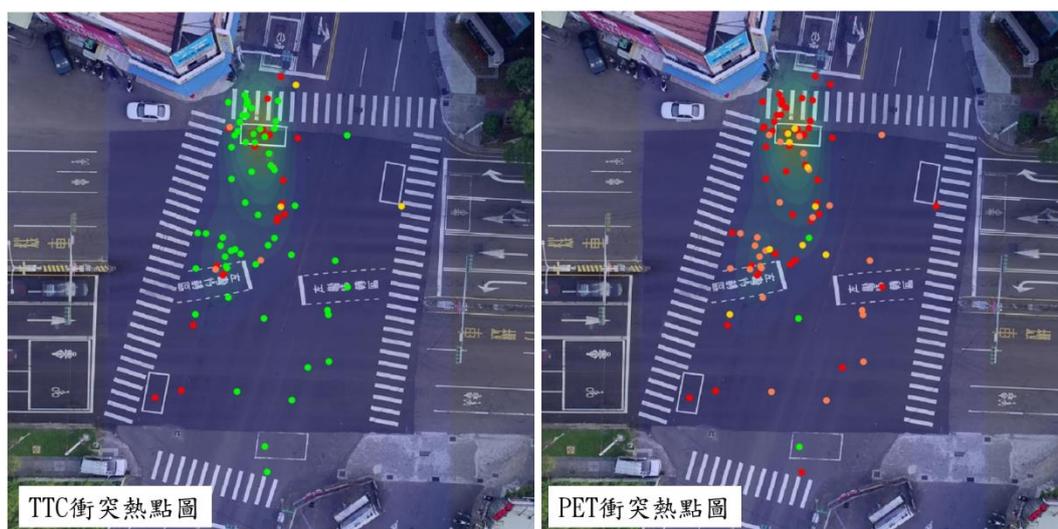
圖 6.3-10 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口之車速與數量分布圖

表 6.3-4 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口之起終點矩陣

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	0	0	7	54	25	1	0	87
	C	直進	0	0	37	91	22	0	0	150
	D	右轉	0	0	24	4	1	1	0	30
	小計			0	0	68	149	48	2	0
B	C	左轉	0	0	5	16	1	1	0	23
	D	直進	0	0	193	111	12	1	0	317
	A	右轉	3	0	35	43	27	1	0	109
	小計			3	0	233	170	40	3	0
C	D	左轉	0	0	4	18	7	0	0	29
	A	直進	0	0	69	116	21	0	0	206
	B	右轉	1	0	10	30	2	0	0	43
	小計			1	0	83	164	30	0	0
D	A	左轉	0	0	3	5	0	0	0	8
	B	直進	0	0	132	91	9	0	0	232
	C	右轉	0	0	7	13	5	0	0	25
	小計			0	0	142	109	14	0	0
總計			4	0	526	592	132	5	0	1259

資料來源：本研究繪製

- ④ 衝突熱區圖：此路口 TTC 及 PET 衝突熱點主要分布於路口左上方，且較嚴重區域也集中於路口左上方。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-11 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口TTC/PET衝突熱點圖

- ⑤ 影片展示：顯示號誌同步影片，可進一步了解是否有違規等情事發生，該路口雖屬於五向之路口(大學路、中山路及新昌街)，因不為四向路口，故無法進行號誌同步影片設定與顯示。
- ⑥ 衝突問題評析：該路口有進行改善前及改善後的無人機拍攝調查，由圖 6.3-12 可看出改善項目有(i)鋪面重鋪、標線重畫 (ii) C 進口(南側)外側車道機車優先道改為右轉車道，號誌時制沒有進行調整，空拍畫面中無法確定是否還有其他改善措施如交通標誌。



(a) 改善前

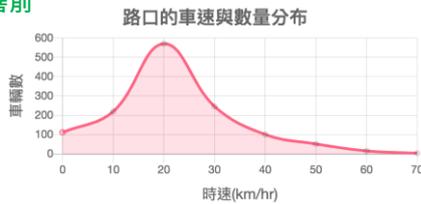
(b) 改善後

資料來源：本研究繪製

圖 6.3-12 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後拍攝畫面

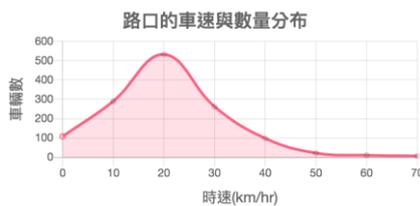
對該路口的改善效益進行評估，將改善前、改善後的影片進行分析，交通特性及衝突熱點圖如圖 6.3-13 及圖 6.3-14 所示，可看出改善前的衝突嚴重程度不高，改善後沒有明顯變化。因為 C 入口方向（南側）將機車優先道改為右轉車道，該方向的沒有觀察到有交通衝突，有表 6.3-3 可看出該方向之右轉車數量不多，外側車道由機車優先道改為右轉車道無急迫性，未顯示明顯的效益。

改善前



入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	0	0	68	149	48	2	0	267
B	3	0	233	170	40	3	0	449
C	1	0	83	164	30	0	0	278
D	0	0	142	109	14	0	0	265
總計	4	0	526	592	132	5	0	1259

改善後



入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	0	0	90	141	23	2	0	256
B	0	0	256	152	16	5	0	429
C	2	0	116	188	32	1	0	339
D	0	0	150	86	11	0	0	247
總計	2	0	612	567	82	8	0	1271

資料來源：本研究繪製

圖 6.3-13 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後之車流特性



(a) 改善前



(b) 改善後

資料來源：本研究繪製

圖 6.3-14 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後之衝突熱點圖

- ⑦ 改善建議：這個路口沒有明顯的交通衝突問題，但仍可針對衝突點密度比較高的地方及原因提出改善建議。由衝突熱區圖可看出有比較多 B 方向的同向直行減速衝突，導致衝突較多的原因是 B、D 兩個入口方向的左轉車流與對向直行共用時相，D 方向左轉與 B 方向左/直車輛衝突，使得 B 方向的直行車輛動線受到影響。建議可調整號誌時相順序去減少交通衝突，如圖 6.3-16 所示。

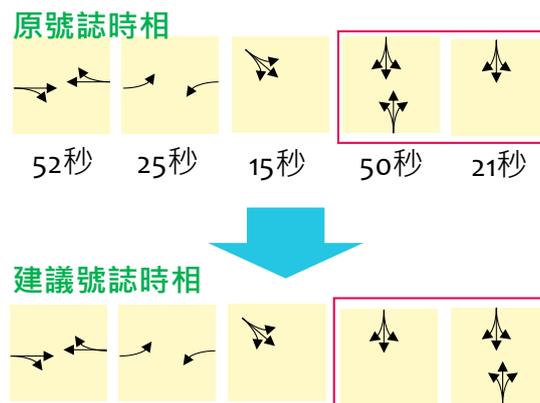


(a) 改善前

(b) 改善後

資料來源：本研究繪製

圖 6.3-15 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口改善前及改善後之衝突熱點集中圖



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-16 雲林縣斗六市大學路三段及中山路路口號誌時相調整建議

6.3.3 案例三：台南市永康區中華路及勝華街路口

1. 台南市永康區中華路及勝華街路口分析結果

- (1) 路口資訊：長約 105 公尺，寬約為 62 公尺，三向路口
- (2) 飛行高度：75 公尺
- (3) 影片拍攝時間：2019/08/26 17:08:27 (影片長度 13 分 45 秒)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-17 台南市永康區中華路及勝華街路口空拍圖

(4) 交通衝突分析結果

- ① 衝突事件總表：以此影片為例，彙整之衝突事件總表。

表 6.3-5 台南市永康區中華路及勝華街路口衝突事件分析表

路口名稱	台南市永康區中華路_勝華街							
總衝突數	62							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	39		5		4		14	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	6	0	116	1	1	0	0	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	18		0		0		44	

資料來源：本研究繪製

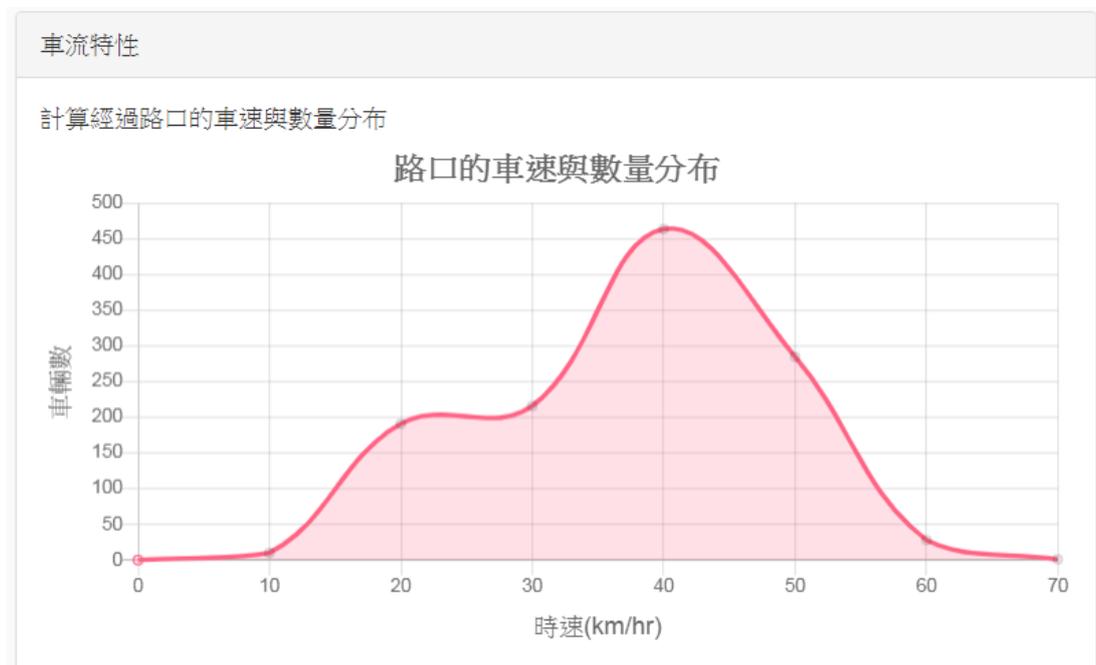
- ② 統計摘要：針對此路口分析結果可發現嚴重程度以瀕危風險最高，而以車種來看，所有衝突多為機車造成，顯示該路口機車的行為或風險相對較高。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-18 台南市永康區中華路及勝華街路口分析統計摘要

- ③ 車流特性：由下圖顯示通過該路口直行車平均車速以 40km/hr 最多，較之前雲林縣之平均車速 30km/hr 還高，或許可針對該區車速進行研析，或可降低該區衝突事件發生。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-19 台南市永康區中華路及勝華街路口之車速與數量分布圖

表 6.3-6 台南市永康區中華路及勝華街路口之起終點矩陣

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	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	直進	0	0	427	165	25	1	0	618
	D	右轉	0	0	16	7	0	0	0	23
	小計			0	0	443	172	25	1	0
B	C	左轉	0	0	1	0	0	0	0	1
	D	直進	0	0	1	0	0	0	0	1
	A	右轉	0	0	2	0	0	0	0	2
	小計			0	0	4	0	0	0	0
C	D	左轉	0	0	14	5	2	0	0	21
	A	直進	0	0	395	165	16	0	0	576
	B	右轉	0	0	1	0	0	0	0	1
	小計			0	0	410	170	18	0	0
D	A	左轉	0	0	37	1	1	0	0	39
	B	直進	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	右轉	0	0	16	13	1	0	0	30
	小計			0	0	53	14	2	0	0
總計			0	0	910	356	45	1	0	1312

資料來源：本研究繪製

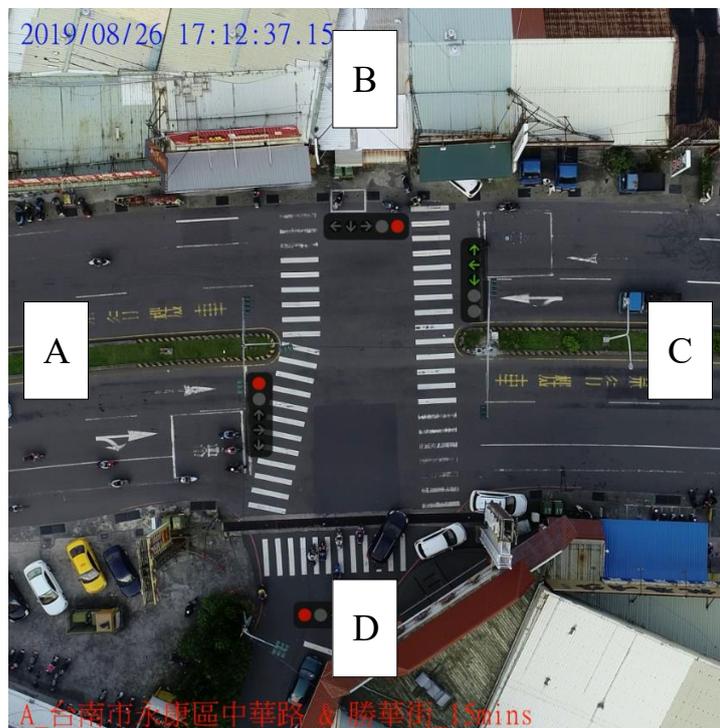
- ④ 衝突熱區圖：此路口 TTC 及 PET 衝突熱點主要分布於路口下方及上方兩區域，此外，若以 PET 衝突熱點來看，所有的衝突都屬於瀕危風險，且綜合統計摘要及車流特性結果，通過路口之直行車平均車速較之前兩個實例(新竹縣及雲林縣)還高，且衝突車種皆為機車，故可特別針對機車及車速等進行檢討與管制。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-20 台南市永康區中華路及勝華街路口TTC/PET衝突熱點圖

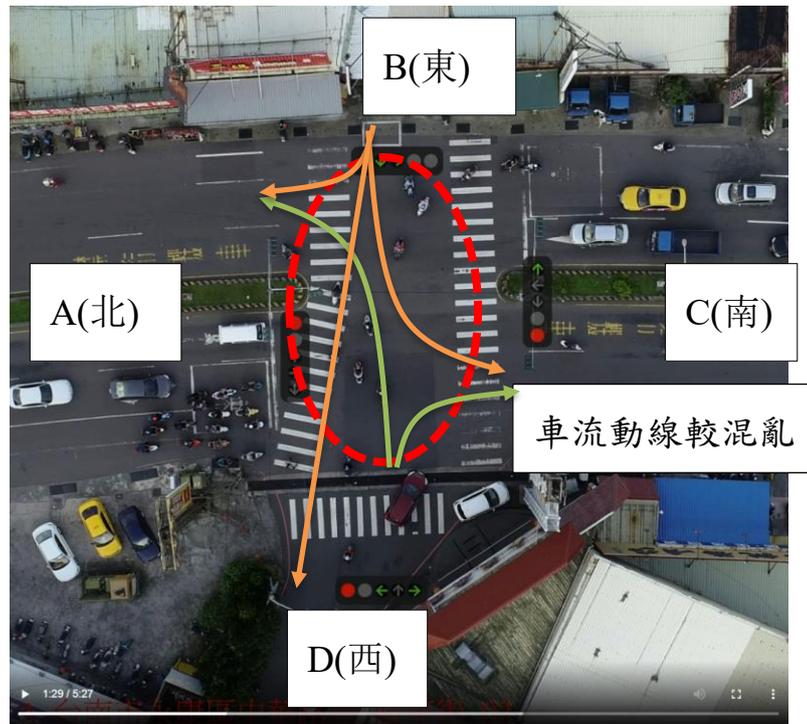
- ⑤ 影片展示：顯示號誌同步影片，可進一步了解是否有違規等情事發生，該路口雖屬於三向路口，但可忽略B路口，仍以四向十字路口進行號誌設定，進行同步顯示。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-21 台南市永康區中華路及勝華街路口之影片展示

- ⑥ 衝突問題評析：此路口的衝突事件全部都是機車相關，可解釋為機車跟車太靠近所導致。這個路口是 T 字路口，中華路 C 方向進入的車流如需要左轉，需要使用 B 方向的機車待轉區，待轉區的车流可以再進行左轉或直行，其車流動線會與勝華街（D 方向）左轉或右轉的車流重疊，造成比較混亂的情況。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-22 台南市永康區中華路及勝華街路口之衝突問題評析

6.3.4 案例四：高雄市三民區民族一路及十全一路路口

1. 高雄市三民區民族一路及十全一路路口分析結果

(1) 路口資訊：長約 180 公尺，寬約為 88 公尺，四向十字路口

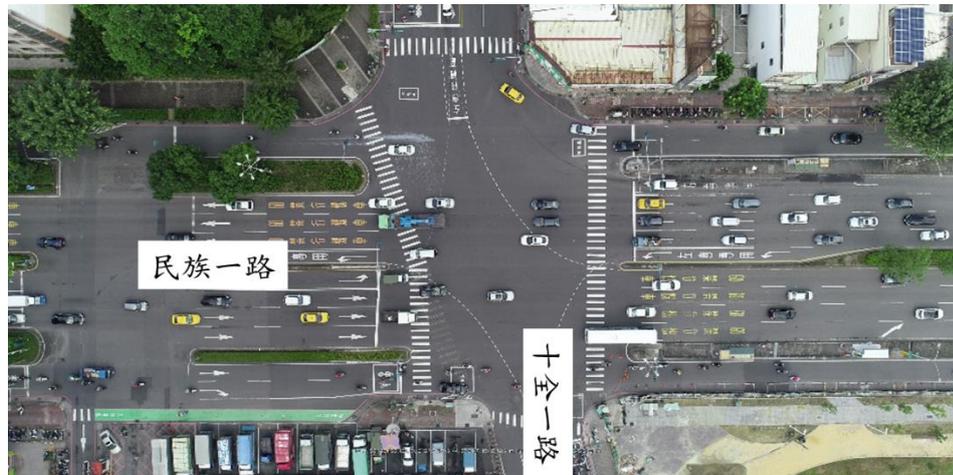
(2) 飛行高度：100 公尺

(3) 分別有 a、b、c 三影片，將一併作為分析。

-a 影片拍攝時間：2019/08/27 08:14:41 (影片長度 14 分 22 秒)

-b 影片拍攝時間：2019/08/27 08:33:09 (影片長度 17 分 33 秒)

-c 影片拍攝時間：2019/08/27 08:54:05 (影片長度 17 分 37 秒)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-23 高雄市三民區民族一路及十全一路路口空拍圖

(4) 交通衝突分析結果

① 衝突事件總表：以 a、b、c 三影片為例，各彙整之衝突事件總表。

表 6.3-7 高雄市三民區民族一路及十全一路路口衝突事件分析表

(a-衝突事件分析表)

路口名稱	高雄市三民區民族一路_十全一路							
總衝突數	1066							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	370		73		85		538	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	5	0	1831	245	20	4	27	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	515		12		68		471	

(b-衝突事件分析表)

路口名稱	高雄市三民區民族一路_十全一路							
總衝突數	976							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	309		53		71		543	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	123	0	1596	217	13	1	2	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	546		1		57		372	

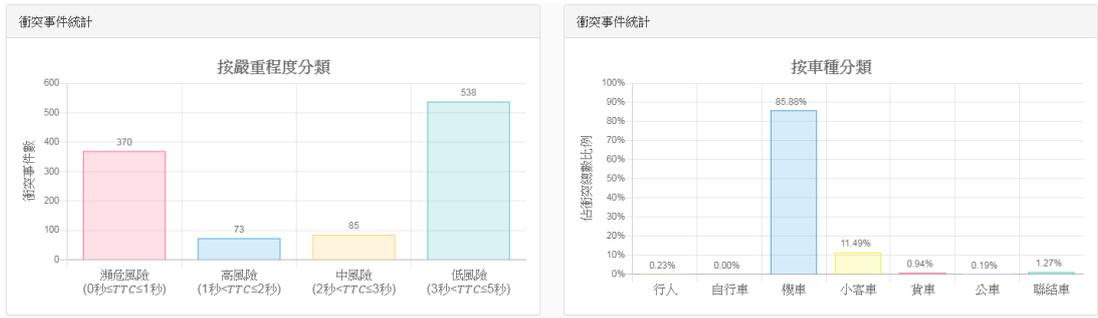
(c-衝突事件分析表)

路口名稱	高雄市三民區民族一路_十全一路							
總衝突數	494							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	109		30		43		312	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	4	0	888	78	15	0	3	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	308		1		27		158	

資料來源：本研究繪製

② 統計摘要：合計 a、b、c 三影片之統計摘要，皆以低風險最高(1393 次)，瀕危風險次之(788 次)，而車種主要集中於機車(平均為 85.84%)。

(a-統計摘要)



(b-統計摘要)



(c-統計摘要)

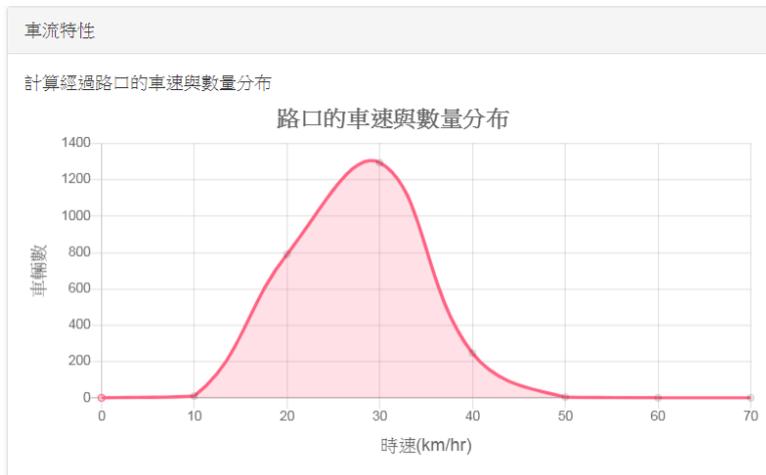


資料來源：本研究繪製

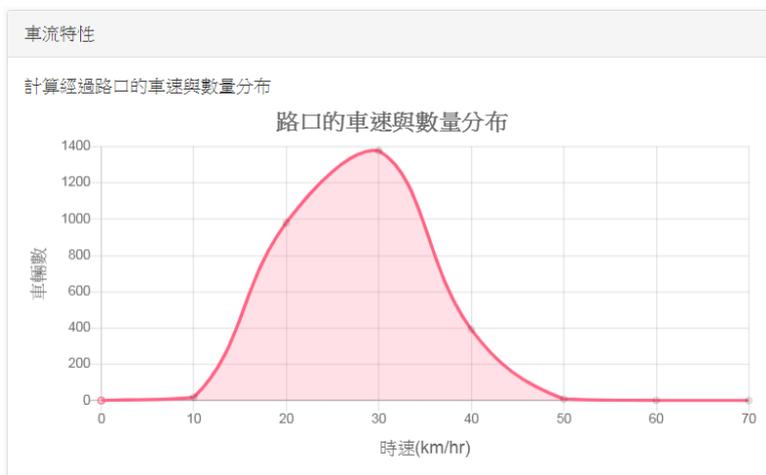
圖 6.3-24 高雄市三民區民族一路及十全一路路口分析統計摘要

- ③ 車流特性：通過該路口之直行車車速主要集中於 30km/hr，車輛數共計約 3650 輛，顯示該區路口車輛數較多，但車速相對其他路口較慢。

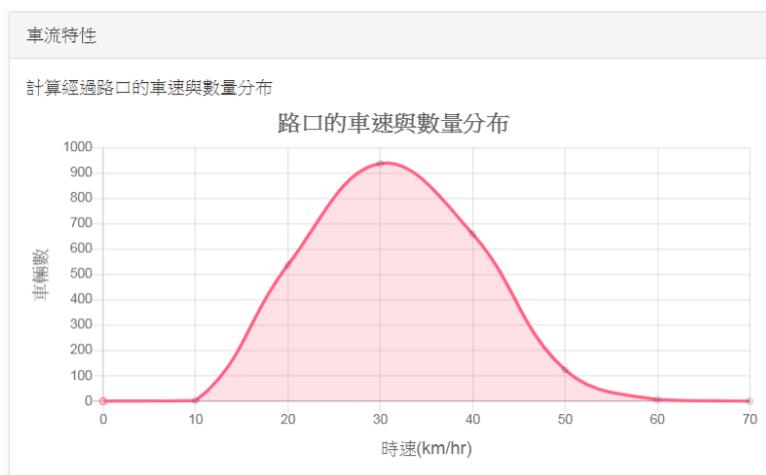
(a-車速分布)



(b-車速分布)



(c-車速分布)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-25 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之車速與數量分布圖

表 6.3-8 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之起終點矩陣

(a-起終點矩陣)

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	0	0	11	39	3	1	0	54
	C	直進	0	0	376	179	11	22	3	591
	D	右轉	3	0	157	6	0	0	0	166
	小計			3	0	544	224	14	23	3
B	C	左轉	0	0	10	25	2	2	2	41
	D	直進	0	0	140	21	1	5	0	167
	A	右轉	1	0	81	43	0	4	0	129
	小計			1	0	231	89	3	11	2
C	D	左轉	1	0	8	13	2	0	0	24
	A	直進	0	0	950	204	10	58	2	1224
	B	右轉	0	1	155	32	2	2	2	194
	小計			1	1	1113	249	14	60	4
D	A	左轉	1	0	16	18	1	0	0	36
	B	直進	0	0	296	62	4	0	0	362
	C	右轉	2	0	158	16	3	5	1	185
	小計			3	0	470	96	8	5	1
總計			8	1	2358	658	39	99	10	3173

續表 6.3-8 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之起終點矩陣
(b-起終點矩陣)

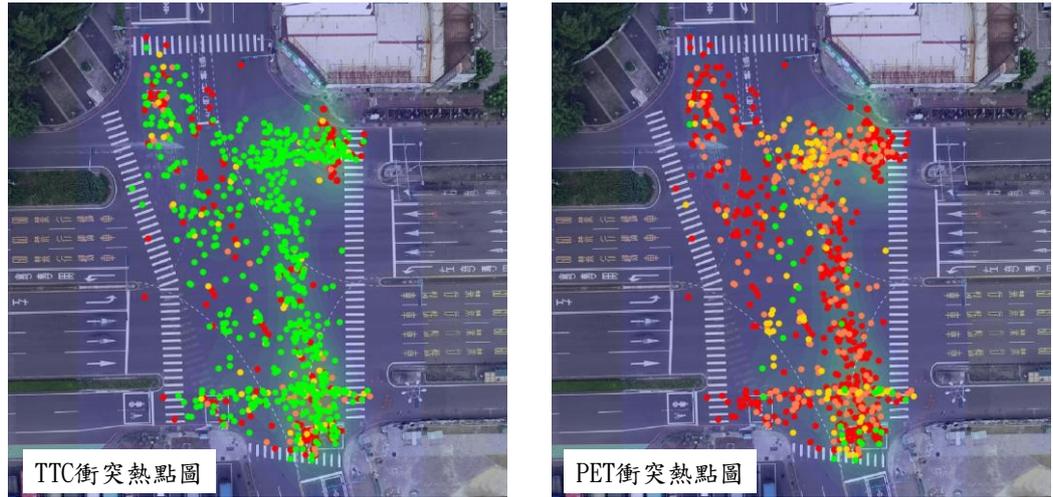
入口方向	出口方向	轉向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	B	左轉	0	0	10	57	1	0	0	68
	C	直進	0	0	475	263	22	23	2	785
	D	右轉	2	0	200	4	1	1	0	208
	小計			2	0	685	324	24	24	2
B	C	左轉	0	0	5	35	7	0	0	47
	D	直進	0	0	130	38	2	0	0	170
	A	右轉	0	0	97	44	1	1	0	143
	小計			0	0	232	117	10	1	0
C	D	左轉	0	0	6	13	1	1	0	21
	A	直進	0	0	1146	300	27	23	2	1498
	B	右轉	3	2	142	40	10	2	0	199
	小計			3	2	1294	353	38	26	2
D	A	左轉	0	0	11	22	1	0	0	34
	B	直進	0	1	269	51	1	1	0	323
	C	右轉	11	3	185	21	3	0	0	223
	小計			11	4	465	94	5	1	0
總計			16	6	2676	888	77	52	4	3719

續表 6.3-8 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之起終點矩陣
(c-起終點矩陣)

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	0	0	5	39	0	0	0	44
	C	直進	0	0	337	242	29	2	4	614
	D	右轉	4	0	158	9	1	1	0	173
	小計			4	0	500	290	30	3	4
B	C	左轉	0	0	12	30	8	0	2	52
	D	直進	0	0	166	40	6	0	0	212
	A	右轉	0	0	96	49	3	0	0	148
	小計			0	0	274	119	17	0	2
C	D	左轉	4	0	9	13	4	1	0	31
	A	直進	0	0	733	318	42	6	8	1107
	B	右轉	0	0	61	36	7	1	2	107
	小計			4	0	803	367	53	8	10
D	A	左轉	1	0	17	19	1	0	0	38
	B	直進	0	0	269	63	3	0	0	335
	C	右轉	5	0	116	26	9	0	0	156
	小計			6	0	402	108	13	0	0
總計			14	0	1979	884	113	11	16	3017

資料來源：本研究繪製

- ④ 衝突熱區圖：此路口 TTC 及 PET 衝突熱點屬於狹長型分布，從十全一路路口上方，穿越民族一路直到下方路口，且 PET 衝突熱點的嚴重程度較 TTC 為高。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-26 高雄市三民區民族一路及十全一路路口TTC/PET衝突熱點圖

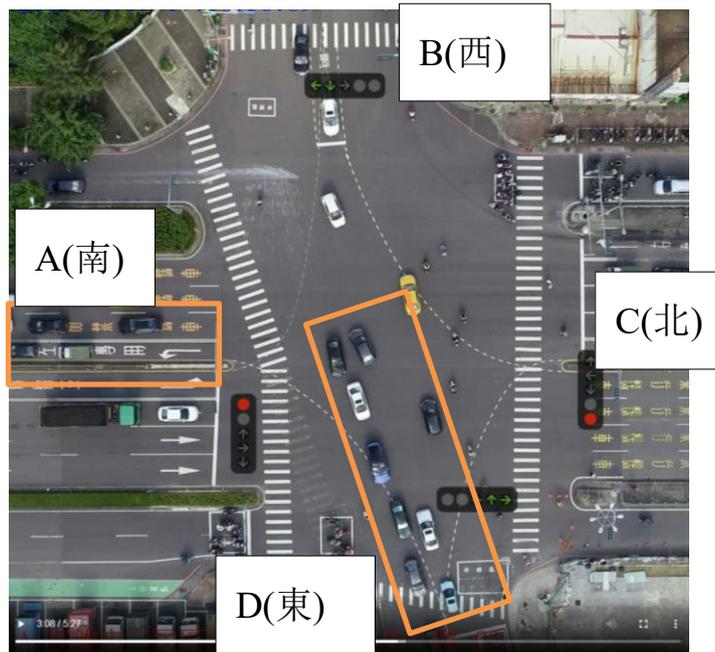
- ⑤ 影片展示：顯示號誌同步影片，可進一步了解是否有違規等情事發生，該路口屬於四向十字路口，可正常完成同步顯示。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-27 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之影片展示

- ⑥ 衝突問題評析：這個路口的交通衝突事件數量頗多，是本研究探討 5 個案例之中最多衝突事件的路口，這個路口的幾何形態與本研究其他路口不同的地方：屬於大型路口、南北向（民族一路方向）有快慢分隔導致交織較頻繁、東西向（十全一路方向）非正交，而且車流量較大，這些都有可能是導致衝突事件比較多的原因。其次民族一路 A 方向出口、十全一路 D 方向出口稍微有車流回堵的現象，無法通過路口的車輛會停等在路口中間的範圍，影響其他車流的動線，如圖 6.3-28 所示。



資料來源：本研究繪製

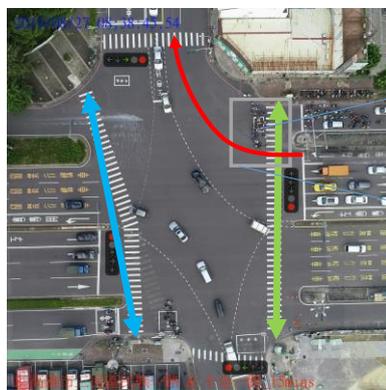
圖 6.3-28 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之車流回堵問題

以下針對不同車種進行分析探討：

- 機車相關之衝突熱點如圖 6.3-29 所示，可以看出衝突點集中於個 3 個區域，下方區域的衝突點是因為 C 方向（北側）離開路口之慢車道有道路工程，可行駛車道寬大幅縮減導致後方的機車群與前車發生衝突並減速；左上方以及右上方的衝突點是因為機車待轉區容量不足以及太靠近行人穿越線，機車停等時很靠近，而待轉區後方沒有預留迴轉空間也會導致機車行駛於行穿線上。
- 小型車相關之衝突熱點如圖 6.3-30 所示，衝突熱點集中於十全一路（東、西向），因路口非正交且狹長，路面缺乏較明確之導

引線，導致車通過路口之動線變異大，特別是當左轉車輛停等在路口時更會影響對向直行車流的動線。

- 本路口屬於大型路口，拍攝高度約 100 公尺導致對於行人的辨識率較低，然而，根據前述之機車動線分析以及觀看影片，可對於行人的安全分析進行探討如圖 6.3-31 所示。因民族一路北側之機車待轉區容量不足以及太靠近行人穿越線，導致有部分機車行駛於行穿線上，加上行穿線太長，步行提供時間需時 30-40 秒，導致行人通行困難。初步改善方案建議為調整機車左轉待轉區配置、考慮設置行人庇護島。



1. 機車行駛於行穿線上
2. 待轉區容量不足
3. 待轉區後方沒有預留迴轉空間

1. C方向右轉公車動線與待轉區很靠近，應該是待轉區無法外推動原因
2. 號誌時相已經錯開，目前不會發生衝突

C入口慢車道有工程，只留一個入口，後方車流減速

資料來源：本研究繪製

圖 6.3-29 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之機車相關衝突分析



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-30 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之小型車相關衝突分析

1. 行穿線通過時間約30秒
2. 通過時與左右方的車輛產生交通衝突
3. 機車行駛於行穿線上



1. 行穿線過長，通過時間約40秒
2. 通過時與車輛產生交通衝突
3. 機車行駛於行穿線上

資料來源：本研究繪製

圖 6.3-31 高雄市三民區民族一路及十全一路路口之行人相關衝突分析

6.3.5 案例五：高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口

1. 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口分析結果

(1) 路口資訊：長約 104 公尺，寬約為 64 公尺，十字路口

(2) 飛行高度：75 公尺

(3) 分別有 a、b、c 三影片，將一併作為分析。

-a 影片拍攝時間：2019/08/27 16:58:52 (影片長度 15 分 54 秒)

-b 影片拍攝時間：2019/08/27 17:18:36 (影片長度 17 分 16 秒)

-c 影片拍攝時間：2019/08/27 17:45:23 (影片長度 16 分 45 秒)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-32 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口示意圖

(4) 交通衝突分析結果

① 衝突事件總表：以 a、b、c 三影片為例，各彙整之衝突事件總表。

表 6.3-9 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口衝突事件分析表

(a-衝突事件分析表)

路口名稱	高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路							
總衝突數	801							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	418		45		51		287	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	666	12	794	112	17	1	0	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	189		0		14		598	

(b-衝突分析事件表)

路口名稱	高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路							
總衝突數	789							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	284		54		70		381	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	243	1	1084	206	18	1	25	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	312		3		30		444	

(c-衝突分析事件表)

路口名稱	高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路							
總衝突數	974							
依嚴重程度統計	瀕危風險		高風險		中風險		低風險	
數量	429		54		58		433	
依車種統計	行人	自行車	機車	小客車	貨車	巴士	聯結車	其他車種
數量	256	2	1383	213	85	7	1	0
依衝突類型統計	同向衝突		對向衝突		穿越交通衝突		其他類型衝突	
數量	402		7		36		529	

資料來源：本研究繪製

- ② 統計摘要：合計 a、b、c 三影片之統計摘要，該路口衝突事件中，嚴重程度以瀕危風險最高(1131 次)，低風險次之(1101 次)，而車種主要集中於機車(平均為 63.08%)及行人(平均為 23.37%)

(a-統計摘要)



(b-統計摘要)



(c-統計摘要)

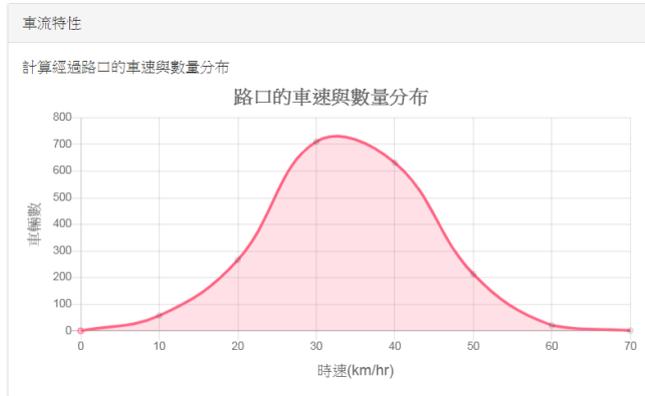


資料來源：本研究繪製

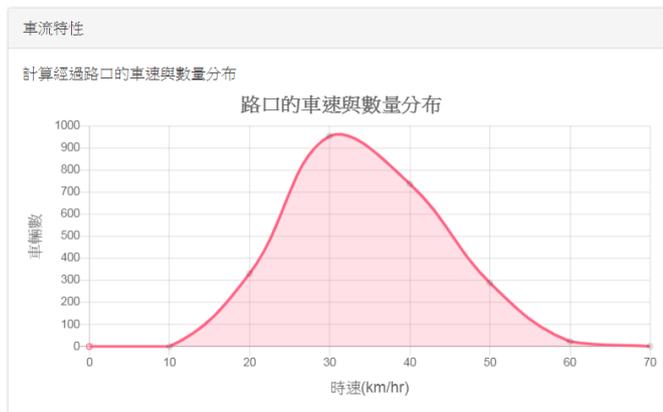
圖 6.3-33 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口分析統計摘要

- ③ 車流特性：通過該路口之直行車車速主要集中於 30km/hr，車輛數合計約 2680 輛。

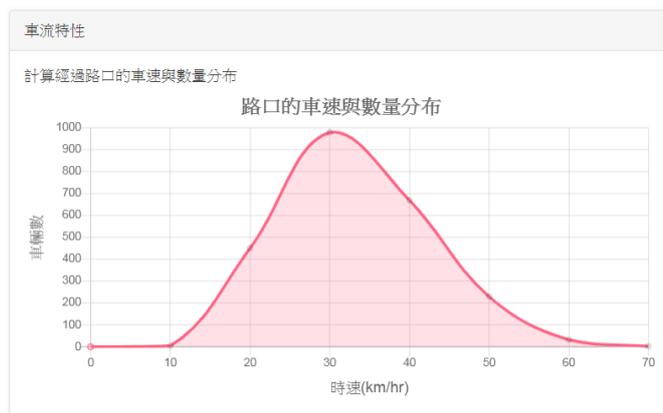
(a-車速分布)



(b-車速分布)



(c-車速分布)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-34 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口之車速與數量分布圖

表 6.3-10 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口之起終點矩陣

(a-起終點矩陣)

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
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
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
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
總計			219	35	1642	710	47	2	15	2670

續表 6.3-10 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口之起終點矩陣
(b-起終點矩陣)

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	12	0	22	31	1	0	0	66
	C	直進	0	0	490	301	12	3	4	810
	D	右轉	21	0	105	37	5	0	0	168
	小計			33	0	617	369	18	3	4
B	C	左轉	8	1	37	15	0	0	0	61
	D	直進	1	0	261	54	3	0	3	322
	A	右轉	10	1	73	16	2	0	0	102
	小計			19	2	371	85	5	0	3
C	D	左轉	8	0	39	15	1	0	0	63
	A	直進	0	0	599	282	26	0	2	909
	B	右轉	26	0	105	20	2	0	0	153
	小計			34	0	743	317	29	0	2
D	A	左轉	19	0	31	32	6	0	0	88
	B	直進	1	0	243	51	3	0	0	298
	C	右轉	17	0	73	16	0	0	0	106
	小計			37	0	347	99	9	0	0
總計			123	2	2078	870	61	3	9	3146

續表 6.3-10 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口之起終點矩陣
(c-起終點矩陣)

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	16	0	24	23	3	0	0	66
	C	直進	0	0	504	254	5	0	6	769
	D	右轉	13	1	106	34	0	0	0	154
	小計			29	1	634	311	8	0	6
B	C	左轉	16	0	38	14	1	0	0	69
	D	直進	0	0	318	54	1	1	2	376
	A	右轉	12	1	72	17	2	0	0	104
	小計			28	1	428	85	4	1	2
C	D	左轉	12	0	34	22	0	0	0	68
	A	直進	3	0	624	258	8	1	5	899
	B	右轉	20	0	116	26	1	0	0	163
	小計			35	0	774	306	9	1	5
D	A	左轉	14	0	35	23	1	0	0	73
	B	直進	0	0	260	62	2	0	0	324
	C	右轉	10	0	55	16	0	0	0	81
	小計			24	0	350	101	3	0	0
總計			116	2	2186	803	24	2	13	3146

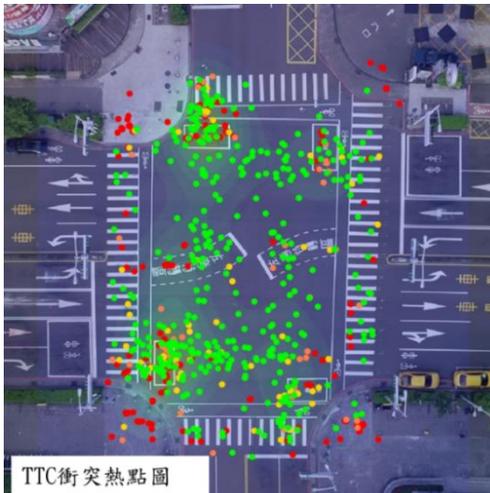
資料來源：本研究繪製

- ④ 衝突熱區圖：此路口 TTC 及 PET 衝突熱點主要集中於路口轉彎區域，且 PET 衝突熱點的嚴重程度較 TTC 為高。

(a-衝突熱點區)



(b-衝突熱點區)



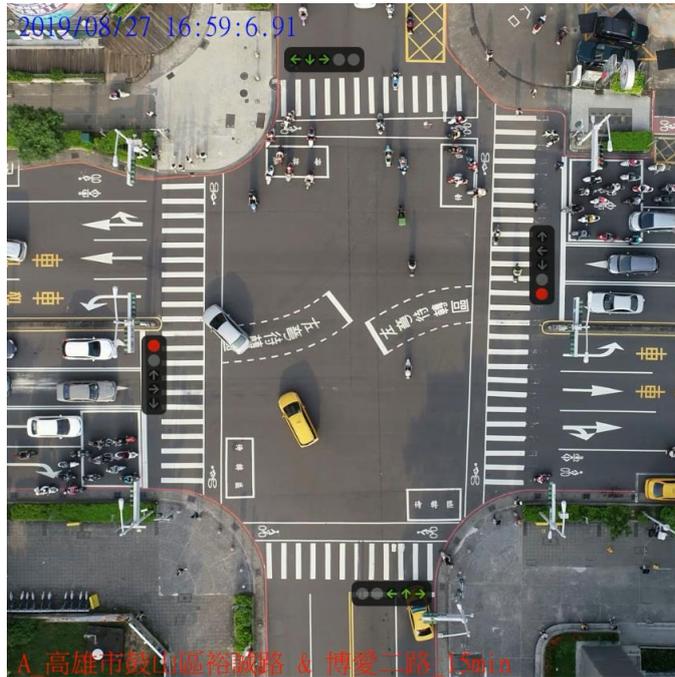
(c-衝突熱點區)



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-35 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口TTC/PET衝突熱點圖

- ⑤ 影片展示：顯示號誌同步影片，可進一步了解是否有違規等情事發生，該路口屬於四向十字路口，可正常完成同步顯示。



資料來源：本研究繪製

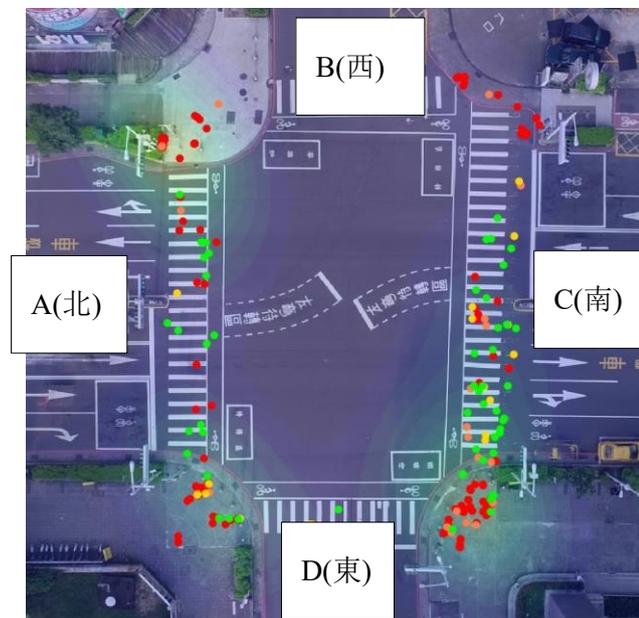
圖 6.3-36 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口展示影片

- ⑥ 衝突問題評析：這個路口的衝突事件數比較多，而且有一部分的衝突是跟行人相關。針對同向衝突 TTC 衝突熱點圖之瀕危、高度與中度風險，整理如圖 6.3-37 所示，可看出衝突集中於四個車流進入路口的區域，實際上汽機車的高風險衝突並不是那麼多，這些衝突的主要成因為機車起步/進入路口時造成衝突，嚴重程度低，但待轉區容量不足，機車轉向動線不佳，可以現場場勘是否有改善之必要。圖 6.3-38 顯示行人相關之衝突熱點，為行人間於行穿線上產生衝突，另外，B 方向（西側）入口車輛右轉與行人穿越行穿線同時為綠燈，為衝突較嚴重的區域，可考慮調整行人綠燈之週期或提供行人專用時相。空拍影片中可看出，有不少駕駛行為不當，例如機車使用自行車穿越道、跨越紅線至人行道等，建議可加強宣導及執法。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-37 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口衝突熱點圖（同向衝突）



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-38 高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口衝突熱點圖（行人相關衝突）

第七章 結論與建議

本研究透過無人機蒐集高事故風險地點交叉路口之人車流動空拍影像，使用影像分析技術應用於偵測、辨識、及追蹤等方法，找出人車流衝突熱區，並精進 106 年辦理之「道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用」研究中，大型車的取樣樣本不足，機車的追蹤容易受到地面標線的干擾，以及行人與自行車的辨識受限於影像畫素與特徵不足等問題，本期計畫使用當前影像辨識技術，與前後物件之追蹤軌跡技術，改善前期研究之瓶頸與課題，精進車輛辨識與追蹤工作，以提升精確度，研究結論與建議如下。

7.1 結論

7.1.1 無人機交通觀測方法

本研究採用無人機進行交通觀測，充分運用無人機滯空拍攝無死角的優勢，提供影像分析最佳來源，本期針對最新無人機管理規範、無人機現場拍攝作業及號誌時相與影片對時作業整理相關重點如下。

1. 無人機管理規範

(1) 無人機管理注意事項請參考表 7.1-1。

表 7.1-1 無人機管理整理列表

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。
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）不需辦理檢驗。

資料來源：本研究繪製

(2) 限高場域申請，政府機關(構)、學校、法人從事無人機活動，需於活動前 15 日提出申請，申請書注意事項，說明如下，

- ① 空域各點框線編號依照順序，圖點要很準確。
- ② 經緯度秒數取整數。
- ③ 建議北緯編號 1 和編號 4 相同、編號 2 和編號 3 相同。
- ④ 建議東經編號 1 和編號 2 相同、編號 3 和編號 4 相同。



資料來源：本研究繪製

圖 7.1-1 空域各點框線編號依照順序

2. 無人機現場作業重點

(1) 表 7.1-2 說明無人機現場作業重點，以作為後續拍攝之依據。

表 7.1-2 無人機現場拍攝重點列表

評估空拍地點	查詢是否位於禁限航區 ^{[71][72]} 。若於限航區，申請方式請見 3.3 限高場域申請。
	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。
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，至少 2.7k~4k。
評估環境條件	攝影機三軸穩像，無曲面效果且攝影角度大。
	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：本研究繪製

(2) 「空拍影像資料蒐集」，前期研究歸納之最佳拍攝影像設定，主要道路橫向置中、次要道路縱向置中，請參考表 3.1-1。路口影像蒐集時係以主幹道為橫向，而非以正北方為拍攝方向，未來計畫可視需求進行討論調整。

以上設定一般路口運作良好，但在高雄市三民區民族一路，這種主要道路寬度超大路口，需評估下列兩項方法，

- ① 飛行高度提升至 90~110 公尺，為本研究採用方法。
 - 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。
- (3) 本計畫依 108 年路口改善計畫，評估全臺灣 27 個路段(口)，於新北市、桃園市、新竹縣、雲林縣、臺南市、高雄市遴選十處路口進行拍攝。包含訓練資料場地、驗證資料場地各五處。
- ① 採 1080P/4K，30fps 錄製
 - ② 影片數量: 166 段 (號誌 48 段)
 - ③ 時間總長度: 15:48:39 (號誌 05:40:30)
 - ④ 檔案大小: 381 GB (號誌 20.1 GB)

3. 號誌時相與影片對時作業重點

本研究整理表 7.1-3，說明號誌時相與影片對時作業重點，以做為後續拍攝號誌時相之依據。使用者要取得官方的時制計畫表為主，現場側拍確認為輔。注意不要在號誌時相轉換、手動控制的過程中錄製，且不建議以手動操控的方式進行影像蒐集。

表 7.1-3 號誌時相與影片對時作業重點列表

選定錄影位置	無人機起飛地點附近。
	可攝影到至少兩個路口號誌時相。
	有網路覆蓋，可查詢 UTC 時間。
號誌時相錄影	HDMI USB 錄影盒，同時錄影 UTC 時間、無人機即時圖傳螢幕。
	HDMI USB 錄影盒，同時錄影兩個路口號誌時相，至少 2 週期。
	手機或攝影機，對向錄影其他路口號誌時相，至少 2 週期。
影片對時	無人機錄影後 UTC 時間，例如圖傳畫面顯示白色實心。
	各路口號誌時相，綠燈、黃燈、全紅燈 ¹ UTC 時間，至少 2 週期。
	推估週期開始時，綠燈 UTC 時間。
產生時相表	計算各路口號誌時相，綠燈、黃燈、紅燈 ² 、全紅燈持續時間。
	驗證紅燈持續時間，及路口全紅燈持續時間，需和對應週期相同。
	若有黃燈、全紅燈持續 0 秒者，或對向時相重疊者，可和對應週期時相合併。
號誌及時相表設定	號誌拖曳 ³ 設定，本期支援 1~4 向路口。
	時相表設定，包含綠燈開始在影片第幾分幾秒，及轉向左、直、右設定。
	確認資料齊全、開始分析並顯示號誌時相。

資料來源：本研究繪製

¹ 全紅燈：該路口燈號皆為紅燈

² 紅燈：某一向路口，燈號為紅燈時間，包含全紅燈時間

³ 號誌拖曳：請見「A.2 軟體功能使用說明，4.1.1 號誌設定(2)」

7.1.2 影像處理技術

1. 本計畫在四輪車輛與小物件偵測上分別採用了不同的偵測與追蹤方法。前者主要透過 Mask R-CNN 偵測出車輛範圍，再以特徵點位移取得車輛在前後張畫面位置的轉換矩陣以進行區域追蹤；後者主要基於 YOLOv3 架構偵測小物件中心點所成正方形範圍，並以 SORT 追蹤補償出完整軌跡。兩種不同架構在針對各自對象進行偵測追蹤的同時，也完全不會互相干擾到彼此的處理結果。
2. 本期進一步增添了四輪車輛之相關訓練資料，在測試實驗中，各車種無論查準率(Precision)或查全率(Recall)都達 90%以上，除了少量廂型車被誤分類貨車外，小轎車、貨車、巴士之查準率/查全率幾乎都達 99%以上(貨車查準率為 91.8%)。聯結車因訓練樣本相對難取得，且外型與貨車容易相似，因此表現稍差。
3. 在行人、自行車、機車等小物件的偵測上，由於本期採用之 YOLOv3 架構，並非利用特徵點資訊進行偵測，而是透過卷積神經網路強化小物件偵測效果，因此大幅改善了前期因標線上的顯著特徵點影響，而造成的小物件失偵與誤偵問題。
4. 在測試實驗中，行人、自行車、機車之查準率皆有 95%以上水準，代表抽取出的軌跡具有高可信度。查全率則分別為 80.9%、55.9%、93.5%。其中，自行車由於外型與機車相似，有高達 28.5%被誤分類為機車(4%被誤分類為行人)、11.6%為失偵；行人則因為面積小且外觀特徵不明顯，有 19%為失偵。
5. 前期為減少處理時間，影片皆重新取樣每秒至 4.995 幅。為了確保四輪車輛在可能正常車速下(<90km/h)行經路口時能形成連續覆蓋之軌跡，故提升至每秒 9.99 幅。

7.1.3 分析軟體

1. 分析軟體已完成本期規劃之全部功能，包括登入功能、載入功能、分析功能、衝突事件表及篩選功能、統計摘要、交通特性、衝突熱點圖、號誌同步的影片展示等。
2. 採用 SSAM V3.0 開源程式做為衝突分析的計算基礎，再針對國內的交通

的分析需求，修訂或新增了衝突事件相關的輸出項目，包括衝突類型、車種、進入路口方向及離開路口方向等。

3. 提供多樣化的衝突統計結果輸出，根據衝突事件表結果，產生統計摘要（按衝突的嚴重程度及車種分類）、交通特性相關（平均車速分佈）、衝突熱點圖（密度分佈圖及斑點圖）。為方便使用者進行路口衝突問題的評估作業，軟體提供介面讓使用者可過濾篩選出希望分析的衝突類型、車種、車流方向等。
4. 確認 SSAM 的計算結果，其結果確實能反映國內常見的車流情境，包括混合車流及內輪差問題。
5. 分析五個現場調查的影片及資料，說明軟體的各項輸出，並進行衝突問題的評論分析，比較衝突熱點圖、衝突事件表結果、並與影片的車流情況作核對，確認衝突分析的結果能發現路口車流的交通安全潛在風險。

綜合以上結論，整理本期交通衝突分析軟體與上期分析軟體之比較表 7.1-4 如下。

表 7.1-4 107與108年完成之交通衝突分析軟體功能比較表

期別	107 年完成	108 年完成
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
影像車流分析	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
TTC/PET 衝突指標	自行計算 TTC/PET 指標	整合 SSAM 計算 TTC/PET 衝突指標
TTC/PET 衝突熱點	依據指標數據繪製衝突熱區	可依嚴重程度繪製衝突熱區，並能以密度分佈圖及斑點圖型態來呈現
衝突分析結果	僅以 TTC/PET 指標為主	具備完整衝突分析資料
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
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佈
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

資料來源：本研究繪製

本研究的研究價值在於將部分潛在事故之診斷的作業自動化，雖然目前無人機的飛行成本較高、影像分析較耗時，但無人機拍攝及軟體分析可交由飛手及軟體操作人員執行，這些工作都不需要交通安全的專業知識，因此可大規模執行並迅速推動。假設一天能拍攝 2-4 個路口，一星期能完成 10-20 個路口，一個月就能為整個城市的易肇事路口建立基本的資料庫，提供交通事故風險的初步判斷。這個資料庫能協助交通安全專業人士在不需要到達現場就能進行分析，加速推動安全改善的作業流程。另外，飛行成本、影像分析的時間成本等都正在逐漸降低中，如演算法升級後，可直接運用在過去拍攝的空拍影片，得到更全面的分析結果。

由案例分析可發現，易肇事地點改善程序共包括六大步驟：1.現場環境初析、2.肇事診斷、3.初步改善方案、4.現場會勘、5.確立改善方案、6.實施與評估，過程當中需要彙整過去的事故資料，找出肇事型態並研判改善方式，實施後需要再等待並蒐集半年至三年的資料才能評估改善方案的成效。本研究之軟體分析主要能協助肇事診斷及初步改善方案，這些工作需要耗費人力以及專業人士的判斷，軟體能自動化的分析衝突事件及熱區圖，找出頻率及嚴重程度較高的衝突類型，協助交通安全專家進行肇事診斷。另外，本研究軟體也適合用於實施與評估，透過改善前、改善後的衝突分析比較，能立刻評估出改善方案的成效，以及是否有使用者行為發生改變，導致事故風險轉移至其他型態的效應。

7.2 建議

7.2.1 無人機交通觀測方法

本研究成果發現，採用無人機進行交通路口觀測，因有制高優勢，可取得無死角的路口影像，利於進行各項分析工作。本期亦進行多款無人機實測，以期找出最合適之機種規格，然而無人機因機械結構、載重能力、酬載設備規格等限制，仍有許多拍攝的挑戰需克服；除此，在號誌時相同步方面，為了確保路口時相變化及空拍影像同步，需架設多台攝影機側錄畫面，造成人力負擔與作業不易，以下將針對這些狀況提出建議方向。

1. 「無人機適用機型」，因本研究空拍目標，為人口稠密之易肇事路段，且為蒐集較長時的路口影像，以及適合小物件偵測追蹤，空拍無人機建

議須符合以下規格，

- (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，至少 2.7k~4k。
 - (7) 攝影機三軸穩像，無曲面效果且攝影角度大。
2. 「無人機號誌資料介接」，依臺南市交通局建議，號誌時制燈態要推算出與實際路口一致，要考量之問題很多，例如各路口號誌管制系統不相容，時制轉換規格不一致等，非單純介接即可。初期建議可依實際所需實驗場域範圍，評估一適合路口進行可行性評估驗證，以期提升無人機拍攝作業程序與號誌同步效率。

7.2.2 影像處理技術

1. 針對本期的自行車誤分類為機車車輛問題，由於行人、自行車、機車之行駛速率皆有明顯落差，應可透過計算移動中速率之平均數與變異數來有效校正分類結果，將自行車查全率由 55.9% 提升至 80% 水準。
2. 在訓練資料蒐集方面，由於目前已有初步的偵測追蹤模型，未來可透過現有工具對新資料進行初步標註，再由人工修正錯誤與標記未標註對象，提升訓練資料蒐集效率。
3. 目前四輪車輛仰賴 Mask R-CNN 進行偵測，在效率與所需資源上成本甚高，未來可考量改進 YOLOv3 架構，使其直接回報矩形 4 個角點，方便整合系統架構並降低硬體資源門檻。
4. 目前 Deep SORT 是基於行人資料庫進行訓練，在使用上與本計畫需求不符。未來可考慮針對空拍影像物體進行重新訓練，以驗證是否可進一步取代 SORT 演算法。
5. 目前 SORT 預測軌跡採用之內插方法為線性內插，未來可嘗試採用二次多項式等內插方式，對於追蹤轉彎中車輛可能有所助益。
6. 聯結車等少量且外觀差異性大之車輛，建議可根據路口來往主要車輛特性決定是否偵測。由於訓練資料相對少數，其較低之分類可靠性可能造

成其誤分類之比例明顯高於其他車種。

7.2.3 分析軟體

本研究發展之分析軟體，已經具備分析路口交通事故風險的基本功能，可以自動化的進行交通衝突分析，能以交通衝突事件的發生頻率及位置快速地評估問題，大幅降低了分析的時間及人力成本。

根據研究過程中的發現，以及參考專家學者座談會的討論結果，建議未來的發展方向如下：

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。可探討其與傳統路側車流分析的方法差異，評估影像分析的偵測誤差及軌跡誤差，以利制定軌跡的其他應用。
- (2) 應進行長期的資料蒐集及累積，可以進行安全與效率兩大面向的相關資料之分析與應用。
- (3) 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，有很大的潛力。未來軟體可強化動線與速度的結果輸出及應用探討。
- (4) 未來可考慮結合無人機影像去核估路側攝影機影像；下雨天的交通安全評估有機會透過無人機進行調查分析。
- (5) 透過空拍影像之軌跡檔，能清楚觀察不同轉向及車種之車流動線，車流動線有諸多用途，例如可以運用在微觀車流模擬的建模上，更精確的評估模擬模式是否有反映實際的車流現象，對於交通工程、車流紓解效率方面能提供更多的資訊。

2. 安全分析與軟體功能方面

- (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(例如同向的車禍比例很高、快慢分隔、高雄式左轉等問題)，發展本土化的衝突指標。
- (2) 國內市區道路的車流特性相當複雜，包括混合車流現象，加上行人

穿越與機車在路口集中往前、兩段式左轉的因素，如何考量不同交通衝突的影響因素，提出適於國內混合車流特性的路口交通衝突指標，可以利用本研究所蒐集的交通衝突樣態，進一步加以研訂與檢驗。

- (3) 交通衝突指標的分析上，或許可考慮分析行為指標（如速度變換）、PET/TTC 以及期望事故數之間的關聯；經過長期的資料建置及分析，有機會找出適合國內混合車流環境的交通衝突指標。
- (4) 軟體平台如發展其他分析情境，可考慮改為議題式，根據不同議題（e.g. 弱勢道路使用者 Vulnerable Road User, VRU）進一步增加軟體的功能進行分析。可考慮將交通安全問題類型化，制定相對應的改善策略。
- (5) 路口型態很多但碰撞類型有限，可針對事故態樣進行分析。未來只需要對有集中性的地方進行調查，找出問題的態樣，將分析結果運用在其他相同類型的其他地方，而不一定每一個分析地點都需要進行空拍調查。

參考文獻

- [1] 交通部 (2019), 「混合車流路口道路與交通工程設計範例(2/4)」。
- [2] 黎俊彬 (2005), 「號誌平面化交岔路口對向直行左專車輛安全通行之研究」, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- [3] 歐盟無人機等級(C0, C1, C2, C3, C4), 每個等級如何安全駕駛無人機的“do’s and don’ts”
https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/217307_EASA_DRONE_POSTER_2018%20final.pdf。
- [4] EASA’s new role in drone regulation introduced in parallel with new cybersecurity responsibilities
<https://www.unmannedairspace.info/uncategorized/easas-new-role-drone-regulation-introduced-parallel-new-cybersecurity-responsibilities/>
- [5] Safe operations of drones in Europe
<https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/news/safe-operations-drones-europe>
- [6] 歐盟法規 Regulation (EU) 2018/1139
<https://www.easa.europa.eu/search/1139>
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018R1139>
- [7] Flexibility Provisions - (EU) 2018/1139
<https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/flexibility-provisions/eu-2018-1139>
- [8] 民用無人駕駛航空器經營性飛行活動管理辦法 (暫行)
http://www.caac.gov.cn/big5/www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/201804/t20180409_56265.html
- [9] 日本国土交通省網站資訊
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000040.html
<http://www.mlit.go.jp/en/koku/uas.html>
- [10] http://www.twba.org.tw/Manage/magz/UploadFile/5608_063-079 脫警察化與遙控無人機之規制 (下) 李憲人.pdf
- [11] <https://dronesplayer.com/drone-laws/禁航圖資未完備-台無人機新法延期上路/>
- [12] 無人載具科技創新實驗條例
<https://www.lawbank.com.tw/news/NewsContent.aspx?NID=156620>
<https://dronesplayer.com/drone-laws/法規鬆綁-無人載具科技創新實驗條例三讀通過/>
- [13] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." Advances in neural information processing systems, pp. 1097-1105, 2012.

- [14] K. Simonyan, and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," 2014
- [15] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," 2015.
- [16] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, R. Girshick. "Mask R-CNN." in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017.
- [17] 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*, pp. 91-99, 2015.
- [18] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 779–788, 2016.
- [19] J. Redmon and A. Farhadi, "Yolo9000: better, faster, stronger," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 6517–6525, July 2017.
- [20] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An Incremental Improvement," *ArXiv e-prints*, 1804.02767, Apr. 2018.
- [21] 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)*, pp. 2117-2125, 2017.
- [22] Greg Welch and Gary Bishop, "An introduction to the kalman filter," 1995.
- [23] B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon, "Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications," Artech House, 2004.
- [24] 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.
- [25] Gunnar Farneback, "Two-frame motion estimation based on polynomial expansion." *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2749, pp.363-370, 2003.
- [26] Brian L. Allen, B. Tom Shin, and Peter J. Cooper (1978), "Analysis of Traffic Conflicts and Collisions", *Transportation Research Board, Annual Meeting*, pp.67-74.
- [27] F. Amundsen, and C. Hyden (1977), The Swedish traffic conflict technique. In *Proceedings of First Workshop on Traffic Conflicts*, Institute of Transport Economics, Oslo.
- [28] Hydén (1987) , "The general relation between different types of elementary events for the illustration of interactions between road users".
- [29] A. Tarko, G. Davis, N. Saunier et al. (2009), "White paper: surrogate measures of safety.," in *Committee on Safety Data Evaluation and Analysis (ANB20)*.

- [30] E. Sacchi, and T. Sayed (2013), "A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluations: The case of right-turn smart channels," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 59, pp. 260-266.
- [31] 朱建全 (1999), 「機車駕駛者面臨交通衝突之行為反應研究」, 交通大學運輸工程與管理所碩士論文。
- [32] 張家豪 (1996), 「交岔口左轉號誌時相設計之安全準則之研究」, 臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
- [33] 許添本、溫谷琳、張哲寧、陳俊嘉、林瑩潔、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正 (2018) 「混合車流路口道路與交通工程設計範例(1/4)」, 交通部運輸研究所。
- [34] 台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。
- [35] Thompson, Mary, Kwon, Oh, and Ju Park, Min (2009), "The Application of Axiomatic Design Theory and Conflict Techniques for the Design of Intersections: Part 1", The Fifth Internal conference on Axiomatic Design.
- [36] Parker, M. R. and Zegeer, C. V. (1989) *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations - Observer's Manual*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Technical report FHWA-IP-88-027.
- [37] 許添本、王義川、李明聰(1999)機車專用道之交通安全分析 — 事前與事後之比較研究, 八十八年道路交通安全與執法研討會。
- [38] Hayward, J.Ch. (1972). Near miss determination through use of a scale of danger. Report no. TTSC 7115, The Pennsylvania State University, Pennsylvania.
- [39] Lareshyn, A., Svensson, Å . and Hydén C. (2010) Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42, Issue 6, pp.1637-1646.
- [40] Zheng, L., Ismail, K. and Meng, X. (2014) Traffic conflict techniques for road safety analysis: open questions and some insights. *Can. J. Civ. Eng.* 41: 633-641.
- [41] Lareshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å., & Daniels, S. (2017). In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 46-56. doi:10.1016/j.aap.2016.09.026
- [42] Johnsson, Carl, Lareshyn, Aliaksei & De Ceunynck, Tim (2018): In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators, *Transport Reviews*, DOI: 10.1080/01441647.2018.1442888

- [43] Mahmud S.M.S, Ferreira, L., Shamsul Hoque, MD. And Tavassoli, A. (2018) Reviewing traffic conflict techniques for potential application to developing countries. *Journal of Engineering Science and Technology*. 13(6), 1869-1890.
- [44] Tageldin, A., Sayed, T. and Wang, X. (2015) Can Time Proximity Measures Be Used as Safety Indicators in All Driving Cultures *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2520:165-174.
- [45] Chen, P., Zheng, W., Yu, G., and Wang, Y. (2017) Surrogate Safety Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflict at Intersections Using Unmanned Aerial Vehicle Videos. *Journal of Advanced Transportation*.
- [46] 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>
- [47] Gettman, D. and Head, L. (2003) Surrogate safety measures from traffic simulation models. Federal Highway Administration, Technical report FHWA-RD-03050.
- [48] Gettman, D., Pu, L., Sayed, T. and Shelby, S. (2008) Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, Federal Highway Administration, Technical report FHWA-HRT-08-051.
- [49] Stevanovic, A., Stevanovic, J. and Kergaye, C. (2011) Optimizing Signal Timings to Improve Safety of Signalized Arterials. The 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14-16, Indianapolis, Indiana, USA.
- [50] Habtemichael, F. and Picado-Santos, L. (2012) 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
- [51] Huang, F., Liu, P., Yu, H. and Wang W (2013). Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 50, pp.1014-1024.
- [52] Essa, M. and Sayed, T. (2015) Transferability of calibrated microsimulation model parameters for safety assessment using simulated conflicts. *Accident Analysis and Prevention*, 84, 41-53.
- [53] El-Basyouny, K. and Sayed, T. (2013) Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science*, 51, 160-164.
- [54] Gettman, D., & Head, L. (2003), "Surrogate safety measures from traffic simulation models," *Transportation Research Record*, 1840(1), pp.104-115.

- [55] R Fan, H Yu, P Liu and W Wang (2013), "Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas," IET Intelligent Transport Systems, vol. 7, issue 1, pp. 68-77.
- [56] Wang, C., & Stamatiadis, N. (2013), "Surrogate safety measure for simulation-based conflict study," Transportation research record, 2386(1), pp.72-80.
- [57] Stevanovic, A., Stevanovic, J., & Kergaye, C. (2013), "Optimization of traffic signal timings based on surrogate measures of safety," Transportation research part C: emerging technologies, 32, pp.159-178.
- [58] Vasconcelos, L., Neto, L., Seco, Á. M., & Silva, A. B. (2014), "Validation of the surrogate safety assessment model for assessment of intersection safety," Transportation Research Record, 2432(1), pp.1-9.
- [59] Vasconcelos, L., Silva, A. B., Seco, Á. M., Fernandes, P., & Coelho, M. C. (2014), "Turboroundabouts: multicriterion assessment of intersection capacity, safety, and emissions," Transportation research record, 2402(1), pp.28-37.
- [60] So, J. J., Dedes, G., Park, B. B., HosseinyAlamdary, S., & Grejner-Brzezinsk, D. (2015), "Development and evaluation of an enhanced surrogate safety assessment framework," Transportation research part C: emerging technologies, 50, pp.51-67.
- [61] 交通部民用航空局對機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點
<http://www.rootlaw.com.tw/LawArticle.aspx?LawID=A040110101001300-0910110>
- [62] 飛航公報 AIC 04/2012 無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業
<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/history/2013-01-01/html/eAIC/RC-eAIC-2012-04-zh-TW.html>
- [63] 臺北飛航情報區飛航指南
<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/home.faces>
<https://transport-curation.nat.gov.tw/201710250001/content/m1.html>
- [64] 蒲福風級對照表
<https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/me016.htm>
- [65] 中央氣象局天氣 10 日報
<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/week/w51.htm>
- [66] 中央氣象局鄉鎮預報 - 新竹縣竹北市
<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/town368/towns/1000401.htm?layer=0&type=Weather&time=7Day>
- [67] Windy 天氣預報整合網站 - 新竹縣竹北市
<https://www.windy.com/24.838/120.996?24.264,120.998,8,m:emyajwO>

- [68] 內政部國土測繪中心
<https://www.nlsc.gov.tw/UAS/5-1.html>
- [69] 先創國際租賃
<https://www.esentra.com.tw/dji-authorized-retail-store-syntrend/>
- [70] 昇典影像工作室
<http://www.dantw.com/>空拍攝影服務及空拍機出租服務/
- [71] 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>
- [72] 空拍機常見之禁航區地圖
[https://www.flyerlee.com/rcrmaps/](https://www.flyerlee.com/rcrmmaps/)
- [73] 無人機技術參數
<https://www.dji.com/tw/phantom-4-pro>
- [74] 108 年 1 月 15 日仍有效之航空公報（AIC）
<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/history/2019-01-15/html/eAIC/RC-eAIC-2019-01-zh-TW.html>
- [75] 中央氣象局鄉鎮預報 - 雲林縣斗六市
<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/town368/towns/1000901.htm?layer=0&type=Weather&time=7Day>
- [76] Windy 天氣預報整合網站 - 雲林縣斗六市
<https://www.windy.com/23.707/120.560?23.133,120.558,8,m:ekFajv4>
- [77] 中央氣象局鄉鎮預報 - 台南市永康區
<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/town368/towns/6703100.htm?layer=0&type=Weather&time=7Day>
- [78] Windy 天氣預報整合網站 - 台南市永康區
<https://www.windy.com/23.029/120.252?22.452,120.251,8,m:ejxajvA>
- [79] 中央氣象局鄉鎮預報 - 高雄市三民區
<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/town368/towns/6400500.htm?layer=2&type=Weather&time=7Day>
- [80] Windy 天氣預報整合網站 - 高雄市三民區
<https://www.windy.com/22.648/120.300?22.070,120.300,8,m:eiTajvE>
- [81] 中央氣象局鄉鎮預報 - 高雄市鼓山區
<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/town368/towns/6400200.htm?layer=2&type=Weather&time=7Day>
- [82] Windy 天氣預報整合網站 - 高雄市鼓山區
<https://www.windy.com/22.637/120.281?22.060,120.278,8,m:eiSajvD>

- [83] G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis, "Parametric Image Alignment using Enhanced Correlation Coefficient Maximization." IEEE Transaction on Pattern Analysis & Machine Intelligence , Vol. 30, No. 10, pp. 1858-1865, 2008.
- [84] G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis, "Projective Image Alignment by using ECC Maximization," in Proc. Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISSAP), 2008.
- [85] A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos and B. Upcroft, "Simple online and realtime tracking," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.3464-3468, 2016.
- [86] H. W. Kuhn, "The Hungarian Method for the assignment problem," Naval Research Logistics Quarterly, Vol.2, pp. 83-97, 1955.
- [87] N. Wojke, A. Bewley and D. Paulus, "Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 3645-3649, 2017.
- [88] 陳惠國, 邱裕鈞, 朱致遠 (2017) 交通工程(2版), 五南出版社。

附錄 A. 分析軟體使用手冊

A.1 軟體功能介紹



欲進行路口交通分析，須先進行無人機影像拍攝及號誌對時作業，針對搜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不要在號誌時相轉換、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) 開啟交通衝突分析軟體連結，



(2) 輸入帳號及密碼，



系統登入

帳號

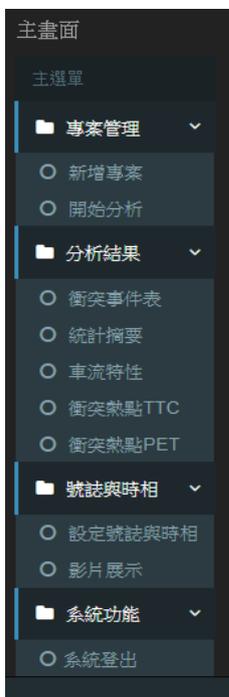
manager

密碼

.....

登入

(3) 進入系統後，點選左邊主選單，開始新增專案。



2. 專案管理

2.1 新增專案

2.1.1 專案建立

(1) 填寫路口名稱，請以路口名稱設定為專案名稱，以利管理。

(2) 選擇影片拍攝的日期與時間。

新增專案

專案資訊

交通路口：桃園無時制路口

影片日期時間：2019-09-20 14:59:16

載入資訊

載入影片：
載入 拖曳檔案

載入CSV：
載入 拖曳檔案

載入底圖：
載入 拖曳檔案

新增專案

新增專案

專案資訊

交通路口：桃園無時制路口

影片日期時間：2019-09-20 14:59:16

載入資訊

載入影片：
載入 拖曳檔案

載入CSV：
載入 拖曳檔案

載入底圖：
載入 拖曳檔案

新增專案

Select Date and Time

2019-09-20 14:59:16

14:59:16

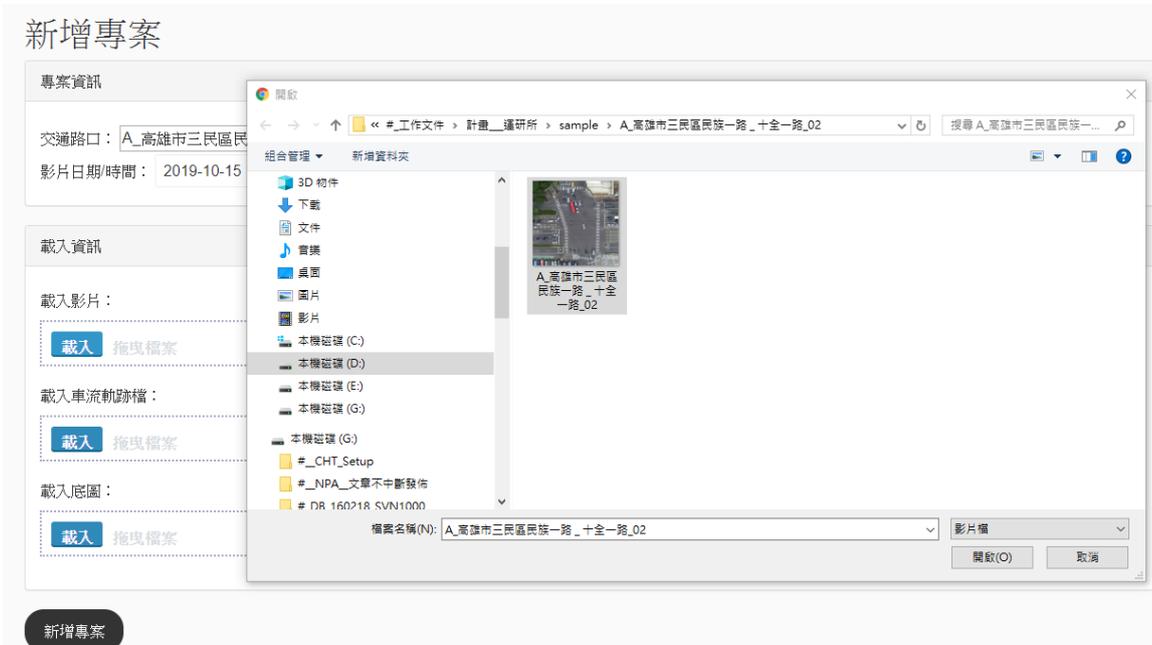
Select

September 2019

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

2.1.2 載入資料

- (1) 依序載入路口影片、車流軌跡檔及路口底圖，
- (2) 按下新增專案，



(3) 顯示「專案新增成功」。



2.2 開始分析

2.2.1 分析專案

(1) 進入「開始分析」頁面，會列出已建立的專案清單。



- (2) 選取欲分析的專案名稱，點選「開始分析」，按鈕會轉變成「Loading」，等待後即可呈現分析結果。

開始分析

專案資訊



交通路口：D_新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街_02

影片日期/時間：2019-10-15 17:20:31

開始分析

專案資訊



交通路口：A_高雄市三民區民族一路_十全一路_02

影片日期/時間：2019-10-15 17:13:48

Loading

2.2.2 刪除專案

- (1) 若要刪除專案，可點選專案右上方的「⊗」，進行刪除。
- (2) 系統會先提示是否確定刪除，

開始分析

2

211.20.101.179 顯示

是否刪除該專案? D_新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街_02

確定

取消

專案資訊



交通路口：D_新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街_02

影片日期/時間：2019-10-15 17:20:31

開始分析



專案資訊

1

✖

專案資訊



交通路口：A_高雄市三民區民族一路_十全一路_02

影片日期/時間：2019-10-15 17:13:48

開始分析



(3) 按下確定，則可刪除該專案。

3

211.20.101.179 顯示

專案已刪除

確定

自強北路 & 勝利七八街_02

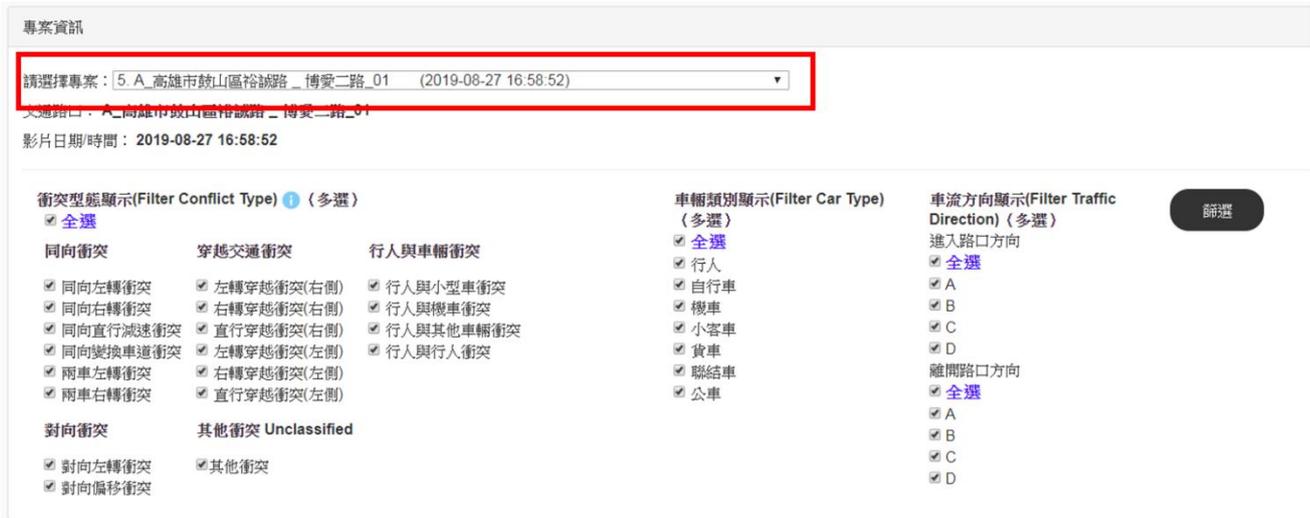
7:20:31



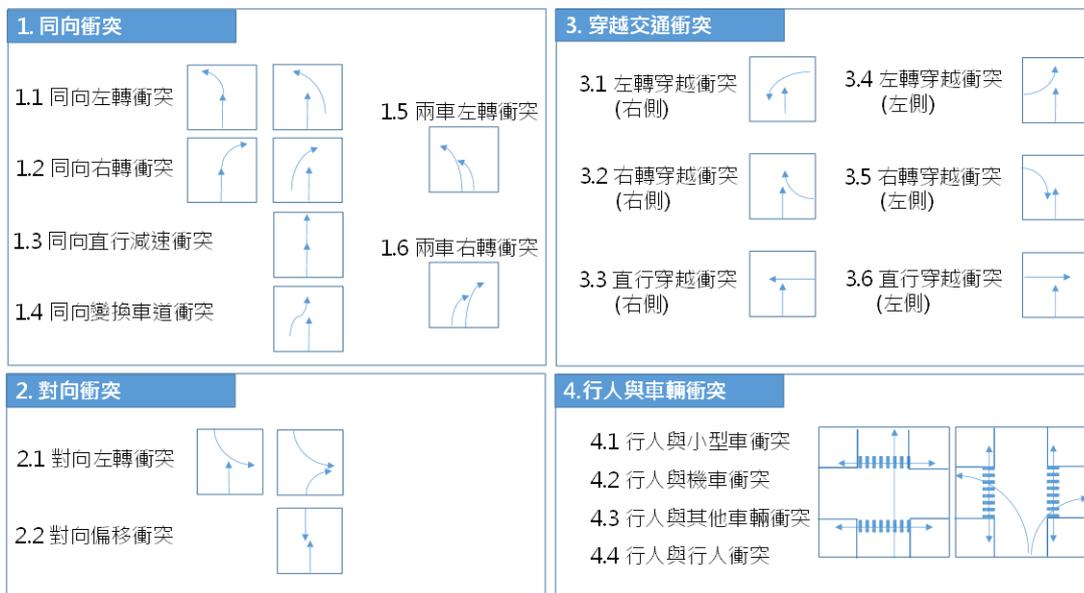
3. 分析結果

3.1 衝突事件表

- (1) 完成分析的專案，才會出現在「衝突事件表」供使用者選擇。
- (2) 請選擇分析專案進行條件篩選，



- (3) 衝突型態圖例說明：點選「穿越交通衝突」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。

專案資訊

請選擇專案：5_A_高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路_01 (2019-08-27 16:58:52)

交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路_01

影片日期/時間：2019-08-27 16:58:52

衝突型態顯示(Filter Conflict Type) (多選)

全選

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
- 兩車左轉衝突
- 兩車右轉衝突

對向衝突

- 對向左轉衝突
- 對向偏移衝突

穿越交通衝突

- 左轉穿越衝突(右側)
- 右轉穿越衝突(右側)
- 直行穿越衝突(右側)
- 左轉穿越衝突(左側)
- 右轉穿越衝突(左側)
- 直行穿越衝突(左側)

其他衝突 Unclassified

- 其他衝突

車輛類別顯示(Filter Car Type) (多選)

全選

- 行人
- 自行車
- 機車
- 小客車
- 貨車
- 聯結車
- 公車

車流方向顯示(Filter Traffic Direction) (多選)

進入路口方向

全選

- A
- B
- C
- D

離開路口方向

全選

- A
- B
- C
- D

(5) 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。

匯出分析結果 Show 10 entries

衝突時間(秒)	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	22.506	11.792	3.5	0.701	0.35	0.196345	-12.0093	同向左轉衝突
0.3	22.44	11.704	1.9	0	1.39	1.15776	171.341	同向左轉衝突
1.001	22.132	14.883	0.400003	0	16.72	14.4573	59.6209	同向變換車道衝突
0.7	23.43	15.62	1.6	1.602	5.5	4.75707	-16.8153	其他衝突
2.402	29.964	38.368	0.000003	0	8.44	3.98	-106.172	同向左轉衝突
4.604	33.902	30.976	1	0.901	2.42	1.77815	-57.3896	其他衝突
7.007	19.514	22.858	0.200003	0.1	5.18	1.88642	2.7276	其他衝突
6.806	26.543	37.554	0.000003	0	9.42	7.09323	116.306	其他衝突
8.008	20.922	27.126	4.9	0.4	5.28	1.12726	8.0937	其他衝突
8.508	21.67	29.414	4.9	0.299999	5.02	0.717642	3.96791	其他衝突

Showing 1 to 10 of 104 entries

Previous 1 2 3 4 5 ... 11

(6) 「匯出分析結果」按鈕，可匯出分析結果檔案，並以 CSV 格式儲存。

匯出分析結果

發生時間(秒) tMinTTC	X坐標 xMinPET	Y坐標 yMinPET	TTC(秒)	PET(秒)							
0.3	22.506	11.792	3.5	0.701							
VID	Length	Width	Heading	VminTTC	xCSP	yCSP	xCEP	yCEP	VehType	In	O
First:	6	2.70493	1.22978	221.185	0.35	22.506	11.792	22.418	11.715	c	A B
Second:	8	2.81103	1.25247	209.176	0.16	23.452	15.62	22.132	14.883	c	A C
	1.201	22.44	11.704	1.9	0						
	1.001	22.132	14.883	0.400003	0						
	0.7	23.43	15.62	1.6	1.602						
	2.402	29.964	38.368	0.000003	0						
	4.604	33.902	30.976	1	0.901						
	7.007	19.514	22.858	0.200003	0.1						
	6.806	26.543	37.554	0.000003	0						
	8.008	20.922	27.126	4.9	0.4						
	8.508	21.67	29.414	4.9	0.299999						

Showing 1 to 10 of 102 entries

(7) 匯出之分析結果 CSV 檔案，可使用 Excel 軟體開啟之。

發生時間	X坐標	Y坐標	TTC(秒)	PET(秒)	最大車速	相對車速	衝突角度	衝突型態	FirstVID	FirstLength	FirstWidth	FirstHead	FirstVMin	FirstCSPx	FirstCSPy	FirstCEPx	FirstCEPy	FirstVehT
87.987	17.875	17.38	4.9	3.404	0.33	0.11316	-5.6525	同向直行	88	3.67318	1.56689	179.486	0.22	17.875	17.38	12.969	17.424	貨車
168.168	38.621	31.416	3.3	0.901	4.34	1.01568	1.61697	同向直行	237	3.64576	1.46912	258.137	3.33	38.621	31.416	37.84	27.698	小客車
274.974	34.815	22.297	2.1	2.40301	3.15	2.7046	28.8537	其他衝突	369	3.38475	1.53112	45.7539	0.45	34.694	21.824	37.994	25.212	小客車
279.179	36.861	24.827	3.5	4.30402	2.13	2.83798	-133.37	其他衝突	369	3.38475	1.53112	23.6705	1.49	36.586	24.618	38.192	25.322	小客車
284.984	37.708	31.427	4.8	1.901	14.3	14.0161	-126.63	其他衝突	383	3.23002	1.42865	246.038	13.92	39.842	33.077	38.874	30.899	小客車
283.883	38.214	25.278	3.2	3.103	4.14	4.3278	147.827	其他衝突	369	3.38475	1.53112	119.299	0.22	38.203	25.278	36.487	28.336	小客車
284.184	40.194	34.122	3E-06	0	23.22	1.02	-6.7047	同向右轉	383	3.23002	1.42865	256.149	1.29	40.194	34.122	40.194	34.122	小客車
291.791	34.551	14.036	4.2	1.10101	3.52	0.81335	5.62994	其他衝突	369	3.38475	1.53112	261.697	2.31	34.562	14.102	33.891	9.504	小客車

3.2 統計摘要

- (1) 點選上方「請選擇專案」，
- (2) 根據專案衝突事件表的篩選結果，統計摘要顯示「按嚴重程度分類」及「按車種分類」兩張統計圖。

統計摘要

專案資訊

請選擇專案：1. A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_01(測試) (2019-09-26 14:24:40)

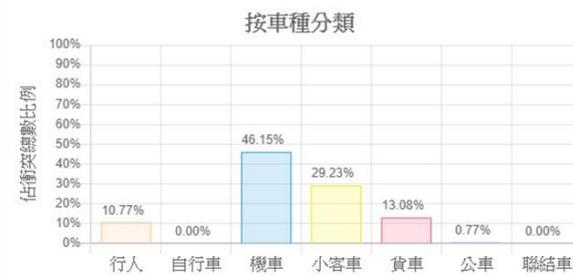
交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_01(測試)

影片日期/時間：2019-09-26 14:24:40

衝突事件統計

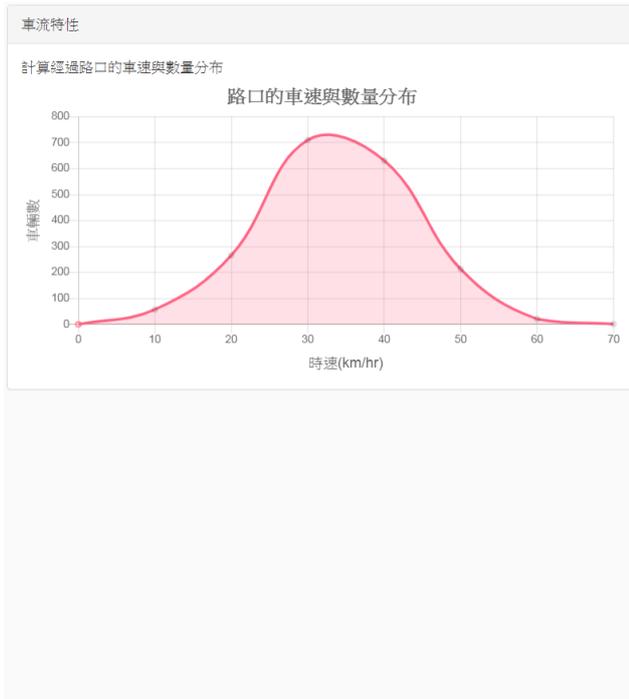


衝突事件統計



3.3 車流特性

- (1) 點選上方「請選擇專案」，
- (2) 車流特性，根據該專案衝突事件表的篩選結果，繪出通過該路口之直行車平均車速與車輛數之分布圖。並整理該路口之起訖點交通量統計表(OD 表)，依據不同車種顯示其數量，以利了解該路口之交通流量與各車種數量。



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
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
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
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
總計			219	35	1642	710	47	2	15	2670

3.4 衝突熱點 TTC/PET

- (1) 點選上方「請選擇專案」，
- (2) 可選擇密度分布圖、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，各風險程度旁同步顯示衝突次數，提供使用者參考。

衝突熱點

專案資訊

請選擇專案：3. A_高雄市三民區民族一路_十全一路_02 (2019-10-15 17:13:48) ▼

交通路口：A_高雄市三民區民族一路_十全一路_02

影片日期/時間：2019-10-15 17:13:48

篩選條件

請選擇顯示方式：全選 密度分布圖 斑點圖

請選擇顯示之風險程度：全選 瀕危風險 (33次) 高風險 (12次) 中風險 (6次) 低風險 (51次)

篩選

(3) 點擊「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，並顯示所有風險程度。



4. 號誌與時相

4.1 設定號誌與時相

注意：請不要在號誌時相轉換、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。

- (1) 進入「設定號誌與時相」的頁面，會列出已建立的專案清單，
- (2) 系統將自動檢查資料之完整性。若資料完整，將出現「號誌影片轉檔」，反之則出現「資料不完整」之提示，並且於該項目底下顯示紅色☒。

設定號誌與時相

專案資訊

交通路口：D_新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街_02
影片日期/時間：2019-10-15 17:49:39

號誌設定	時相表設定
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

資料不完整

專案資訊

交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路_01
影片日期/時間：2019-10-15 16:30:02

號誌設定	時相表設定
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

號誌影片轉檔

(3) 若需重新設定資料或補充不完整資料，都可直接點選底下圖示或，進行「號誌設定」或「時相表設定」。

設定號誌與時相

專案資訊

交通路口：D_新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街_02
影片日期/時間：2019-10-15 17:49:39

號誌設定	時相表設定
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

資料不完整

專案資訊

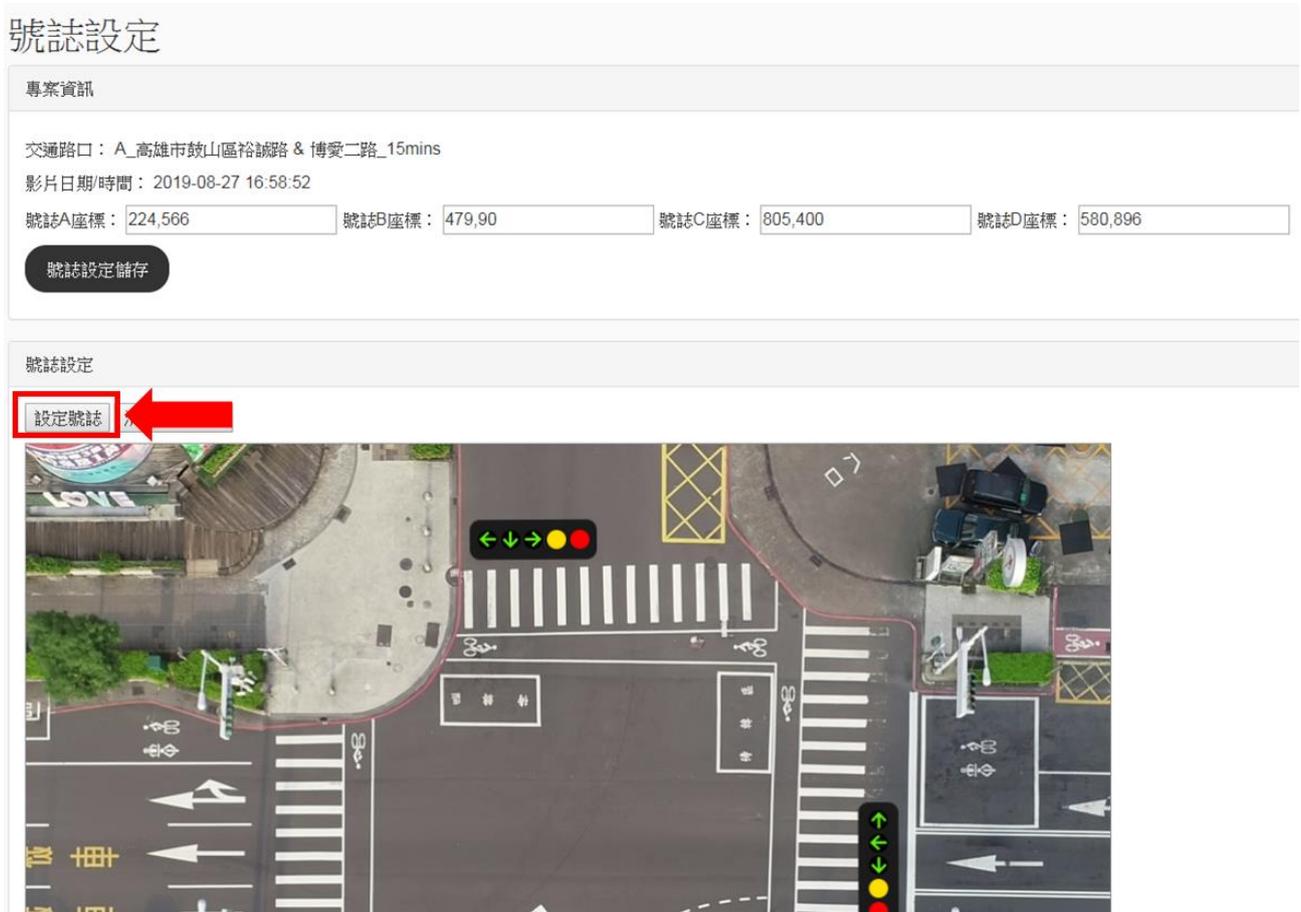
交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路_博愛二路_01
影片日期/時間：2019-10-15 16:30:02

號誌設定	時相表設定
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

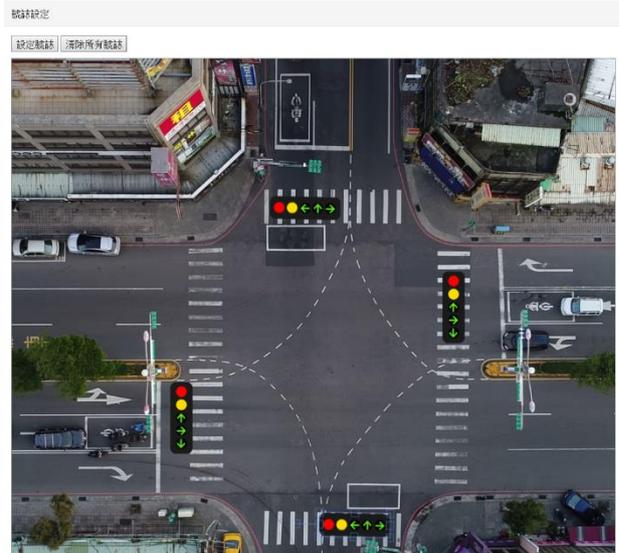
號誌影片轉檔

4.1.1 號誌設定

(1) 點選「設定號誌」按鈕後，



(2) 畫面會出現一個紅綠燈圖示，請拖曳到路口適當位置，以利顯示號誌燈號，並請依左下圖順序，依序完成號誌 1~4 號，完成圖如右下圖。



(3) 若於設定過程中有錯誤，可按「清除所有號誌」重新設定。

號誌設定

專案資訊

交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_15mins

影片日期/時間：2019-08-27 16:58:52

號誌A座標：224,566

號誌B座標：479,90

號誌C座標：805,400

號誌D座標：580,896

號誌設定儲存

號誌設定

設定號誌

清除所有號誌



(4) 設定完畢如下圖，系統自動擷取各號誌之座標，

(5) 按下「號誌設定儲存」，即完成設定。

號誌設定

專案資訊

交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_15mins

影片日期/時間：2019-08-27 16:58:52

號誌A座標：224,566

號誌B座標：479,90

號誌C座標：805,400

號誌D座標：580,896

號誌設定儲存

號誌設

4.1.2 時相表設定

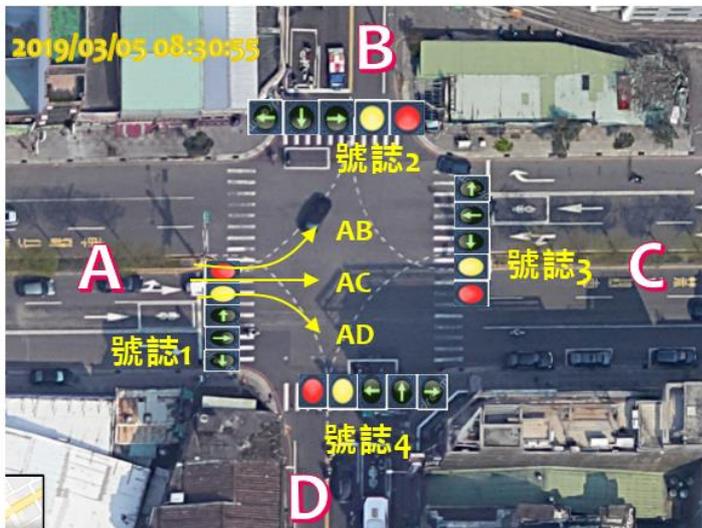
(1)請依照下圖中的 A、B、C、D 路口順序及轉向說明，設定該路口時相表。

號誌時相表設定

專案資訊

交通路口：A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_15mins

影片日期/時間：2019-08-27 16:58:52



時相表設定

時間區間： 起 16:00 ~ 迄 17:00 A路口綠燈週期開始時間： 1 : 07

進	出	轉向	時相1	時相2	時相3	時相4	時相5	時相6
A	B	左	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
A	C	直	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
A	D	右	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	C	左	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	D	直	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	A	右	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	D	左	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	A	直	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	B	右	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	A	左	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	B	直	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	C	右	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
綠燈			84 秒	14 秒	14 秒	48 秒	0 秒	0 秒
黃燈			4 秒	4 秒	0 秒	3 秒	0 秒	0 秒
紅燈			2 秒	2 秒	0 秒	4 秒	0 秒	0 秒

儲存時相表

(2) 請選擇時間區間，並依據側拍影片，設定「A路口綠燈週期的開始時間」，該時間需與空拍影片同步。

時相表設定

時間區間： 起 16:00 ~ 迄 17:00

A路口綠燈週期開始時間： 1 : 07

進	出	轉向	時相1	時相2	時相3	時相4	時相5	時相6
A	B	左	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
A	C	直	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
A	D	右	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	C	左	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	D	直	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
B	A	右	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	D	左	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	A	直	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
C	B	右	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	A	左	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	B	直	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
D	C	右	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
綠燈			84 秒	14 秒	14 秒	48 秒	0 秒	0 秒
黃燈			4 秒	4 秒	0 秒	3 秒	0 秒	0 秒
紅燈			2 秒	2 秒	0 秒	4 秒	0 秒	0 秒

儲存時相表

(3) 時相表中若為綠燈的請勾選，並在下方輸入秒數。按下「儲存時相表」，系統會跳出共有幾個時相。

211.20.101.179 顯示
共有4個時相

4.2 影片展示

(1) 進入「影片展示」頁面，點選上方「請選擇專案」，

影片展示

專案資訊

請選擇專案：6. 0926_舊資料_A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_01(測試) (2019-09-26 14:24:40) ▾

交通路口：0926_舊資料_A_高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路_01(測試)

影片日期/時間：2019-09-26 14:24:40

影片展示



(2) 按下播放，播放號誌同步顯示的影片



附錄 B. 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-108-SEB006

路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發

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) 海洋資工謝君偉 委員		
1. 小物件的偵測尺寸最小極限為多少?目前無人機的飛行高度為幾公尺?車速是依據甚麼資訊來校正?請補充說明。	1. 無人機飛行高度 75 公尺時，行人像素約 10x10、自行車約 10x20、機車約 15x25，建議在不少於前述像素下進行偵測。 2. 鑒於並非所有路口標示線皆依照標準設計，本計畫無人機拍攝時會於地面放置比例尺，並透過比例尺換算出影像中每個像素等同之實際距離，藉此獲得車速。	同意辦理
2. Mask R-CNN 對小物件偵測較差，YOLOv3 對大物件偵測較弱，如此針對路口所有物件運作如何處理?請補充說明。	現況大物件偵測使用 Mask R-CNN，小物件偵測使用 YOLOv3，彼此獨立訓練資料與偵測物件，最後大小物件之軌跡同時呈現於影像上。	同意辦理
3. 本案目前已訓練完成的深度學習模型，實際使用在不同路口是否需重新訓練。	本計畫已盡可能蒐集不同環境的訓練資料，應已足夠使用於不同路口。針對特殊路口需求建議後續研究計畫可考慮納入討論。	同意辦理
4. 影像訓練部分，一個路口只有幾十張到一百張的訓練張數，是否會產生	目前所選定的訓練影像一張至少會有 30 個物件，在訓練時我們也盡量搜集不同時間、不同路口的影像	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
under training 或無法搜 斂。	統一進行訓練，以增加內容的多變 性，因此依照目前訓練資料是足以 收斂的。	
5. 衝突熱點是否會有重複計 算的問題，建議直接將追 蹤加到深度學習架構中。	1. 衝突熱點現由 SSAM 產出，而 SSAM 無衝突熱點重複計算的 問題。 2. 已評估委員建議(追蹤加於深度 學習)，因其標註方式須針對連 續影像進行，在標註上會形成 相當大的負擔，且提升之效果 有限，本計畫仍採用目前影像 處理方法。	同意辦理
6. 建議新增塞車判斷功能以 用於調整時制號誌，例如 用魚眼觀測路口塞車長 度。	感謝委員建議。透過魚眼攝影機來 觀測路口塞車長度非本研究討論範 圍，後續研究計畫可考慮納入討 論。	同意辦理
(二) 交大資工易志偉 委員		
1. 期中報告書第 70 頁，人 工標記作業 4~6 分鐘 /frame，應有改善空間， 可利用循環標記，再以 人工修正，改善作業速 度。	感謝委員建議。目前若要引進循環 標記，仍需針對其另外開發配套系 統，且循環標記對於系統未能偵測 的對象，仍需透過人眼在畫面上重 新找出，依然無法完全替代人工標 記，因此在本期有限的計畫時程內 效益可能偏低，倘若後續尚需大量 資料標註且計畫為多年期，後續研 究計畫可考慮納入討論。	同意辦理
2. 本案的研究及應用，在 學界、業界上皆有極大 需求，應可考慮將計畫 執行的程式、資料集做 授權。	感謝委員建議。資料授權相關事項 將與承辦單位討論。	同意辦理
3. 期中報告書第 53 頁，號 制時相對時做法與多架 無人機影像拼接，兩者	感謝委員建議。目前不考慮多台無 人機影像拼接，因拼接影像可能有 影像形變失真與及時間同步問題，	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
皆是分散式設備的時間同步，可嘗試以此尋找無人機影像拼接的解決方案。	另外無人機拍攝時也會因風速狀況而造成晃動，後續影像處理的問題，因此本計畫暫不採用多無人機影像拼接。	
4. 人工智慧城市挑戰(AI City Challenge - CVPR); 無人機視覺競賽 (Vision Meets Drones :A Challenge - ICCV)皆有許多技術可供參閱。	感謝委員提供學術文章的建議。	同意辦理
5. 物件偵測目前影格取樣率降至 5fps 是否會造成困擾? 試以車速 72km/hr 評估，是否會造成軌跡計算的困難，建議若無即時需求應可提高影像取樣率。	取樣率 5fps 情況下，車速過快確實有可能產生行經區域覆蓋不連續的問題，在追蹤上也會加大困難度，後續將評估選擇最佳取樣率。	同意辦理
(三) 開南交通運管郭正成 委員		
1. 大型車軌跡，例如貨櫃車會產生嚴重的內輪差，其是否能夠反映在軟體分析上。	1. 由於四輪車輛軌跡紀錄了車輛四個角點，因此軌跡追蹤理論上是能夠將內輪差的問題反映在軌跡上的。 2. SSAM 並未特別針對內輪差進行處理，但如車流軌跡能確實反映大型車在轉向中的內輪差位置，衝突分析應能反映其安全影響，將於期末報告中說明。	同意辦理 既然都可以做內輪差分析，那今年就可以做了嗎?
2. 交通衝突分析軟體採用 SSAM 作為衝突事件指標的計算工具，但其對機車、行人等小物件分析效果似乎較差，本研究分析軟體有做甚麼改善，請補充說明。	1. 以 SSAM 作為交通衝突分析軟體的計算核心是因過去在探討碰撞時間(TTC)和後侵占時間(PET)的公式上有疑慮，而 SSAM 作為一個成熟具指標的開源程式，證明計算方式的正確性，也有相關的研究可參	同意辦理 其中嘗試結果為何? 請列入，或納入期末報告

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>考。</p> <p>2. SSAM 雖無強調分析機車、腳踏車、行人等小物件，但它可調整物件的大小，因此藉由輸入軌跡值套入公式依然可獲得碰撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)，與車輛種類無關。</p> <p>3. 後續可嘗試調整輸入參數：車長、車寬，輸出是否會產生相應差別，藉此確認 SSAM 在估算衝突發生時碰撞點的計算方式，以及是否與車種有關，分析結果將於期末報告中說明。</p>	
3. 建議列出 SSAM 的輸出結果與本計畫的分析軟體的差異性。	本計畫針對國內分析的需求，增加了輸出衝突事件的車輛種類、車輛轉向，衝突事件分類等資訊，具體的差異性將於期末報告中進一步說明。	同意辦理
4. 建議分析軟體佐證可分成兩個方向，車與車的事故;車與人的事故，尋找一個已經發生肇事事件的路口，再利用軟體分析是否在類似地點發生類似衝突型態。	過去研究指出，衝突數與碰撞事故數據呈現高度正相關，說明減少交通衝突確實可以減少碰撞事故的發生，協助道路主管機關進行評估及預防交通事故，相關文獻已說明於期中報告書第 2.3.2 節。	同意辦理
5. 「預期完成工作項目 3-3-2」，提出不僅限於交通衝突分析，還會有其他交通安全應用，目前是否有著墨。	更廣泛的交通安全應用，將安排於專家座談會中進行討論。	同意辦理
6. 「預期完成工作項目 3-3-3」，分析結果能應用於交通工程的改善方式，除了輸出圖表是否能產出較具體的交通改善建議。	<p>1. 本計畫主要探討不同衝突型態的衝突熱區結果，及其對應的改善方式與技術。</p> <p>2. 本期目標主要是研發及整合影像搜集及分析的技術，取代過</p>	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
	去衝突分析以人工方式去判斷 衝突事件。本期研究將會提出 衝突分析方法的實作應用。	
7. 「預期完成工作項目 3-5」，本計畫與過去人力 耗時分析的比較，建議 補充說明。	效益分析於期末報告書中呈現。	同意辦理
(四) 逢甲運輸林大傑 委員		
1. 無人機的續航力表現如 何?請補充說明。	市售無人機續航力約為 20 分鐘， 客製化無人機續航力約 45 分鐘。	同意辦理
2. 車流軌跡如何轉換成 SSAM 的輸入格式，能 否簡易說明其 SOP。	本研究之軟體已撰寫程式，可自動 轉換 CSV 檔案格式至 SSAM 輸入 格式(Binary 二進制格式)，過程中 使用者不需再做人工轉換。	同意辦理
3. 軌跡會受到許多參數影 響，如車流量、車速、 天候、是否有執法人員 等等。建議無人機拍攝 時，配合記錄當時道路 的環境參數與時制計 畫。	遵照辦理。	同意辦理
4. 軌跡的變異很大，就算 同一輛車連續出現在同 一個路口軌跡可能不 同，是否有辦法建立一 個標準化的軌跡在特定 路口，未來可用於模擬 衝突的發生。	1. 本研究衝突分析之軌跡輸入， 是直接採用實際觀察到之車流 軌跡進行計算，並不需要將軌 跡進行標準化作業。 2. 如採用微觀車流模擬(如 VISSIM)去產生車流軌跡，則可 採用不同的亂數種子值(Seed number) 及情景 Scenario) 進 行模擬，再將車流軌跡輸入至 SSAM 進行衝突分析。	同意辦理
(五) 高雄市交通局技正陳志鶴 委員 (書面意見)		
1. 期中報告書第二章文獻 回顧，建議加強蒐集是 否有對政府及研究機關 使用之無人機特殊規定	遵照辦理。依據遙控無人機管理規 則第 5 章 操作限制及活動許可(法 條 25~35)內容有針對政府及研究	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
之條文，並請增加一小節檢討各國無人機法規之異同，俾提供我國未來無人機法令修訂參考。	機關之規定，將補充說明。	
2. 為便利不同研究機構資訊交流，加速應用無人機於交通安全分析技術之拓展，建議本研究提供標準化之飛行參數，例如不同道路條件下之飛航高度。俾減少機器學習之資源與時間。又如涉及風力單位，是否可以統一採用 m/s，請考量。	遵照辦理。	同意辦理
3. 現行路口/路段選擇之飛航條件過於嚴苛，將大幅限縮無人機飛行場域與可應用區域，是否有再行檢討放寬條件，作為未來修法考量。例如市區內銜接高、快速道路交流道、匝道之路口，常為易壅塞/易肇事路口，最是需要高空攝影技術支援的情境；又如夜間車流、車速亦是交通安全單位關心重點。	檢討飛航管制放寬條件，非本研究討論範圍。	同意辦理
4. 在施作選址及無人機攝影、影像處理與分析作業上，建議將其前後程序繪製作成作業流程圖，可以方便參照，瞭解整體流程。	遵照辦理，將整理於期末報告。	同意辦理
5. 車輛同向間碰撞，尤其是機車行進間同向擦撞案件之比率，已高居都市地區 A2 事故主因第	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
二位，如何研究機車行進間之車速及與鄰車橫向距離、車頭間距常需要空拍攝影技術作為支援，建議研究團隊就目前空拍技術檢討可能面臨的問題與因應提出對策。		
6. 期中報告書文句之表達方式宜加強，例如第4.2.1節地點評估，只有文字堆砌卻無法讓閱者釐清段落要表達之內容。諸如此例者尚有不少段落，建議再予檢討，務必令非實際操作者亦可瞭解報告書所要說明之內容。	遵照辦理。	同意辦理
(六) 交通部科技顧問室		
1. 建議前一期的易肇事地點近期若有發生事故，可透過前一期的易肇事地點驗證本計畫的輸出結果確實具有關聯性。	感謝貴室建議。本計劃案已選擇3個路口(新竹竹北、雲林斗六、台南永康)做為驗證資料場域，詳請參考期中報告書第4.2節。	同意辦理
2. 前一期的空拍影像在本期是否有再做小物件的分析。	本案有採用前期資料進行小物件資料訓練，請參考期中報告書表4.3-3。	同意辦理
3. 碰撞時間 TTC 看似只針對直線軌跡做運算，此在轉向車輛的分析結果上是否會造成問題。	期中報告書中的 TTC 定義解釋是以兩車發生同向直行衝突為例進行說明，其概念在同向左轉衝突、同向右轉衝突同樣適用。	同意辦理
(七) 交通部道路交通督導安全委員會		
1. 針對不同路口型態，如圓環、五叉路等特殊路段是否需要重新訓練模型。	本計畫已盡可能搜集不同環境的訓練資料，應已足夠使用於不同路口，如針對特殊路口需求建議於後續研究計畫可考慮納入討論。	同意辦理
2. 近年來電動自行車經常	1. 本研究小物件偵測主以機車、	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
出現於道路上，是否能 對其進行辨識。	腳踏車、行人為主。 2. 本計畫研究重點主要為軌跡分 析，在車種細項分類上目前並 無區分是否為電動自行車。	
(八) 交通部公路總局		
1. 長大型路口是否會飛行 到 100m 或 125m 的高 度，又或者使用兩台無 人機做拍攝。	1. 目前已於竹北自強北路及勝利 七/八街路口飛行至約 100m 高度進行拍攝，實際影像將進 行分析驗證，相關結果將整理 於期末報告。 2. 使用多無人機進行拼接，無人 機影像同步及拼接所造成的影 像失真將降低深度學習偵測的 準確度。	同意辦理
2. 建議號誌時相表可向各 單位索取，另外也須避 開特殊時相轉換的時 間。	遵照辦理。	同意辦理
3. 小物件偵測上是否能夠 應用到較特殊的路口， 例如：行人專用時相之路 口。	本計畫選定之調查路口，雖無行人 專用時相路口，但行人專用時相路 口應能進行分析。	建議改為：本計畫選 定之調查路口，雖無 行人專用時相路口， 但行人專用時相路口 應能進行分析。
(九) 高雄市交通局 (書面意見)		
1. 有關本案針對風險路口 潛在車流衝突建立新型 態道路交通安全分析方 法，建議將實務執行可 能性納入考量。	有關實務執行可能遭遇課題會盡量 予以考量。	同意辦理
2. 建議將本案衝突分析與 各路口發生事故進行比 對，俾利檢視衝突性與 發生事故之關係。	遵照辦理。	同意辦理
3. 建議於分析路口衝突數 時，將車輛或行人違規	因違規造成的衝突如果大量發生 時，仍應加以考量，故目前尚不加	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
所生衝突獨立分離討論，以清楚區隔後續工程、執法或宣導面之應用。	以區分。	
4. 有關本案規劃本市地點民族一路/十全一路路口非完全正交，建議將實作路口之幾何型態一併納入考量。	民族一路/十全一路路口乃高雄市交通局選定之分析路口。	同意辦理
(十) 本所運資組		
1. 建議加強說明使用無人機拍攝的優點。	無人機與路口攝影機的優缺點已於前期之期末報告書中說明。	同意辦理
2. 未來應用若擴展到路口與路口的事故比較，曝光量參數的校正是否需考量。	本期研究的實作著重在路口的事前事後分析，驗證軟體的可用性。不同路口事故的比較非本研究的探討範圍，建議可納入後續研究計畫。	同意辦理
3. 建議可選用續航力較高的繫留無人機作為車流攝影載具。	繫留無人機雖可提供長時拍攝，但現行繫留無人機需牽引一電力供應電線，飛行時對於交通路口有潛藏危機，不建議於路口使用，若未來電源供應線具備垂直折彎之結構，可再評估使用。關於繫留無人機之內容將補充說明於期中報告書。	同意辦理
(十一) 本所運工組		
1. 建議補充並潤飾期中報告書中的國內外無人機法規。	遵照辦理。	同意辦理
2. 期中報告書第二章文獻回顧，可補充與本計畫類似的無人機案例，再列舉國內外相關文獻回顧。	遵照辦理。	同意辦理
3. 期中報告書第三章無人機，可先說明無人機與路口攝影機的優缺點，再帶出無人機所遭遇的課題。	無人機與路口攝影機的優缺點已於前期之期末報告書中說明。	同意辦理
4. 期中報告書 4.3.3 節文字	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
敘述似未完整。		
5. 無人機的影像數量是否足夠多，能夠用在後續的分析上。	本案已盡可能搜集不同環境訓練資料，未來若需補充訓練資料進行精準度改善，將配合執行。	同意辦理
(十二) 本所運安組 (書面意見)		
1. 報告書章節編目部份只要三層即可，不要第四層 (例如 2.2.2.1)。	遵照辦理。	同意辦理
2. 期中報告書第三章無人機進行交通觀測所遭遇之課題，需要調整章名。	遵照辦理，將修改成無人機交通觀測方法。	同意辦理
3. 期中報告書第三章應加強對無人機進行交通觀測技術所遭遇之課題加強探討與分析，例如機體形式的優劣比較、長時間滯空拍攝、自動飛行等其他課題。	遵照辦理。	同意辦理
4. 文中出現英文簡寫之組織、規範 (如 MS、CE 標誌、EASA、ICAO 等) 請列明中文翻譯，並於其後括弧說明其英文簡稱與全稱，請全文檢和修正。	遵照辦理。	同意辦理
5. 期中報告書第 1 頁第二段第五列，...特徵不足等問題， <u>本期計畫使用當前影像辨識技術</u> ...，建議增加底線文字。	遵照辦理。	同意辦理
6. 期中報告書第 3 頁：2.2.1，第一段請列出 2018 公布的報告全名與中譯，並至少以一個段落簡述報告內容。第二段所稱“新基本法規”請列出名稱與中譯。另既然提到歐盟權限的擴	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
大，請說明擴大前與擴大後的內容及其差別。文中“本意見”所指為何？請補充說明或檢核一致性。		
7. 期中報告書第4頁有分別臚列“開放類”、“特定類”、“審定類”，但第一、二段文字只有兩類，且該兩段加第三段文字敘述意義不明，三類內容過度簡單，請重寫。	遵照辦理。	同意辦理
8. 期中報告書第5頁第一段第一列文字敘述不明。	遵照辦理。	同意辦理
9. 期中報告書第6頁第二段...主要內容“簡”述如下，錯別字請更正，其後括弧文字請刪除。	遵照辦理。	同意辦理
10. 期中報告書2.1.4第一段文字請概述本節內容，而非僅列出參考文獻。	遵照辦理。	同意辦理
11. 期中報告書第10頁：3.(1)遙控無人機之飛行方法：使用遙控無人機飛行“者”...，請更正。	遵照辦理。	同意辦理
12. 期中報告書第15頁圖2.1-7，圖中方框用意為何？	說明「政府機關(構)、學校、法人從事無人機活動流程」。	同意辦理
13. 期中報告書第26頁對衝突類型的說明全為文字，仍難以說明清楚衝突型態，建議輔以圖示。	文獻原文中並未輔以圖示，為了不扭曲文獻所欲闡述之內容，因此未輔以圖示說明，將於期末報告書中針對本研究所採用的衝突類型補充圖示說明。	同意辦理
14. 期中報告書第35頁：2.3.5.2第一段最後，...總衝突數的MAPE誤差	這部分是文獻的研究結果，MAPE 18%屬於優良的預測。另將補充說	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
為 18%...，誤差達 1/5 似乎很大。另外對於車輛漏判與車種誤判兩種錯誤形態可能要分別驗證。	明文獻研究在不同衝突類型的誤差範圍。	
15. 期中報告書第 36 頁：3.1.1 第一段，...禁限航區或距離“鐵”路...錯別字請更正。	遵照辦理。	同意辦理
16. 期中報告書第 79 頁：對機車與自行車的追蹤，是辨識出方框還是矩形框，辨識出的框是否會隨車輛的轉向而旋轉。	行人、自行車與機車為了減輕資料標註人員之負擔在辨識上採用外接方框，但其追蹤軌跡僅記錄方框之中心點座標。由於其同類物體之寬度、長度大致一致，可透過中心點軌跡增加寬度，作為行經區域之代表。	同意辦理
17. 期中報告書第 92 頁：圖 6.1-10：衝突熱點圖目前只能看出衝突熱區出現位置，以及各區域相對的衝突熱度，似乎無法明確指出各熱區的衝突數量，以及是否到達危急程度需進行改善。	衝突熱點圖將新增選單，提供使用者依不同嚴重程度顯示衝突熱區，並可顯示其數量。	同意辦理
18. 衝突分析軟體在前期計畫已有計算轉向交通量與通過車速的功能，本計畫中應對其相關錯誤與缺失進行改善。	遵照辦理。	同意辦理
(十三) 主席		
1. 小物件如機車之軌跡，若以物件中心點作紀錄，轉彎時如何反應物件的轉向行為。	機車可由中心點以行進方向為主軸，根據一般機車長寬延伸成長方形，透過長方形短邊與長邊位置，最終獲取 4 角參數。	同意辦理
2. 號誌時制的同步做法中，同步對時精度為多少？	使用 UTC 做同步對時，原則上可達毫秒等級，目前實測結果，其精準值可達 300ms。	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
3. 小物件的漏偵測率與偵測 錯誤率分別為多少?	依照目前訓練資料來計算: 1. 漏偵測率:小於 2% 2. 偵測錯誤率:機車小於 1% 行人與自行車因訓練樣本較少 較難說明實際可達效果, 將於 期末報告中補充說明。	同意辦理
(十四) 主席結論		
1. 有關委員及各單位意見, 請訊力科技團隊列表逐一 回應, 並納入期末報告 書。	遵照辦理。	同意辦理
2. 倘若蒐集的資料集後續要 做公開或者對外授權, 在 期末之前應對可行作法進 行討論。	遵照辦理。	同意辦理
3. 取樣率是否增加應再進行 優缺點比較分析。	遵照辦理。	同意辦理
4. 研究成果的後續應用方 式, 應在專家座談會中進 行廣泛討論與歸納。	遵照辦理。	同意辦理
5. 繫留無人機的方案優缺 點, 應在報告書中作說 明。	遵照辦理。	同意辦理

附錄 C. 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-108-SEB006

路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發

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) 交通大學 謝君偉教授		
<p>1. 影像處理在本案採用 Mask R-CNN 與 YOLO v3 兩種深度學習模型偵測物件，試問是否有辦法整合成單一模型。</p>	<p>1. 在不大幅變動方法架構下，目前缺乏可直接獲得旋轉矩形 4 個角點的主流物件偵測架構。雖然部分方法會增加 Spatial Transformer Network(STN)來調整進入捲積層之影像姿勢，但在 R-CNN 系列等 2 階段(2-stage)架構下仍須針對每個偵測物件反推 4 個角點位置，在效率上應不會比 Mask R-CNN 加矩形擬合帶來明顯優點。</p> <p>2. 以偵測小物件與效率為優勢的 YOLOv3 架構，由於不會如 2 階段架構先提取可能物件區域(region proposal)，無法在架構上直接針對每個物件獨立區域增添 STN 來調整影像姿勢進行判別，因此較不適合透過 STN 進行多物件的 4 個角點位置偵測。然而，透過對 YOLOv3 架構增添對應矩形角點與選轉角度之損失函數(loss function)，以達到直接估測旋轉矩形之角</p>	<p>同意辦理</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>點位置是可能的。在此前提下有能讓所有人車都統一透過 YOLOv3 架構偵測，惟所有資料標註方法皆須重新來過且方法與實驗分析易需相當時間才能完成，故不在本期考量範圍。</p>	
<p>2. 根據簡報上的驗證數據無法明確看出小物件(機車、腳踏車、行人)的準確率，有些路口行人準確率很高，有些卻相當低，請補充說明原因。</p>	<p>本研究已盡力採納現有 4 個主要空拍路口作為實驗資料，然每個路口特性不一，行人準確率受環境複雜度(如行走於行人穿越道較柏油路面難偵測)、行人群聚程度、樣本母體數等諸多原因有關。特別是部分路口往來行人稀少，而路口 C 實際行經人次為 27 人，無論是環境複雜度、行人群聚程度、與樣本母體數都遠較其他 3 部高(路口 A 與路口 D 無行人、路口 B 行經人次 2 人)，應可作為一般準確率底線之參考。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>3. 本案是否有要求分析其他時段的影像，例如傍晚。受環境天候影響，其他時段 YOLO v3 的偵測可能會較差，是否有考量，請補充說明原因。</p>	<p>感謝委員的建議，本案以交通尖峰時間為主要影像拍攝蒐集時段，包括上午 08:00~9:30、下午 17:00~18:30，其他分析時段，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。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>4. 目前衝突分析在實作上仍需一些人為介入，例如號誌同步工作，是否能介接同步處理機制，以利流程。</p>	<p>感謝委員的建議，有關號誌時相同步的問題，已與台南市交通局討論透過號誌系統獲取同步資訊之可行性，請見期末報告中章節 7.2.1 無人機交通觀測方法。未來研究計畫應可規劃試辦路口做實施評估。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>5. 簡報上說明影像處理部</p>	<p>在影像處理部分，主要為抽取人車</p>	<p>同意辦理</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
分，大多為偵測物件，對車輛轉向比是否有考量，請補充說明原因。	軌跡資訊，包含進出之路口方向。轉向比可透過進出之路口方向，在後續進行統計。	
6. 準確率大多數以車輛為基礎做計算，但本案以 frame 為單位是否會有重複計算的問題，請補充說明原因。	一般以車輛為單位計算主要是考量車輛”計數”問題，故不會考慮偵測過程的完整性。然本研究重點在車輛軌跡，也就是每一時刻的車輛位置皆為重要資訊，故需更精細地分析至 frame 為單位。若以車輛為單位基礎，無法看出行經路口車輛之軌跡完整度。	同意辦理
7. 是否有其他衝突分析軟體能夠代替 SSAM，請補充說明原因。	<ol style="list-style-type: none"> 1. Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) 為美國聯邦公路總署開發之軟體，運用微觀車流模擬之輸出進行衝突分析，目前並無其他類似的開源軟體。 2. 學術文獻上有研究學者自行開發計算衝突的分析程式，技術門檻不高，但就軟體工程角度而言，使用開源程式碼能減少開發過程中的 bug，因此本研究採用 SSAM 作為計算方式。 	同意辦理
8. 各路口的分析看起來還是以人為主的主觀分析，此軟體是否能給予客觀的分析，請補充說明原因。	本軟體主要是取代過去以人工方式觀察影片紀錄衝突事件之工作，案例中藉由影片探討衝突事件的成因是要核實軟體計算出的衝突事件判斷正確無誤。	同意辦理
(二) 交通大學 易志偉教授		
1. 號誌時相控制是很有發展性的，本軟體在分析上是否能滿足號誌時相控制的即時需求，請補	感謝委員的建議，有關即時軟體同步誌時相控制部分，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
充說明原因。		
2. 號誌時相同步可先尋求一些廠商配合，藉此節省人工同步耗時又可增進精確值。	感謝委員的建議，有關號誌時相同步的問題，已與台南市交通局討論透過號誌系統獲取同步資訊之可行性，未來研究計畫應可規劃試辦路口做實施評估。	同意辦理
3. 軌跡辨識的指標可以再多參考，本案影像處理所使用的驗證指標目前看起來還是以物件偵測為主。	由於本研究重點在車輛軌跡，也就是每一時刻的車輛位置，因此目前驗證指標是將每張 frame”追蹤後”的正確結果加以統計，以呈現行經路口車輛之軌跡完整度。在軌跡方面雖有多項指標，但多數並不够單純直覺。例如： 1. MOTA(Multiple Object Tracking Accuracy)是以 1 扣除所有軌跡中的失偵、誤偵、與誤分類比例。 2. MOTP(Multiple Object Tracking Precision)是所有畫面中正確的軌跡位置數量除以偵測出的軌跡位置數量。 上述兩者事實上即分別對應了報告書表格中的 Recall 與 Precision 兩項數據，將補充計算方式與說明於報告書中。	同意辦理
4. 本案所使用的實驗資料是否可以考慮開源給大眾使用。	遵照辦理。	同意辦理
5. 衝突分析的觀察未來能考慮與影像處理做結合，讓衝突事件的比對有更好的視覺化呈現。	感謝委員的建議，有關衝突事件比對有更好的視覺化呈現，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。	同意辦理
(三) 高雄市交通局技正 陳志鶴委員		

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
1. 號誌路口的事故很多是停止線上游就造成追撞，其可能因號誌的變換所造成，若偵測 ROI 的範圍能擴大，將可看到更多資訊。	以目前高雄三民區路口為例，即使絕大多數訓練資料為 75m 高度下拍攝，對 110m 下拍攝之高雄三民區路口影片仍有相當可靠的偵測結果，因此未來若能增添更多不同高度影片進行訓練，應可進一步提升路口拍攝範圍的彈性，擴大車輛偵測的 ROI 範圍。	同意辦理
2. 夜間事故在國內佔有一定比例，未來無人機與影像處理若能克服相關技術問題，此是可思考的議題。	感謝委員的建議，本案以尖峰時間為主要拍攝蒐集接段，例如上午 08:00~9:30、下午 17:00~18:30。其他分析時段，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。	同意辦理
3. 簡報 P.39 有探討到交通衝突數與事故數的關係，未來可再報告書 2-4-5 加強探討其與本案的關係。	感謝委員的建議，已於期末報告書第 2.4.5 節補充說明交通衝突數與事故數之關係。	同意辦理
4. 大客車、聯結車等大型車輛的辨識作法報告書上描述較少，建議可再補充說明。另外報告書上也有探討聯結車訓練樣本較難取得，高雄港區附近的路口有大量的聯結車可做為參考，只是深度學習訓練若單一車輛的數量太多似乎也會造成學習問題。	大客車的辨識作法基本上與其他四輪車輛並無差異、然聯結車可能存在前後不同車體，將會補充進一步說明。另一方面，學習樣本的比例也確實容易造成外觀相似的不同車種，在特徵空間競爭上的強弱差距，相關問題將進一步補充列舉於問題討論章節。	同意辦理
5. 訓練樣本採用以 frame 為單位，但就實際面來說以車輛數量為單位，能讓大眾較容易理解，未來也可考量。	一般以車輛為單位計算主要是考量車輛”計數”問題，故不會考慮偵測過程的完整性。然本研究重點在車輛軌跡，也就是每一時刻的車輛位置皆為重要資訊，故需更精細地	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
	分析至 frame 為單位。若以車輛為單位基礎，恐無法看出行經路口車輛之軌跡完整度。	
6. 四輪車與機車、行人使用不同的模型做偵測，在報告書上可再加強說明不同的模型整合是否會造成甚麼問題。	遵照辦理。基本上在本案中，兩種模型幾乎不會有任何互相影響。	同意辦理
7. 簡報上的分析是以 5 分鐘的影片做分析，但舊傳統分析會以小時為單位，再取車流尖峰的 15 分鐘做分析。本案就 5 分鐘的影片分析可能無法看到該路口實際的問題點。	已於期末報告書第 6.3 節補充完整一架次（共 15 分鐘以上）的影片分析，高雄鼓山區高雄市鼓山區裕誠路及博愛二路路口、高雄市三民區民族一路及十全一路路口為重點分析對象，補充三架次（共 45 分鐘以上）的分析。	同意辦理
8. 軟體分析上的車速統計，若待轉、轉向的車輛與正在行駛的車輛都被統計在一起，將會影響我們對衝突的判斷。	關於車速統計的計算與呈現，研究團隊將濾除轉彎車輛，並進行適當修正。	同意辦理
9. 目前的無人機飛行高度建議多少較佳?而就長大型路口其飛行高度又該如何取捨?	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議飛行高度為 75 公尺，若此高度的拍攝範圍無法滿足長大型路口，可再拉高飛行高度。 2. 目前是以 75 公尺的高度做為深度學習的訓練資料，因此更高的拍攝視角有些小物件的偵測準確率可能會降低，不同高度所需補充的訓練資料可於後續研究計畫納入討論。 3. 請見期末報告章節 3.1.1 無人機作業流程說明。 	同意辦理
10. 利用無人機拍攝路口的影像是很難能可貴的，希望	無人機拍攝的路口影像原則是可開放的，至於後續分析所獲得的數	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
未來能開放這些資源，請補充說明原因。	據，後續配合辦理。	
(四) 開南大學 郭正成教授		
1. 本案是否有對 SSAM 的門檻值做修改，機車、汽車的門檻值是否不同，請補充說明原因。	3. 本案並無對 SSMA 的門檻值進行修改；軟體使用 SSAM 計算可得出兩車的衝突指標(PET、TTC)，再使用自定之門檻值去訂定衝突事件及其嚴重程度。 4. 本案目前採用之 TTC 門檻值為 0-1 秒（瀕危風險）、1-2 秒（高風險）、2-3 秒（中風險）、3-5 秒（低風險），使用者可自由選取顯示不同等級之風險程度作為輸出結果。 5. 機車、汽車的合理門檻值應有不同，文獻一般建議汽車車流之 TTC 門檻值約 2 秒至 3 秒，機車之合理門檻值理應更低，但過去研究中尚未有機車相關研究。	同意辦理
2. 輸入的軌跡圖資訊，可於報告書上詳加說明是輸入哪些資訊。	遵照辦理，將補充於期末報告書。	同意辦理
3. 簡報 P.51，許多車輛通過路口的車速為 0，這部分不太理解，請說明原因。	於車速為 0，主要是因為平均車速採用 lower bound 繪製，也就是 0~10 的車速都以 0 速度呈現，而數量較大則是因為計算時將所有車輛，包含轉彎車、行人、自行車等速度偏低之個案，加上停等紅綠燈之車輛，其速度為 0，但停等時間恐長達 1 分鐘以上，而起步後經過路口時間只有 3~5 秒，故其平均車速亦相當低；綜合以上因素，造成	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
	繪製車流特性圖時，車輛速度為0且數量較大，本團隊將針對此問題修正。	
4. 報告書上與傳統路口調查的比較大多以轉向交通量為主，但傳統路口調查不只交通量，還有停等延滯、闖紅燈違規、未禮讓行人等，未來可以對路口車流做很多研究，使本案能夠代替更多傳統的路口調查。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員的建議，期末報告書第6.2.3節分析了本案軟體可節省交通量調查所需人力與時間之效益，主要是比對常見的委外交通調查的調查項目，以市場行情的收費標準作為依據，因此得出結論為不具備效益。 2. 本案之車流軌跡，確實能產生其他資料項目如停等延滯、闖紅燈違規等，但這些項目目前軟體平台並未計算，因此暫不列入比對項目。未來如可補充這些項目的資料輸出，可以提升軟體取代傳統交通調查之價值。 3. 已於期末報告書第6.2.3節補充說明。 	同意辦理
5. 路口影像蒐集時，針對路口方向是如何決定的，一般習慣以北方為正上方，這樣應該比較容易理解。	感謝委員的建議，路口影像蒐集時係以主幹道為橫向，而非以正北方為拍攝方向，將補充說明於期末報告，未來計畫可視需求進行討論調整。	同意辦理
6. 臺灣有很多專用的特殊時相，使用手冊上是否可補充較複雜的時相作為範例，讓使用者能更快速的上手。	感謝委員的建議，將補充於期末報告書。	同意辦理
7. 建議後續將教育訓練的資料節錄至報告書內。	感謝委員的建議，將補充於期末報告書。	同意辦理
8. 使用手冊需補充說明，	感謝委員的建議，將補充於使用手	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
不要在號誌時相轉換、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。	冊，也一併補充於期末報告章節 7.1.1 無人機交通觀測方法以及章節 3.5 號誌時相與影片對時做法規劃中。	
(五) 逢甲大學 林大傑教授		
1. 影像前處理有對原始影像做正方形裁切 (2048x2048)，未來可嘗試將裁切比例改為 4:3。	1. 習慣上幾乎所有 CNN 都是預設以正方形影像作為輸入，即使原影像為非 1:1 比例，亦會強制變形為 1:1。 2. 故本研究一開始即以正方形裁切結果作為輸入，未來會嘗試更改不同比例，確認有何實際影響。	同意辦理
2. 時相自動同步是可再多思考的，可減少無人機拍攝的複雜度。	感謝委員的建議，有關號誌時相同步的問題，已與台南市交通局討論透過號誌系統獲取同步資訊之可行性，未來研究計畫應可規劃試辦路口做實施評估。	同意辦理
3. 駕駛進入路口時的行為是比較混亂的，本案的車流特性，車速的數據採用哪一段資料，例如：燈號穩定的時段或燈號變換的時段。	感謝委員的建議，車流特性係以直行車平均車速繪製，所採用的車輛是整個影片的車流資料，並無針對特殊時段估算。以上說明將補充於期末報告書。	同意辦理
4. 衝突與事故具有相關性的論述，對本案是極其重要的，這部分須要再加強說明。	感謝委員的建議，已於報告書第 2.4.5 節補充說明交通衝突數與事故數之關係。	同意辦理
5. 車寬跟軌跡的關係，對內輪差的問題分析提供了重要的觀察資料，未來可以進行相關研究深	感謝委員的建議，內輪差的議題可考慮納入未來的研究主題方向。	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
入探討。		
6. 衝突點的數量與流量可能是有關係的，這部分可多加說明。	1. 同意衝突數與流量有關，如衝突分析的應用是一路口的改善前後分析，則應選取流量相當的相同時段進行比較。如衝突分析的目的是針對路口的事故風險程度以及交通黑點，則可以用總衝突數（總交通事故數）作為指標。 2. 已於期末報告書第 6.3 節補充說明。	同意辦理
7. 簡報上雲林路口的分析相當正確，該路口確實沒有什麼狀況需要修正。	感謝委員建議。	同意辦理
(六) 高雄市交通局 (書面意見)		
1. 建議於衝突分析中加入衝突熱區之車種分布，俾利研擬實務改善作為。	感謝委員建議，目前擬將篩選條件加入衝突熱區頁面，後續將可依需求篩選車種；另由於介面的部份因各使用者需求及習慣不同，建議可統一蒐集意見後，再進行規劃設計修改；如涉及新功能，則建議列入明年的工作項目。	同意辦理
2. P150 本市民族一路及十全一路路口路型較非正交，依本研究衝突分析是否會有較多衝突事件？就此種道路幾何條件非正交路口應朝向何種方向研擬改善措施？建議一併納入成果報告。	1. 依本案分析，高雄市三民區民族一路及十全一路路口的汽機車交通衝突事件確實是比較多，是本案探討 5 個案例之中最多衝突事件的路口。 2. 這個路口的幾何形態與本案其他路口不同的地方：屬於大型路口、南北向（民族一路方向）有快慢分隔、東西向（十全一路方向）非正交、車流量	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
	<p>較大，這些都有可能是導致衝突事件比較多的原因。</p> <p>3. 目前無法透過單一路口的觀察提出非正交路口的改善方向建議。但就本案的分析結果發現，非正交方向的移動距離較長，加上路面缺乏較明確之導引線，導致車流會亦不同的動線通過路口，特別是左轉車輛停等在路口會影響對向直行車流的動線。</p> <p>4. 民族一路北側之機車待轉區容量不足以及太靠近行人穿越線，導致有部分機車行駛於行穿線上，行穿線太長導致行人步行困難。初步改善方案建議為調整機車左轉待轉區配置、考慮設置行人庇護島。</p> <p>5. 詳細說明補充於期末報告書第 6.3 節。</p>	
<p>3. 有關交通衝突事件車種比較部分，建議各路口可納入車種流量，俾利計算特定車種風險性。</p>	<p>感謝委員建議，已補充於期末報告書第 6.3 節。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>4. 有關空拍與後續執行部分，考量各種改善手段皆有其限制，建議將違規車輛所生衝突事件分開討論，以供實務單位對症下藥。</p>	<p>1. 感謝委員建議，違規車輛與非違規車輛產生之衝突事件其導致肇事之轉換關係應有不同，但目前影像分析技術尚未能判斷車輛是否有違反交通規則。如需有影片中判斷車輛是否違規，透過軌跡資料原則上可行，但應先於軟體內建立合法駕駛之交通規則，如標線、轉</p>	<p>同意辦理</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>向、動線、速限、號誌燈號等資訊，需要使用者先自行輸入，可能對使用者造成負擔過大。</p> <p>2. 本期計畫已建立號誌燈號資訊，未來可先嘗試建立車輛是否有“未依燈號指示行駛”這一項違規項目，結合衝突分析結果進行探討。</p>	
<p>5. P116 請詳述各風險型態之定義(TTC 介於 1-5 之間實務意涵)，另請說明實務使用上建議如何使用這些指標。</p>	<p>TTC/PET 越低代表兩個於時空上越接近，發生事故之風險越高。文獻一般建議汽車車流之 TTC 門檻值約 2 秒至 3 秒，機車混合車流之合理門檻在文獻上尚未有相關研究，因此本案提供使用者可自由選取顯示不同等級之風險程度作為輸出結果，也可以用於敏感度分析。</p>	<p>同意辦理</p>
(七) 本所運安組 (書面意見)		
<p>1. 1.3 節請刪除，另第一章應加入「1.3 研究流程」與「1.4 研究內容」。</p>	<p>遵照辦理，將補充於期末報告書。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>2. 表 5.4-1 看來聯結車頭在臺南市與雲林縣路口的偵測錯誤率很高，是何原因該如何解決。</p>	<p>已修正四輪車輛偵測參數(最小車輛尺寸)並增加實驗數據。從新的實驗結果來看，在分類錯誤、失偵、誤偵三種錯誤已獲得一定改善。然而由於聯結車頭本身不僅在外觀上容易被視為較小的貨車(單一色塊)，聯結車身與大型貨車甚或巴士亦有相近之處。加上訓練樣本數量上的相對弱勢與及一般道路上的極低出現率，因此實務上仍不可避免地會較一般貨車、巴士更容易形成誤偵。一般來說，增加訓練</p>	<p>同意辦理</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>樣本是提升偵測率的最務實做法，但聯結車因為一般道路上出現率極低，增加過多訓練樣本也可能造成其在分類上產生過大優勢，壓制了巴士等一般車輛，反而造成巴士、甚至貨車容易被誤認為聯結車頭/身的現象。舉例來說，假設四輪車輛中只有 1% 會被誤偵/誤分類為聯結車，對於聯結車極少行經的道路——比如每一千部四輪車輛中有一部是聯結車——那麼誤偵聯結車輛數都會是實際聯結車輛數的 10 倍。因此實務上較建議依據路段決定分類車種，對於聯結車等特殊車輛少有行經之路段僅分類偵測小轎車、貨車、巴士；抑或是透過人工複檢一定體積以上車輛類別，減少誤分類與誤偵情況。</p>	
<p>3. 各車種的失真率與誤分類率請列表說明，5.4.2 追蹤偵測結果似乎太簡略。請參考前期計畫報告書寫法加強論述。</p>	<p>已添加查準率(precision)與查全率(recall)兩項數據來分別代表誤偵程度(數值越高誤偵程度越低)與失偵程度(數值越高失偵程度越低)，另外亦已針對較大宗之分類錯誤情況進行個別說明。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>4. 6.2 節 A.事件資訊(9)衝突型態中提及，交通衝突型態依據兩車轉向出入口及角度區分，請說明各交通衝突型態之區分門檻。</p>	<p>1. 衝突形態是依照圖 6.2-3 之兩車轉向出入口方向進行分類，當中 1.3 同向直行減速衝突與 1.4 同向變換車道衝突，兩類衝突之車輛進出口方向相同，進一步採用兩車之衝突角度區分。參考 SSAM 之默認設定，衝突角度在 0 至 30 度之間為同向直行減速衝突(rear-end)，衝</p>	<p>同意辦理</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>突角度大於 30 度同向變換車道衝突(lane-changing)。</p> <p>2. 已補充說明於期末報告書第 6.2 節。</p>	
5. 各節與各小節應有第一段文字，簡要說明本節(小節)要說明的內容。	遵照辦理。	同意辦理
6. 6.4 節各路口的分析結果請置換為 15 分鐘分析結果，並進行衝突問題評析，應該有比較有豐富的評析結果。	遵照辦理，已補充於期末報告書第 6.3 節。	同意辦理
7. 108 年 9 月 18 日的專家座談會中已提出諸多建議，請團隊針對可採納之部分納入結論與建議中作為後續可持續探討或發展的課題。	<p>期末報告書之建議第 7.2.3 節，已參考專家座談會的建議，並考慮可行性及適切度，依(1)資料蒐集、(2)安全分析與軟體功能，兩個方面整理而成（專家座談會紀錄共 2.5 頁、整合為建議約 1.2 頁）。</p>	同意辦理
8. 7.2.2 中對影像處理技術的建議中，應參考專家座談會中所蒐集的意見，對人車的軌跡追蹤應納入車流理論對軌跡特性的描述，以提升追蹤可靠度。	<p>目前採用之 SORT 方法本身包含了以線性運動為假設之卡爾曼濾波器(Kalman filter)對移動物件位置進行預測，該濾波器早已長期應用在飛機、飛彈、太空船、雷達等導航及控制工作。</p>	同意辦理
9. 本期分析軟體不見車流計數與車速顯示的功能？	<p>原車流特性頁面已有車速及數量分布圖，目前已新增 OD 表統計進出口車流數量等資訊，提供使用者足夠資訊運用。</p>	同意辦理
10. 衝突分析軟體中，衝突事件表頁面的分析結果匯出資料中有許多欄位，各欄位是否應予說明。	<p>衝突事件表匯出使用者可能用到的各項資料，並歸類為(1)事件資訊(共 9 項)、(2)車輛資訊(共 12 項)，各資料之定義已經在期末報告書第 6.2 節說明。</p>	同意辦理
11. 衝突分析軟體中，衝突	原則上可達成，但由於介面的部份	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
事件表頁面的衝突型態顯示、車輛類別顯示、車流方向顯示等篩選條件，是否可移至衝突熱點圖頁面，供圖形展示時篩選。	因各使用者需求及習慣不同，建議可統一蒐集意見後，再進行規劃設計修改；如涉及新功能，則建議列入明年的工作項目。	
12. 衝突分析軟體請協助布建於本所電腦中。	遵照辦理。	同意辦理
(八) 主席		
1. 準確率、查準率、查全率、失真率、誤分類率等之比率請以附表方式，採分子/分母以定義說明，如有英文請一併加註。	遵照辦理，將補充於期末報告書。	同意辦理
2. 以 frame 為單位計算 TTC、PET 沒甚麼問題，但就後面產出的資料，表達部分可再多闡述。	軌跡檔紀錄以每 0.1 秒 (10Hz) 的頻率紀錄車輛的移動位置，兩台車移動軌跡如產生交通衝突，則紀錄衝突過程中的 TTC、PET 指標，因此一件衝突事件只有一次的紀錄。計算邏輯及定義可參考圖 2.4-8 之時空軌跡圖。	同意辦理
3. 關於本案的研究價值，無人機飛行的成本、軟體分析的耗時，最後能得到的成效，團隊可多加思考本案的成果效益。	1. 本案的研究價值在於將部份肇事診斷的作業自動化，無人機拍攝及軟體分析可交由飛手及軟體操作人員執行，這些工作都不需要交通安全的專業知識，因此可大規模執行並迅速推動。假設作業流程標準化後一天能拍攝 2-4 個路口，一星期能完成 10-20 個路口，一個月就能為整個城市的易肇事路口建立基本的資料庫，提供交通事故風險的初步判斷。這個資料庫能協助交通安全專業人	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
	<p>士在不需達到現場就能進行分析，加速推動安全改善的作業流程。</p> <p>2. 另外，亦可預期在未來因科技進步，飛行成本、影像分析的時間成本等都會逐漸降低。</p>	
<p>4. 從簡報的案例分析，用傳統分析方法來做肇事率改善，與本案用軟體衝突分析的方法，未來對交通改善有何幫助。在傳統改善的六大步驟中，有哪些是本案可以給予的幫助，這些技術幫助與傳統又有哪此差異，團隊可再多思考。</p>	<p>1. 感謝主席建議。易肇事地點改善程序共包括六大步驟：1.現場環境初析、2.肇事診斷、3.初步改善方案、4.現場會勘、5.確立改善方案、6.實施與評估，過程當中需要彙整過去的事故資料，找出肇事型態並研判改善方式，實施後需要再等待並蒐集半年至三年的資料才能評估改善方案的成效。</p> <p>2. 本案之軟體分析，能協助 2.肇事診斷、3.初步改善方案，這些工作需要耗費人力以及專業人士的判斷，軟體能自動化的分析衝突事件及熱區圖，找出頻率及嚴重程度較高的衝突類型，協助交通安全專家進行肇事診斷。必須說明本案之方法的價值是將交通分析自動化，交由電腦軟體找出交通問題，省卻分析人員反覆觀看影片紀錄交通衝突的工作，並不是由影像中萃取出人工判斷無法找出的衝突事件。</p> <p>3. 另外，也適合用於 6.實施與評估，透過改善前、改善後的衝突分析比較，能立刻評估出改</p>	<p>同意辦理</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	善方案的成效，以及是否有使用者行為發生改變，導致事故風險轉移至其他型態的效應。	
(九) 主席結論		
1. 各位委員提供許多寶貴的意見，請訊力科技團隊針對意見做完整的回應，並於報告書上做必要的調整。	遵照辦理。	同意辦理
2. 未來建議，除了無人機與影像處理外。對於交通工程、車流紓解效率或交通安全改善有很多想像空間，可再多加著墨並做強化。	遵照辦理，已於期末報告書第7.2.3節進行補充說明。	同意辦理
3. 政府所蒐集的資料原則上是開放的。無人機拍攝的路口影像與號誌影像後續將依開放申請下載；數據分析的部分會再花點時間思考該如何處理；程式碼的部分對車輛辨識及軌跡追蹤以及衝突分析技術，是本研究的心血，未來可探討申請專利。	遵照辦理。	同意辦理
4. 本案期末審查原則通過。	謝謝主席。	同意辦理

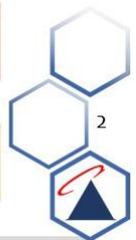
附錄 D. 期末報告審查簡報



期末審查 – 簡報大綱

- 1 計畫重點與期程
- 2 無人機場域規劃與資料收集
- 3 影像處理技術
- 4 交通衝突分析軟體
- 5 研究成果與未來建議

CONFIDENTIAL





計畫重點

1. 文獻探討整理及無人機資料蒐集

- 彙整相關參考資料及文獻共88篇，進行文獻探討整理。
- 彙整最新國內外無人機之應用案例、法規及環境限制等特性比較。

2. 空拍影像資料收集

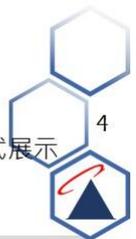
- 評估全台灣27個路段(口)，於新北市、桃園市、新竹縣、雲林縣、台南市、高雄市遴選十處路口進行拍攝。
- 採1080P/4K, 30fps錄製，影片數量: 166段，時間總長度: 15:48:39，檔案大小: 381 GB

3. 影像處理技術

- 改善前期研究中，大型車(聯結車)的取樣樣本不足，機車的追蹤容易受到地面標線的干擾，以及行人與自行車的辨識受限於影像畫素與特徵不足等問題。
- 精進車輛辨識與追蹤工作，以提升精確度。

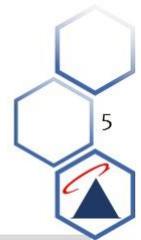
4. 完整分析軟體

- 擴大規劃分析軟體的功能與架構。
- 各功能所展示的參數、輸出指標、與分析結果等，除數值分析結果外，需能夠以圖形化方式展示



CONFIDENTIAL

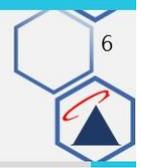
計畫期程



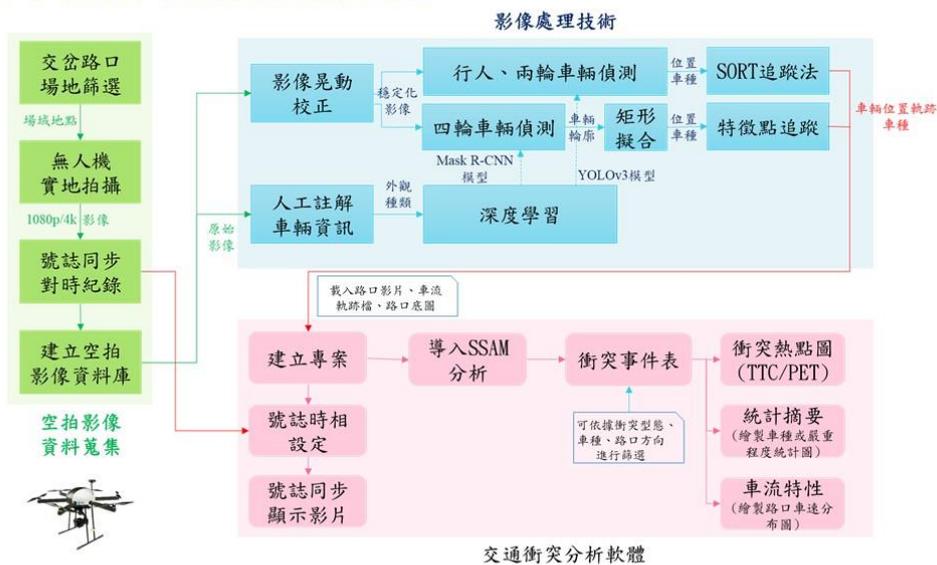
CONFIDENTIAL



1.無人機場域規劃與資料收集



十字路口車流分析流程圖



CONFIDENTIAL

無人機管理規範

1. 無人機管理注意事項

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。
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。

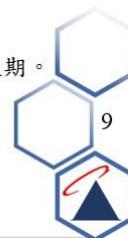
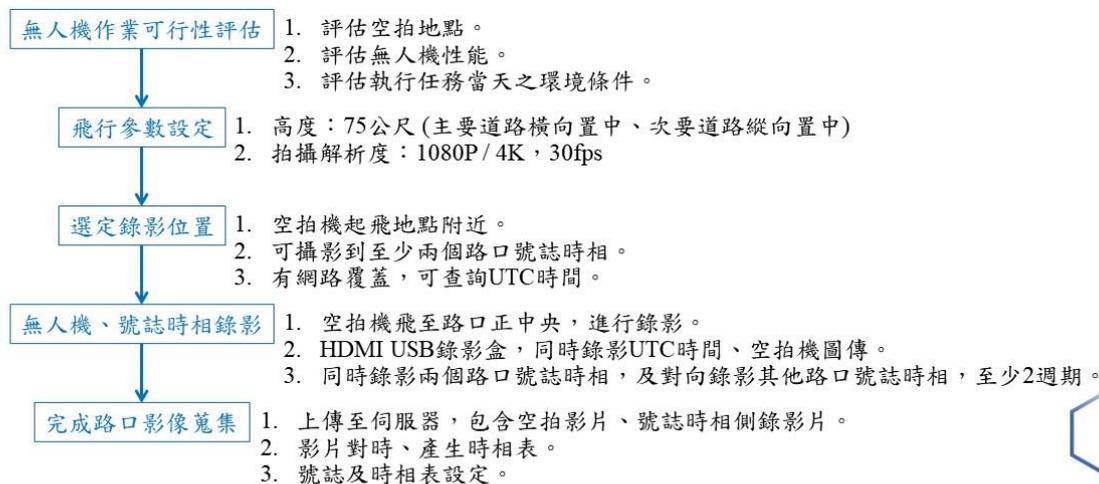
2. 限高場域申請

- 政府機關(構)、學校、法人從事無人機活動，需於活動前15日提出申請
- 申請書注意事項
 - 1) 空域各點框線編號依照順序，圖點要很準確。
 - 2) 經緯度秒數取整數。
 - 3) 建議北緯編號1和編號4相同、編號2和編號3相同。
 - 4) 建議東經編號1和編號2相同、編號3和編號4相同。



CONFIDENTIAL

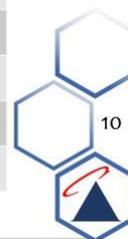
選址及無人機攝影作業流程



CONFIDENTIAL

無人機現場作業重點

評估空拍地點	查詢是否位於禁限航區。若於限航區，申請方式請見3.3限高場域申請。
	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x5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。
評估無人機性能	抗風能力及進場速度，至少蒲福風級>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。
評估環境條件	飛行高度至少75公尺。
	影像解析度，至少2.7k~4k。
	攝影機三軸穩像，無曲面效果且攝影角度大。
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。

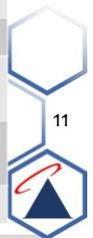


CONFIDENTIAL

無人機適用機型比較

機型	長效無人機	繫留多旋翼無人機	市售無人機
示意圖			
飛行時間	45~60分鐘。	2小時以上，由地面電源遞送至無人機。	約20~25分鐘。
軸距	75公分，體積小可背包攜帶，收折後約A4紙大。	100公分。	35公分，體積小可背包攜帶。
重量	約3.1公斤。	約6.5公斤。	約1.4公斤。
單價	約15萬元。	約90萬元。	約5萬元。
解析度	2.7K線性30fps。	1080p 30fps。	4K 30fps。
最大風速	8 m/s	8 m/s	10 m/s
優點	收折體積小且重量輕；飛行時間較長。	電源透過高拉力電源線由地面源源不絕的遞送至無人機。	機身輕巧，具備快速起降之特性空拍影片不需後製。
缺點	攝影機非一體成型，易受陣風影響，影像品質較不穩定。	起飛時電源線會橫跨路口，容易造成行車安全疑慮。	飛行時間較短。
適用場域	風速小於5 m/s區域	適合空曠或非都會區域。	市區。

CONFIDENTIAL



號誌時相與影片對時作業流程(1/3)



圖傳HDMI

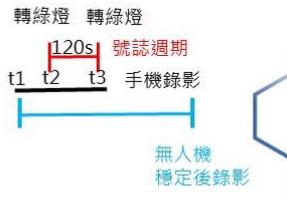
「手機」或「HDMI錄影盒」即時錄影，包括：UTC時間+圖傳畫面+號誌時相



路口號誌時相變化

燈號切換時間

- 開啟UTC時間。
- 無人機起飛。
- 手機錄影「UTC時間+空拍機圖傳+號誌時相二週期+無人機穩定後錄影」。
- 記錄無人機錄影後UTC時間。
- 記錄燈號切換時UTC時間。
- 手機錄影結束。
- 空拍影片不需後製。



轉綠燈 轉綠燈

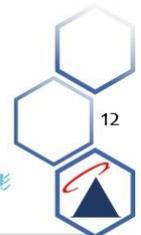
120s 號誌週期

t1 t2 t3 手機錄影

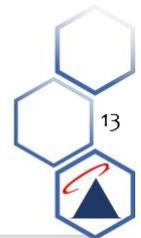
無人機穩定後錄影

UTC: Coordinated Universal Time

CONFIDENTIAL



號誌時相與影片對時作業流程(2/3)



CONFIDENTIAL

號誌時相與影片對時作業流程(3/3) - 影片對時、產生時相表

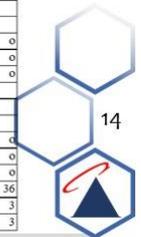
1. 驗證verify · 台南市永康區中華路 & 勝華街
 - 路口a紅燈持續59秒 - 路口全紅燈2秒 = 路口b,d綠燈、黃燈、全紅燈持續時間 + 路口c綠燈、黃燈、全紅燈持續時間。
 - 路口b,d紅燈持續101秒 - 路口全紅燈3秒 = 路口c綠燈、黃燈、全紅燈持續時間。
2. 符號說明
 - Video D第四組影片, road b,d路口編號
 - green綠燈, yellow黃燈, red紅燈, all red路口全紅燈
 - P4P recorder無人機錄影時間, d直走, r右轉, l左轉

```

14 <video A-road b,d
15 yellow start 0:35 3 sec
16 red start 0:39 101-3 sec
17
18 green start 2:19 36 sec
19 yellow start 2:55 3 sec
20 red start 2:58 101-3 sec
21
22 green start 4:39 36 sec
23 yellow start 5:15 3 sec
24 red start 5:18 -3 sec
25
26
27 <verify
28 1.road a (red 59-2) = road b,d (green 36 + yellow 3 + all red 3) + road c (green 10 + yellow 3 + all red 2)
29 2.road b,d (red 101-3) = road c (green 83+10 + yellow 3 + all red 2)
30 3.road c (red 44-2) = road b,d (green 36 + yellow 3 + all red 3)
31
32
33 <video A-road a
34 P4P recorder 17:08:27.975
35
36 green start 17:09:00.029 78 sec
37 yellow start 17:10:18.089 3 sec
38 red start 17:10:21.089 59-2 sec
39
40 green start 17:11:20.190 78 sec
41 yellow start 17:12:37.957 3 sec
42 red start 17:12:40.966 59-2 sec
43 green start 17:13:40.053
  
```



修正版	進	出	轉向	時相1,2	時相3	時相4
A	B	左		0		
A	C	直		0		
A	D	右		0		
B	C	左			0	0
B	D	直			0	0
B	A	右				0
C	D	左			0	0
C	A	直		0	0	0
C	B	右		0	0	0
D	A	左				0
D	B	直				0
D	C	右				0
綠燈				78	10	36
黃燈				3	3	3
紅燈				2	2	3



CONFIDENTIAL

空拍資料收集(1/4)

1. 本計畫依108年路口改善計畫，評估全台灣27個路段(口)，於新北市、桃園市、新竹縣、雲林縣、台南市、高雄市遴選十處路口進行拍攝。
2. 採1080P/4K, 30fps錄製
 - 影片數量: 166段 (號誌48段)
 - 時間總長度: 15:48:39 (號誌05:40:30)
 - 檔案大小: 381 GB (號誌20.1 GB)



台南市永康區中華路 & 勝華街，高度75~80m



高雄市三民區民族一路 & 十全一路，高度90~110m



高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路，高度75m



CONFIDENTIAL

空拍資料收集(2/4) - 驗證資料場地，系統整測資料整理

路口名稱	影片長度	側拍影像	人工時相變化表	路口時制表(官方)	軌跡檔	路口底圖	幾向路口	可時相同步顯示
新竹縣竹北市自強北路 & 勝利七八街	15~19分鐘 6架次	Y (2號誌)	Y (含影片對時)	N	Y	Y	雙四向路口	Y (當成一般四向路口即可顯示)
雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路	15~19分鐘 3架次/ 改善後15~19分鐘 3架次	Y (1->5號誌)	Y (人工對秒、影片對時)	N	Y	Y	五向路口	Y (當成一般四向路口即可顯示)
台南市永康區中華路 & 勝華街	15~19分鐘 3架次	Y (3號誌)	Y (含影片對時)	Y	Y	Y	三向路口	Y (當成一般四向路口即可顯示)
高雄市三民區民族一路 & 十全一路	15~19分鐘 3架次	Y (4號誌)	Y (含影片對時)	N	Y	Y	四向路口	Y
高雄市鼓山區裕誠路 & 博愛二路	15~19分鐘 3架次	Y (4號誌)	Y (含影片對時)	N	Y	Y	四向路口	Y

側拍影像影片格式：A~F_路口名稱_號誌_00~03.mp4 / .mov / .mts



CONFIDENTIAL

空拍資料收集(3/4)- 無人機起降照片

長效無人機



繫留多旋翼無人機



市售無人機



CONFIDENTIAL



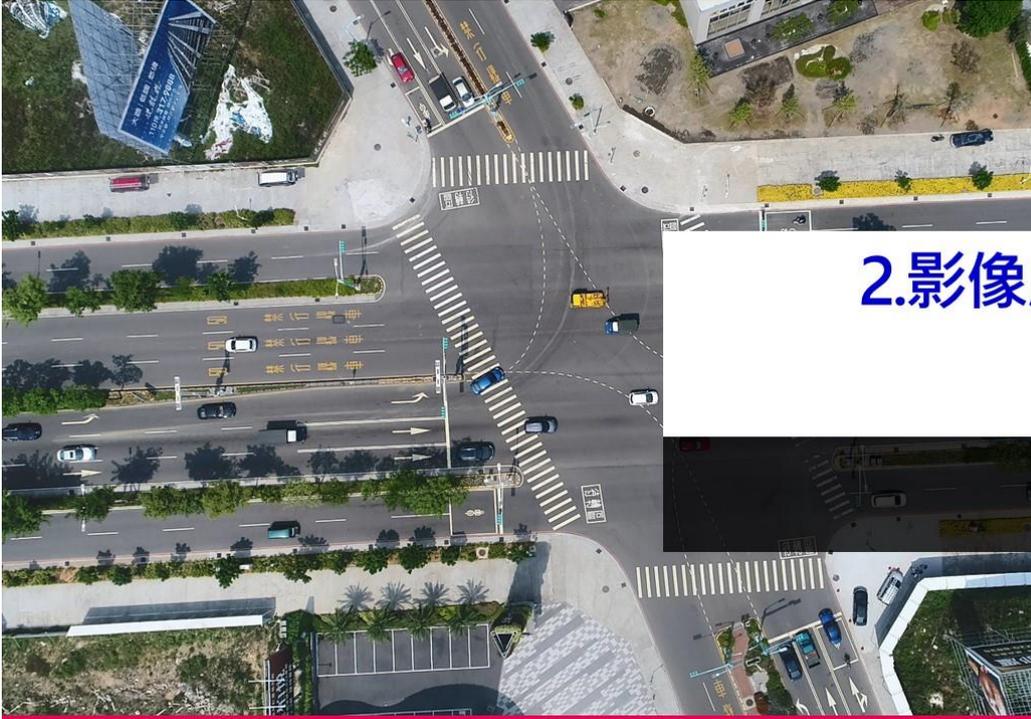
空拍資料收集(4/4)- 側拍執勤畫面



18

CONFIDENTIAL





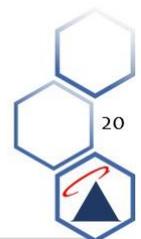
2.影像處理技術



前期主要執行結果

1. 完成空拍影片所需之前處理功能

- 影片穩定化，維持平面座標一致性
- 裁切出關注區域(Region of Interest, ROI)，去除多餘影像資訊
以路口為中心，4K影片裁切2048x2048後縮小至1024x1024；HD影片裁切成1024x1024
- 重新取樣幀率(Frame Per Second, FPS)，加速處理過程
每6張畫面取樣1張保留，從原始29.970fps重新取樣為4.995fps



CONFIDENTIAL

前期主要執行結果

2. 產生四輪車輛的行經區域軌跡

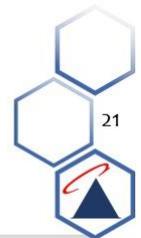
- 基於Mask RCNN偵測四輪車輛位置
- 矩形擬合(Rectangle Fitting)四輪車輛範圍，並以車輛4個角落註解車輛位置
- 透過特徵點比對與矩陣轉換追蹤車輛位置



Mask RCNN偵測結果



車輛追蹤之前(紅框)後(黃框)位置



21

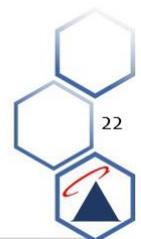
CONFIDENTIAL

本期主要目標

1. 偵測行人、自行車、機車位置
2. 追蹤行人、自行車、機車以產生連續軌跡資訊
3. 強化前期訓練結果



本期行人與車輛軌跡偵測流程圖



22

CONFIDENTIAL

本期主要目標

1. 偵測行人、自行車、機車位置

- 透過YOLOv3 (You Only Look Once)架構偵測行人、自行車、機車等小型物件
- 行人約10x10、自行車約15x25、機車約15x35，ROI: 1024x1024
- 為了方便，標註3類小物件時僅指定中心位置，並以3種特定尺寸之正方形區域代表物體範圍



23

CONFIDENTIAL

本期主要目標

2. 追蹤行人、自行車、機車以產生連續軌跡資訊

- 採用SORT(Simple Online and Realtime Tracking)追蹤演算法
- 基於卡爾曼濾波器(Kalman filter)與線性運動假設預測
- 對於無遮蔽情況下之追蹤有著極好效果



24

CONFIDENTIAL

本期主要目標

3. 強化前期訓練結果

- 針對前期偵測效果較差的貨車、巴士、聯結車增加訓練資料：
包含25835部小轎車、2896部貨車、189部公車、303部聯結車頭與306部聯結車身。
另有5014位行人、1120輛自行車、18076部機車。
- 針對聯結車進行偵測，將聯結車分為車頭與後方連結的獨立車體，
同一部聯結車之車頭與獨立車體各自擁有獨立軌跡。



CONFIDENTIAL

實驗資料

- 路口A: 台南市永康區中華路與勝華街交會路口
路口B: 雲林縣斗六市大學路三段與中山路交會路口
路口C: 高雄市鼓山區裕誠路與博愛二路交會路口
路口D: 新竹縣竹北市自強北路與勝利七八街交會路口

各路口測試影片均為長度1000幀之連續影片，
幀率9.99幀/秒、解析度1024×1024，畫面內容如下：

行經各路口之行人與各類車輛數：

路口代號	行人與兩輪車輛			四輪車輛				
	行人	自行車	機車	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身
路口A	0	3	114	52	9	0	0	0
路口B	2	9	81	59	3	0	2	2
路口C	27	5	161	65	2	2	0	0
路口D	0	0	61	76	2	0	1	0



CONFIDENTIAL

四輪車輛偵測追蹤結果

1. 右方為各路口影片中各類車輛之偵測追蹤次數情況，以混淆矩陣方式陳列，包含對角線白色區塊的正確次數、綠色區塊的誤分類次數、誤偵測次數與失偵次數。

2. 下方為透過右表換算出之整體查準率(Precision)與查全率(Recall)數據。貨車查全率偏低主要來自於少數載人廂型車分類為貨車；失偵則主要發生於聯結車。

	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身
Precision	99.9%	91.8%	100%	99.1%	92.3%
Recall	99.1%	99.4%	100%	96.0%	90.6%

實際車輛	偵測追蹤結果					
	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
小轎車	1509	10	0	0	0	0
貨車	0	139	0	4	0	0
巴士	0	0	0	0	0	0
聯結車頭	0	0	0	0	0	0
聯結車身	0	0	0	0	0	0
非四輪車	0	0	0	0	0	-

實際車輛	偵測追蹤結果					
	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
小轎車	4024	47	0	0	0	97
貨車	0	102	0	0	0	0
巴士	0	0	0	0	0	0
聯結車頭	0	0	0	67	4	19
聯結車身	0	0	0	1	48	4
非四輪車	0	0	0	0	0	-

實際車輛	偵測追蹤結果					
	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
小轎車	3571	0	0	0	0	0
貨車	0	267	0	0	0	0
巴士	0	0	87	0	0	0
聯結車頭	0	0	0	0	0	0
聯結車身	0	0	0	0	0	0
非四輪車	6	0	0	0	0	-

實際車輛	偵測追蹤結果					
	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身	未認出
小轎車	7360	0	0	0	0	0
貨車	0	134	0	0	0	0
巴士	0	0	0	0	0	0
聯結車頭	0	0	0	485	0	0
聯結車身	0	0	0	0	0	0
非四輪車	12	0	0	0	0	-

CONFIDENTIAL

行人、兩輪車輛偵測追蹤結果

1. 右方為各路口影片中各類行人、車輛之偵測追蹤次數情況，以混淆矩陣方式陳列，包含對角線白色區塊的正確次數、橘色區塊的誤分類次數、誤偵測次數與失偵次數。

2. 下方為右表換算出之整體查準率(Precision)與查全率(Recall)數據。行人查全率約80.9%，原因來自其近20%之失偵率；自行車查全率約55.9%，起因於外型與機車相似，有高達28.5%被誤分類為機車、4%被誤分類為行人、以及11.6%為失偵。

	行人	自行車	機車
Precision	98.6%	95.1%	97.9%
Recall	80.9%	55.9%	93.5%

實際人車	偵測追蹤結果			
	行人	自行車	機車	未認出
行人	0	0	0	0
自行車	0	0	173	117
機車	19	0	5917	519
非小物件	39	0	13	-

實際人車	偵測追蹤結果			
	行人	自行車	機車	未認出
行人	11404	42	0	2829
自行車	112	1311	0	178
機車	6	0	17437	1446
非小物件	0	0	0	-

CONFIDENTIAL

影像處理技術成果展示



29

CONFIDENTIAL

小結

1. 本計畫在四輪車輛與小物件偵測上分別採用了不同的偵測與追蹤方法。前者主要透過Mask R-CNN偵測出車輛範圍，再以特徵點位移取得車輛在前後張畫面位置的轉換矩陣以進行區域追蹤；後者主要基於YOLOv3架構偵測小物件中心點所成正方形範圍，並以SORT追蹤補償出完整軌跡。
2. 在四輪車輛偵測上，訓練樣本相較前期之增加明顯提高了偵測準確度。
3. 在行人、自行車、機車之偵測追蹤上，誤偵普遍低於5%且機車與行人可分別偵測出93.5%與80.9%的正確軌跡資訊。
4. 自行車雖然有28.5%比例被誤認為機車，但由於行人、自行車、機車之行駛速率皆有明顯落差，應可透過計算移動中之平均速率來有效校正分類結果，將自行車查全率由55.9%提升至80%以上水準。



30

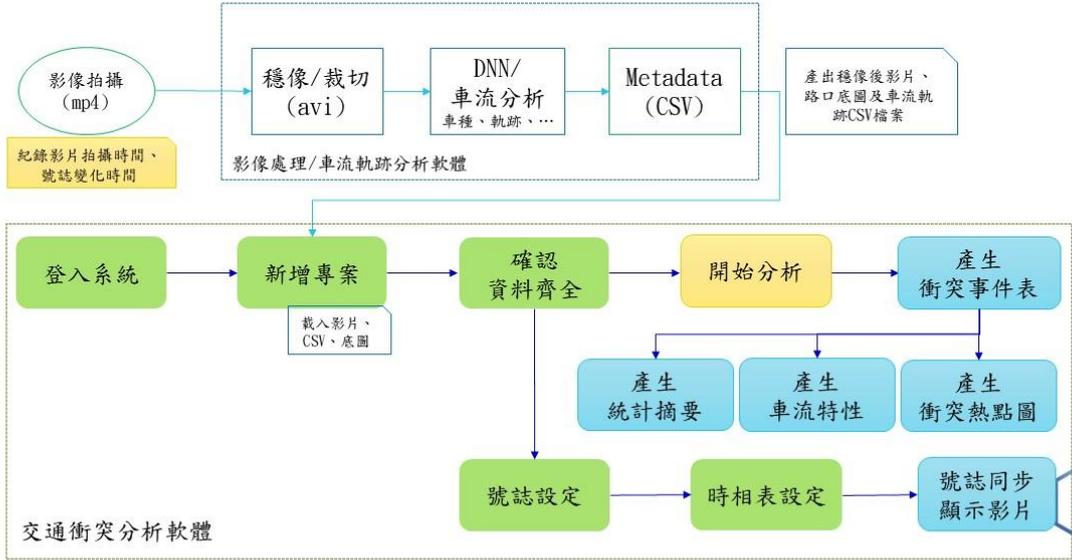
CONFIDENTIAL



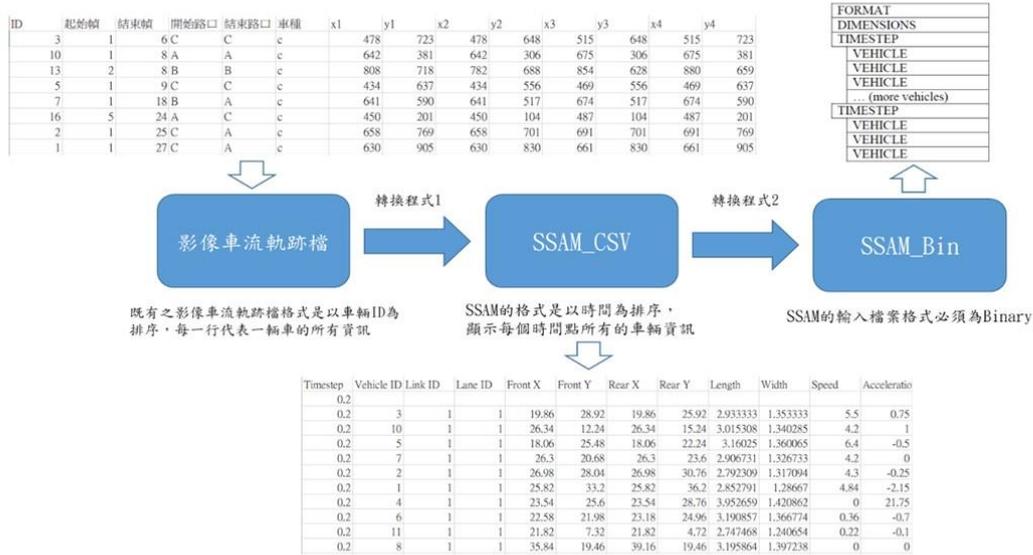
3.交通衝突分析軟體



交通衝突分析軟體系統架構及功能



影像車流軌跡轉換至SSAM輸入格式



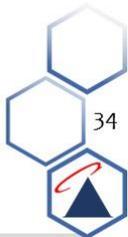
CONFIDENTIAL

衝突計算方式

1. 以TTC、PET作為計算衝突事件的指標。
2. 整合Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)軟體進行衝突事件計算。
 - 輸出結果包括衝突事件發生的時間、衝突事件位置、碰撞時間(TTC)、後侵占時間(PET)、兩個最大車速、兩車速度差、衝突角度等資訊。
3. 本計畫加入交通衝突型態、車流轉向、車種種類等資訊，可供分析人員作進階的應用。

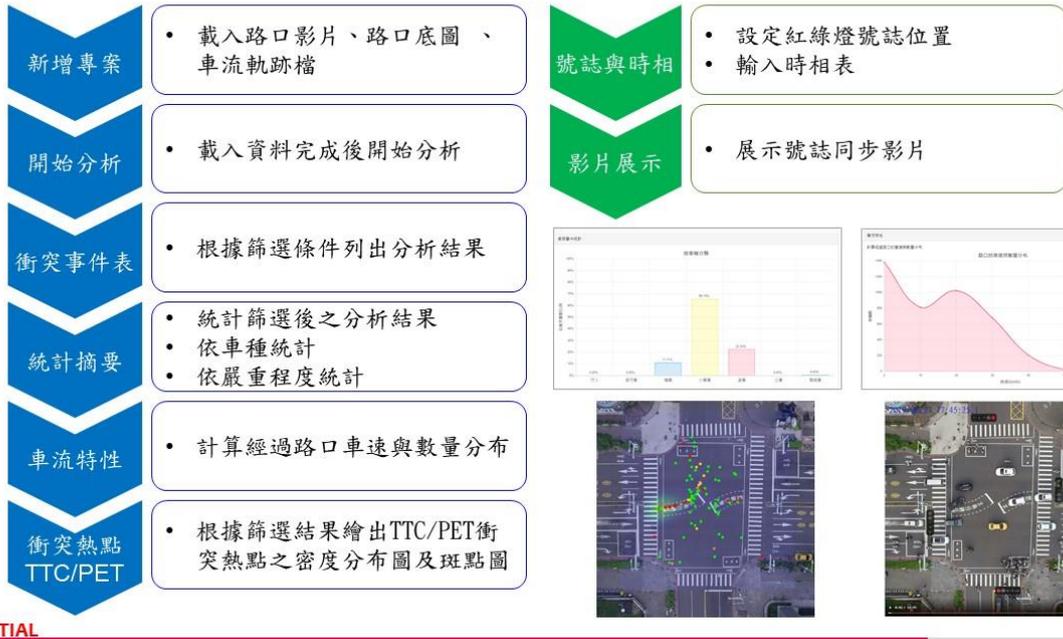


車種	代碼
行人	p
自行車	u
機車	m
小客車	c
貨車	t
巴士	b
聯結車	l



CONFIDENTIAL

軟體使用流程說明



CONFIDENTIAL

35

交通衝突分析軟體操作說明影片



CONFIDENTIAL

36

交通衝突分析技術原理

本研究以 SSAM 為計算核心，是否能反映國內的交通安全問題？

- 問題1：衝突分析技術是否能反映國內的車流特性？
- 問題2：SSAM 是國外開發的軟體，計算方式是否能反映國內交通情況，如混合車流、內輪差的問題？
- 問題3：本研究分析軟體是否有進行本土化？

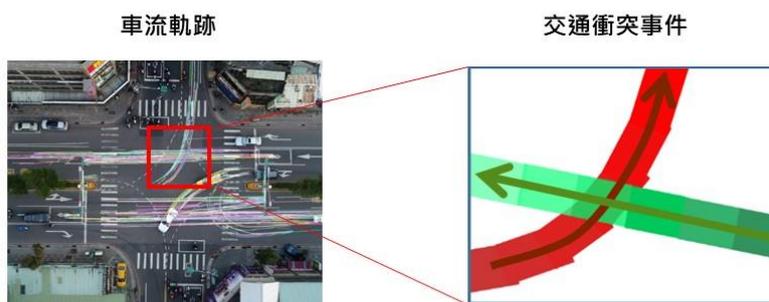


CONFIDENTIAL

交通衝突分析技術原理

交通衝突：

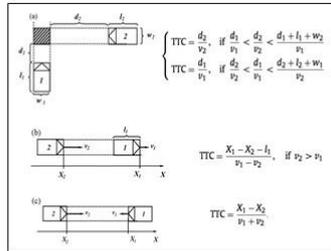
兩個(含)以上用路人在時間空間上接近彼此，若他們的動作保持不變會產生碰撞



CONFIDENTIAL

交通衝突分析技術原理

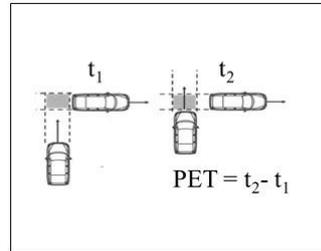
衝突事件的偵測方式：交通衝突指標



碰撞時間

Time to Collision (TTC)

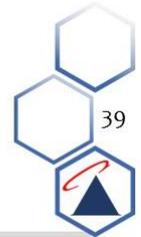
在某個瞬間兩車維持當前速度與行駛方向不變的情況下，兩車碰撞所需的時間



後侵占時間

Post Encroachment Time (PET)

兩車軌跡交會，車輛一方通過衝突區與另一方通過衝突區的時間差



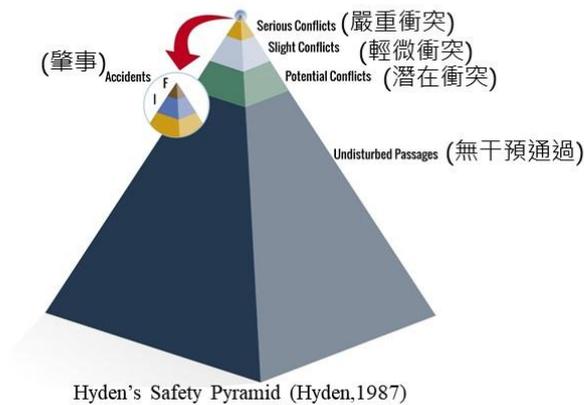
39

CONFIDENTIAL

交通衝突分析技術原理

問題1：交通衝突技術是否能反映國內的車流特性？

回應1：交通衝突技術的不受限於可種車流情況。



實測路口之交通衝突件數：

$$\lambda = \pi * c$$

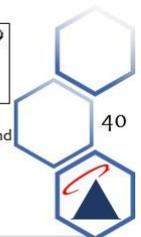
λ ：事件件數

c ：交通衝突件數

π ：事件件數與衝突件數的轉換關係

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

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



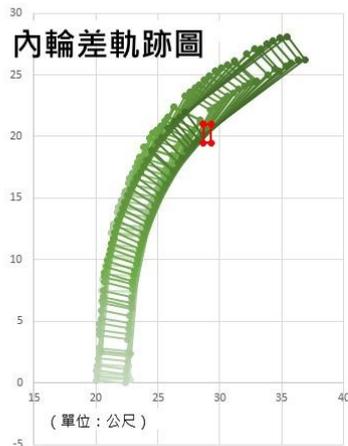
40

CONFIDENTIAL

衝突軟體運算特性－內輪差分析 (1/2)

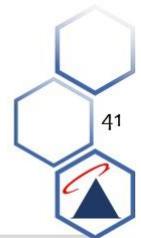
問題2：SSAM 是國外開發的軟體，計算方式是否能反映國內交通情況？

回應2：SSAM是以車流軌跡來進行交通衝突分析，偵測交通衝突事件；如影像辨識能成功產生車流軌跡，則可偵測衝突事件。



Q：影像辨識擷取的軌跡是否能反映內輪差問題？

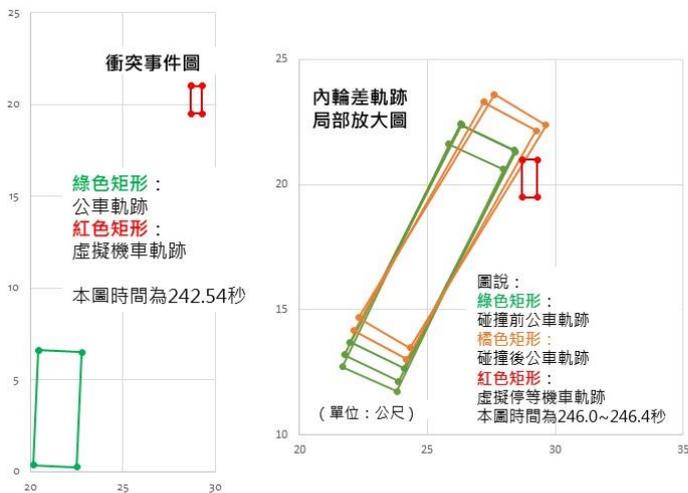
A：從影像辨識軌跡檔內選一右轉公車，繪製其四點軌跡圖，可以發現可顯現內輪差。



CONFIDENTIAL

衝突軟體運算特性－內輪差分析 (2/2)

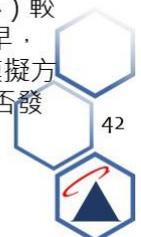
tMinTTC 發生時間(秒)	xMinPET X座標	yMinPET Y座標	TTC (秒)	PET (秒)	MaxS 最大車速(m/s)	DeltaS 相對車速(m/s)	ClockAngle 衝突角度	ConflictType 衝突型態	FirstVID	SecondVID
242.54	29	20.25	3.8	3.9	4.44	4.44	06:33	rear end	99999	396



Q：SSAM 是否能偵測內輪差所產生的衝突？

A：在輪差範圍內虛擬一台機車並製成軌跡檔，再運用SSAM進行衝突分析

- 測試結果顯示，SSAM能成功偵測到公車內輪差所導致的衝突事件，該衝突事件是移動公車的右側（非車頭）與靜止機車之軌跡發生重疊。
- 衝突事件的發生時間（ $t=242.54$ ）較軌跡重疊的時間（ $t=246.4$ ）為早，原因是SSAM的衝突計算是以模擬方式投射TTC時階後之車輛軌跡是否發生碰撞以判斷車輛衝突。



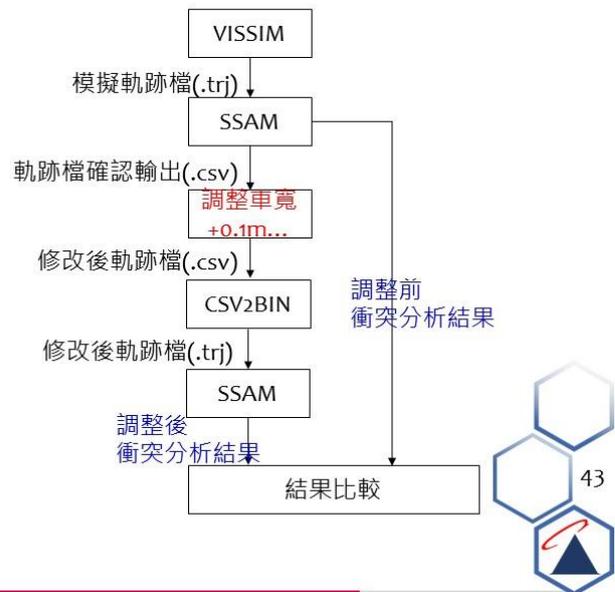
CONFIDENTIAL

衝突軟體運算特性－車輛大小之影響分析 (1/2)

Q：交通衝突分析軟體採用SSAM作為衝突事件指標的計算工具，會否對機車、行人等小物件分析效果較差？

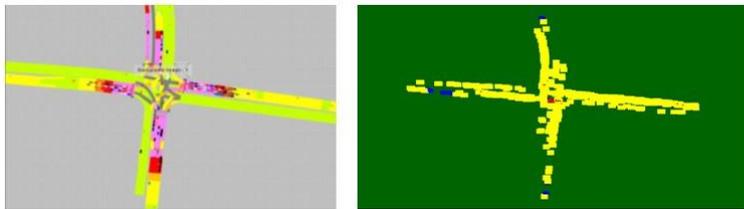
A：

1. SSAM 採用車輛軌跡檔中的矩形4點座標作為判斷交通衝突事件的計算
2. SSAM的計算無強調車輛種類，但物件的大小對衝突事件的偵測結果有影響
3. 為確認以上說明，以**虛擬軌跡進行測試**，調整車輛的車寬，看衝突數的分析結果是否有差異，藉此確認SSAM在估算衝突發生時碰撞點的計算方式，以及是否與車種有關。



CONFIDENTIAL

衝突軟體運算特性－車輛大小之影響分析 (2/2)



衝突類型	調整前 W=Width	調整車寬 W-0.1m	調整車寬 W+0.1m	調整車寬 W+0.2m
Lane-change	92	83	109	123
Rear-end	945	825	1260	2047
Crossing	17	17	18	20
Unclassified	0	0	0	0
Total	1054	925	1387	2190

調整方式

- 採用已校估的VISSIM模式，輸出軌跡檔並調整車寬W
- 車寬增加代表車輛體積變大，可預期衝突數較多

測試結果顯示

- 衝突數隨車寬增加而上升，隨車寬減少而降低
- 得以驗證SSAM是**以車輛邊框為衝突計算依據**

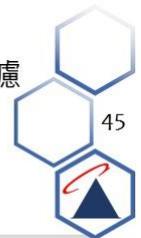
CONFIDENTIAL

交通衝突分析技術原理

問題₃：本研究分析軟體是否有進行本土化？

回應₃：本研究軟體與 SSAM 的新增輸出項目及功能如下：

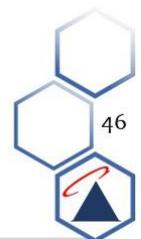
1. 新增輸出項目：車種、車輛進入路口方向、車輛離開路口方向
2. 新增衝突類型：考慮國內發生頻率較高的肇事型態，根據車流的進出口方向及角度，將衝突類型進行分類，並加入不同車種的分類功能，以利後續由衝突類型找出合適的對應改善方案
3. 新增介面輸出：衝突統計結果、衝突熱區圖
4. 使用者自定：衝突事件的衝突類型、車種、進出口方向的使用者自定過濾功能



45

CONFIDENTIAL

衝突類型 vs 肇事型態



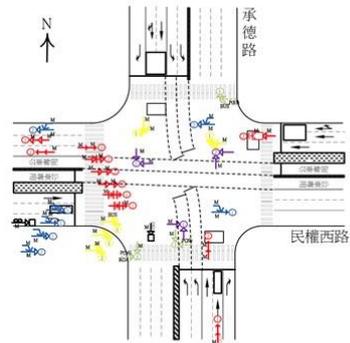
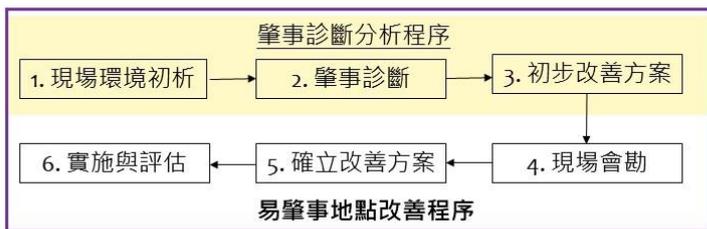
46

CONFIDENTIAL

交通安全改善分析方法

傳統事故分析法

- 易肇事路段改善計畫
- 易肇事路段改善分析技術
 - 道路交通事故調查報告表
 - 肇事診斷分析
 - 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



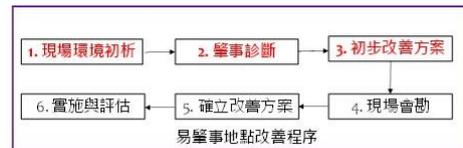
47

CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

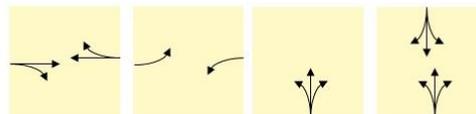
易肇事路段改善計畫

- 第35期初步篩選地點檢核



排序	地點	列入本期改善地點	不列入本期改善原因	備註
18	左營, 鼓山區博愛二路/裕誠路口		已於本局交通改善案完成補繪禁停紅線等標誌標線及號誌等交通工程改善，目前建議加強執法。	

號誌時相



飛行架次	拍攝時間	影片長度
A	2019/8/27 16:58	15:54 分鐘
B	2019/8/27 17:18	17:16 分鐘
C	2019/8/27 17:45	16:45 分鐘

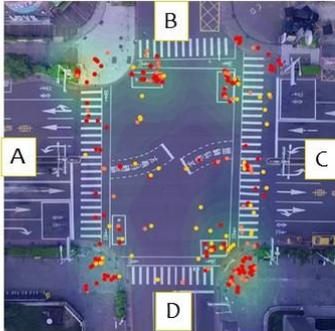


48

CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

- 衝突熱點圖



- 衝突事件表

衝突事件屬性

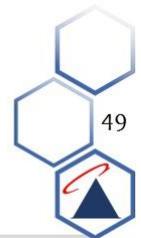
tMinTTC	發生時間
xMinPET	衝突點x座標
yMinPET	衝突點y座標
TTC	TTC 值
PET	PET 值
MaxS	最大車速
DeltaS	相對車速
ConflictAngle	衝突角度
ConflictType	衝突類型

車輛相關屬性

VID	車ID
Length	車長
Width	車寬
Heading	車角度
VMinTTC	衝突時車速
VehicleType	車種
In	進入路口方向
Out	離開路口方向

風險程度

- 瀕危風險
- 高風險
- 中風險
- 低風險



49

CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

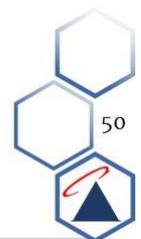
衝突熱點 TTC：不同架次結果具一致性



A 架次

B 架次

C 架次

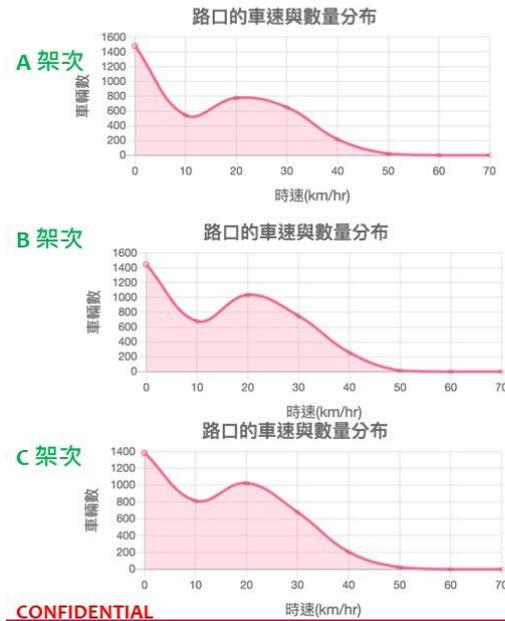


50

CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

車流特性 (速率、OD)：不同架次結果具一致性



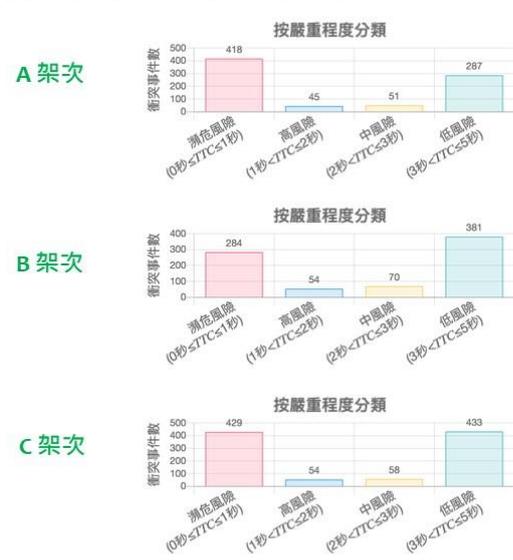
入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	58	18	479	299	14	2	3	873
B	47	6	322	72	7	0	4	458
C	44	4	511	251	19	0	5	834
D	70	7	330	88	7	0	3	505
總計	219	35	1642	710	47	2	15	2670

入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	33	0	617	369	18	3	4	1044
B	19	2	371	85	5	0	3	485
C	34	0	743	317	29	0	2	1125
D	37	0	347	99	9	0	0	492
總計	123	2	2078	870	61	3	9	3146

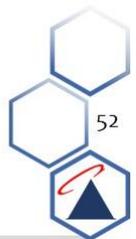
入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	29	1	634	311	8	0	6	989
B	28	1	428	85	4	1	2	549
C	35	0	774	306	9	1	5	1130
D	24	0	350	101	3	0	0	478
總計	116	2	2186	803	24	2	13	3146

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

統計摘要：不同架次結果具一致性



CONFIDENTIAL



案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

同向衝突 (衝突型態過濾→衝突熱點TTC→取消低風險)

- 衝突點集中四區域
- 三架次影片統整後進行分析

A架次 (N = 30)



B架次 (N = 77)



C架次 (N = 132)



53

CONFIDENTIAL

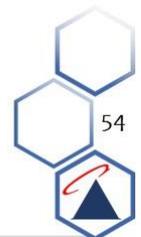
案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

同向衝突 (右上區域，N=65)

- * 主要衝突類型：
同向左轉42次、同向直行減速21次
- * 主要衝突車種：
二車均為機車
- * 主要衝突轉向：
車1 D→B 39次、C→A 39次
車2 D→A 39次、C→A 22次

同向直行減速衝突

- 主要成因為機車起步/進入路口時造成同向左轉
- 部分誤判為機車於待轉區停等時密度過高辨識震動造成 (連續出現多筆同一對機車衝突)
- 部分來自於機車進入待轉區產生



54

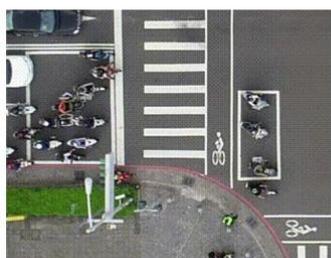
CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

同向衝突 (左下區域 , N=43)

- * 主要衝突類型：
同向直行減速27次
- * 主要衝突車種：
二車均為機車
- * 主要衝突轉向：
車1 A→C 39次
車2 A→C 39次

- 同向直行減速衝突
 - 主要成因為機車起步時造成



CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

同向衝突 (右下區域 , N=53)

- * 主要衝突類型：
同向直行減速26次、同向左轉12次
- * 主要衝突車種：
二車均為機車
- * 主要衝突轉向：
車1 D→B 34次
車2 D→B 41次

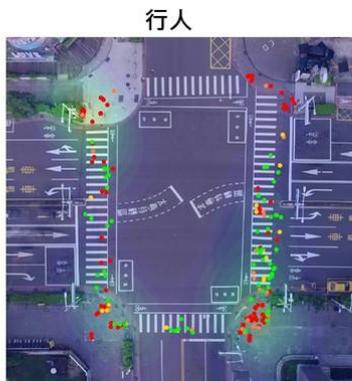
- 同向直行減速衝突
 - 主要成因為機車起步/進入路口時造成
- 同向左轉
 - 部分誤判為機車於待轉區停等時密度過高辨識震動造成 (連續出現多筆同一對機車衝突)
 - 部分來自於機車進入待轉區產生



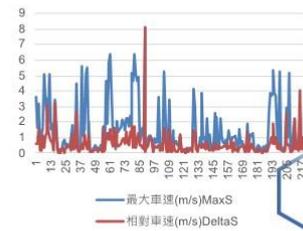
CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

其他衝突



- 機車之其他衝突大部分是兩機車同時左/右轉的車尾衝突，目前歸類於其他衝突。這些衝突普遍速度差較低，不構成嚴重的安全問題。



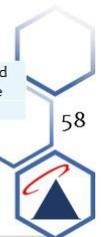
CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

個案例子1



發生時間(秒)	TTC(秒)	PET(秒)	最大車速(m/s)	相對車速(m/s)	衝突角度(度)	衝突類型	First VID	First VehType	First Entry	First Leave	Second VID	Second VehType	Second Entry	Second Leave
220.32	2	1.501	1.36	0.632101	-37.6094	同向右轉衝突	366	小客車	B	A	370	小客車	B	D



CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

個案例子2



發生時間(秒)	TTC(秒)	PET(秒)	最大車速(m/s)	相對車速(m/s)	衝突角度(度)	衝突類型	First VID	First VehType	First Entry	First Leave	Second VID	Second VehType	Second Entry	Second Leave
129.729	3.1	2.202	0.88	0.74551	50.2904	同向左轉衝突	196	貨車	C	D	238	小客車	C	A
134.734	0.000003	0	19.68	11.3727	-23.6165	同向左轉衝突	196	貨車	C	D	241	貨車	C	A

59

CONFIDENTIAL

案例1：高雄市鼓山區裕誠路&博愛二路

綜合討論：初步改善方案

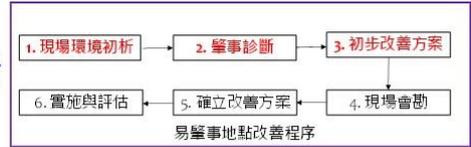
	衝突類型	原因	初步改善方案
1	同向直行減速衝突	主要為車輛進入 / 起步時造成	• 嚴重程度低，待觀察
2	同向左轉衝突	<ul style="list-style-type: none"> • 機車二段式左轉進入待轉區時造成 • 車輛由中外車道併入左轉待轉區 	<ul style="list-style-type: none"> • 待轉區容量不足，機車轉向動線不佳 • 已設置左轉專用道，現場勘確認是否標示不足
3	行人-汽車衝突 行人-機車衝突	【B方向】車輛右轉與行人穿越同時為綠燈，右轉車輛禮讓行人但又與對向左轉車流產生衝突	• 考慮調整行人綠燈之週期或提供行人專用時相
4	其他問題	駕駛行為不當，機車使用自行車穿越道、人行道、跨越紅線等	• 加強宣導及執法

CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

易肇事路段改善計畫

- 第26期初步篩選地點檢核



第 26 期臺灣地區易肇事路段改善計畫
改善地點基本資料表

縣市	高雄	區	三民	地點	三民區十全一路與民族一路口	執行單位	高雄市政府
現場圖示							
建議改善項目	1. 增加在側道與分岔路口及路段中內環式分隔島，由側道轉左 (車左邊) 2. 側道內側人行道，設置機車待轉區 (車左邊) 3. 行進民族路 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 4. 增加在側道 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 5. 增加在側道 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 6. 車道標線重新調整 (車道寬)						
建議改善項目	1. 增加在側道與分岔路口及路段中內環式分隔島，由側道轉左 (車左邊) 2. 側道內側人行道，設置機車待轉區 (車左邊) 3. 行進民族路 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 4. 增加在側道 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 5. 增加在側道 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 6. 車道標線重新調整 (車道寬)						
建議改善項目	1. 增加在側道與分岔路口及路段中內環式分隔島，由側道轉左 (車左邊) 2. 側道內側人行道，設置機車待轉區 (車左邊) 3. 行進民族路 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 4. 增加在側道 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 5. 增加在側道 100 巷與民族路口之側道分岔路口 (車左邊) 6. 車道標線重新調整 (車道寬)						

全年肇事紀錄(96.01-96.12之 A1 及 A2 類)

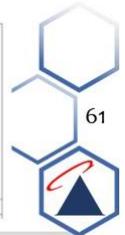
肇事次數：57 件/年；
 死亡人數：1 人/年；受傷人數：57 人/年
 主要肇事型態：側撞-38、路口交岔撞-12、追撞-3、同向撞撞-3。
 主要肇事原因：違反標誌管制或指揮-30、未依規定讓車-16、未保持行車安全距離-6。
 主要肇事時段：12-14 (14)、10-12 (9)、20-22 (7)、22-24 (7)。

主要改善措施

- 調整快慢分隔
- 增設號誌
- 車道標線重新調整



圖 5 高雄市-三民區十全一路與民族一路口

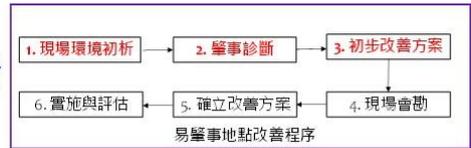


CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

易肇事路段改善計畫

- 第27期初步篩選地點檢核



第 27 期臺灣地區易肇事路段改善計畫
改善地點基本資料表

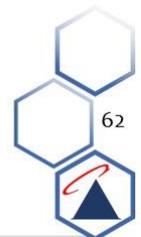
縣市	高雄	區	三民	地點	三民區十全一路與民族一路口	執行單位	高雄市政府
現場圖示							
建議改善項目	1. 取消民族路十全路口側道車道邊停車格 3 格，以擴大車道寬度，增設車道。 2. 重新調整號誌時制計畫，已大幅解決交織問題。						
建議改善項目	1. 取消民族路十全路口側道車道邊停車格 3 格，以擴大車道寬度，增設車道。 2. 重新調整號誌時制計畫，已大幅解決交織問題。						
建議改善項目	1. 取消民族路十全路口側道車道邊停車格 3 格，以擴大車道寬度，增設車道。 2. 重新調整號誌時制計畫，已大幅解決交織問題。						

全年肇事紀錄(97.01-97.12之 A1 及 A2 類)

肇事次數：40 件/年
 死亡人數：0 人/年；受傷人數：56 人/年
 主要肇事型態：車與車-側撞 (22)、車與車-路口交岔撞 (5)、車與車-同向撞撞 (3)、車與車-追撞 (3)、車與車-其他 (2)、汽(機)車本身路上翻車、摔倒 (1)。
 主要肇事原因：違反標誌管制或指揮-25、未保持行車安全距離-7、未依規定讓車-5、不明原因肇事-3、左轉警未依規定-3。
 主要肇事時段：12-14 (9)、8-10 (7)、22-24 (7)、18-20 (5)、20-22 (5)。

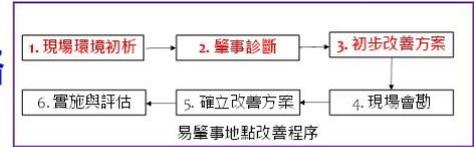
主要改善措施

- 取消路邊停車格
- 重新調整號誌時制，大幅解決交織問題



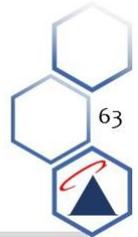
CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路 易肇事路段改善計畫



第26期改善地點 三民區十全一路與民族一路口	96年肇事資料			97年肇事資料			98年肇事資料			99年肇事資料		
	肇事件數	死亡人數	受傷人數									
	57	1	57	40	0	56	43	0	55	39	0	37

第34期：提報「已列入本局易肇事路口改善研究案
完成標線標誌及號誌改善，建議加強執法。」



CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路 易肇事路段改善計畫

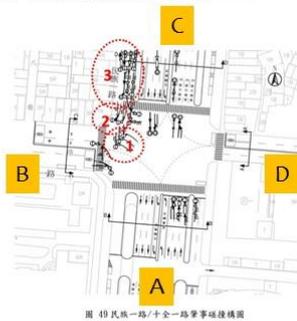


圖 49 民族一路/十全一路肇事碰撞構圖

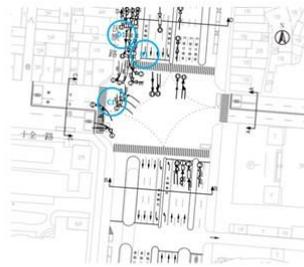


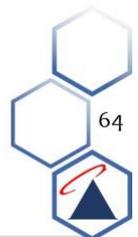
圖 50 民族一路/十全一路交叉口改善位置示意圖

改善措施

- B1：設置快車道禁止右轉標誌(加上公車除外副標)，汽車改為慢車道右轉，於上游同盟一路路口，設置繞道指示標誌
- C1：時相一全紅加1秒。
- D1：已劃設分流式標線(直行+右轉)，持續觀察。

肇事類別	2016 肇事碰撞現況		
	A1	A2	A3
肇事次數	0	18	9

資料來源：高雄市政府交通局
「106 年易肇事路口(段)改善方案規劃案」



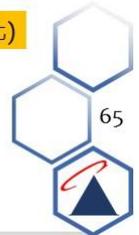
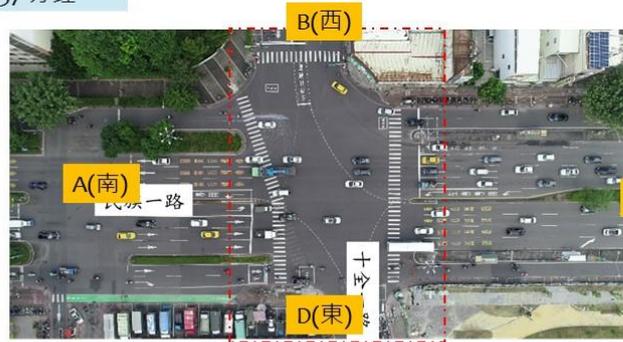
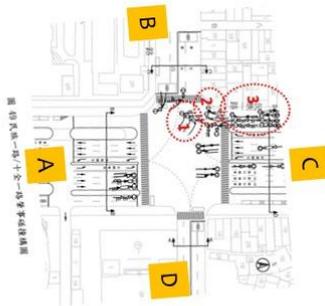
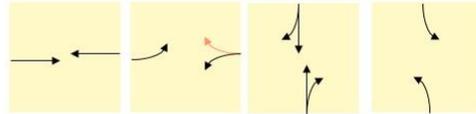
CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路



飛行架次	拍攝時間	影片長度
A	2019/8/27 08:14	14:22 分鐘
B	2019/8/27 08:33	17:33 分鐘
C	2019/8/27 08:54	17:37 分鐘

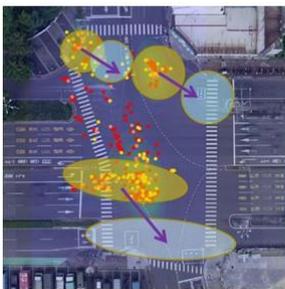
號誌時相表



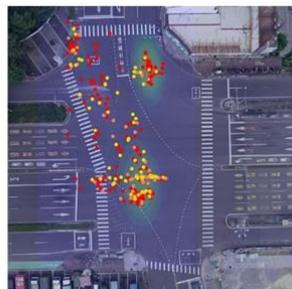
CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

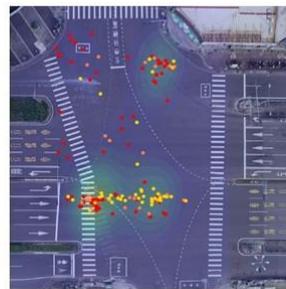
衝突熱點 TTC：



A 架次



B 架次



C 架次

已知問題：

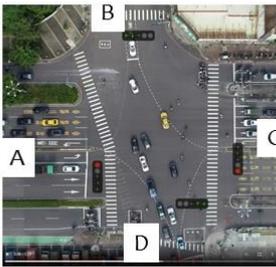
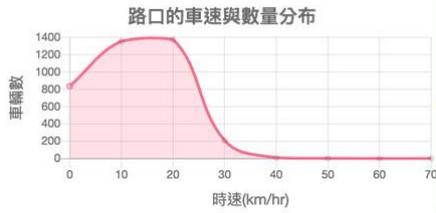
- 該路口屬於大型路口，拍攝的飛行高度約100m，與訓練樣本不同，偵測準確度較差
- 同時發現有比例尺問題導致衝突熱點移位，但仍能反映衝突集中度位置



CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路&十全一路 車流特性 (速率、OD)

A 架次



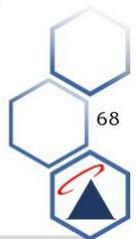
入口方向	出口方向	轉向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A (南)	B	左轉	0	0	11	39	3	1	0	54
	C	直進	0	0	376	179	11	22	3	591
	D	右轉	3	0	157	6	0	0	0	166
	小計		3	0	544	224	14	23	3	811
B (西)	C	左轉	0	0	10	25	2	2	2	41
	D	直進	0	0	140	21	1	5	0	167
	A	右轉	1	0	81	43	0	4	0	129
	小計		1	0	231	89	3	11	2	337
C (北)	D	左轉	1	0	8	13	2	0	0	24
	A	直進	0	0	950	204	10	58	2	1224
	B	右轉	0	1	155	32	2	2	2	194
	小計		1	1	1113	249	14	60	4	1442
D (東)	A	左轉	1	0	16	18	1	0	0	36
	B	直進	0	0	296	62	4	0	0	362
	C	右轉	2	0	158	16	3	5	1	185
	小計		3	0	470	96	8	5	1	583
總計			8	1	2358	658	39	99	10	3173

CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路&十全一路

統計摘要

A 架次

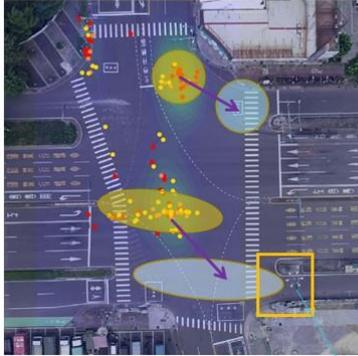


68

CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

衝突分析：機車

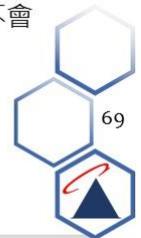


1. 機車行駛於行穿線上
2. 待轉區容量不足
3. 待轉區後方沒有預留迴轉空間

1. C方向右轉公車動線與待轉區很靠近，應該是待轉區無法外推動原因
2. 號誌時相已經錯開，目前不會發生衝突



C入口慢車道有工程，只留一個入口，後方車流減速

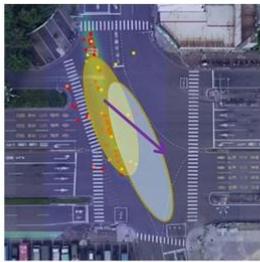


69

CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

衝突分析：小型車

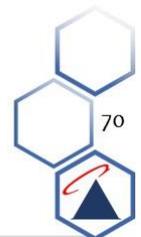


1

2

3

1. 十全一路 (B、D) 雙向不對稱，動線不明確，左轉待轉車輛侵入對向直行車路徑
2. 左轉車輛未遵守號誌燈號
3. A方向、D方向車流回堵



70

CONFIDENTIAL

案例2：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

衝突分析：行人

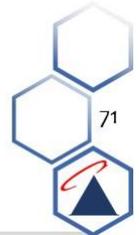
1. 行穿線通過時間約30秒
2. 通過時與左右方的車輛產生衝突
3. 機車行駛於行穿線上



1. 行穿線過長，通過時間約40秒
2. 通過時與左右方的車輛產生衝突
3. 機車行駛於行穿線上



1. B方向周邊施工，人行設施空間不足
2. 行人直接由實體分隔中步行穿越路口
3. 通過時間約50秒



CONFIDENTIAL

案例3：高雄市三民區民族一路 & 十全一路

綜合討論：初步改善方案

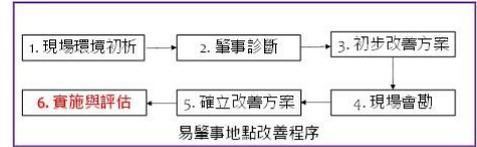
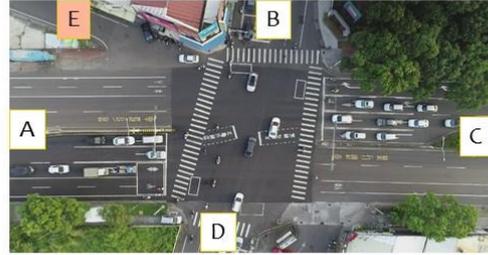
	衝突車輛種類	原因	初步改善方案
1	機車	民族一路北向 (C 方向) 待轉區容量不足，影響動線	<ul style="list-style-type: none"> • 調整機車左轉待轉區配置
2	小型車	十全一路 (B、D) 雙向不對稱，動線不明確；左轉車輛未遵守號誌燈號	<ul style="list-style-type: none"> • 調整左轉待轉區配置 • 加強執法
3	行人	道路較寬，行穿線過長沒有保護路邊施工，人行道空間不足	<ul style="list-style-type: none"> • 考慮設置行人庇護島
4	車流回堵	A方向、D方向車流回堵，影響動線	<ul style="list-style-type: none"> • 調整號誌與下游續進



CONFIDENTIAL

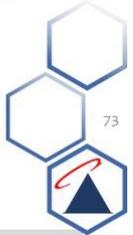
案例3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

拍攝情景	拍攝時間	影片長度
改善前	2019/5/14 16:58	19:10 分鐘
改善後	2019/10/15 17:18	14:47 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3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

易肇事路段改善計畫

- 第29期進行改善計畫
- 第32期整理改善績效

全年肇事紀錄 (99.01~99.12 之 A1 及 A2 類)
肇事次數： <u>15</u> 件/年
死亡人數： <u>0</u> 人/年；受傷人數： <u>24</u> 人/年
主要肇事型態： <u>車與車-側撞、人與汽(機)車-穿越道路中、車與車-同向擦撞。</u>
主要肇事原因： <u>駕駛人-未依規定讓車、駕駛人-左轉彎未依規定、駕駛人-違反號誌管制或指揮。</u>
主要肇事時段： <u>14、00、11。</u>

第 29 期臺灣地區易肇事路段改善計畫 改善地點基本資料表		
縣市	編號	地點
雲林縣	107	斗六市中山路與大學路三段口
執行單位：雲林縣警察局		
現場圖示		建議改善圖示
道路現況與現有交通管制設施	交通現況與交通量	全年肇事紀錄 (99.01~99.12 之 A1 及 A2 類)
道路現況：大學路中央分隔島雙向6車道(2快1機優先道)、中山路2車道、側路與側對車道。	交通現況：幹道流量大均非常大，是左轉車流量大，容易發生擦撞。	肇事次數： <u>15</u> 件/年 死亡人數： <u>0</u> 人/年；受傷人數： <u>24</u> 人/年 主要肇事型態： <u>車與車-側撞、人與汽(機)車-穿越道路中、車與車-同向擦撞。</u>
路面現況：柏油鋪設、乾裂。	交通小時：自北 300 pcu 自南 1200 pcu 交通量：自南 200 pcu 自西 200 pcu 自東 200 pcu	主要肇事原因： <u>駕駛人-未依規定讓車、駕駛人-左轉彎未依規定、駕駛人-違反號誌管制或指揮。</u>
道路障礙：無坑洞、視距良好。	交通設施：路燈照明、行車管制號誌路口。	主要肇事時段： <u>14、00、11。</u>
改善項目	改善經費	改善成效
1. 依據交通流量、交通現況調整交通號誌時制，100 年內 月位置之智慧化交通系統後交通肇事數為 2 件，已降低肇事 數，以保障行人交通安全。 2. 更換號誌控制器 1 台、增設 VLD、增設 CCTV 1 組。 3. 路口設置「機後車兩段式左轉」標誌、標誌由南向北轉設 理。	項目 更換號誌控制器 100,000 1 台 100,000 增設 VLD 200,000 1 組 200,000 增設 CCTV 100,000 1 組 100,000 機後車兩段式左轉 標誌、標誌 10,000 4 組 40,000	合計 440,000

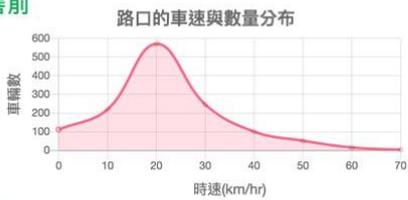
第29期改善地點	99年肇事資料			100年肇事資料			101年肇事資料			102年肇事資料		
	肇事件數	死亡人數	受傷人數	肇事件數	死亡人數	受傷人數	肇事件數	死亡人數	受傷人數	肇事件數	死亡人數	受傷人數
斗六市中山路與大學路三段口	15	0	24	13	0	17	5	0	7	3	0	4
斗六市成功路與大學路二段口	12	0	16	10	0	12	12	0	15	14	0	17
斗六市文化路與大學路一段口	11	0	13	10	0	12	3	0	5	5	0	5

CONFIDENTIAL

案例3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

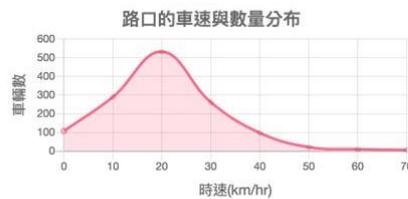
車流特性

改善前



入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	0	0	68	149	48	2	0	267
B	3	0	233	170	40	3	0	449
C	1	0	83	164	30	0	0	278
D	0	0	142	109	14	0	0	265
總計	4	0	526	592	132	5	0	1259

改善後



入口方向	行人	自行車	機車	小客車	貨車	聯結車	公車	小計
A	0	0	90	141	23	2	0	256
B	0	0	256	152	16	5	0	429
C	2	0	116	188	32	1	0	339
D	0	0	150	86	11	0	0	247
總計	2	0	612	567	82	8	0	1271

75

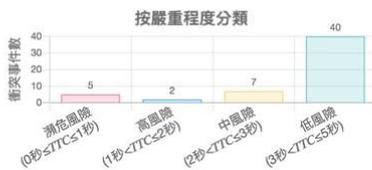


CONFIDENTIAL

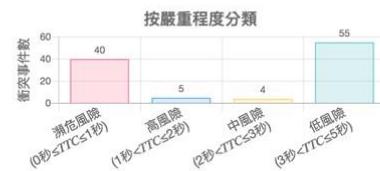
案例3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

統計摘要

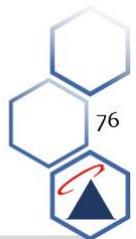
改善前



改善後



76



CONFIDENTIAL

案例3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

改善效益評估



- 調閱瀕危風險之衝突事件資料，與影片逐一比對
- 衝突事件的原因大多是偵測錯誤，可能是公車、貨車誤判成聯結車的問題所導致
- 透過人工複驗大型車輛之衝突，排除誤偵情況
- 改善前的衝突嚴重程度不高，改善後沒有明顯變化



CONFIDENTIAL

案例3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

改善效益評估

- C入口右轉之車數量不多，無明顯的交通衝突。外側車道由機車優先道改為右轉專用道無急迫性，未顯示明顯的效益。

	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
改善前	C	D	左轉	0	0	4	18	7	0	0	29
		A	直進	0	0	69	116	21	0	0	206
		B	右轉	1	0	10	30	2	0	0	43
		小計			1	0	83	164	30	0	0
改善後	C	D	左轉	0	0	11	18	3	0	0	32
		A	直進	0	0	123	218	38	4	0	383
		B	右轉	0	0	55	11	1	0	0	67
		小計			0	0	189	247	42	4	0



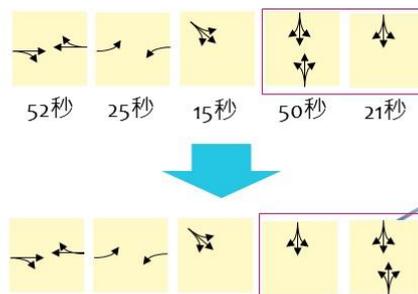
CONFIDENTIAL

案例3：雲林縣斗六市大學路三段 & 中山路

改善建議



- 衝突熱區的有一半以上是B方向的同向直行減速衝突
- 實際上，是D方向左轉與B方向左/直車輛衝突，使得B方向的直行車輛動線受到影響
- 建議可調整號誌時相順序



79

CONFIDENTIAL



4. 研究成果與未來建議



80

研究成果－無人機資料蒐集

1. 最新法規整理:

- 國內外無人機法規整理(歐盟、美國、日本、中國、中華民國)
- 無人機應用交通案例探討(美國、中國、中華民國)

2. 限高場域實際申請:

- 台南市永康區中華路&勝華街
- 高雄三民區民族一路&十全一路
- 高雄鼓山區裕誠路&博愛二路

3. 無人機拍攝作業

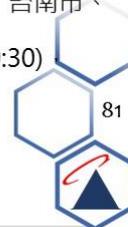
- 制定無人機現場作業重點
- 評估無人機適用機型及比較

4. 空拍資料蒐集成果:

- 依108年路口改善計畫，評估全台灣27個路段(口)，於新北市、桃園市、新竹縣、雲林縣、台南市、高雄市遴選十處路口進行拍攝。
- 採1080P/4K, 30fps錄製，影片數量: 166段 (號誌48段)，時間總長度: 15:48:39 (號誌05:40:30)
檔案大小: 381 GB (號誌20.1 GB)

5. 號誌時相同步制定:

- 制定號誌時相與影片對時作業重點列表



CONFIDENTIAL

研究成果－影像處理

1. 偵測與追蹤技術:

- 四輪車輛: Mask RCNN (偵測)+ 特徵點 (追蹤)
- 小物件: YOROV3(偵測)+ SORT (追蹤)

2. 訓練樣本增加:

- 在四輪車輛偵測上，訓練樣本相較前期之增加明顯提高了偵測準確度。

3. 四輪車輛偵測追蹤結果:

	小轎車	貨車	巴士	聯結車頭	聯結車身
Precision	99.9%	91.8%	100%	99.1%	92.3%
Recall	99.1%	99.4%	100%	96.0%	90.6%

4. 小物件偵測追蹤結果:

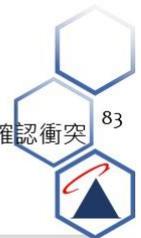
	行人	自行車	機車
Precision	98.6%	95.1%	97.9%
Recall	80.9%	55.9%	93.5%



CONFIDENTIAL

研究成果－衝突分析軟體

1. **完成本期規劃之軟體全部功能:**
 - 登入功能、載入功能、分析功能、衝突事件表及篩選功能、統計摘要、交通特性、衝突熱點圖、號誌同步的影片展示等。
2. **整合SSAM V3.0為衝突分析的計算基礎:**
 - 針對國內的交通的分析需求，修訂或新增了衝突事件相關的輸出項目
 - 包括: 衝突類型、車種、進入路口方向及離開路口方向等。
3. **提供多樣化的衝突統計結果輸出:**
 - 統計摘要 (按衝突的嚴重程度及車種分類)、交通特性相關 (平均車速分佈)、衝突熱點圖 (密度分佈圖及斑點圖)。
 - 可過濾篩選出希望分析的衝突類型、車種、車流方向等。
4. **反映國內常見的車流情境:**
 - 混合車流及內輪差問題。
5. **實際分析五個現場調查的影片及資料:**
 - 進行衝突問題的評論分析，比較衝突熱點圖、衝突事件表結果、並與影片的車流情況作核對，確認衝突分析的結果能發現路口車流的交通安全潛在風險。



83

CONFIDENTIAL

研究成果－107與108年計畫功能比較表

期別	107	108
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
影像車流分析	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
TTC/PET衝突指標	自行計算TTC/PET指標	整合SSAM計算TTC/PET衝突指標
TTC/PET衝突熱點	依據指標數據繪製衝突熱區	可依嚴重程度繪製衝突熱區，並能以密度分佈圖及斑點圖型態來呈現
衝突分析結果	僅以TTC/PET指標為主	具備完整衝突分析資料
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
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佈
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



84

CON

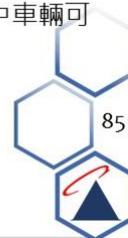
未來建議 (1/2)

1. 無人機資料蒐集

- 與路口號誌時制資料介接，建議可依實際所需實驗場域範圍，評估一適合路口進行可行性評估驗證，以期提升無人機拍攝作業程序與號誌同步效率。
- 進行長期的資料蒐集及累積，可以進行安全與效率兩大面向的相關資料之分析與應用。

2. 影像處理:

- 自行車誤分類為機車車輛問題，可透過計算移動速率之平均數與變異數來有效校正分類結果，預期將自行車查全率由55.9%提升至80%水準。
- 四輪車輛採用Mask R-CNN進行偵測，在效率與所需資源上成本甚高，未來可考量改進YOLOv3架構，方便整合系統架構並降低硬體資源門檻。
- 目前SORT之內插方法為線性內插，未來可嘗試二次多項式內插方式，對於追蹤轉彎中車輛可能有所助益。

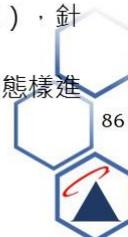


CONFIDENTIAL

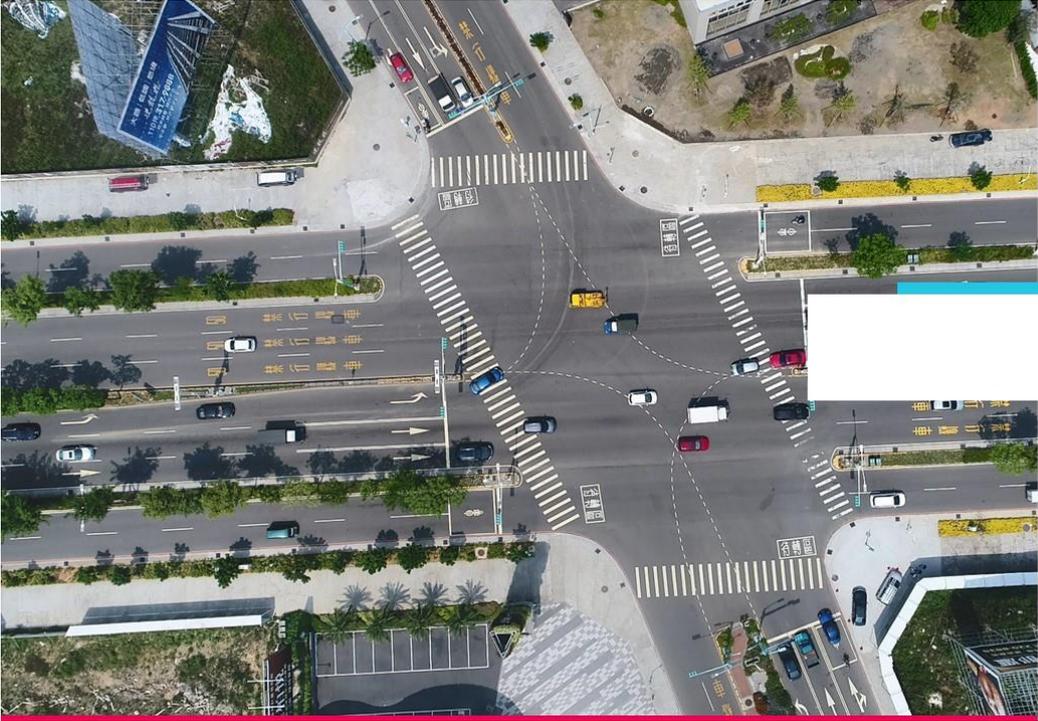
未來建議 (2/2)

3. 安全分析與軟體功能

- 資料蒐集
 - 進行長期的資料蒐集及累積。
 - 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**，未來可強化**動線與速度**的結果輸出及應用探討。
- 軟體功能
 - 號誌時制：衝突分析整合號誌時制資訊，e.g. 衝突車輛是否衝紅燈、是否集中於某一時相
 - 衝突類型的分類：細緻化衝突類型的類別，e.g. 機車兩段式左轉、行人-其他車輛衝突
 - 衝突事件嚴重程度：採用雙指標，e.g. TTC/PET 外，考慮速度或速度差
- 研究分析
 - 考量國內的交通情況（例如同向的車禍比例很高、汽機車混合車流、行人穿越等問題），針對其去發展本土化的衝突指標。
 - 可考慮改為議題式，考慮將交通安全問題類型化，制定相對應的改善策略。針對事故態樣進行分析，可以利用本研究所蒐集的交通衝突樣態，進一步加以研訂與檢驗。
- 推廣應用
 - 與地方政府合作，進行案例分析及討論。



CONFIDENTIAL



Q & A

