

108 -106-3475
MOTC-IOT-106-SEB009

道路交通車流及事故風險偵測 與分析工具之發展應用



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 11 月

ISBN 978-986-531-016-5



9 789865 310165

GPN : 1010801973

定價 350元

108-106-3475
MOTC-IOT-106-SEB009

道路交通車流及事故風險偵測 與分析工具之發展應用

著者：溫基信、王宏生、蘇志文、黃家耀、蔡洛緯、周業凱、
張開國、葉祖宏、林樹德、孔垂昌

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 11 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用

用/溫基信等著. -- 初版. -- 臺北市

交通部運輸研究所, 民 108.11

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-016-5(平裝)

1. 交通管理、2. 交通流量、3. 交通事故

557

108018943

道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用

著者：溫基信、王宏生、蘇志文、黃家耀、蔡洛緯、周業凱、
張開國、葉祖宏、林樹德、孔垂昌

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 108 年 11 月

印刷者：信笠實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 75 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：350 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)23496880

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 • 電話：(02)25180207

GPN：1010801973

ISBN：978-986-531-016-5 (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：道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-016-5(平裝)	政府出版品統一編號 1010801973	運輸研究所出版品編號 108-106-3475	計畫編號 106-SEB009
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、林樹德、孔垂昌 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、蘇志文、蔡洛緯 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 106 年 9 月至 107 年 7 月			
關鍵詞：無人機、深度學習、車流軌跡、衝突熱區			
<p>摘要：</p> <p>鑑於交通事故具隨機性、突發性及無法預測性等特性，為降低交通事故傷亡人數與嚴重程度，交通事故防制已成為政府部門當務之急的課題。交通安全防制與改善之分析需要取得相關之交通資料作為研究基礎。隨著資訊科技研發、影像分析技術及無人機蓬勃發展迅速，無人機空拍影像幾何失真遠較一般監視器影像小，且更能有效分析交岔路口的複雜車流問題。為能有效掌握高事故風險地點特性，本研究選擇桃園市4處具代表性及參考性之交岔路口作為優先拍攝之場域，透過無人機酬載1080p/4K高解析數位相機，拍攝高事故風險地點人車流動影像，透過影像晃動校正、車輛偵測、車輛追蹤、車輛分類等影像分析技術，計算車輛位置、軌跡、車種、車流量、車速等，並以系統化整合方式，開發一套高事故風險地點診斷工具分析工具，其功能有車流軌跡重現、交通衝突熱區(如TTC、PET)、交通調查資料、車輛速度，以及交通號誌同步等交通資訊。本研究成果可從空拍影像中獲取交岔路口基本之交通資訊、用以診斷交通衝突問題，以及進行衝突風險評估，以協助交通管理單位與道路設計人員作為預防性交通安全改善之參考。</p> <p style="text-align: center;">。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 11 月	206	350	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/> 年月日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Application of Road Traffic Flow Analysis and Accident Detection			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-016-5(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010801973	IOT SERIAL NUMBER 108-106-3475	PROJECT NUMBER 106-SEB009
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 September 2017 TO July 2018
RESEARCH AGENCY: C-LINK Technology Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chi-Sin Wen PROJECT STAFF: Hong-Sheng Wang, Chih-Wen Su, Luo-Wei Tsai ADDRESS: 13 FL-5, No. 738, Zhongzheng Rd., Zhonghe Dist., New Taipei City 235, Taiwan R.O.C. PHONE: 886-2-82262008ext. 1261 FAX: 886-2-81924158			
KEY WORDS: UAV, Deep Learning, Traffic Flow Trajectory			
ABSTRACT: <p style="text-indent: 2em;">As traffic accidents are random, sudden, hard-to-forecast events, an important task of the government is to formulate the strategies to reduce the number of traffic-related injuries and fatalities. For this reason, this issue is an urgent issue for the government. Analytical data from traffic safety prevention and improvement form the basis for this study. After analysis of the data and images and the rapid development of Drivless Driving and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and computer vision, it is possible to collect detailed traffic data of road intersections with complex traffic flow, which can record wide-area images and has advantages over the roadside CCTV cameras.</p> <p style="text-indent: 2em;">For the demonstration of the characteristics of high-risk accident areas efficiently, four representative intersections in Taoyuan city are chosen for the data collection. We recorded the videos (1080p/4K) the intersections with a drone, and the videos were then analyzed with several algorithms including video stabilization, vehicle detection, vehicle tracking, vehicle classification. The positions, tracking, vehicle types, volume, speeds, etc. of vehicles in the traffic stream are computed. In a systematic and integrated manner, a diagnostic and analytical tool was developed, which provides useful information such as vehicle tracking, traffic conflict hot zone with TTC and PET, and traffic characteristics aligning with the traffic signal plan of these intersections.</p> <p style="text-indent: 2em;">This study uses basic traffic data obtained from UAV footage of intersections to diagnose traffic conflict issues and to estimate conflict risks. The results can be useful to the traffic management agencies and professionals as a reference tool for the improvement of traffic safety.</p>			
DATE OF PUBLICATION November 2019	NUMBER OF PAGES 206	PRICE 350	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
1. 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.....	2
1.3 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 影像式車流分析技術.....	5
2.1.1 傳統車流分析技術.....	6
2.1.2 基於深度學習之車流分析技術.....	12
2.2 交通衝突技術.....	13
2.2.1 衝突之定義.....	13
2.2.2 交通衝突理論之發展.....	14
2.2.3 交通衝突型態.....	15
2.2.4 交通衝突指標.....	17
2.3 應用影像科技做交通衝突或車流調查研究.....	22
2.3.1 常見交岔路口影像擷取設備與無人機比較探討.....	22
2.3.2 應用影像技術進行交通衝突或車流調查之探討.....	24
第三章 無人機法規及趨勢.....	29
3.1 無人機(UNMANNED AERIAL VEHICLE, UAV)介紹.....	29
3.2 無人機相關規範.....	31
3.2.1 歐盟.....	31
3.2.2 美國.....	32
3.2.3 中國大陸.....	33
3.2.4 日本.....	33
3.2.5 國內規範.....	35
3.2.6 遙控無人機航管系統(Unmanned Aircraft System Traffic Management, UTM).....	45
3.2.7 無人機未來產業發展趨勢.....	46
3.2.8 小結.....	49
3.3 我國使用無人機應用於交通領域案例.....	50
3.3.1 臺中市「空拍機於事故現場交岔路口圖庫之應用」.....	50
3.3.2 花蓮縣「空拍機於道路交通事故處理」.....	52
第四章 空拍影像資料蒐集.....	53
4.1 高事故風險地點之篩選.....	53
4.2 無人機實地拍攝作業.....	56

4.3 無人機失聯操作程序	59
4.4 空拍影像分析與比較	60
4.5 無人機最佳拍攝影像設定	64
4.6 建立空拍影像資料庫	66
4.6.1 拍攝地點 A：桃園市八德區中華路與茄苳路口	66
4.6.2 拍攝地點 B：桃園市桃園區中正路與大興西路口	68
4.6.3 拍攝地點 C：桃園市桃園區中正路與三民路口	70
4.6.4 拍攝地點 D：桃園市桃園區中山路與上海路口	72
4.6.5 空拍影像資料整理	74
4.7 小結	78
第五章 影像處理	81
5.1 影像晃動校正	81
5.2 傳統車輛偵測	84
5.2.1 連續影像相減 (Frame difference)	84
5.2.2 混和高斯模型 (Gaussian Mixture Model, GMM)	84
5.2.3 平均值濾波	84
5.2.4 中位數濾波	85
5.3 深度學習之車輛偵測	88
5.3.1 Faster R-CNN 之車輛偵測與分類	89
5.3.2 Mask R-CNN 之車輛偵測與分類	90
5.4 車輛追蹤	92
5.4.1 卡爾曼濾波器	92
5.4.2 光流法	93
5.5 準確性驗證	96
5.6 小結	100
第六章 建立分析工具	103
6.1 分析工具構思	103
6.2 車輛位置及速度分析	103
6.3 車輛軌跡展示	104
6.4 交通衝突分析與圖表展示	106
6.4.1 碰撞時間(Time to collision, TTC)	106
6.4.2 後侵占時間(Post encroachment time, PET)	108
6.5 交通號誌同步	111
6.6 交通調查資料	112
6.7 小結	114
第七章 結論與建議	117
7.1 結論	117

7.1.1 無人機應用.....	117
7.1.2 影像處理技術.....	119
7.1.3 分析工具功能.....	121
7.2 建議.....	122
7.2.1 無人機.....	122
7.2.2 影像處理技術.....	123
7.2.3 分析工具後續可發展之功能.....	124
參考文獻.....	125
附錄 A. 期中報告審查意見處理情形表.....	131
附錄 B. 期末報告審查意見處理情形表.....	149
附錄 C. 期末報告審查會議簡報.....	177

圖目錄

圖 1.3-1 本研究流程圖.....	4
圖 2.1-1 無人機應用於交通領域研究之系統架構圖.....	6
圖 2.1-2 車輛軌跡的分佈與進出邊線設置圖.....	7
圖 2.1-3 不同方向車輛軌跡分類示意圖.....	8
圖 2.1-4 交通狀態變化示意圖.....	9
圖 2.1-5 不同車流分群示意圖.....	10
圖 2.1-6 車輛偵測與追蹤流程圖.....	11
圖 2.1-7 深度學習架構模型圖.....	13
圖 2.2-1 安全階層金字塔圖.....	15
圖 2.2-2 四種交通衝突型態圖.....	16
圖 2.2-3 交岔路口交通衝突分析圖.....	17
圖 2.2-4 衝突時間(TTC)計算公式及示意圖.....	18
圖 2.2-5 兩車相同角度下的可能碰撞類別圖.....	19
圖 2.2-6 後侵占時間(PET)計算公式及示意圖.....	20
圖 2.2-7 兩車同時出現於共同區域內但不產生碰撞之情況圖.....	20
圖 2.2-8 時空軌跡圖.....	22
圖 2.3-1 常見交岔路口攝影設備圖.....	23
圖 2.3-2 一般路口監視器攝影機影像.....	26
圖 2.3-3 後端平台進行深度學習示意圖.....	26
圖 2.3-4 衝突分析功能示意圖.....	27
圖 3.1-1 定翼型 UAV 及旋翼型 UAV.....	30
圖 3.2-1 遙控無人機專章管理架構圖.....	35
圖 3.2-2 遙控無人機專章推動時程規劃.....	36
圖 3.2-3 遙控無人機管理規則架構.....	37
圖 3.2-4 遙控無人機管理規則之第 1 章總則.....	38
圖 3.2-5 遙控無人機註冊與射頻管理條例.....	39
圖 3.2-6 無人機系統檢驗、製造者與進口者之登錄及責任.....	40
圖 3.2-7 無人機操作人之測驗及給證之規定.....	41
圖 3.2-8 一般操作限制之規定.....	42
圖 3.2-9 政府機關、學校或法人活動許可規定.....	42
圖 3.2-10 無人機暫停操作人活動之規定.....	43
圖 3.2-11 遙控無人機附則規定.....	44

圖 3.2-12 我國北部地區禁航區地圖	45
圖 3.2-13 2018 商用無人機市場規模預測	47
圖 3.2-14 PwC 無人機商業主要應用預估	48
圖 3.3-1 臺中市空拍事故現場圖建置圖	51
圖 3.3-2 臺科大研發軟體進行車禍空拍處理作業示意圖	52
圖 4.1-1 桃園市場域參考價值交岔分析示意圖.....	53
圖 4.2-1 無人機於交岔路口拍攝示意圖	58
圖 4.3-1 無人機失聯操作流程圖	60
圖 4.4-1 夜間空拍影像.....	63
圖 4.5-1 無人機畫面設定示意圖	65
圖 4.6-1 拍攝地點 A(桃園市八德區中華路與茄苳路口).....	67
圖 4.6-2 拍攝地點 B(桃園區中正路與大興西路口)	69
圖 4.6-3 拍攝地點 C(桃園區中正路與三民路口)	71
圖 4.6-4 拍攝地點 D(桃園市桃園區中山路與上海路口)	73
圖 4.7-1 無人機高度與拍攝範圍關係圖	79
圖 5.1-1 ECC 影像對齊法之流程示意圖	82
圖 5.1-2 空拍影像對齊示意圖	83
圖 5.2-1 中位數濾波之前景物偵測示意圖	86
圖 5.2-2 利用矩形(紅色外框者)對前景車輛進行擬合示意圖	87
圖 5.3-1 影像資料標記程式介面圖	89
圖 5.3-2 利用 FASTER R-CNN 進行車輛偵測與分類結果.....	90
圖 5.3-3 利用 MASK R-CNN 進行車輛偵測與分類結果圖	91
圖 5.4-1 卡曼濾波器遞迴示意圖 (GREG WELCH, 1995).....	92
圖 5.4-2 利用角點特徵之車輛追蹤時序圖	94
圖 5.5-1 四個測試路口.....	96
圖 5.5-2 計算單部車輛 IOU 示意圖	97
圖 5.5-3 部分貨車外觀.....	99
圖 6.2-1 車輛位置及速度估算	104
圖 6.3-1 交岔路口車流軌跡重現.....	105
圖 6.4-1 TTC ₁₅ 衝突熱區分布圖	107
圖 6.4-2 TTC ₁₀ 衝突熱區分布圖	107
圖 6.4-3 TTC ₂₀ 衝突熱區分布與統計圖.....	108
圖 6.4-4 用於計算 PET 之兩部車輛軌跡示意圖.....	109
圖 6.4-5 PET ₅₀ 衝突熱區分部圖	110
圖 6.5-1 交通號誌同步與車流統計圖	111

圖 6.7-1 進入口 D 之車流量及速度.....	115
圖 6.7-2 車輛通過路口之速率.....	116
圖 7.2-1 繫留無人機設置示意圖.....	123

表 目 錄

表 2.3-1 交岔路口常見攝影機與無人機特性比較表.....	24
表 3.1-1 多軸飛行器比較表.....	30
表 3.2-1 各國無人機法規之進展.....	31
表 4.1-1 桃園市前 20 處易肇事路段(口)表.....	54
表 4.1-2 高事故風險路口篩選表.....	56
表 4.2-1 X6+與 P4P 規格比較表.....	57
表 4.4-1 飛行高度比較表.....	61
表 4.4-2 飛行角度比較表.....	62
表 4.4-3 1080P 與 4K 影像之比較表.....	63
表 4.5-1 最佳拍攝影像設定表.....	65
表 4.6-1 空拍影像資料彙整表.....	74
表 4.7-1 無人機飛行高度與攝影機拍攝範圍對應表.....	79
表 5.5-1 路口 A、B、C、D 之混淆矩陣.....	98
表 5.6-1 車輛偵測、分類、追蹤採用之影像處理技術一覽表.....	101
表 6.1-1 分析工具產出資訊表.....	103
表 6.6-1 桃園市桃園區中正路與三民路口軌跡紀錄表.....	113
表 6.6-2 路口轉向比統計範例表.....	113
表 6.7-1 車流量 OD 矩陣表 (全部車種).....	114
表 7.1-1 無人機拍攝限制條件說明表.....	118

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著都市人口的愈加密集化，在道路闢建速度遠不及車輛成長速度之下，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。特別是不同方向車流匯集的重要交岔路口，不僅容易發生意外交通事故，也容易因切換不同方向車流通行而造成交通堵塞。由於不同時間、不同交岔路口的車流分布與狀態都有所差異，因此，各個交岔路口的車流情況都需進行詳細診斷與分析，才能對症下藥，以降低交通事故發生。

為透過交通工程改善交通事故情形，以增進整體道路之行車安全品質，一般採用交通事故調查資料進行分析及研擬交通安全改善方法。而以潛在車流衝突熱區(點)分析，及以曝光量資料取得做為改善參考之研究，則較為少見。

目前用於偵測車輛數、車速等的方法很多，包括感應線圈、微波、雷達、紅外線等偵測器。這些偵測器雖然具備高準確性、可耐天候變化的優點，但使用範圍也容易受限在小型的特定區域(如四岔路口需使用四個以上偵測器)，且有裝設時需要個別調整多項參數、價格昂貴等缺點。相對地，利用攝影機進行車輛偵測的作法，遠較採用一般偵測器更具彈性。不僅架設、拆除方便且成本更低，更能透過電腦視覺技術來達到一般偵測器無法具備之分析功能，例如車輛追蹤、車種分類等。爰此，利用攝影機結合電腦視覺技術，可更方便且有效地分析交岔路口的複雜車流問題。

由於無人機可懸停於空中，其下方之酬載攝影機可完全垂直俯視地面，因此其拍攝影像的幾何失真遠較一般監視器影像小，同時也迴避了傳統電腦視覺領域中的兩大物體辨識難題，分別是車輛間的遮蔽問題，以及不同視角下的車輛辨識問題。爰此，本研究透過無人機酬載數位相機設備，拍攝交岔路口人車流動影像，透過影像分析技術，進行人車衝突研究，找出衝突熱區(點)，並建立事故風險診斷工具，診斷出交岔路口交通衝突問題，可供交通管理單位與道路設計者作為交通安全改善之參考。

1.2 研究範圍與對象

本研究案係結合無人機應用、影像處理技術及交通管理三大領域專業，開發出一套交通分析工具。藉由無人機(Unmanned Aerial Vehicle,UAV)可懸停於空中，其下方之酬載攝影機可完全垂直俯視地面，並透過影像分析軟體，直接觀察影像中的車流軌跡，即可找出交岔路口衝突熱區(點)位置。

本研究於研究過程中，選擇桃園市 4 處具代表性及參考性之交岔路口(中華路與茄苳路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)，作為優先拍攝之場域，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝突結果。

此外，目前國內外針對空拍影像之車輛偵測、辨識及追蹤方法，僅就相對單純之直線路段進行相關研究，尚未如本研究針對交通較複雜且大面積之交岔路口進行相關研究。鑑於近兩年在影像處理技術之領域中，深度學習領域發展迅速，本研究針對不同方法(包含傳統影像處理技術與最新深度學習技術等)進行嘗試，以選擇最適本研究影像處理技術之方法，進行車輛偵測、追蹤及分類，並以系統化整合方式，開發一套事故風險診斷分析工具。

1.3 研究流程

在複雜的都會區交通環境下，裝置在不同角落的一般監視器影像，其方向、大小、形狀都不相同，加上攝影機視角的差異與監控影像品質之問題，造成其影像監控難以直接應用不同攝影機所拍攝的影像內容，往往需要事前對系統參數進行人工調整，才能應用不同攝影機所拍攝之影像。

過去已有學者使用空拍影像進行車流分析，如黃家耀(2014)等人^[1]利用空中拍攝蒐集市區道路的車流影像，由於拍攝取得的連續影像檔案無法直接使用，必須進行影像穩定等後製過程，輔以採用人工方式點擊影像上每一秒的車輛座標來完整記錄車輛於道路上的移動軌跡，屬於「半自動」車流軌跡分析方式。本研究則屬於「全自動」影像分析方式，研發車輛偵測與追蹤技術來簡化資料處理之過程。本研究開發無人機蒐集影像技術、全自動影像分析車流軌跡以及事故風險分析工具，研究流程主要分為三大部分，如圖 1.3-1 所示：

1. 空拍影像資料蒐集

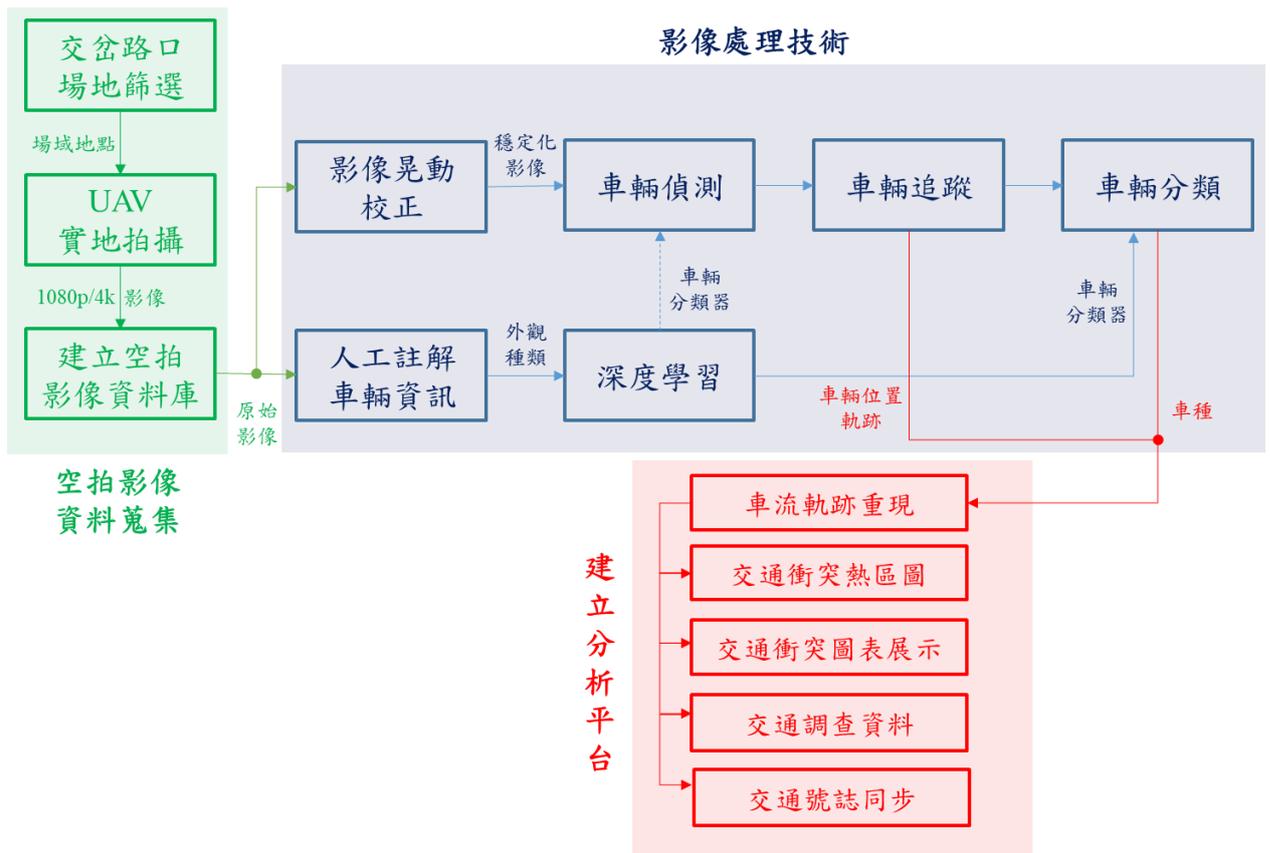
本研究選定具代表性及參考性之交岔路口，利用無人機飛到岔路口上方拍攝，蒐集大量 1080p/4K 高解析空拍影像，作為系統開發與測試所需之影像資料庫。

2. 影像處理技術

將取得原始之空拍影像透過一連串的影像處理技術，從影像中取出計算交通衝突所需之基本參數，如車輛位置、軌跡及車種等交通資訊。其過程包括：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)。近年來於人工智慧(artificial intelligence, AI)中崛起的深度學習風潮，雖然在電腦視覺領域上有突破性的發展，但對於相對小型物體的辨識率仍有先天上的限制，在遠距離車輛偵測上較容易產生誤判，不如單純車輛分類表現優異。爰此，本研究建立能對應交通號誌變化的車流模型，再根據當下的車流模型利用傳統的前景偵測技術，偵測出可能車輛或行人，再透過深度學習對可能的車輛或行人做進一步的驗證與分類。

3. 建立分析工具

透過無人機空拍的定點影像，結合影像處理技術，偵測岔路口車輛位置、車種、車輛軌跡等交通資料，再以圖表方式將相關的交通資料以系統化整合方式呈現於分析工具中，再進一步計算車輛間之交通衝突參數與岔路口衝突熱區(點)等資訊，能以診斷岔路口之交通衝突問題，供交通管理單位與道路設計者，研擬交通改善措施。



資料來源：本研究繪製

圖 1.3-1 本研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 影像式車流分析技術

近年來隨著智慧城市的興起，自動化服務以及非監督式系統越來越受到重視。在智慧型運輸系統(Intelligent transportation system, ITS)¹中，許多應用也隨之產生，例如自動駕駛、駕駛輔助系統、即時交通路況分析、意外偵測、自動化交通監控系統等等。在這些應用中，車輛偵測不僅是基本的議題，且要在混合車流的都市交通環境之下，利用影像處理技術來偵測車輛更是一大挑戰。

用以偵測車輛之硬體偵測器種類繁多，包含環路線圈偵測器、微波雷達偵測器、超音波偵測器、無線射頻辨識(Radio Frequency Identification, RFID)²偵測器、攝影機(套用影像處理)等。環路線圈偵測器是一種侵入式的偵測器，這類的偵測器設置時必須埋在地底下或是鋪在地面，由於設備架設地點的限制，通常僅用於高速公路或較寬敞的道路；微波雷達偵測器，雖然偵測範圍廣且不易受天氣影響，但兩台偵測器間如果距離太近會造成訊號干擾；超音波偵測器則是會因為氣溫變化影響偵測效能，造價較昂貴之外，感測距離也較短；無線射頻辨識偵測器也有訊號干擾的問題，使得讀取率降低。上述偵測器多半適用於小範圍車道，較難以分析大範圍交岔路口之複雜車流狀況。

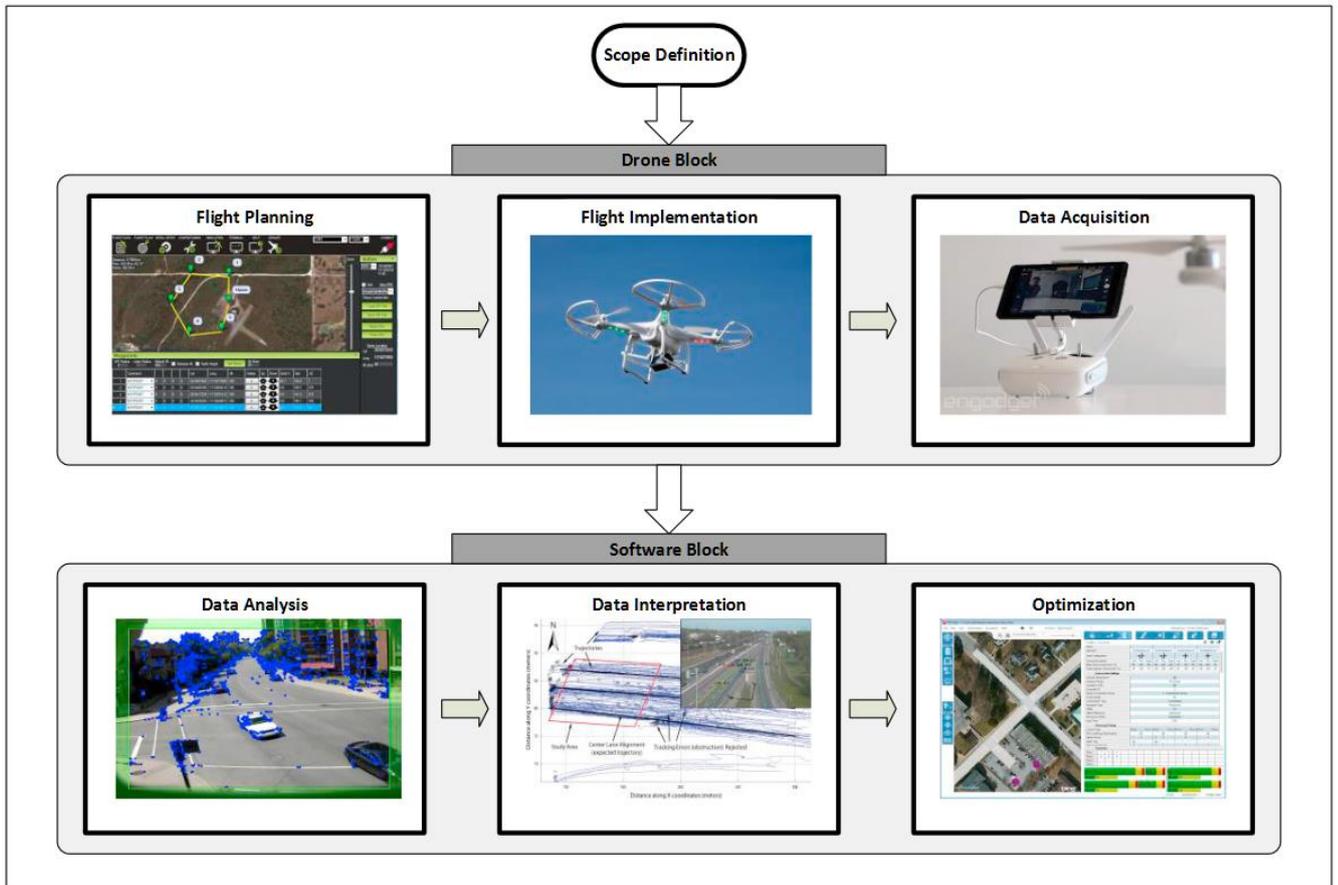
近年來隨著無人機低價化與普及化的趨勢，本研究以無人機空拍之方式，能將交岔路口之交通資訊一覽無遺的呈現在影像中，並透過影像處理技術來偵測不同車輛與其他進階資訊，能有效地整理分析影像中之大量交通資訊，並從交通數據中檢測交岔路口交通衝突風險的存在。

在 Khana (2017) 等人^[2]研究中提到無人機在交通相關領域應用與研究，並統整出包含硬體面與軟體面的數個重要步驟，其中包含無人機相關之飛行計畫、飛

¹智慧型運輸系統是採用先進的資訊工程技術、通訊技術、傳感技術、控制技術及計算機技術等有效率地整合運用於交通運輸管理系統。

²無線射頻辨識是一種無線通訊技術，透過無線電的訊號識別出特定目標，進行讀寫相關資訊，無須與特定目標建立機械或光學之接觸。

行方式、影像等資料蒐集方式，加上所需的資料分析技術、資料呈現與詮釋方法，以及針對交通問題的參數最佳化處理等步驟，如圖 2.1-1 所示。



資料來源：[2]

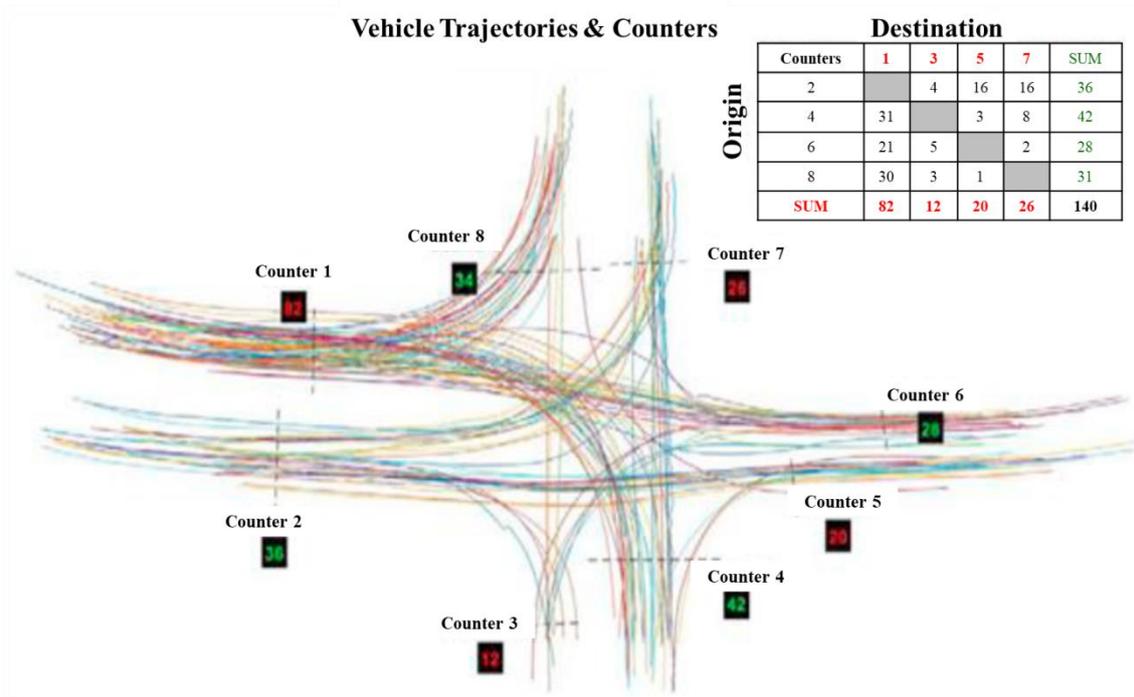
圖 2.1-1 無人機應用於交通領域研究之系統架構圖

本研究主要採用定點拍攝交岔路口的方式，來取得交岔路口之交通相關資料，透過影像處理技術偵測交岔路口車流量、車種、車輛軌跡及車速等交通資料，以圖表方式將相關的交通資料以系統化整合方式呈現於分析工具中。

2.1.1 傳統車流分析技術

一般而言，利用車輛移動軌跡之車流分析方法，主要是先取得能代表影像中車輛之可靠特徵或代表點(如顏色或角點)，再追蹤同一特徵以取得連續的車輛軌跡，最後對大量軌跡進行分類與統整。透過取得大量的車輛移動軌跡，來建立交岔路口上的主要車流分佈，以區分不同車流之車輛移動情況。考量車輛計數上的方便性，許多研究會以人工方式標註交岔路口四周的車輛進出邊線，以便計算行

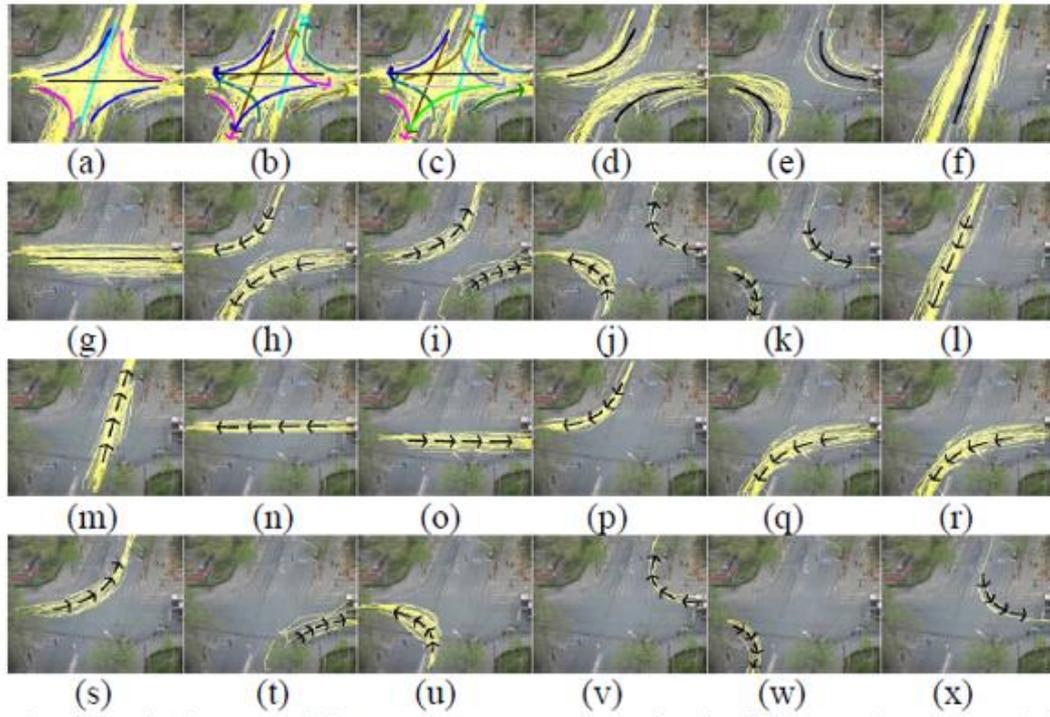
經交岔路口不同車流的流量，如圖 2.1-2 所示。



資料來源：[2]

圖 2.1-2 車輛軌跡的分佈與進出邊線設置圖

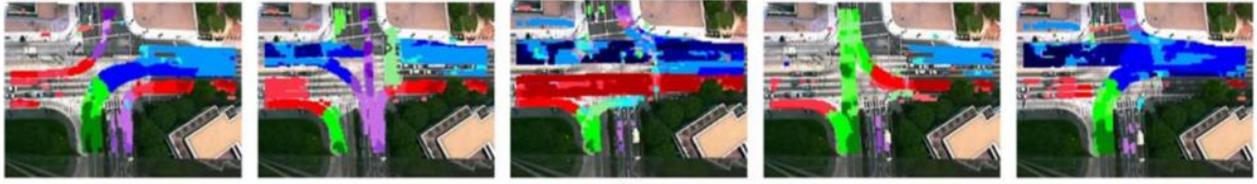
近年來有不少利用車流軌跡來區分交岔路口車流分佈之技術，但多半是透過傳統監視器畫面進行車流分析，往往受限於傾斜的拍攝角度，導致車輛間容易因相互遮蔽而無法持續追蹤，並且難以直接將車流軌跡位置對應至實際交岔路口地圖。相對而言，隨著無人機技術的日漸成熟，透過空拍影像進行車流分析，則成了另一個更有利的選擇。由於空拍影像下的車輛不像一般交通監視器受前車遮蔽及拍攝視角所影響，因此，可透過影像上的角點特徵或區塊，就可有效追蹤空拍影像中之車輛。例如 2011 年，Xin 等人^[3]就利用影像上的區塊比對及追蹤進行車輛軌跡估測。在取得大量的車輛軌跡後，利用多層光譜分類(multi-layer spectral clustering)，以相似矩陣取得軌跡的特徵向量來進行軌跡分類，最後取得代表不同方向車流資訊的多類車輛軌跡，進而能夠判斷預測每部車輛移動路徑。Xin(2011)等人^[3]的方法主要是由上而下進行階層式之分類拆解，如圖 2.1-3 (a)~(e) 為所有車流軌跡，(f)~(k)為在不同交通號誌管制情況下的車流分類，(l)~(x)則依空間上流向的一致性，再行拆解為不同之單一流向。



資料來源：[3]

圖 2.1-3 不同方向車輛軌跡分類示意圖

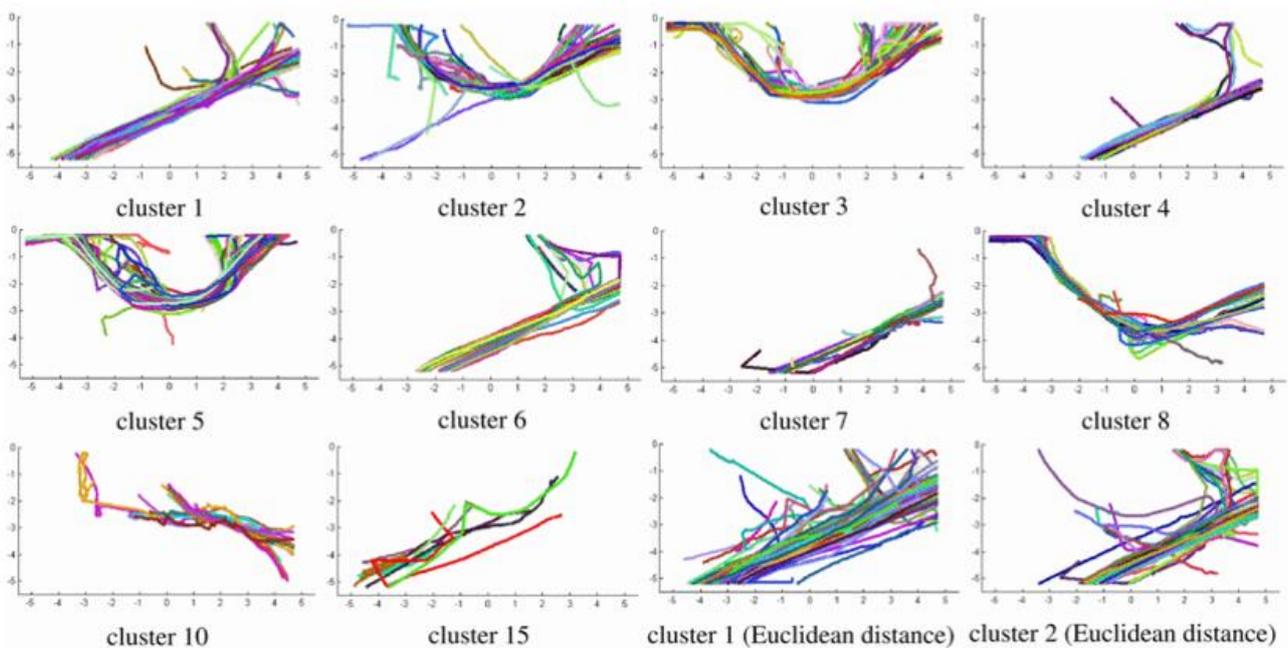
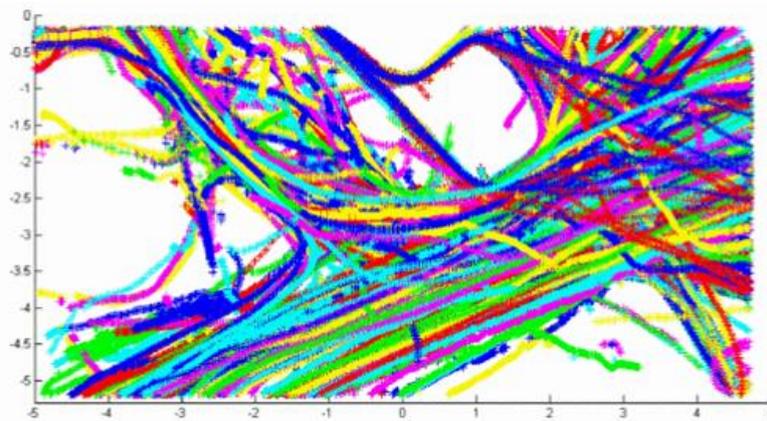
2014 年 Song (2014) 等人^[4]的研究則是利用兩次的潛在狄立克雷分配 (latent Dirichlet allocation, LDA)，來對車輛軌跡進行分類。首先在第一次分類中把車輛的流向特徵作為視覺字典 (visual words)，利用 LDA 透過詞袋模型 (Bag-of-Visual-Words) 的概念，找出更上層的群聚分布 (cluster) 作為主要的流向狀態，稱作交通狀態 (traffic states)，藉此來區分同一車流中的不同流向車流分段。其與 Xin (2011) 等人^[3]的研究方法上之差異，主要在於 Song (2014) 等人^[4]是由下而上的階層式合併車流，先找出瞬間車流向量，再將空間上類似車流向量分布進行合併，一旦空間上的車流向量分布在時間上與之前分布發生明顯差異，如圖 2.1-4 所示，藍/紅/紫/綠分別代表往左/右/上/下等方向之車流，此差異代表了交通狀態對應於交通號誌上的改變。



資料來源：[4]

圖 2.1-4 交通狀態變化示意圖

Wang (2008) 等人^[5]同樣利用車輛軌跡進行分群，使用非參數化的貝氏模型(nonparametric Bayesian model)與雙階層狄立克雷處理(Dual Hierarchical Dirichlet Processes, Dual-HDP)以取得不同車流狀態的方法，如圖 2.1-5 所示。這類方法的優點主要是經由車輛追蹤的步驟，來排除那些無法被持續追蹤或可能為錯誤辨識的車輛，以達到減少錯誤偵測的機率。從這兩個研究方法可以看出，這些研究大多是基於空拍影像，因為空拍影像通常具有較佳的俯視角度，能夠減少因車輛相互遮蔽所產生的車輛追蹤問題，在追蹤並記錄每部車輛的移動軌跡後，便可以計算影像上車輛間之相對速度、車輛間距、停止位置等相關交通參數，並進行統計，以作為車輛間之衝突分析、計算進出交岔路口的車輛數及交岔路口停等延滯等研究。以圖 2.1-5 為例，每條不同顏色軌跡代表不同車輛之完整移動軌跡，之後對所有軌跡進行分群處理，取出空間上位置相似的車輛軌跡類型，每個軌跡類型(即圖中 cluster 1~15)便代表了單一車流。



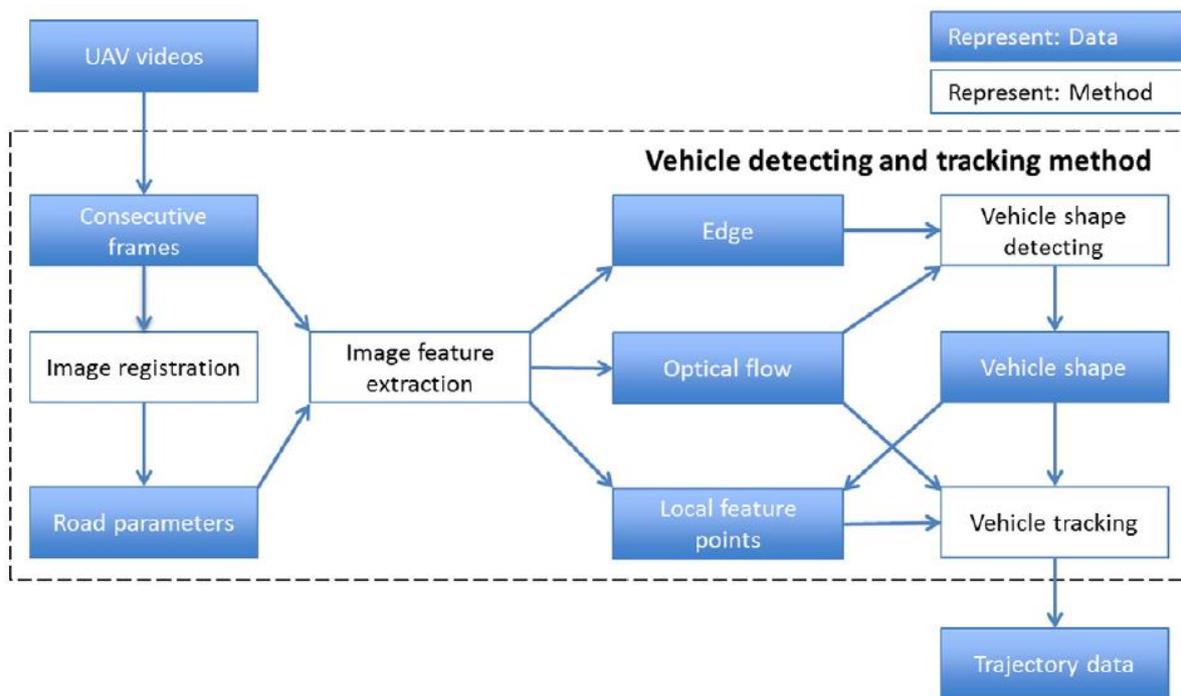
資料來源：[5]

圖 2.1-5 不同車流分群示意圖

然而利用獨立車輛軌跡分類的方式，無法真正取得道路上每一點的流向資訊，僅能透過鄰近離散的軌跡位置，判斷目前位置車輛的可能所屬車流，在實際利用車流資訊預測/追蹤行車方向時，較容易發生誤判的可能。

近年來隨著無人機的普及化，利用無人機進行車流分析已成為新的趨勢，相對於一般地面監視器的俯拍方式，無人機酬載之數位攝影設備可以從完全垂直於地面之角度進行拍攝，可克服一般監視器因視角而產生車輛變形的問題，每部車輛在影像中可始終維持一致的車頂外觀，且拍攝範圍也可在不利用廣角鏡頭之前題下，取得任意大小的合適拍攝範圍。

在 Wang (2008) 等人^[5]所提車輛偵測與追蹤方法架構中，系統性地將傳統物件偵測與追蹤技術應用至空拍影像。其車輛偵測與追蹤流程如圖 2.1-6 所示，包含了影像對齊校正、車輛偵測、車輛追蹤等步驟。由於空拍影像中的車輛外觀較一般監視器影像單純且容易處理，因此非常適合傳統的影像處理技術。本研究係採用類似的處理架構，取得車輛的位置與軌跡特徵。首先透過無人機取得交岔路口之連續空拍影像，這些影像會經過影像晃動校正等前處理(如圖 2.1-6 中的 image registration)，取得穩定的連續空拍影像以確保所有影像座落在同一個 2 維座標系統中。在車輛偵測與分類上則引入最新的深度學習架構，以提升偵測結果的穩定性。由於傳統上的影像特徵，如邊緣(edge)、輪廓(contour)等，相當容易受到拍攝環境光線變化、甚至建築物陰影等影響而無法準確取得。但隨著近年來深度學習在影像處理上的成功發展，已經漸漸取代利用傳統影像特徵的偵測方式，本研究希望透過導入深度學習強化車輛偵測的準確度，同時也輔以特徵追蹤技術，修正未能準確偵測的車輛位置，以提供完整精確的車輛軌跡資訊。



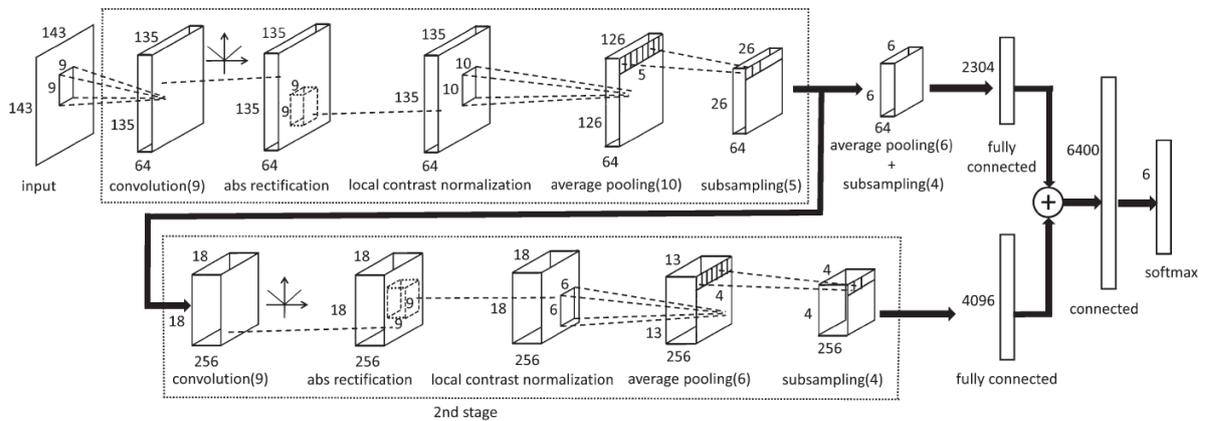
資料來源：[5]

圖 2.1-6 車輛偵測與追蹤流程圖

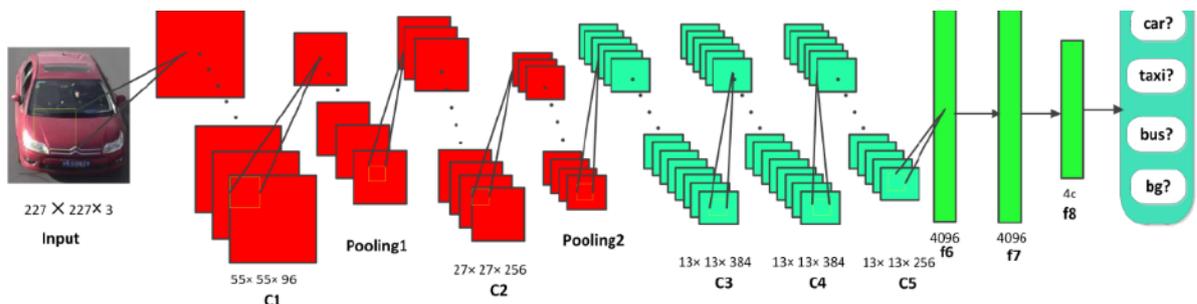
2.1.2 基於深度學習之車流分析技術

機器學習已逐漸成為現今車流分析中不可或缺的一環。過去支援向量機 (Support Vector Machine, SVM)、方向梯度直方圖 (Histogram of Oriented Gradient, HOG)、Adaboost 與 harr-like 特徵等分類器與特徵的結合，被大量用於偵測車輛位置與及車種分類兩大問題上。但近幾年來隨著深度學習的崛起，許多科學領域都有相當突破性的發展，特別是在影像辨識/分類方面，十年前被認為是難以突破的問題，如今的辨識率甚至已經超越人類。因此，本研究希望利用深度學習中的卷積神經網路 (Convolutional Neural Networks, CNNs) 架構，依車種對車輛進行分類工作。卷積神經網路與過去機器學習方法的最大不同之處，在於過去方法皆有賴人類智慧去設計影像特徵，再透過機器學習根據影像特徵進行分類，因此影像特徵設計上的好壞會影響分類結果。然而由人類設計的影像特徵往往較為理想而單純，難以適用所有複雜而多變之實際影像內容。相對地，卷積神經網路將影像特徵的生成涵蓋在其網路架構裡，透過非常大量的影像訓練，在不同尺度 (scale) 上產生大量適用於各類影像的局部特徵，這些由百萬張真實照片所訓練歸納得出的局部影像特徵，遠較人類設計的影像特徵更為泛用，也更能呈現多數影像的局部特質。另一方面，網路中的多層結構也保障了影像描述上所需的複雜結構，因此影像辨識/分類問題是如今深度學習最成功的領域之一。近年來以 CNN 為主快速發展的深度學習架構，在車輛與行人辨識上更是突破了過去的侷限，大幅改善過去機器學習在高遮蔽與多角度問題上的缺點。例如 2015 年 Dong (2015) 等人^[6]提出針對車輛分類的半監督 CNN 架構，利用稀疏拉普拉斯濾波器 (sparse Laplacian filter) 從大量未標註的資料得到對應的濾波器。2017 年 Yao (2017) 等人^[7]提出了基於 AlexNet 模型修改的架構，以用於車種分類問題上，如圖 2.1-7 所示。雖然 AlexNet 是最早成功應用於影像的物體偵測辨識 CNN 架構，相較過去非 CNN 架構方法的錯誤率更低於約 10 個百分點，但處理速度也遠較非 CNN 架構方法明顯緩慢。近年來隨著一系列 R-CNN 架構^{[8][9][10]}上的演進，透過預先過濾出較可能的物體位置，大幅提昇利用分類器偵測影像中車輛的效率，使得深度學習在車輛偵測與分類問題上已經具有實用價值。然而目前多數深度學習仍需配合高解析度的影像進行處理，其基本的分類影像尺寸大小為 224×224 或 227×227 影像。因此，對於設置較高的攝影機或觀察範圍較廣的交岔路口影像中，其對較小之車輛尺寸往往無法得到出色的辨識率，而較適合低角度的交通監視器影像進行車輛偵測。在車流分析問題上，鑒於深度學習的快速發展，已大幅取代傳統的車輛偵測與分類方法，可將車輛偵測與分類工作在同一架構之下同步

完成，但為了計算深度學習網路中的大量權重參數，目前利用深度學習直接從完整影像偵測所有車輛位置並加以分類，仍難以在一般硬體環境下達到即時處理。



(a) 半監督 CNN 架構圖



(b) 基於 AlexNet 模型修改圖

資料來源：[7]

圖 2.1-7 深度學習架構模型圖

另一方面，由於深度學習在車輛分類上需要花費較大資源，加上空拍影像以完全俯視所拍攝之車輛形狀相對單純，因此，在實務上使用深度學習是否有其必要性，可否透過傳統的機器學習方法，在相近的分類準確率上達到更好的處理效率，也是本研究實作時探討的重點項目之一。

2.2 交通衝突技術

2.2.1 衝突之定義

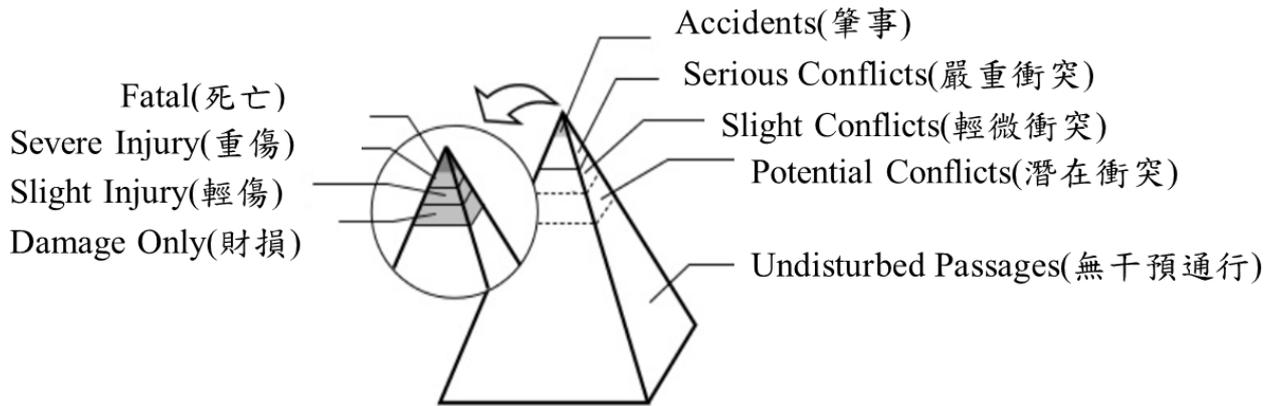
交岔路口是車流匯集及轉換方向之處所，當駕駛者將車輛由原車道轉換至

另一車道，或行駛進入交岔路口時，會與其他車輛發生分流、併流、穿越等行為，同時用路人彼此之行車軌跡將產生合併、分離或交岔等情況而產生衝突區。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，事故地點為交岔路口比例最高(高達 60.5%)^[11]；另黎俊彬研究提到，美國研究分析，在都會區與郊區交通事故報導中，分別超過 1/2 與 1/3 發生集中於交岔路口範圍內，在澳洲則分別為 43%及 11%^[12]。

交岔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岔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^[14]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」。詹丙源 (1990)^[15]將交通衝突定義為：「一個或一個以上之駕駛者，因前方行車狀況發生變化，採取煞車式迂迴閃避動作，以防止碰撞的交通安全行為事件。」。

2.2.2 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。在原来的 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。在原来的 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^[16]於 1987 年提出安全階層金字塔(Safety pyramid)也指出相同的概念，如圖 2.2-1 所示，研究認為道路事件數量與事件層級有關，越輕微平常的事件越常出現。碰撞事件在金字塔頂端，數量隨著肇事嚴重程度增加而減少。由於衝突不會像碰撞一樣被記錄、觀察或分析，而嚴重的衝突往往比實際的碰撞更頻繁。A. Tarko (2009)^[17]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)^[18]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。



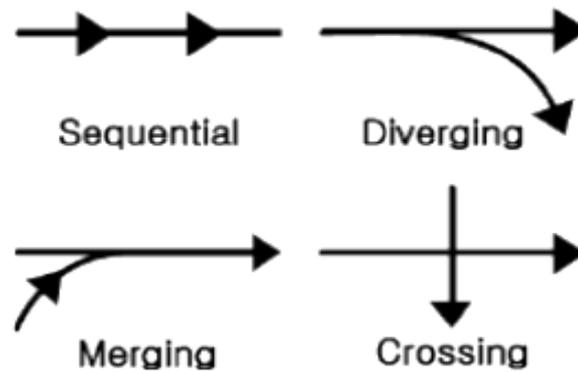
資料來源：[16]

圖 2.2-1 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)^[19]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)^[20]基於交岔路口安全的觀點，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岔路口左轉時相設計之安全衡量指標；黎俊彬君 (2005)^[12]以考量交岔路口型式、車輛尺寸、轉彎半徑、運行軌跡等多項因素，於號誌化平面交岔路口就對向左轉車輛通行安全進行探討。

2.2.3 交通衝突型態

交通衝突是交通安全潛在危險之根源，其分類為交岔、併入及分出三種型態。若考慮對撞、追撞等碰撞型態，如圖 2.2-2 所示，可將其分為同向直行衝突 (sequential conflict)、分流衝突 (diverging conflict)、匯流衝突 (merging conflict) 及穿越衝突 (crossing conflict)^[21]，茲簡介如下：



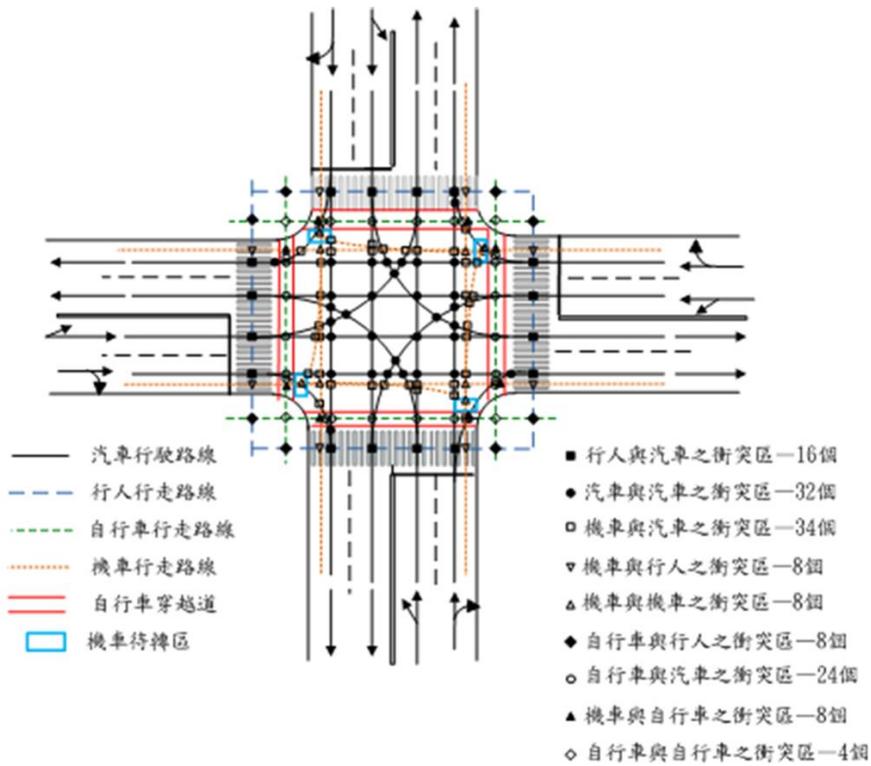
資料來源：[21]

圖 2.2-2 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，是為交岔路口設計之主要考量點。

根據台大嚴慶齡工業研究中心、許添本等人(2017)研究^[22]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行為，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

的交岔路口之交通衝突，如圖 2.2-3 所示。



資料來源：[22]

圖 2.2-3 交岔路口交通衝突分析圖

由交通衝突分析技術可知，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。

2.2.4 交通衝突指標

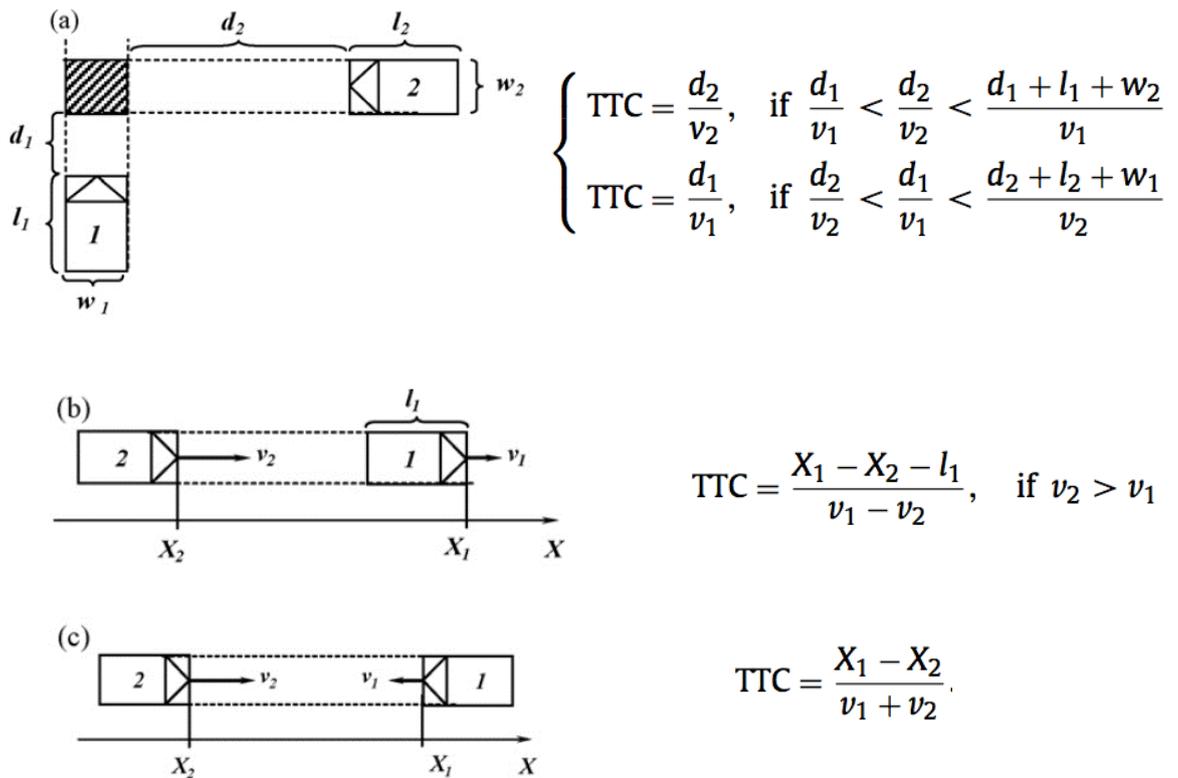
衝突事件的定義涵蓋範圍廣且模糊。美國運輸研究委員會的交通安全委員會根據醫學上對替代事件的定義延伸，提出以衝突替代肇事評估交通安全須滿足兩條件[22]：

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)

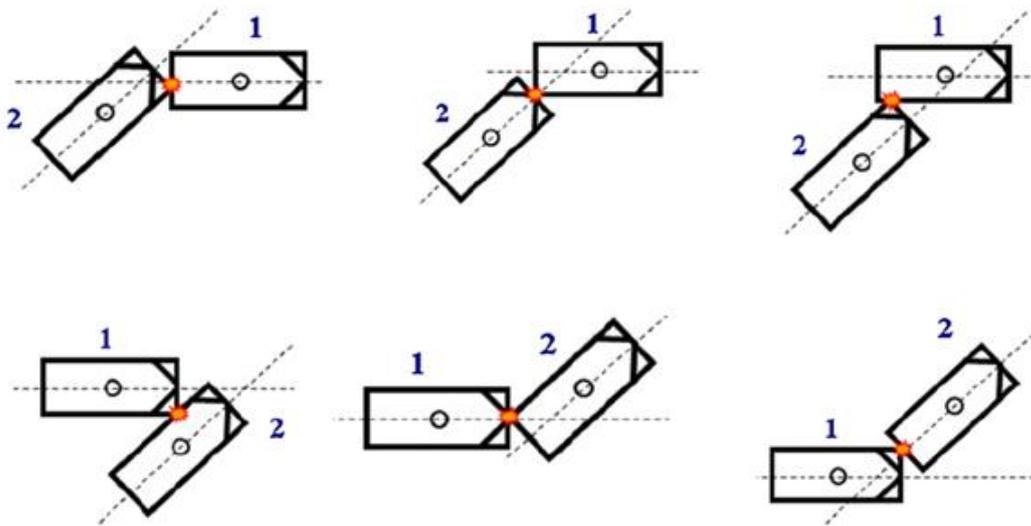
碰撞時間的定義為兩車維持當前速度與行駛方向不變的情況下，兩車碰撞所需的時間 (Hayward, 1972)^[23]。此指標為連續型，即每個時點均能產生一筆資料，實務上常以記錄時間中所得秒數最低的碰撞時間為參考。此指標僅限於該時點處於即將碰撞(near miss)狀態下的車輛，並非所有車流交會都會產生 TTC 值。Laureshyn et al. (2010)^[30]整理出兩車不同角度下產生衝突，TTC 的計算需考慮碰撞類別及碰撞點，90 度直角碰撞(right-angle collision)、追撞(rear-end collision)、對撞(head-on collision)的 TTC 計算公式，示意圖如圖 2.2-4 所示：



資料來源：[31]

圖 2.2-4 衝突時間(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)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 x 4角 x 4邊)共 32 個“角-邊”組合的碰撞類別，示意圖如圖 2.2-5 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。

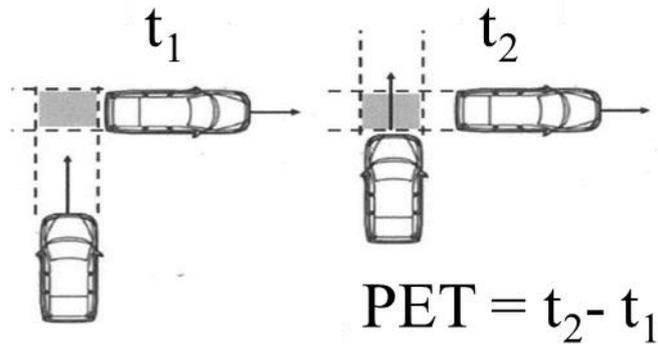


資料來源：[31]

圖 2.2-5 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。右轉側撞的後侵占時間計算公式及示意圖如圖 2.2 6 所示：

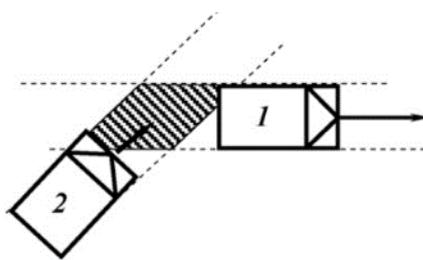


資料來源：[31]

圖 2.2-6 後侵占時間(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 2.2-7 所示，因此計算定義及方式須加以調整。

本研究所採用之影像分析方法，先萃取每一個畫面(frame)的影像中每一台車輛之外框(bounding box)，再透過檢視畫面中每一個畫素(Pixel)是否被另一輛車的外框所佔用，該區域被兩台車於不同時間點佔用的時間差，可作為兩車之後侵占時間。



資料來源：[31]

圖 2.2-7 兩車同時出現於共同區域內但不產生碰撞之情況圖

由於影像分析技術的進步，使用深度學習可大幅取代傳統的車輛偵測與

分類，進行交通衝突分析之相關研究，可節省時間並提高準確性。本研究採用智慧化影像辨識技術，透過偵測及追蹤空拍影像中的車輛，估測其車速與相對位置來進行上述交通衝突指標的估算，以作為交岔路口交通安全評估改善措施之基礎。

交通衝突資料的蒐集，可以透過現場觀察法(Perkins and Harris, 1967)^[24]、微觀車流模擬法(Huang et al., 2013^[25]; Shahdah, et al., 2015^[26])、及影像分析法(Saunier and Sayed, 2007^[27]; Sayed et al., 2012^[28]^[29]^[30])，各種方式有其優缺點。現場觀察法是運用受過訓練之交通觀察員於研究地點觀察並記錄交通衝突數，在沒有其他工具的情況下，是實務上比較容易執行的方式，缺點是人力成本高昂，而且結果可能因調查人員主觀判斷之差異，而導致結果的一致性受到質疑的問題。

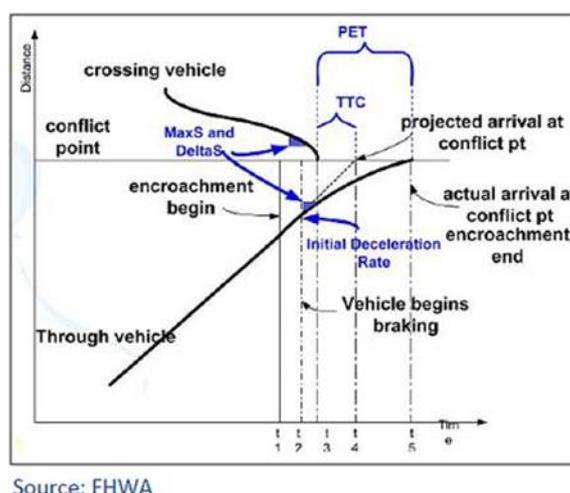
微觀車流模擬法(microscopic traffic simulation model)是透過路段的幾何形態及車流狀況進行模擬，利用產生之車流移動軌跡，運用事故指標(crash surrogate)去評估潛在的衝突。雖然車流模擬模式本身是以安全跟車行為為前提，其車流軌跡並不會有事故產生，但車流當中仍會有潛在的衝突。假設潛在衝突的發生次數與事故的發生機率成正向關係，此方法能評估模擬地點的事故發生機率(Laureshyn et al., 2010)^[31]。2004 年美國聯邦公路局(FHWA)開發出 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)^[32]軟體，這是一項融入多種事故指標，對車流模擬進行交通安全評估的工具，能讀取多種微觀車流模擬的輸出檔，包括 VISSIM、AIMSUN、Paramics 和 TEXAS 等，於近年來廣泛應用於實務上的道路設計及學術研究，如 Stevanovic et al. (2011)^[33]、Habtemichael and Picado-Santos (2012)^[34]、Huang et al. (2013)^[25]、Essa and Sayed (2015)^[35]、Shahdah et al. (2015)^[26]。此軟體於 2017 年推出第三代(SSAM Version 3.0)^[32]，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。

事故替代指標(Surrogate Safety Indicators)除了常用的 TTC、PET 指標外，文獻上也有提出其他有效的指標。SSAM 採用的事故指標如下：

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)

指標的計算方式，如以下圖 2.2-8 兩車之時空軌跡圖所示：



資料來源：[32]

圖 2.2-8 時空軌跡圖

其他被提出過的替代指標，可參考 Laureshyn et al. (2017)^[36] 及 Johnsson et al. (2018)^[37] 的回顧，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。

2.3 應用影像科技做交通衝突或車流調查研究

2.3.1 常見交岔路口影像擷取設備與無人機比較探討

交岔路口影像擷取可依據不同取景視角，達到不同拍攝目的。現有交岔路口常見攝影設備，如圖 2.3-1 所示，包含全景攝影機、車牌攝影機、PTZ 攝影機及 360 度魚眼攝影機，以下將依序介紹：

1. 全景攝影機：一般搭配廣角鏡頭，可取得超過 90 度水平視角之影像，專屬拍攝十字路口之路口號誌燈變化、車流流動行為、行穿線上行人行為及高風險

區交通碰撞事故釐清。

2. 車牌攝影機：一般搭配長焦段鏡頭，可拍攝 30 米遠以上距離之清晰車牌畫面。依據後端車牌辨識影像需求，可調整鏡頭拍攝車牌寬度大於 100 個畫素以上之畫面，專屬拍攝單車道/多車道之車牌號碼、車體顏色、車體形狀、車體廠牌及一些附加之車體訊息。
3. PTZ 快速球型攝影機：搭配自動變焦鏡頭，可由終端平台進行控制攝影機之 Pan 水平轉動、Tilt 垂直轉動及 Zoom 鏡頭伸縮變焦。PTZ 可即時變更拍攝方向、視角，專屬定位於即時影像取得之目的性，如至高點之即時交通車流觀察，以及至高點之即時違規事件細節觀察。
4. 360 度魚眼攝影機：為近期常見之交岔路口影像擷取設備，搭配超廣角之魚眼鏡頭，進行 360 度無死角之影像拍攝，專屬適用於交岔路口之無死角影像擷取。雖拍攝無死角，但因魚眼鏡頭光學特性，其邊緣區域之影像會變形及成像品質不佳等問題。



(a)全景攝影機(搭配廣角鏡頭)



(b)車牌攝影機(搭配長焦段鏡頭)



(c)PTZ 球型攝影機



(d)360 魚眼攝影機

資料來源：本研究繪製

圖2.3-1 常見交岔路口攝影設備圖

本研究所需之影像條件包含：(1)影像涵蓋車流軌跡；(2)影像邊緣少扭曲變

形；(3)垂直俯拍之影像，以利進行後續影像分析處理。綜整交岔路口常見影像擷取攝影機與無人機特性，如表 2.3-1 所示，無人機因拍攝高度足以涵蓋車流軌跡、攝影鏡頭搭配非廣角鏡頭以防止影像變形、以俯拍方式可取得垂直正視影像，因此本研究建議採用無人機進行影像資料蒐集。

表 2.3-1 交岔路口常見攝影機與無人機特性比較表

攝影機 比較項目	全景攝影機	車牌攝影機	PTZ 攝影機	360 度攝影機	無人機
涵蓋範圍	廣 (廣角鏡頭)	窄 (望遠鏡頭)	窄~廣 (變焦鏡頭)	非常廣 (魚眼鏡頭)	最廣 (拍攝點最高)
影像變形	小 (廣角鏡頭)	無 (望遠鏡頭)	小 (變焦鏡頭)	大 (魚眼鏡頭)	小 (非廣角鏡頭)
俯拍/側拍	側拍	側拍	側拍	俯拍	俯拍
電力持久	永久性 (市電)	永久性 (市電)	永久性 (市電)	永久性 (市電)	短暫性 (電池)
風力影響	小 (搭配強固型 支架)	小 (搭配強固型 支架)	小 (搭配強固型 支架)	小 (搭配強固型 支架)	大 (風力引響懸 停能力)
雨勢影響	小 (IP66 防水防 塵等級)	小 (IP66 防水防 塵等級)	小 (IP66 防水防 塵等級)	小 (IP66 防水 防塵等級)	大 (少有防水型 機款)
適用於分析 工具之影像	不建議使用	不建議使用	不建議使用	不建議使用	建議使用

資料來源：本研究繪製

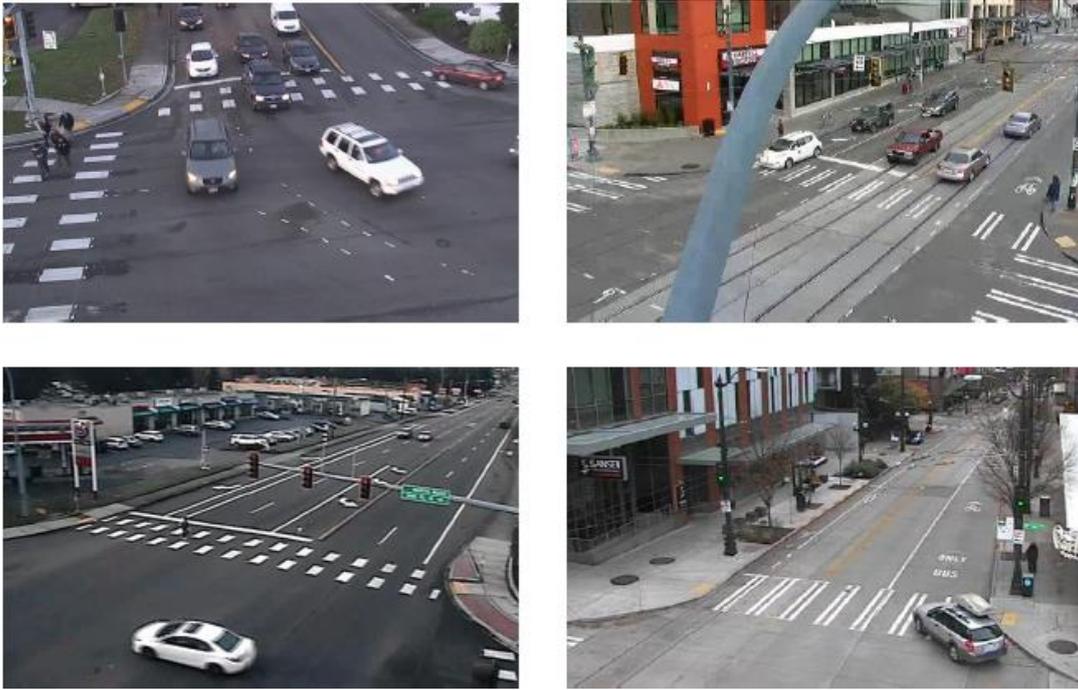
2.3.2 應用影像技術進行交通衝突或車流調查之探討

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。我國交通部亦將臺灣地區易肇事路段列為長期改善計畫之任務，其計畫目的在於降低臺灣地區都市及一般公路易肇事路段交通事故之傷亡人數與發生次數，增進整體道路之行車安全品質。

由於發生交通事故的因素相當繁雜，主要可歸因於「人、車、路」之三大因素，且每一因素非具有個別獨立之特性，基於易肇事地點改善之複雜性，「臺灣地區易肇事路段改善計畫」中係採「一年期」交通事故資料為基礎進行資料的蒐集與分析，並結合員警繪製之肇事現場圖等資料，透過肇事碰撞構圖(Collision Diagram)據以描述易肇事地點現場的事故類型、傷亡人數、當事者類別、道路狀況、光線類型等，以及其對應的碰撞位置資訊，以瞭解交岔路口主要碰撞型態與對應空間位置。惟透過交通事故調查資料進行分析及研擬交通安全改善方法，係屬事後交通改善手法，但仍無法達到事前預測交岔路口潛在之交通衝突，隨著影像分析技術、雲端計算及深度學習效能技術的日新月異，對於事前評估交岔路口潛在之交通衝突實已可行。

2017 年美國微軟公司(Microsoft Corp.)的 Franz Loewenherz (2017)等人的研究^[38]，與美國華盛頓州貝爾維尤市(the City of Bellevue, WA, USA)和華盛頓大學(University of Washington)共同進行一技術研究案，計畫名稱為”Video Analytics Towards Vision Zero”，以此來提高交通運營和公共安全的機會。此計畫乃是使用既有的交岔路口攝影機提供影像(如圖 2.3-2 所示)，於後端藉由深度學習技術平台(如圖 2.3-3 所示)，以達防止路口碰撞事件為目的，進行以下 3 分類工作(如圖 2.3-4 所示)：

1. 計算：道路使用群體之數量及速度(群體含車輛、行人、自行車)。
2. 記錄：道路使用群體之流動方向(群體含車流、人流、自行車流)。
3. 評估：道路使用群體之可能碰撞的不安全狀態。



資料來源：[37]

圖 2.3-2 一般路口監視器攝影機影像

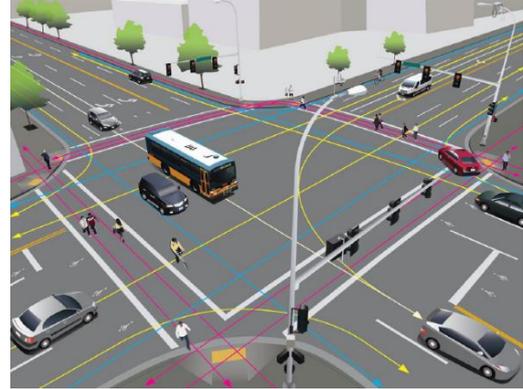


資料來源：[37]

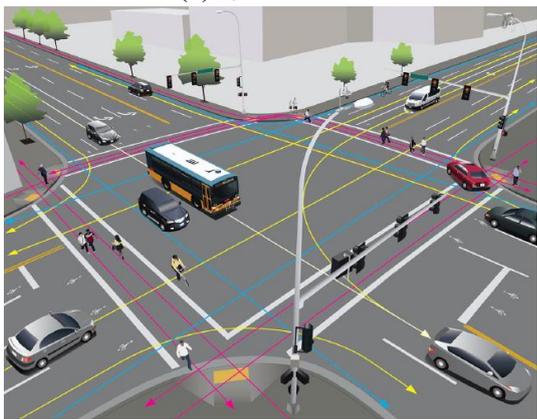
圖 2.3-3 後端平台進行深度學習示意圖



(a) 群體分類示意圖



(b) 群體流向示意圖



(c) 群體數量/時間統計示意圖



(d) 群體衝突熱區示意圖

資料來源：[37]

圖 2.3-4 衝突分析功能示意圖

另外，曾家瑜君 (2014) 等人^[39]的研究描述，隨著空中拍攝的技術於近年大幅進步，一套無人機設備約新臺幣十萬元以內，相較於過去使用直升機接載調查員到天空上去進行拍攝，一次要花上數十萬元左右的成本而言，已經顯得相當便宜。Peleg et al. (1973)^[40]研究在城市地區使用空中拍攝的照片進行交通調查，除了利用簡單的設備、方法和合適公式，用以取得車流密度，車流量，車輛計數，速度等交通資料，也考慮連續拍照和大範圍攝影的交通調查問題，以及交通特性、車輛識別、經濟效益與飛行規劃等交通調查量參數。Makigami et al. (1985)^[41]在日本阪神高速公路上利用相機拍攝，記錄車流量並追蹤車輛軌跡於時空圖上，並繪出交通量的速率-密度圖，藉以分析壅塞原因。此外，Ardekani and Herman (1987)^[42]也利用空拍影像分析流量、車速等交通資訊，並於地面實際確認比對，以確認分析之合理性。

因直升機的使用需要龐大的調查成本，也有安全性的疑慮，隨著科技的進步，

利用小型無人機進行調查已逐漸普及。大多數傳統的交通資料蒐集方式侷限在他們所在的地理環境。而空拍模式則可以用來檢測更廣泛的空間、時間的車輛位置和移動，提供更足夠的資訊。一些研究(如 Coifman et al., 2004)^[43]已採用較輕小，且更具經濟效益的無人飛行系統(Unmanned Aircraft System, UAS)，來記錄交通調查量的影像。這些研究結果顯示，使用 UAS 能蒐集公路車流密度調查、停等車隊長度、起迄點研究、停車場的利用率等。此外，Angel et al. (2002)^[44]蒐集及分析空拍影像的交通資訊、旅行時間和延誤的估計方法，以及推算車輛行駛軌跡。數位影像、全球定位系統(GPS) 和自動圖像處理的使用，提高了蒐集資料和資料還原的準確性和成本效益。Shastry 和 Schowengerdt (2002)^[45]發展數位影像處理技術，用簡單的線性比例縮放，找出車輛移動的關係，提供車輛速度、加速度、減速度等交通流量的預估參數。因此，文獻證實了利用空拍影像觀察在大範圍車輛移動之潛在優勢，提供視覺上有意義和量化的交通資訊，讓交通工程師、交通規劃者可以得到更完整的依據去做出分析及決策。

由於近年來電腦視覺技術的進步，可透過影像辨析判斷車輛於影片中的位置及移動軌跡，可用較低的成本自動蒐集交通衝突數據，為實證分析提供了新的機會(Saunier and Sayed, 2007^[27]; Guido et al., 2011^[46]; Autey, 2012^[28]; Sayed et al., 2012^[29], 2013^[30])。Sacchi et al. (2013)^[47] 為了評估槽化右轉車道的安全效益，分析碰撞事故資料及影像蒐集的衝突資料，並證明兩者的結果非常相似，以驗證交通衝突技術的有效性。St-Aubin et al. (2015)^[48]以影像資料進行大型且自動化的道路安全分析，當中提出了評估道路安全性的研究架構及步驟，並蒐集了 40 個圓環進出口交織段共 473 小時的路側 CCTV 影像進行分析，示範該方法的可行性，並發現車輛追蹤的誤差、TTC 指標的分佈及門檻是該方法未來需要克服的問題。由於影片的拍攝角度低，會使得在影像中的後方物件被前方物件所遮蔽，導致物件偵測困難及追蹤誤差過大，為了克服這個問題，Chen et al. (2017)^{[49][50]}運用空拍機蒐集影片，透過影像辨析偵測交岔路口中的移動物件，分析行人直行及汽車右轉的衝突，發現 PET 及 Relative TTC³是評估行人-汽車衝突的有效指標。

³ Chen et al. (2017)^[50]運用空拍機蒐集影片，透過影像辨析偵測交岔路口中的移動物件，分析行人直行及汽車右轉的衝突，發現 PET 及 RTTC (Relative TTC, 相對 TTC)是評估行人-汽車衝突的有效指標。RTTC 的計算定義為兩個用路人在速度維持不變的情況下，第一用路人到達潛在衝突區與第二用路人到達這個衝突區的時間差，計算方式與 TTC 類似；因 TTC 的計算主要用於追撞衝突，後車一定會與前車的軌跡在縱向維度發生重疊，而 RTTC 的計算方式則多考慮了行人-汽車的衝突一般是屬於交叉衝突，軌跡的計算需要有縱向及橫向兩個維度。

第三章 無人機法規及趨勢

3.1 無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)⁴介紹

傳統調查方式的費時、耗財特性，已可由新興科技所解決。由曾家瑜君^[39]研究指出，目前各國逐漸發展無人機相關產業及用途，從早期用於軍事、國防用途，到目前逐漸使用在農/漁業應用、國土測繪、環境監測、交通控制及危險搜救任務等民生範疇，甚至未來可能發展的物流配送作業。除了經濟效益外，亦無須專業飛航員於機體上操作，安全性高，減少了因機體故障或意外而產生的人員傷亡機率，此外，無人機可以進入調查人員不易進入的區域進行調查，所拍攝的範圍廣大，不易受地理環境的限制，在經濟、效益兩得的狀況下，使得近年來無人機在國內、外的使用率逐漸盛行。

飛行器的型號、規格、特性不盡相同，應用在娛樂、商用攝影、電影、新聞、救災、探勘、調查等不同領域所需要的配備更差距甚遠。根據內政部發展無人機航拍技術作業的工作報告書(2011)說明，目前無人機系統(Unmanned Aerial System, UAS)分為定翼型無人機及旋翼型無人機(如圖 3.1-1)。定翼型(Fixed Wing)飛行的升力是空氣相對機翼的作用力所提供；而旋翼型(Rotary Wing)則是利用旋轉的機翼所提供升力和推進力飛行。前者飛行力學與控制較易掌握，高續航力、抗風能力強、酬載能力高，較適於大範圍帶狀航拍任務及較遠地區調查；後者不需起降跑道，且具有滯空懸浮特性，擁有高機動性及操作容易等特性，適合小範圍特定地區航拍任務。

交通調查需要長時間觀察路網的同一地點，定翼型無人機不具滯空懸浮特性，不適合用於交通調查；而旋翼型能以固定位置及角度拍攝一段時間，故非常適合用於路口、路段、系統交流道等的交通調查，故本研究將針對旋翼型 UAV 進行討論。因旋翼型 UAV 有多個電動軸心，以下簡稱多軸飛行器。

⁴無人機(Unmanned Aerial Vehicle)包括自主無人機(Autonomous aircraft)、遙控無人機(Remotely piloted aircraft)及模型飛機(Model aircraft)，本研究採用遙控無人機進行影像資料蒐集。無人機通常在隔離空域飛航，只有遙控無人機才能與有人無人機共用進入融合空域。



資料來源：內政部發展無人機航拍技術作業的工作報告書, 2011

圖 3.1-1 定翼型 UAV 及旋翼型 UAV

多軸飛行器的機型種類繁多，且更新速度快，表 3.1-1 列舉部分 AR Drone 及大疆（DJI）系統的部分機種，針對軸數、機體重量、電池容量與飛行時間等特性，就不同機種做基本的介紹與比較。

表 3.1-1 多軸飛行器比較表

型號	Ar. Drone2.0	F550	S800	S1000	Phantom 4	卓思 X6+
軸數	4 軸	6 軸	6 軸	8 軸	4 軸	6 軸
機體重量	0.4 kg	約 1.2 kg	約 2.6 kg	約 4.2 kg	約 1.4 kg	約 4.6 kg
起飛重量	0.4 kg	1.2~2.4 kg	5.0~7.0 kg	6.0~11.0 kg	1.4~1.6 kg	4.6~6.0 kg
電池伏特及容量	11.1v(1000 mAh)	11.1~12.8v(4000~6000 mAh)	22.2v(10~15 kmAh)	22.2v(10~20 kmAh)	DC15.2v(5870 mAh)	DC24v(17500 mAh)
最大飛行時間	約 12min	約 20 min	約 16 min	約 15 min	約 25min	約 40min
搭配攝影設備(最高階)	內建鏡頭(HD Camera 720p)	GoPro Camera	Panasonic GH3	Canon 5D Mark III	內建鏡頭 (HD 4K)	GoPro Hero4
圖示						

資料來源：本研究繪製

欲使用空拍進行交通調查，多軸飛行器必須停留於路口或路段上方進行拍攝，穩定性高、飛行時間長、重量較輕、體積較小為本研究調查選擇的主要考慮因素。採用多軸飛行器進行調查，相對於傳統路邊調查方法，不僅試驗週期短、支援裝備少、設備成本低、機動性（運用靈活度）及安全性高，可取代載人航空

器執行各種危險或不易達成的任務，亦可減少人事成本，使得調查更容易被完成。

3.2 無人機相關規範

面對近年來無人機的廣泛使用，在進行空中勘查、航空拍攝、學術研究或娛樂用途時，為保障飛航安全及避免無人機飛入人口密集區發生事故的責任歸咎問題，無人機的飛行管理是目前不容忽視的議題。為確保無人機和載人航空器都能在不同的空域裡活動，目前大多數國家是基於有人機適航規章進行調整、修訂或補充的方式進行制定對應的無人機適航標準。

表 3.2-1 列出目前國際上相關無人機規範及管轄單位，以下將對國內、外法令規章進行初步的整理探討：

表 3.2-1 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	無人機建議報告	預估 2018 年底	歐洲航空安全局 (EASA)
美國	The Small UAS Rule (Part 107)	2016.8.29	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

資料來源：國家政策研究與資訊中心整理，2016

3.2.1 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新法規正式建議報告，此案特別重視隱私、安全、資料、保險及責任承擔等相關議題。

1. 未來沒報備申請的無人飛行器，只能在駕駛員肉眼視野內飛行。在新法上路後，包括使用無人飛行器內建攝影機，透過智慧型手機串流畫面的遙控駕駛者，還有遙控無人機，拍攝難以到達地區畫面的攝影愛好者，將都不能使用無人機拍攝。

2. 達 25 公斤重的小型無人機應有歐盟製造 CE 標章 (Conformité Européenne)，而且產品的使用說明應提供操作者明確的訊息，包括應做與不應做的說明，以及不危及他人安全的操作方式說明書。
3. 飛行器共分為三類，開放、特殊以及認證。開放類規範 250 克到 25 公斤，用於拍照及攝影用途的無人飛行器，飛行高度最高只能達 120 公尺。而特殊類無人飛行器使用前應報備主管機關，駕駛員經過評估通過授權後才可以駕駛，規範範圍包括視野外飛行 (Beyond-Visual-Line-Of-Sight, BVLOS)，以及在人口密集處駕駛飛行器。認證類考慮其風險，需有 UAS(Unmanned Aircraft Systems)認證，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。

由於無法可管，現在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，在 2018 年底前，這份建議報告就會在歐洲各國成為正式法規，限制無人飛行器的操作。

3.2.2 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。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 160km/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。

此法規對於亞馬遜 (Amazon)、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。

3.2.3 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）》，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。

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. 申請人可透過《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，決定是否批准電子經營許可證，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。

3.2.4 日本

日本對無人機的安全規定於 2015 年 12 月 10 日生效，規則細節如下：

1. 定義

- (1) 「無人機」是指不能容納任何人的飛機、航拍機、滑翔機或飛艇。
- (2) 可以遠程或自動駕駛。
- (3) 不包括比 200g 輕的無人機 (包括電池重量)。

2. 無人機禁止飛行空域範圍 (Japan No-Fly Zone)

任何於以下空域操作的無人機必須獲得國土交通省的許可：

- (1) 地面以上 150 公尺以上的空域。
- (2) 機場周圍的空域。
- (3) 由總務省確定及公告的人口密集居住區 (DID)。

3. 飛行操作限制

除非獲得國土交通省的許可，任何無人飛機駕駛人員必須遵守下列操作條件：

- (1) 在白天運作無人機。
- (2) 在視線範圍內 (Visual Line of Sight) 操作無人機。
- (3) 無人機與人或其他地上物保持 30 公尺的距離。
- (4) 不要在多人聚集的活動場所上飛行。
- (5) 不得運輸爆炸物等有害物質。
- (6) 不要從無人機丟棄任何物體。

4. 例外情況

飛行限制不適用於公共機構的搜救行動。

5. 處罰

如果違反上述規定，無人機操作人員可以判以最高 50 萬日元的罰款。

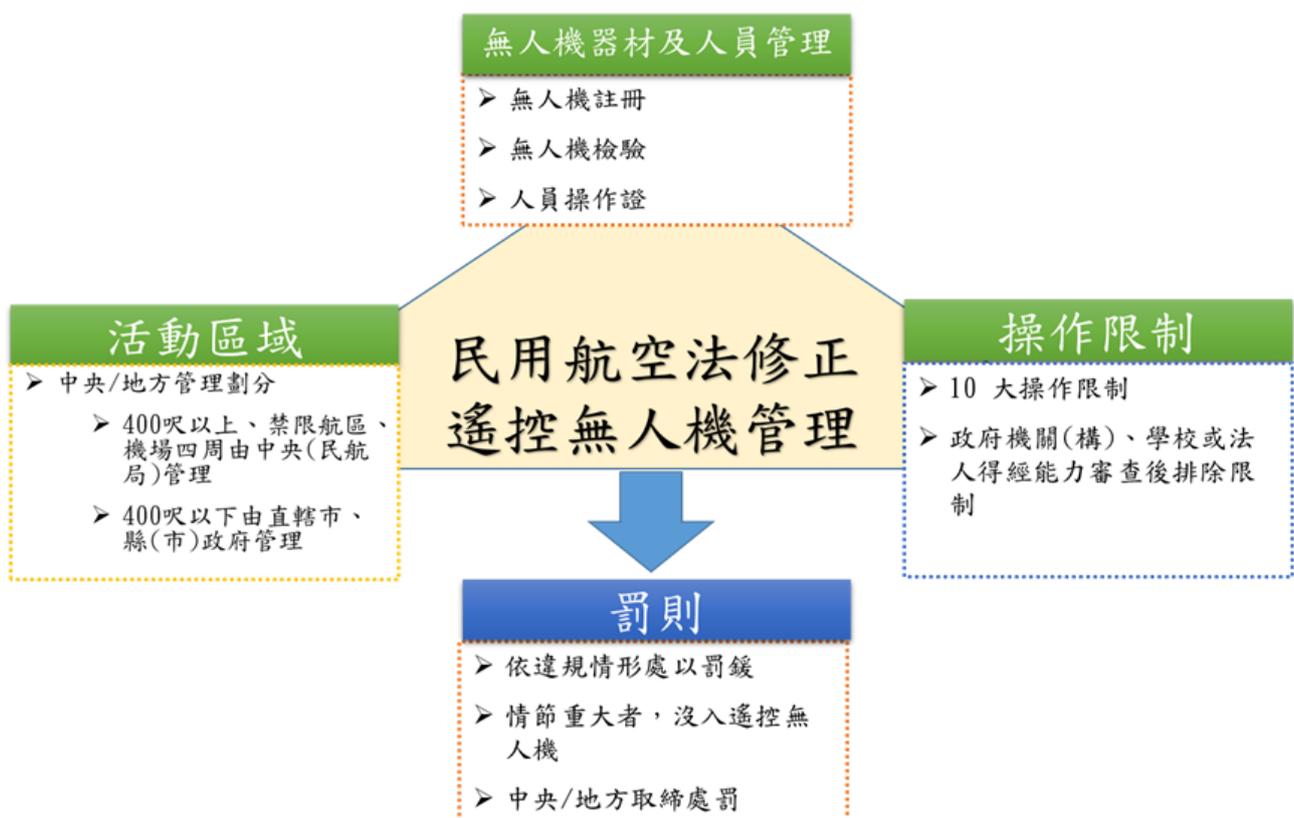
6. 許可和批准

在駕駛無人機前，使用者必須至少提前 10 天 (不包括星期六，星期日和節假日) 向國土交通省提交申請。

3.2.5 國內規範

1. 民用航空法「遙控無人機專章」

因應遙控無人機活動漸增，為明確相關管理方式，交通部及民航局借鑒美國、歐盟、日本等國家立法經驗與國際民航組織規範，考量國內環境與利害關係人意見後，融合公共安全、社會秩序、飛航安全並兼顧產業發展，推動於「民用航空法」中增訂遙控無人機專章及相關授權法規命令修法工作，其管理架構如圖 3.2-1 所示。遙控無人機專章修正草案已於 107 年 4 月 3 日經立法院三讀通過，並於 107 年 4 月 25 日經總統公布，後續將由行政院訂定適當施行日期後正式施行，目前民航局刻正辦理相關子法及管理系統規劃開發中，規劃 108 年 7 月 1 日實施。推動時程如圖 3.2-2 所示：



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-1 遙控無人機專章管理架構圖



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-2 遙控無人機專章推動時程規劃

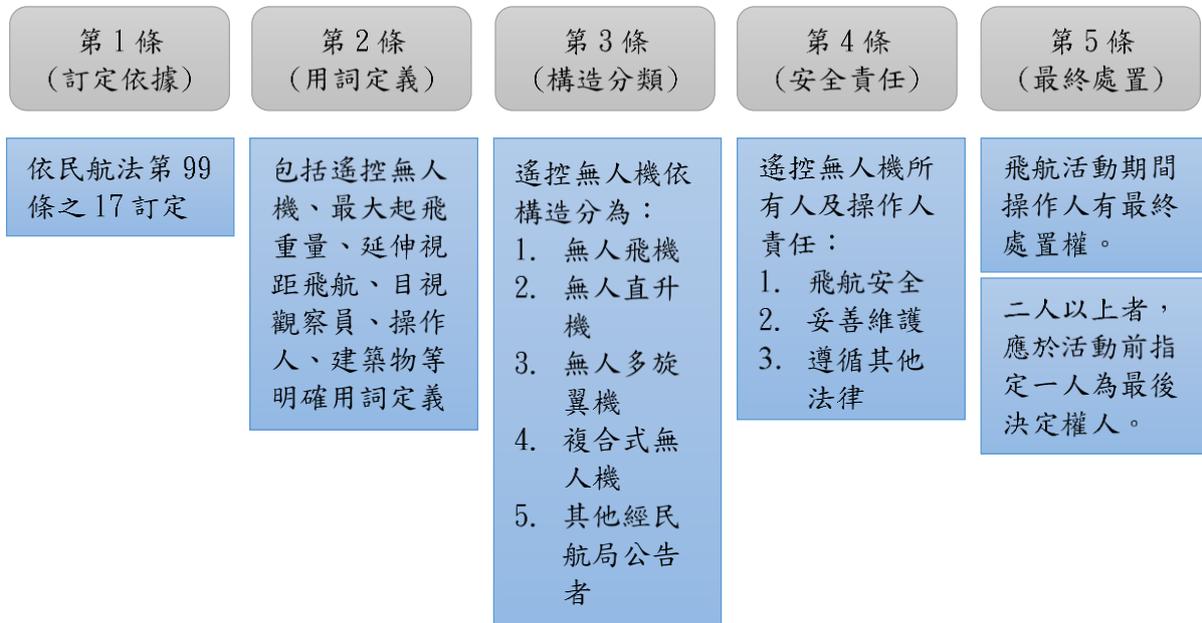
根據 107 年 8 月 13 日民航局與各地方政府說明資料，民用航空法遙控無人機管理規則以各章條文分類之後，說明架構如圖 3.2-3 所示，包括第 1 章總則，主要說明訂定依據等內容；第 2 章遙控無人機註冊及射頻管理；第 3 章遙控無人機系統檢驗、製造者與進口者之登錄及責任；第 4 章遙控無人機操作人之測驗及給證；第 5 章為操作限制及活動許可；第 6 章飛航安全相關事件之通報與處理；第 7 章附則。



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-3 遙控無人機管理規則架構

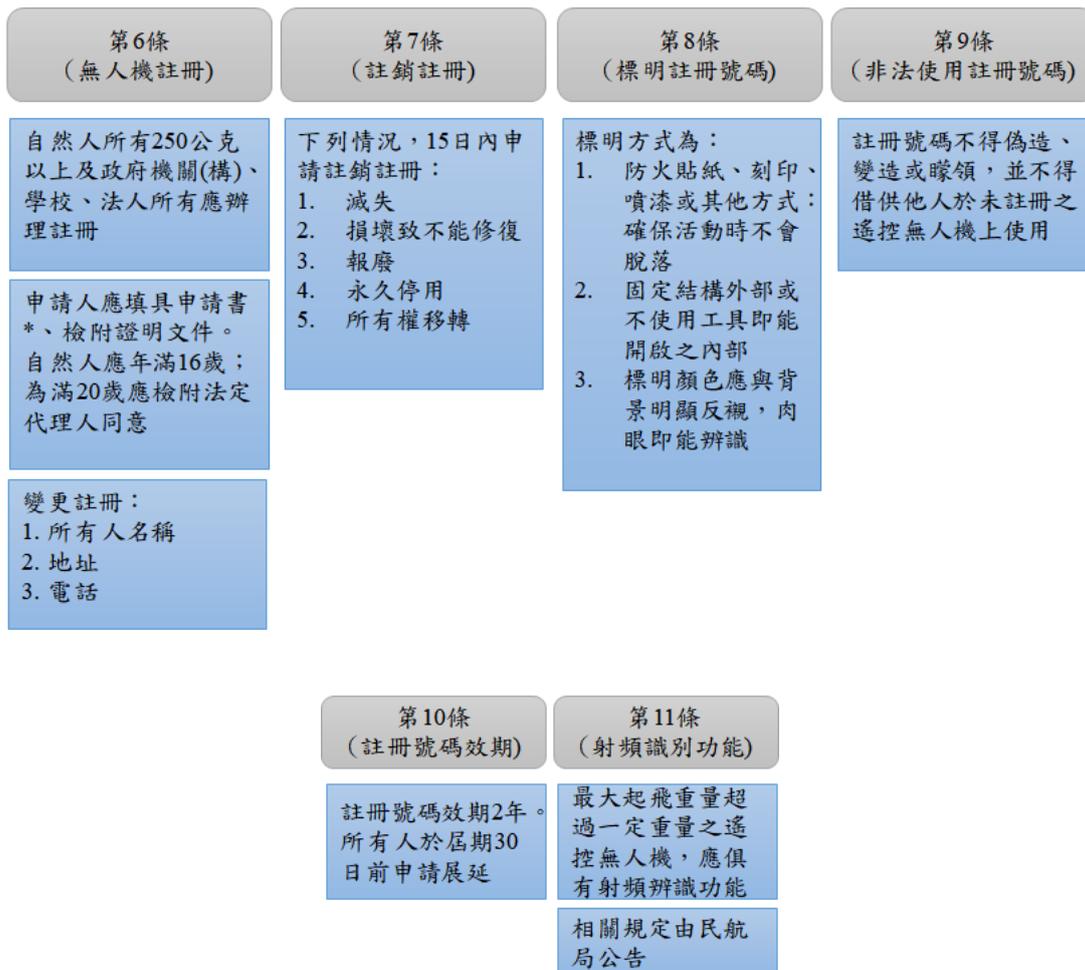
訂定第 1 章「總則」，內容包含本規則之法源依據、用詞定義及遙控無人機分類及基本操作等規定。相關條文為第 1 條至第 5 條，內容詳如圖 3.2-4 所示。



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-4 遙控無人機管理規則之第 1 章總則

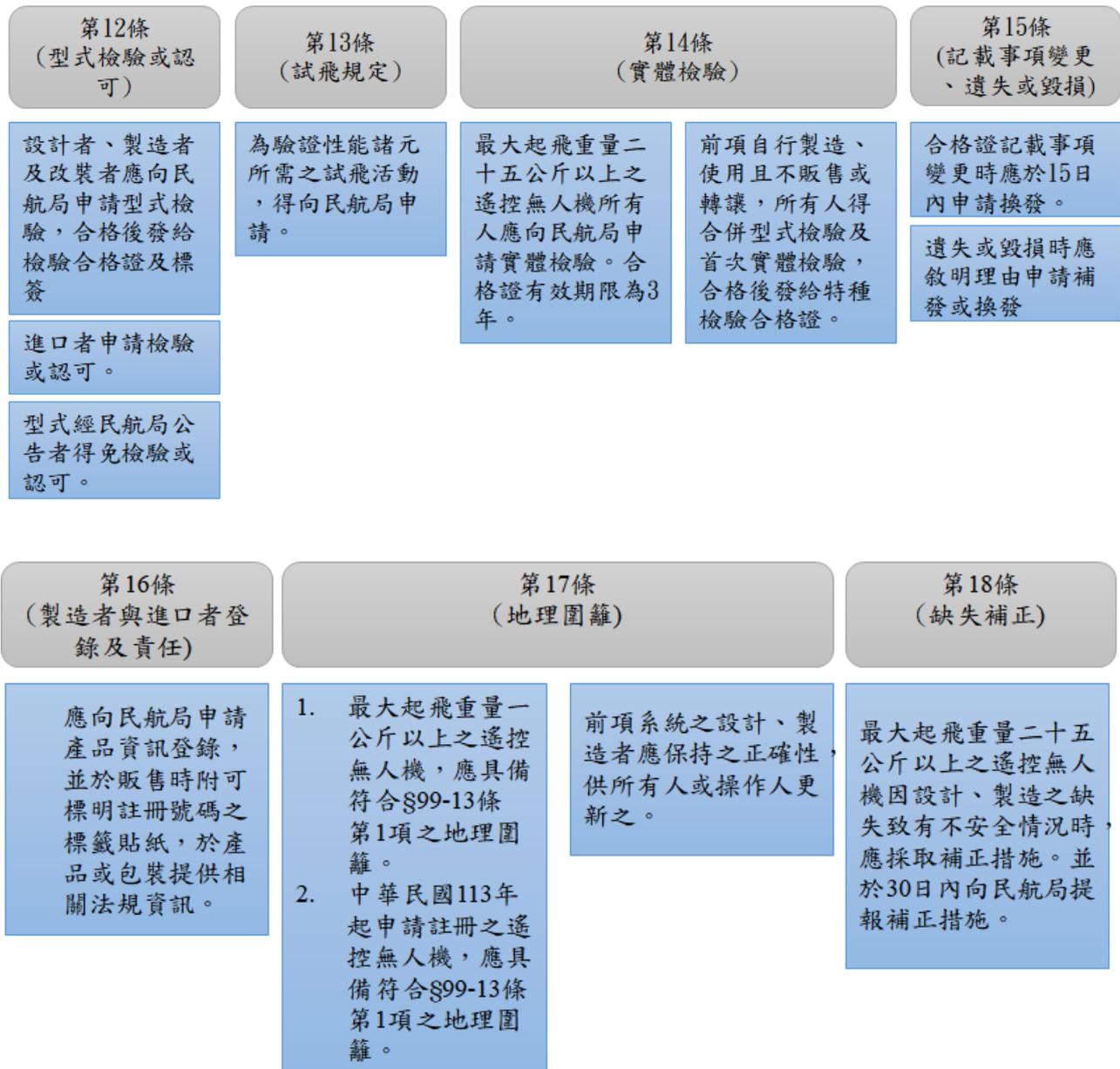
訂定第 2 章「遙控無人機註冊及射頻管理」，內容包含遙控無人機之註冊、變更及註銷、註冊號碼之標示、效期及最大起飛重量超過一定重量之遙控無人機應具有射頻識別功能等規定。相關條文為第 6 條至第 11 條，內容詳如圖 3.2-5 所示。



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-5 遙控無人機註冊與射頻管理條例

訂定第3章「遙控無人機系統檢驗、製造者與進口者之登錄及責任」，內容包含遙控無人機設計、製造、改裝之檢驗給證、換(補)證、進口認可、試飛及因設計、製造之缺失致有不安全情況之採取補正措施等事項等規定。相關條文為第12條至第18條，內容詳如圖3.2-6所示。



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-6 無人機系統檢驗、製造者與進口者之登錄及責任

訂定第4章「遙控無人機操作人之測驗及給證」，內容包含遙控無人機操作人之學術科測驗、操作證之分類、申請年齡、體格檢查、給證、效期及換(補)證等規定。相關條文為第19條至第24條，內容詳如圖3.2-7所示。

第19條 (應取得操作證)	第20條 (操作證分類)	第21條 (自備術科測驗)	第22條 (測驗及申請)	第23條 (操作證效期)	第24條 (操作證補換發)
下列操作人應經測驗合格，由民航局發證後使得操作： 1. 政府機關(構)、學校或法人所有。 2. 最大起飛重量十五公斤以上。 3. 最大起飛重量二十公斤以上未逾十五公斤且裝置導航裝備。	1. 學習操作證： 十六歲以上，申請後發給。 2. 普通操作證： 十八歲以上，學科通過後發給。 3. 專業操作證： 十八歲以上，體格檢查、及學、術科通過後發給。	術科測驗應由應考人自備符合規定之遙控無人機應考。	術科應於學科通過日起一年內完成。 術科測驗不及格者，得就不及格部分於收到成績30日後申請複測。 學科測驗及格者應於30日內申請專業操作證。	各類操作證有效期限為3年。 屆期重簽：操作人除經撤銷或廢止外，得於屆期前三十日內檢附六個月內之半身照片及有效操作證影本，經重新測驗後辦理換證。 測驗加簽：操作人申請不同構造、重量、級別項目者，應經民航局術科測驗合格。	遺失、毀損或原申請資料變更時，應敘明理由，向民航局申請補發或換發。

資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-7 無人機操作人之測驗及給證之規定

訂定第 5 章「操作限制及活動許可」，分二節規定，第 1 節「一般操作限制」，內容包含操作遙控無人機之一般遵循事項、遵守維修指引、飛航活動前之應考量事項、遵守操作限制、與其他航空器或障礙物防止接近、碰撞及緊急情況時之處置等規定，相關條文為第 25 條至第 29 條，詳細內容如圖 3.2-8 所示；第 2 節「政府機關(構)、學校或法人活動許可」，內容包含政府機關(構)、學校或法人從事飛航活動前之先行核准程序與從事本法特別規定之操作限制活動、於禁航區、限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內之飛航活動、政府機關為執行災害防救、偵查、調查、矯正業務等法定職務時飛航活動之申請程序及相關飛航資料、維修紀錄之保存等規定，相關條文為第 30 條至第 35 條，詳細內容如圖 3.2-9 所示。

第25條 (操作無人機遵守事項)	第26條 (飛航前系統檢查)	第27條 (飛航前環境條件確認)	第28條 (飛航操作限制)	第29條 (察覺及避讓)
<ol style="list-style-type: none"> 1. 血液中酒精濃度不超過0.02%或吐氣中酒精濃度不超過0.1毫克/公升。 2. 不得受精神作用物質影響，導致行為能力受損。 3. 不得對任何生命與財產有造成危險之操作行為。 	<p>操作人從事飛航活動前，應依遙控無人機製造者所提供之維修指引對遙控無人機系統進行檢查，符合安全飛航條件後始得活動。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 操作區域環境，包括氣象條件、空域、飛航限制及其他空中或地面之危害因素。 2. 遙控無人機一般操作、緊急程序與規定。 3. 遙控設備與遙控無人機間之通訊及控制信號鏈結情況良好。 4. 攜帶足夠之燃油或電池容量，並經考慮氣象預報狀況、預期之延誤及其他可能延誤遙控無人機降落之情形。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 應遠離高速公路、快速公(道)路、鐵路、高架鐵路、地面或高架之大眾捷運系統、建築物及障礙物三十公尺以上。 2. 不得於移動中之車輛或船艦上操作遙控無人機。 3. 最大起飛重量未達二十五公斤且裝置導航設備之遙控無人機最大飛行速度每小時不得超過八十七海浬或一百五十公里。 4. 延伸視距飛航者，最大範圍為以操作人為中心半徑九百公尺、相對地面或水面高度低於四百呎內之區域，且目視觀察員應與遙控無人機保持目視接觸，並提供操作人必要之飛航資訊。 <p>政府機關(構)、學校或法人依第三十一條第一項規定向民航局申請許可後，得不受前項之限制。</p>	<p>在操作時應對飛航及其周遭狀況保持警覺，並確保察覺及避讓其他航空器、超輕型載具、遙控無人機或障礙物，並防止與其接近或碰撞。</p>

資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-8 一般操作限制之規定

第30條 (緊急狀況)	第31條 (能力審查)	第32條 (操作限制排除申請)	第33條 (活動區域申請)	第34條 (執行法定職務)	第35條 (記錄保存)
<p>應依災害防救法規定，統一聽從災害應變中心之指揮調度，所有人及操作人不得擅自從事活動。</p>	<p>政府機關(構)、學校或法人應檢附相關文件向民航局申請核准始得操作。有效期限二年。</p>	<p>應於活動15日前檢附活動計畫書申請向民航局申請。許可文件三個月為限。</p> <p>活動前、後於指定資訊系統登錄。</p>	<p>應於活動15日前檢附活動計畫書申請向民航局或直轄市、縣(市)政府申請。同意文件三個月為限。</p> <p>§99-13條第1項涉及軍事航空管理機關(構)管理之區域應於活動30日前申請。</p> <p>活動前、後於指定資訊系統登錄。</p>	<p>經民航局同意不受§99-13條第1項之航空站、飛行場四周一個距離、第2項公告禁止、限制區域及§99-14條第1項第2款至第8款之限制。</p>	<p>政府機關(構)、學校或法人應保存近兩年之相關記錄。</p>

資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-9 政府機關、學校或法人活動許可規定

訂定第 6 章「飛航安全相關事件之通報及處理」，內容包含遙控無人機所有人或操作人於發生飛航安全相關事件時之通報、處理及因特定原因得暫停遙控無人機所有人或操作人從事遙控無人機飛航活動等規定。相關條文為第 36 及 37 條，詳細內容如圖 3.2-10 所示。



資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-10 無人機暫停操作人活動之規定

訂定第 7 章「附則」，內容包含外國人之認可、本規則各項申請及通報作業得於指定之資訊系統以電子化方式辦理、遙控無人機檢驗預先檢驗及人員操作證預先評鑑、行政規費收取及本規則施行日期等規定。相關條文為第 38 條至第 42 條，詳細內容如圖 3.2-11 所示。

第38條 (外國人認可)	第39條 (電子化作業)	第40條 (投保責任保險)	第41條 (費用)	第42條 (施行日期)
領有外國政府之註冊、操作及檢驗合格等證明文件者，得向民航局申請認可，始得於臺北飛航情報區內從事無人機活動。	本規則各項申請及通報作業得於民航局指定之資訊系統以電子化方式為之。	政府機關(構)、學校或法人應依§99-15規定投保責任保險。 1. 死亡者，不得低於三百萬元。 2. 重傷者，不得低於一百五十萬元。 3. 非死亡或重傷者，依實際損害計算，但最高不得超過一百五十萬元。	本規則各項申請費用依附件十九規定收取之。	本規則之施行日期，由交通部定之。

資料來源：民航局, 2018

圖 3.2-11 遙控無人機附則規定

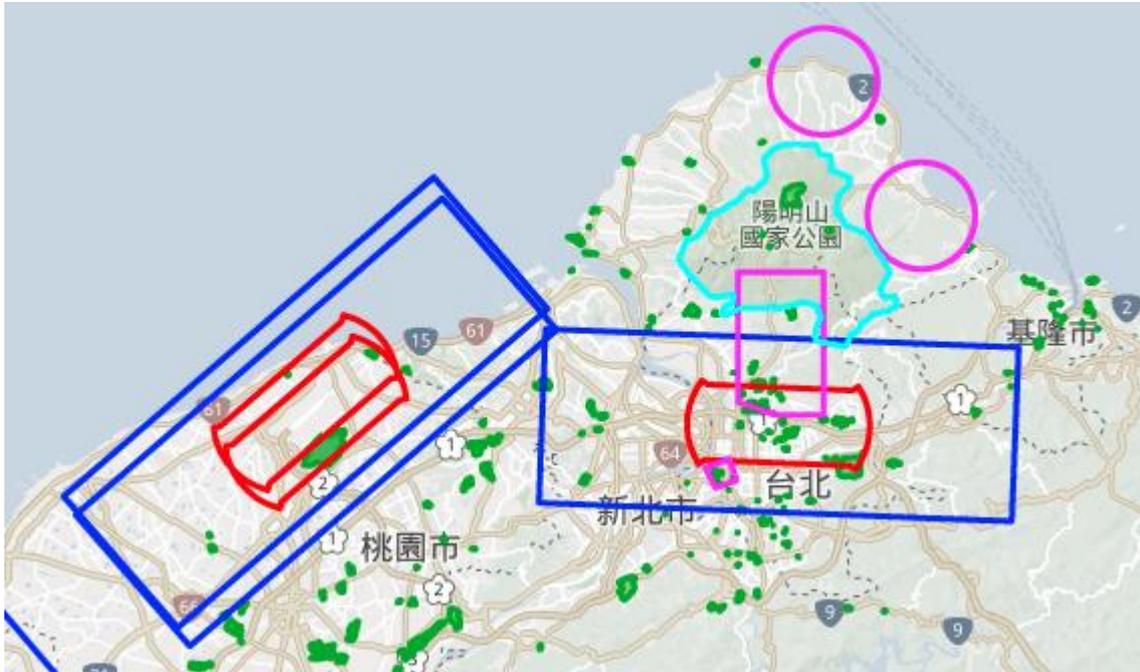
2. 無人機禁航區

在我國對於無人機禁航區分為禁航區（完全禁止）和限航區（部分禁止）兩種，不盡相同，劃定禁航區大部份是基於國防的理由，例如重要軍事基地、重要政府機構、重要建築（如核電廠、水壩）上空等。圖 3.2-12 為國內飛友製作空拍機常見之禁航區地圖示意圖，可參考其官方網址取得我國其他城市禁航區圖資，以下說明數個主要禁、限航區：

- (1) 臺灣海峽部份空域：基於防空需要，我國政府根據《要塞堡壘地帶法》，在海峽中線以東劃定了 R5、R8、R9、R11、R12 等 5 個禁航區。雖然此禁航區並未得到國際民間航空組織和中華人民共和國承認，但臺北飛航情報區飛航指南及大多數的航圖都會予以標示。
- (2) 博愛特區：為維護總統府以及部分中央政府機關的安全，以總統府為中心，週邊四個地標點（臺北車站、中興橋頭、植物園、中正紀念堂）所圍成的空域為禁航區。
- (3) 臺北 101：基於飛航安全，民航局劃定該大樓週邊為禁航區，並特別更改

了松山機場的離到場程序及經路。

- (4)核能一廠、核能二廠及核能三廠：基於維護核電廠安全，劃定此 3 廠方圓 2 海里空域為日夜連續限航區。



資料來源：FlyerLee, 2017

圖 3.2-12 我國北部地區禁航區地圖

3.2.6 遙控無人機航管系統(Unmanned Aircraft System Traffic Management, UTM)

無人機廣泛應用伴隨管理之議題，目前許多國家以政府單位為首，研擬無人機場域及航管系統(Unmanned Aircraft System Traffic Management, UTM)，期能兼顧監管與研發，加速無人機產業發展，舉例如下：

1. 美國紐約州規劃成立無人機應用服務場域：美國紐約州在 2016 年 11 月宣布將投資 3,000 萬美元，透過 NASA 研發的飛行交通管制系統 (Flight Traffic Management System)，在紐約州中部的 Rome 與 Syracuse 之間建立一條長 50 英哩的無人機應用飛行長廊。此計畫之目的是透過政府投資，支援無人機在農業與林業管理、運輸與物流、娛樂與媒體發展、公共設備與基礎建設，以及公共安全等領域的服務應用，進而促使紐約中部地區之

無人機產業能加速發展。

2. 新加坡無人機交通管制系統發展與應用：隸屬於南洋理工大學的空域交通管理研究院（ATMRI）與新加坡政府部門合作，進行為期 4 年的無人機交通管制系統（TM-UAS）研發與應用，TM-UAS 系統功能包括無人機航道與禁飛區域設定、無人機飛行安全區隔與避撞、起飛與緊急降落地點管理。
3. 日本香川縣複合式無人載具物流平台計畫：日本香川縣計畫在 2017 年春季，進行海陸空無人載具運輸服務試驗計畫。這項名為「Kazamidori」的次世代島國型複合式無人載具物流平台（Islandmodel Hybrid Unmanned Logistics Platform），目標是利用無人機、無人船及無人車，從日本本島將貨品和藥物運送給離島居民。
4. 韓國規劃設立無人機應用服務場域：韓國已規劃在仁川廣域市的松島（Songdo）建立無人機產業發展基地。松島是一座面積 32.3 平方公里的人工島，因此較適合作為無人機創新應用場域。仁川政府計畫投資 785 億韓圓（約 6 千 9 百萬美元），興建佔地 1.64 萬平方公尺的航太研究中心，供業界和學界共用。其主要用途包括進行無人機科技研發，以及協助培訓無人機商業化所需的人力。

3.2.7 無人機未來產業發展趨勢

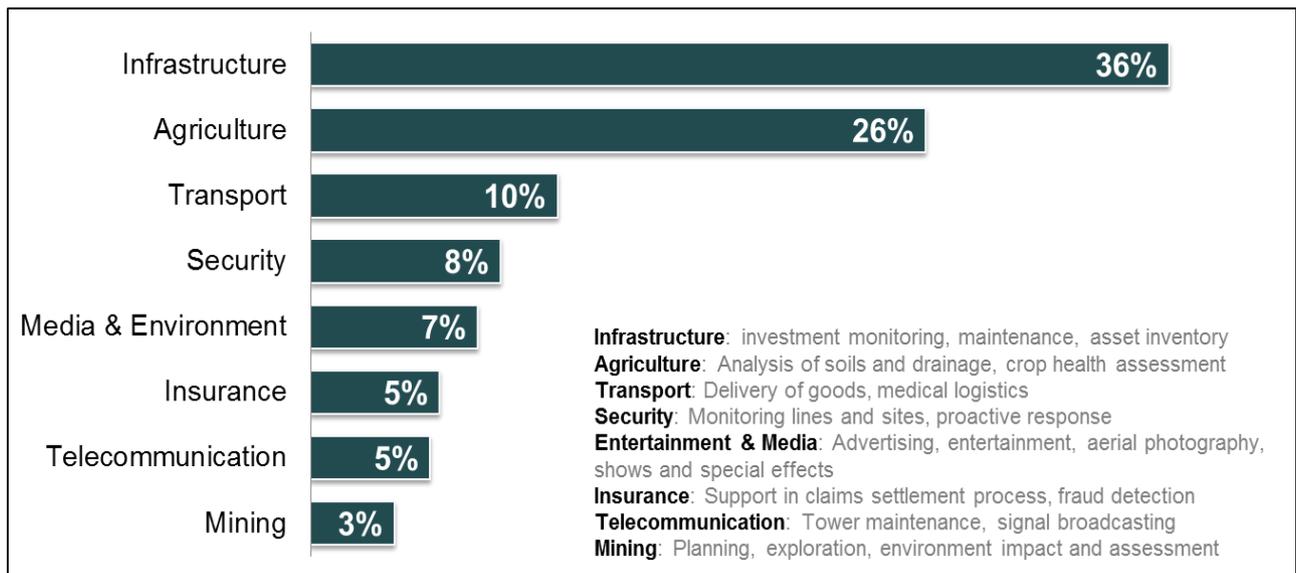
無人機類型多元，除可執行危險任務外，亦可輔助專業人力執行任務以有效提升效率，因此近年整體市場蓬勃發展。工研院產業科技國際策略發展所 (IEK-Industrial Economics & Knowledge Center)指出，無人機在航拍、資訊蒐集、巡檢、監控等應用服務領域的發展速度最快，並已形成可營利的商業模式，進而帶動工業及專業級無人機市場成長。根據2018年各研究機構市場預測報告顯示，商用無人機市場成長增幅快速且趨於樂觀、商機可期，如圖 3.2-13 所示。



資料來源：工研院 IEK

圖 3.2-13 2018商用無人機市場規模預測

美國 FAA 在 2017年揭露之空域預測報告顯示，美國無人機市場將大幅增長，其中商用無人機增幅遠超消費型機種。而根據 Tractica 預估（見圖 3.2-14，PwC 無人機商業主要應用預估），未來商用無人機應用服務產值將大於硬體（整機），2025 年商業無人機市場中三分之二將來自於服務。根據 PwC（Pricewaterhouse Coopers International Limited）預估，2020年無人機主要應用以 Infrastructure（36%）、Agriculture（26%）為主，其次為 Transport（10%）、Security（8%）、Media & Environment（7%）。其中主要應用說明如下：



資料來源：工研院 IEK

圖 3.2-14 PwC無人機商業主要應用預估

1. **Infrastructure (36%)**: 基礎設施規劃、安全檢查和維護。對於具高度危險的設施定期安檢及診斷，如橋梁、高壓電線、鐵軌或是人類不易到達的高樓層建築物等。分析目前國際上針對橋梁檢測應用之無人機型，由於橋檢時對影像清晰度需求高，故多採用4K 高解析度攝影機；另因需要懸停進行重點檢測，故採用多旋翼無人機。
2. **Agriculture (26%)**: 使用無人機噴灑農藥、灌溉農田、監控農作物生長及防害、蒐集作物健康與產量數據與分析、分析土壤內容、進行病蟲害定位，並利用熱成像分析濕度。
3. **Transport (10%)**: 遞送小型物品，如向偏遠農村、島嶼、深山運送食品和醫療用品。分析目前國際上針對無人機運送物品應用之無人機型，以多旋翼無人機為主，可載重且可飛行較長的距離為主要考量。
4. **Security (8%)**: 執法與反恐。同步監控大型維安或偏鄉巡邏，並即時阻止非法活動，或在事後透過影像證據逮捕嫌犯，遏止不法行為。分析目前國際上針對安全應用之無人機型，重點在於續航力與攝影機解析度需符合安全應用場域需求。
5. **Media & Environment (7%)**: 運動用、婚禮等娛樂用途，或是蒐集環境資料與監測環境，如監測極地區、沙漠、大草原環境等。其亦可快速響

應與緊急救援，如利用無人機進行突發新聞/災難/戰區情況信息傳送、搜救行動。

6. Insurance (5%)：加速理賠評估。無人機為損害評估帶來省時省力省成本的新契機，如：風災過後的屋損檢查，透過無人機航拍影像，自動化分析屋頂受損情況並產生理賠報告，大幅縮短保險公司傳統保戶受損理賠作業時間與作業成本。
7. Telecommunication (5%)：作為通信基地台或低空衛星，如用無人機來檢查基地台、進行訊號測試；或作為臨時基地台，如在災害現場、大型集會，可形成網路，強化訊號。
8. Mining (3%)：調查礦山資產情況，如追蹤礦產量的變化、優化儲存空間、集地形數據，以及結合空中即時拍攝和發送工地最新影像，引領工程車安全穿越等。

3.2.8 小結

我國無人機的立法趨勢，不外於國外趨勢，皆以安全確保與產業促進兩個方向為目標。我國民用航空局已提出民用航空法修正草案，積極就無人機進行管理，以使民眾與使用者可安全無虞使用無人機，在維護飛航安全而限制某些操作行為的同時，亦設有豁免機制可容許創新應用活動。

無人機目前與研究、防災、邊防巡邏及搜救等領域密切配合，雖帶來許多便利，卻也伴隨相對風險，例如與建築物碰撞、墜落或飛入禁航區等，都有可能因此造成他人損傷，為避免這些意外事故的發生，立法者須能提供具有調合度，可兼顧民眾安全又可以推動產業發展的法規，以期能結合人工智慧(Artificial Intelligence, AI)⁵產生更多新形態的應用。

⁵人工智慧（英語：artificial intelligence，縮寫為 AI）亦稱機器智慧，指由人製造出來的機器所表現出來的智慧。通常人工智慧是指通過普通電腦程式的手段實現的人類智慧技術。

3.3 我國使用無人機應用於交通領域案例

無人機從數年前的軍事專用漸漸走入民間，在娛樂、農業、航拍、物流等商業應用蓬勃發展。我國環境多山且地形複雜，偏鄉地區的安全巡邏與管理需耗費相當高的人力物力，往往導致巡邏次數少、效率低落，甚至形成治安死角。而無人機的高機動性、高佈署彈性和可提供快速廣域的天空巡視影像等特性，恰巧可解決偏鄉地區巡邏與管理的問題。另外，在交通研究都需事先進行任務性的初步勘查和交通調查，評估壅塞的範圍、時段及原因等，利用多軸飛行器進行空拍交通調查，不但能降低現場設備佈置與準備時間，亦能減少調查人員數以及過程中可能發生的疏失，可以更快速、有效、明確地了解整體路網的概況。國內如臺中市及花蓮縣等皆已提出先導型計畫，購置無人機進行交通事故資料蒐集、管理等應用。

3.3.1 臺中市「空拍機於事故現場交岔路口圖庫之應用」

臺中市政府警察局^[51]首創運用空拍機(多軸飛行器)拍攝複雜不規則交岔路口，針對轄內 200 處易肇事交岔路口(段)建立交通事故現場圖庫(如圖 3.3-1)，有利處理人員至現場使用，節省大量繪圖時間、加速處理時效及增加正確性，提升交通事故處理品質。



資料來源：[51]

圖 3.3-1 臺中市空拍事故現場圖建置圖

過去臺中市已推行交通事故現場圖數位化工作，建立易肇事的交岔路口圖庫範本共約 7,000 處，但若遇多岔路、不規則或不對稱等路型複雜處，除了須花費更多時間繪製現場圖外，也增加風險及錯誤率，例如西區臺灣大道民權交岔路口，就屬不易繪製的事故地點。

製作符合比例的現場圖一般須花 20 分鐘至 3 個小時不等的時間，如遇複雜而不規則的交岔路口將更費時，以空拍機預先建立現場圖圖庫後，在現場製圖的時間只要 6 至 20 分鐘即可完成，且精確度高。現場圖數位化可大幅提升現場圖繪製及現場蒐證的正確性、縮短交通事故現場處理時間，也減少因交通事故處理所造成的道路壅塞。

3.3.2 花蓮縣「空拍機於道路交通事故處理」

由於交通事故頻繁，警察單位在道路交通事故處理的過程中，最重要的工作在記錄現場，包含現場攝影、現場繪圖、跡證採集等。因此，如何提升事故現場處理的品質與效率相當重要，臺科大資工系戴文凱教授 (2017)^[52]和花蓮縣警局交通隊^[53]合作，利用空拍機進行車禍現場的蒐證，可自動計算測量的數據，完整還原事故現場(如圖 3.3-2 所示)。



資料來源：[52]

圖 3.3-2 臺科大研發軟體進行車禍空拍處理作業示意圖

戴教授提出一套完整的道路交通事故處理系統：包含行動裝置端、服務端與客戶端。行動裝置端包含「操控空拍機與拍照之軟體系統」和「繪製現場圖之軟體系統」，服務端有伺服器儲存事故現場資料與後製軟體，客戶端包含編輯、後製軟體與列印裝置，並提出一套空拍作業 SOP，以有效地處理道路交通事故。空拍作業 SOP 包含：準備、跟隨、俯拍、環拍、繞拍、點拍、返航、繪圖與資料回傳伺服器。透過無人機的跟隨，能協助警員勘查現場；無人機得到的俯拍圖作為事故現場圖的基底，可自動化測量物件間的距離，並完整的標示事故現場的資訊，解決傳統繪圖不清晰、不精準的問題；透過環拍、繞拍、點拍可做完整的事務現場攝影與跡證採集；最後將資料回傳伺服器，進行資料保全與後製。

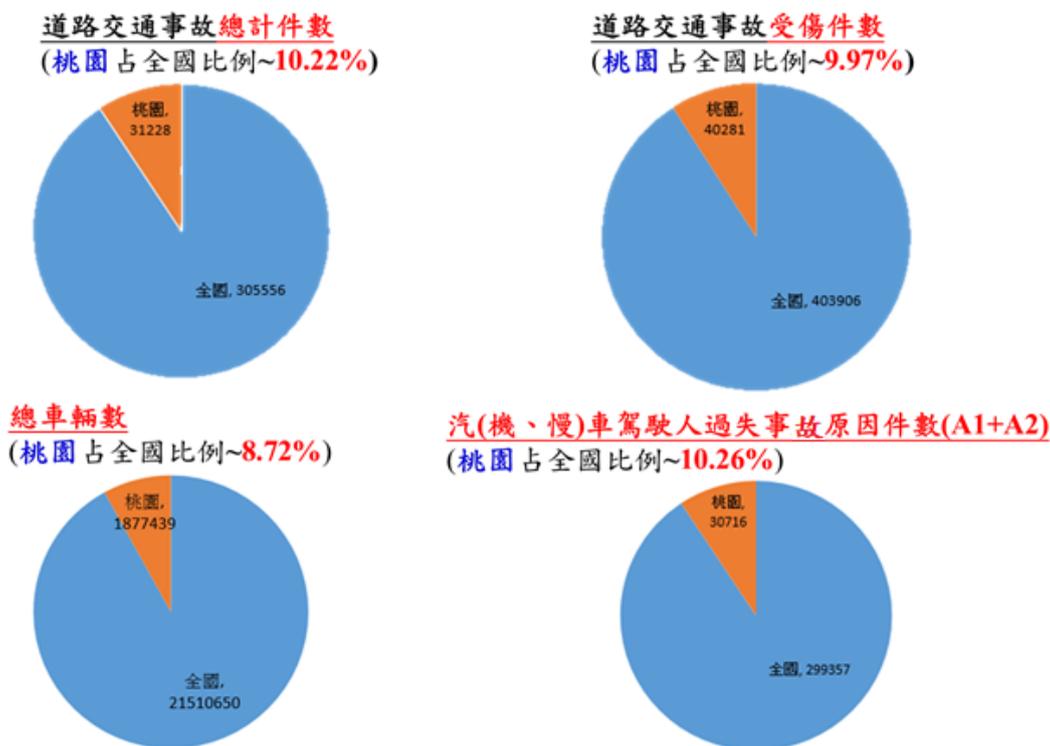
此系統包含了自動測光驗證、跟隨 ROI (Region of Interest)驗證、點拍精準度、自動返航精準度、事故現場圖測距精準度。以目前人工作業為例，處理 1 件車禍約花費 20 分鐘，改以空拍繪製現場圖相較於傳統繪圖方法，可節省 66% 的作業時間和降低測距誤差至 5.43 公分。

第四章 空拍影像資料蒐集

4.1 高事故風險地點之篩選

1. 空拍場域分析

本研究選定具代表性及參考性之高事故風險地點作為選點目標。依據警政署 105 年度統計年報之統計數據結果顯示，桃園市於道路交通事故總統計數為 31,228 件，占全國總數 305,556 件的比例約為 10.22%、道路交通受傷件數為 40,281 件，占全國總數 403,906 件的比例約為 9.97%、總車輛數為 1,877,439 件，占全國總數 21,500,650 件的比例約為 8.72%、汽(機、慢)車駕駛人過失事故原因件數(A1+A2)為 30,716 件，占全國總數 299,357 件的比例約為 10.26%，統計數據比例皆約占全國比例之 1/10，如圖 4.1-1 所示。



資料來源：本研究繪製

圖 4.1-1 桃園市場域參考價值交岔分析示意圖

2. 高事故風險路段(口)評估

考量要在桃園市幅員廣闊之都會區環境下，能有效率準確掌握該市之高事故風險地點，以作為本研究拍攝場域，本研究於 106 年 9 月 15 號拜訪桃園市交通大隊事故處理組同仁，取得 105 年度桃園市前 20 易肇事路段(口)統計參考資料，如表 4.1-1 所示。其中排名 1~10 係屬路段(非交岔路口)；排名 11~20 係屬於易肇事交岔路口。另依據交通部 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，交通事故發生地點為交岔路口比例最高(高達 60.5%)^[11]，且交通衝突涉及交通工具與用路人之行為，其中包含駕駛人本身、駕駛的車子、道路環境狀況等，都與衝突發生之過程相關。爰此，交岔路口相較於一般路段複雜，也隱藏著許多潛在的車流衝突區，常成為易發生交通事故之熱區，故本研究以排名 11~20 名之高風險交岔路口進行現場勘查。

表 4.1-1 桃園市前 20 處易肇事路段(口)表

排名	路段(口)	件數	死亡	受傷
1	龜山區萬壽路	186	2	259
2	八德區介壽路	185	5	236
3	桃園區中山路	173	0	221
4	桃園區中正路	147	0	187
5	平鎮區金陵路	114	1	140
6	平鎮區延平路	112	0	140
7	桃園區三民路	108	0	139
8	中壢區中華路	108	0	136
9	中壢區環中東路	107	1	133
10	八德區中華路	101	0	136
11	桃園區三民路與成功路	38	0	51
12	桃園區中正路與大興西路	24	0	34
13	桃園區中山路與上海路	20	0	26
14	桃園區中正三街與埔新路	19	0	25
15	桃園區大興西路三段與正光路	19	0	23
16	中壢區中華路與成功路	18	0	26

表 4.1-1 桃園市前 20 處易肇事路段(口)表 (續)

排名	路段(口)	件數	死亡	受傷
17	桃園區中正路與南平路	18	0	28
18	桃園區中山路與正光路	18	0	25
19	桃園區中正路與三民路	18	0	24
20	八德區中華路與茄苳路	17	0	23

資料來源：桃園市政府警察局，2015

3. 空拍地點篩選

多數交岔路口都已安裝路口攝影機，並記錄交通號誌時相變化紀錄，此資訊對交通衝突估測具參考意義，故交岔路口若有安裝攝影機可優先選用。此外，為取得完整車輛移動軌跡，避免因路樹遮蔽導致車輛追蹤模組失效，本研究建議選取無樹遮路口進行無人機影像拍攝。基於飛行安全考量，起飛處上空應避免電線、高壓電塔等障礙物，減少電波干擾影響訊號接收，建議選取飛行上空無高壓電線之交岔路口。

綜上所述，本研究之現場勘查包含以下 3 個步驟：(1)確定該交岔路口具有路口監視器，可供後續調閱監視影片進行交通號誌同步之比對，並作為協助人工驗證之參考。(2)選擇交岔路口適當及安全處進行試飛，同步使用 Google Map 進行篩選，排除如路樹遮蔽、高壓電線等不適合無人機起飛之場域。(3)確認拍攝內容及可飛行高度，進行不同高度之試飛，並實際錄回影像。

依上述勘查要點篩選後，最終選定以下 4 處交岔路口 (如表 4.1-2)：包含：桃園區中正路與大興西路、桃園區中山路與上海路、桃園區中正路與三民路、八德區中華路與茄苳路。

表 4.1-2 高事故風險路口篩選表

排名	路段(口)	有監視器影像可佐證	無樹遮	飛行上空無高壓電線
11	桃園區三民路與成功路	O	X	O
12	桃園區中正路與大興西路	O	O	O
13	桃園區中山路與上海路	O	O	O
14	桃園區中正三街與埔新路	O	O	X
15	桃園區大興西路三段與正光路	X	O	O
16	中壢區中華路與成功路	O	X	O
17	桃園區中正路與南平路	O	X	O
18	桃園區中山路與正光路	X	O	O
19	桃園區中正路與三民路	O	O	O
20	八德區中華路與茄苳路	O	O	O

資料來源：本研究繪製

4.2 無人機實地拍攝作業

本研究利用空拍技術進行交通相關資料調查，因拍攝地點均位於桃園市都會區交岔路口，需要進行的作業包括起飛點評估、無人機選定及實際拍攝作業等，以下介紹本研究蒐集空拍地點影像方式：

1. 無人機起飛點評估

為安全起見，無人機於高空執行勤務時，飛手應隨時留意無人機的飛行位置，並嚴密觀察電池續航力，由於受限電池續航大約只有 20 分鐘，且飛行時間會受飛行速度、風速等影響，須仔細評估返航路線上是否有障礙物，並確保隨時可取回控制權，建議預留 20% 電量作為返航以策安全。由於在市區交岔路口具有較多人、車及建築物等干擾因素，於交岔路口進行實拍攝時，需尋求具備以下條件者作為合適起飛點：

- (1) 具足夠寬敞面積：四周環境需無影響飛安障礙物，尋求平坦地面供無人機起降，同時可使飛手與無人機保持約 3-5 米的距離。
- (2) 起飛處上空應避免電線、高壓電塔等障礙物：電波干擾問題在市區或近郊均十分常見，高壓架空電纜、隱藏於地底的電纜管道均會影響訊號接

收。

- (3) 避免周邊有超過 10 層之高樓：市區內的高樓大廈容易造成視線及通訊遮蔽，導致飛手無法目視無人機並影響訊號接收。

2. 無人機型號選定

本研究於場勘時選用兩款市售無人機進行初期作業，分別為 Drone Dynamics X6-Plus（以下簡稱 X6+）以及 DJI Phantom 4 Pro（以下簡稱 P4P）。X6+ 為一款客製化無人機具長時間滯空能力，其最大飛行時間於空載狀態大於(含)60 分鐘，1kg 酬載大於(含)40 分鐘。P4P 為市售常見商務機種，有許多研究皆採用此系列產品進行無人機拍攝作業，其飛行時間 25 分鐘。本研究需求為拍攝長時間交岔路口影像，雖 X6+ 滯空拍攝可達 40 分鐘以上，但體積較為龐大，於交岔路口執行勤務時恐易引發民眾圍觀造成維安上的不便，P4P 雖飛行時間較短，但因機身輕巧，具備快速起降之特性，相當適合於市區交岔路口迅速升空執行任務。又 P4P 之雲台及攝影機為一體成型結構，於相同風速條件下所拍攝之影像，畫質穩定性較 X6+ 為佳，故本研究後續皆採用 P4P 進行拍攝作業，表 4.2-1 列出兩者比較之差異。

表 4.2-1 X6+與 P4P 規格比較表

項目 \ 型號	X6+	P4P
圖示		
機體型式	6 軸	4 軸
攝影機	GoPro Hero 4	內建相機(HD 4K)
最大陣風	10 m/s	10 m/s
續航力	約 40 分鐘	約 25 分鐘
雲台/相機	外接式	一體成形

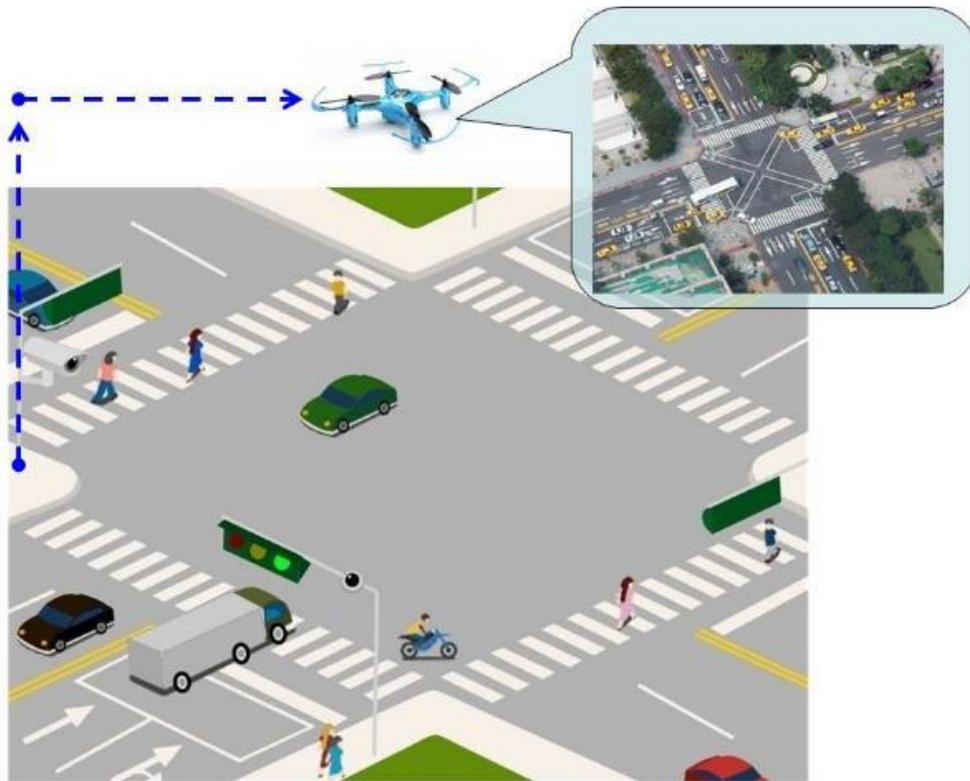
表 4.2-1 X6+與 P4P 規格比較表 (續)

項目 \ 型號	X6+	P4P
穩定性	普通	佳
安全性 (市區作業)	普通	佳

資料來源：本研究繪製

3. 拍攝流程

本研究以無人機於桃園市交岔路口進行影像資料蒐集，圖 4.2-1 為拍攝方式流程示意圖。每至一處交岔路口執行任務時，首先選擇一空曠處作為起降點，將無人機原地抬升至適當高度後，再平移至交岔路口中心位置往下俯拍，最後再調整無人機雲台旋轉鏡頭以取得適當影像。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-1 無人機於交岔路口拍攝示意圖

4. 現場作業人員管理

本研究任務出勤人員包含飛手、觀測手、維安人員等三組人。飛手以目視操作，隨時注意機身飛行狀態。觀測手注意飛控台數據，隨時回報飛行高度，機身傾斜角，電池電壓等資訊。維安人員隨時注意環境狀態及秩序，以確保任務安全。

4.3 無人機失聯操作程序

為確保無人機出勤安全，須依飛行機種規格擬定標準抗風性及天氣相對風速操作性質，同時可利用 App 軟體(例如：UAV forcast)查閱當地氣候條件，以及風速計地面數值作為飛行起飛參考依據，地點位置避免高樓大廈或鋼鐵材質附近干擾通訊 GPS 接收異常，減少無人機的不良飛行狀態發生事故，以下簡述無人機失聯操作程序(如圖 4.3-1)：

1. GPS 失效

由於無人機靠著 GPS 提供座標位置，才能提供無人機相對位置以及穩定的飛行，但由於 GPS 容易受到天候影響或不可預知非人為因素干擾下失效，因此飛手必須目視飛行，將無人機迅速找到安全地點降落。若無人機已遠離目視範圍，則須盡速依照圖傳影像以 FPV (First-person view)方式進行安全降落。

2. 圖傳系統失效

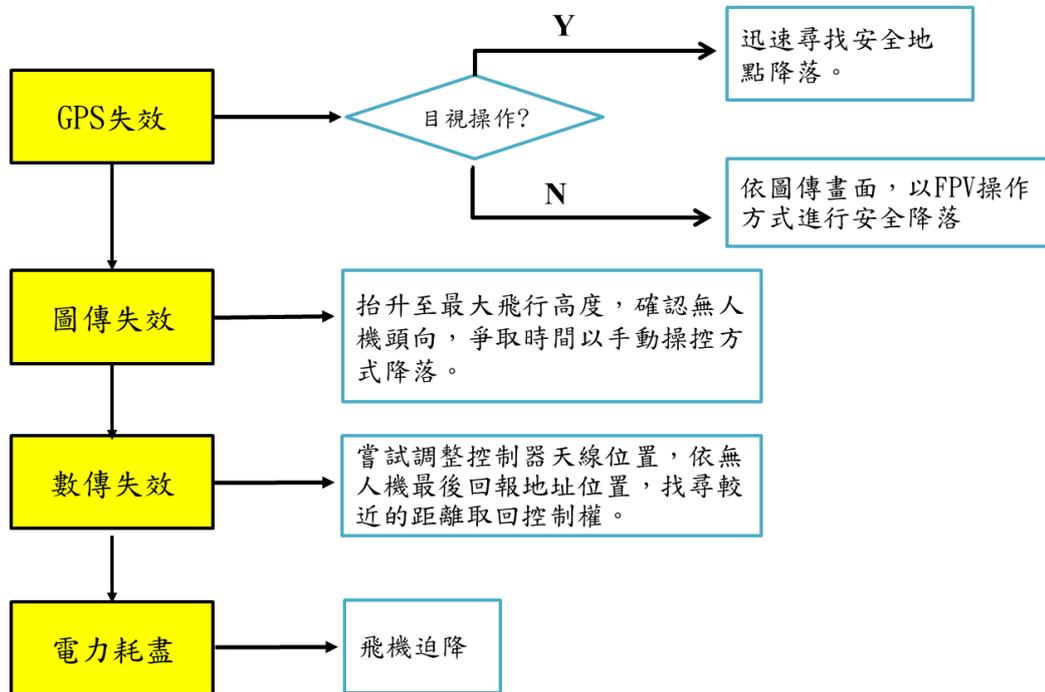
無人機圖傳倚賴無線電傳輸，周圍若有高壓電線，電子圍欄，金屬材料、過多的 WIFI 信號或電磁場，皆可能導致圖傳無法穩定傳回至地面。因此飛行時若發生圖傳失效情形，首要動作將無人機抬升最大飛行高度，確認無人機頭向位置，爭取時間以手動方式找尋安全地點降落。

3. 數據傳輸系統失效

數據傳輸系統(數傳)係指遙控器與無人機之間的控制訊號，當數傳失效時，需嘗試調整遙控器天線，因控制訊號具有指向性，故須對準調整與無人機之方向，找尋較近的距離取回控制權，以求重新建立無線通訊的聯繫。

4. 電力耗盡

若發生 GPS、圖傳、數傳皆失效時，此時無人機的狀態有如在天空的斷線風箏只能隨風四處漂流。在電力耗盡前，無人機會啟動自動迫降功能，找尋安全空地迫降，最差情況亦有可能在迫降過程中遭遇不可預知物體而墜毀。



資料來源：本研究繪製

圖 4.3-1 無人機失聯操作流程圖

4.4 空拍影像分析與比較

1. 飛行高度與可視範圍

據本研究的調查經驗(如表 4.4-1 所示)，以一般雙向三線道的交岔路口為例，飛行高度 50 公尺拍攝時，縱向車道停止線後的範圍容易過小，影響追蹤車輛進出交岔路口情形；飛行高度 100 公尺時，縱向車道停止線後的範圍過大，亦間接降低空拍影像中交岔路口區域範圍大小，影響車輛偵測與辨識；飛行高度 75 公尺時，可涵蓋交岔路口外之車輛停止線後約兩部車輛長度(約 10 公尺)的範圍，使影像中的車輛在進出交岔路口時能被完整追蹤，並保有較大的車輛偵測面積，為最適合進行交岔路口車流分析之高度。以表 4.1-1 之無人機飛行高度與拍攝畫面寬高關係為例，飛行高度 50 公尺適合拍攝長 50 公尺、寬 20 公尺以下路口；飛行高度 75 公尺適合拍攝長 85 公尺、寬 40 公尺以下路口；飛行高度 100 公尺

適合拍攝長 120 公尺、寬 60 公尺以下路口。由於本研究採用之車輛偵測方法可容忍車輛在不同影像上的大小變化，因此拍攝者可依路口大小機動調整飛行高度，以取得最清晰完整之路口畫面。

表 4.4-1 飛行高度比較表

		拍攝地點 A	拍攝地點 B	拍攝地點 C
		桃園市八德區中華路與茄苳路口	桃園市桃園區中正路與大興西路口	桃園市桃園區中正路與三民路口
飛行高度	50m			
	75m			
	100m			
無人機飛行高度與拍攝畫面寬高說明				
飛行高度(m)		畫面寬度(m)		畫面高度(m)
50		70		39.4
75		105		59
100		140		78.8

資料來源：本研究繪製

2. 飛行角度

不同角度與高度所拍攝到的影像，可用於調查道路的壅塞情況，曾家瑜君(2014)等人^[39]探討空拍方式進行各種交通調查的可行性，指出拍攝角度為 0° 垂直地面之正射影像適合用來分析車流行為。本研究也嘗試使用不同角度進行分析，以表 4.4-2 為例，起飛點位於圖示中交岔路口下方的紅色圓圈區域，本研究於高度 75 公尺將無人機懸停於交岔路口正上方，以垂直向下拍攝為 0° ，水平地面拍攝為 90° (因無法拍攝取得道路畫面，不在本研究討論範圍)，以及在原地升空後調整雲台 45° 。

當以 45° 拍攝時，車輛外型因包含側面車身，導致不同方向車輛在外觀上的一致，進而影響車輛辨識與追蹤的準確性。當進行車輛衝突指標估算時，影響車輛角點定位與實際位置產生偏差，故本研究建議採用 0° 拍攝，可準確取得車輛的 4 個角點以增進衝突指標計算之準確性。

表 4.4-2 飛行角度比較表

		拍攝地點 A	拍攝地點 D
		桃園市八德區中華路與茄苳路口	桃園市桃園區中山路與上海路口
角 度	90°		
	45°		

資料來源：本研究繪製

3. 影像解析度

本研究建議採 4K 影像進行車流分析，因 4K 高畫質有助於增大車輛區域範圍，提升車輛追蹤時的特徵數量、精確度和辨識準確率。考慮運算耗時及儲存硬碟空間，可將 4K 影像重新壓縮成高品質 1080p 影像進行處理，但建議無人機錄影時仍以 4K 高畫質解析度錄製，以利後續若需進一步分析時，有較完整的影像細節可供分析使用。相關比較整理如表 4.4-3 所示

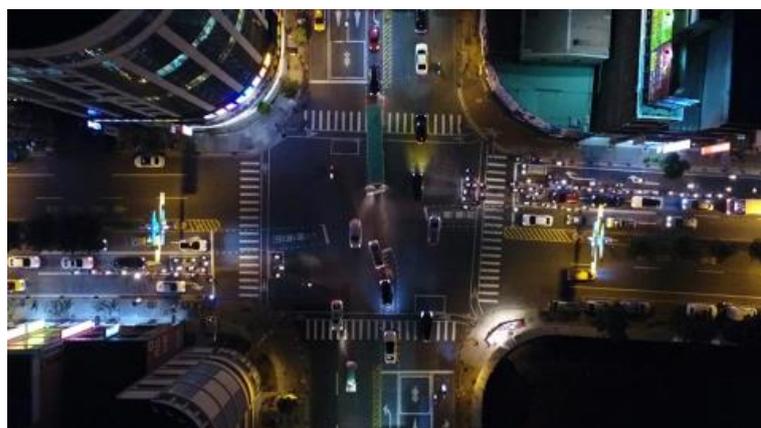
表 4.4-3 1080p 與 4K 影像之比較表

影像種類	影像尺寸	容量	處理時間	車輛辨識率	車輛追蹤可靠性
1080p	1920×1080	小	快	普通	普通
4K	3840×2160	大	慢	較高	較高

資料來源：本研究繪製

4. 光線特性

夜間影像由於燈光複雜、車身反光等特性，無法保有一致的車輛外觀，以圖 4.4-1 為例，車輛在缺乏光線區域無法與路面作區隔，在光線區域則受外在光源影響而車身顏色產生變化。此外，車燈照射於路面之反光亦無法作為穩定車輛特徵。日間拍攝影像雖易受日照陰影影響，但由於光線變化較為緩慢，因此可透過影像處理方式去除陰影。惟深灰色車輛可能因與陰影路面顏色過於一致而失偵，可透過車輛追蹤重新定位，因此本研究建議採日間影像進行分析處理。



資料來源：本研究繪製

圖 4.4-1 夜間空拍影像

4.5 無人機最佳拍攝影像設定

1. 拍攝高度與角度

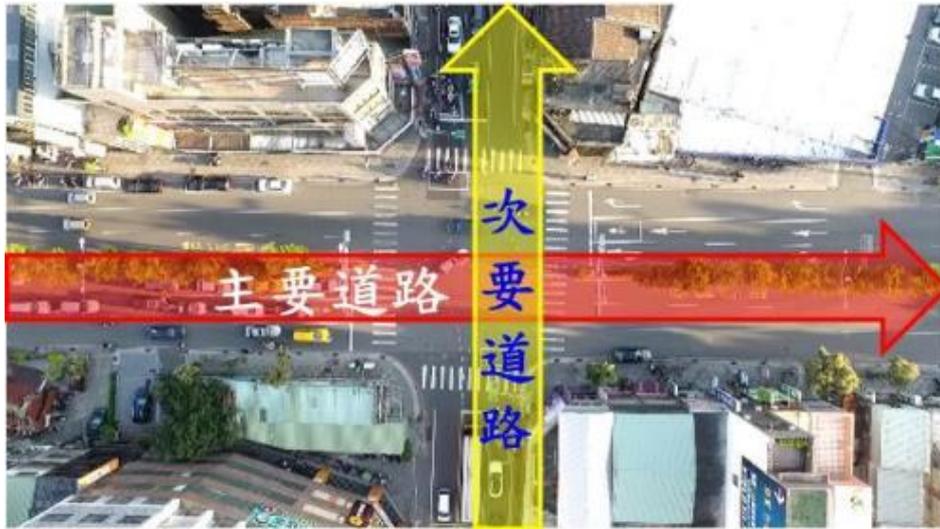
在選定採用 P4P 作為拍攝機種後，據本研究的調查經驗（詳見 4.4 節），於高度 75 公尺結合垂直路面 0° 拍攝，可涵蓋多數交岔路口停止線外延伸約兩部車輛長度之範圍，此範圍內可囊括車輛由主幹道駛入交岔路口之完整歷程，最適合做為本研究車流分析之用。

2. 風速

本研究出勤拍攝時，皆採用 UAV forecast 查閱當地氣候條件，搭配風速計地面數值作為起飛參考依據。以本研究所採用 P4P 為例，原廠公告可承受最大風速為 10m/s，係指逆風飛行時所能承受最大抗風性。因本研究拍攝須於交岔路口正上方採懸停方式拍攝，經本研究多次實際調查經驗，建議風速須於 9m/s 以下方可取得穩定影像，拍攝解析度以高解析 1080P/4K，每秒幀率 30fps 以上為較佳設定。

3. 畫面設定

本研究採用影像穩定技術對於拍攝之影像進行校正，為符合影像校正之平面座標系假設(詳見 5.1 節)，建議將道路畫面區分為主要道路及次要道路，並依序將主要道路橫向置中、次要道路縱向置中。如圖 4.5-1 所示，可將交岔路口假想為一十字架，將此十字架置中於影像正中心即可。



資料來源：本研究繪製

圖 4.5-1 無人機畫面設定示意圖

4. 其他設定

由於多數相機內建自動調整白平衡/對比等機制，容易造成非自然的道路亮度變化，進而導致連續影像間的車輛分析結果，因此建議關閉攝影機本身之自動調節機制，並選用穩定性佳的雲台進行拍攝工作。

綜整上述要點，本研究建議之拍攝影像設定，如表 4.5-1 所示：

表 4.5-1 最佳拍攝影像設定表

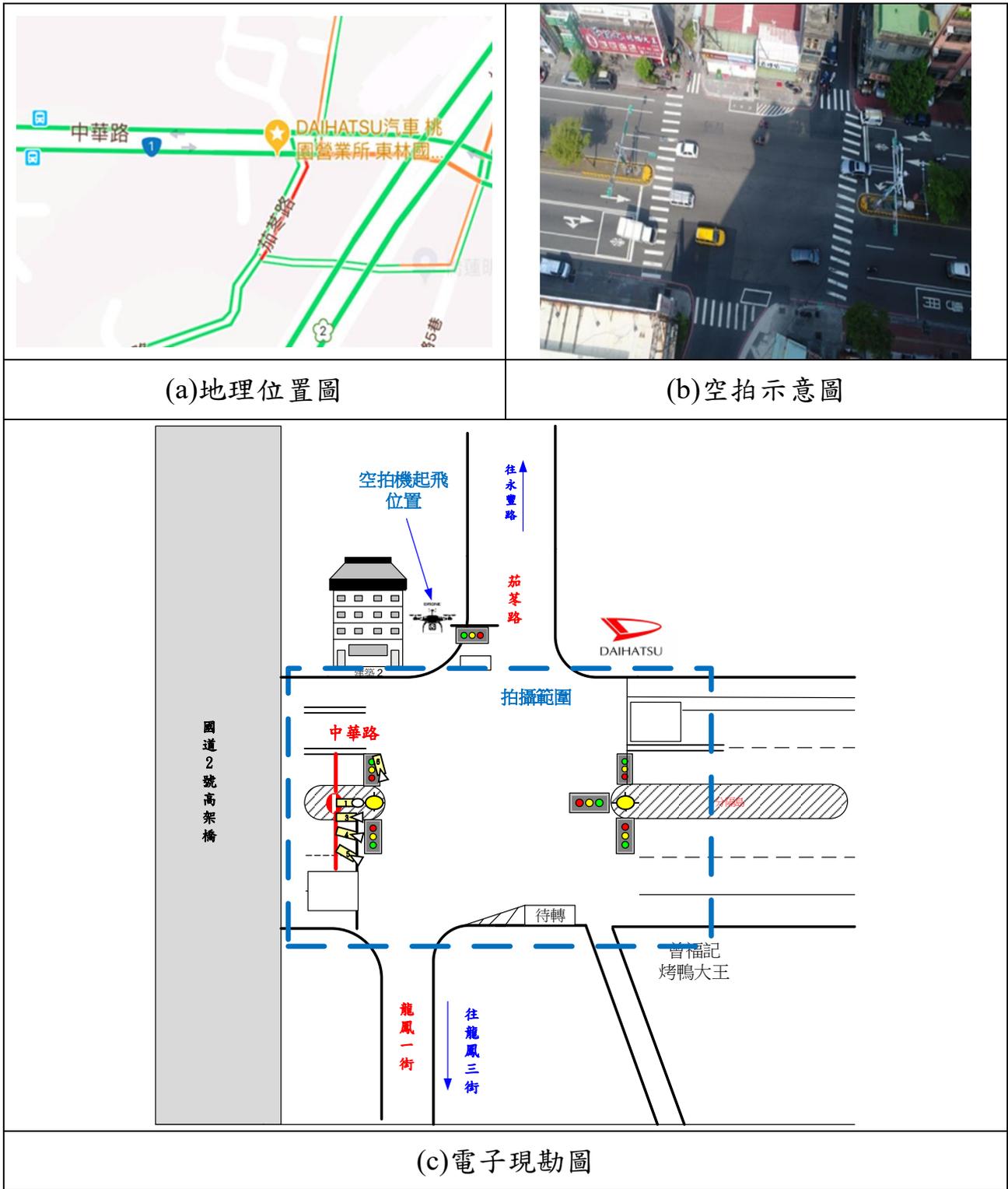
無人機	DJI Phantom 4 pro
高度	75 公尺
風速	9m/s 以下
拍攝解析度	1080P / 4K , 30fps
畫面設定方式	1.主要道路橫向置中、次要道路縱向置中 2.確認影像對焦後，關閉其餘自動調整設定(曝光補償，白平衡...等)

資料來源：本研究繪製

4.6 建立空拍影像資料庫

4.6.1 拍攝地點 A：桃園市八德區中華路與茄苳路口

1. 道路型態：如圖 4.6-1，橫向主幹道中華路（台 1 線）路寬 24 米 6 線道，為桃園市主要幹道之一，其東至西連接桃園區與中壢區，縱向幹道茄苳路路寬 7 米 2 線道，為可連接八德區的聯絡道路。
2. 交通狀況：該交岔路口車流量多，車種亦相對豐富，一般常見小客車、機車、貨車以外，因其省道上便利性與實用性，大客車、大貨車的流量也不在少數；做為調查取樣交岔路口而言，此路段車流量多、車種豐富，並有足夠的車流量可觀察各樣車種交錯之行為，以車種分佈來說，仍以機車、小客車佔大宗，相對於其他交岔路口，大客車、大貨車有較高出現的頻率，也因緊鄰住宅社區，行人亦常穿梭於該交岔路口。
3. 路口幾何：量測主要幹道中華路的車道寬、行穿線寬、及機車停等區寬如圖 4.6-1(c)。
4. 路口特性：選擇這個交岔路口可同時觀察往返桃園區與中壢區車流，亦可提供前往八德區之交通資訊。調查期間，交岔路口旁停車場空地經協調後可供空拍飛行器起飛，可加快拍攝進度及避免可能對用路人之干擾。

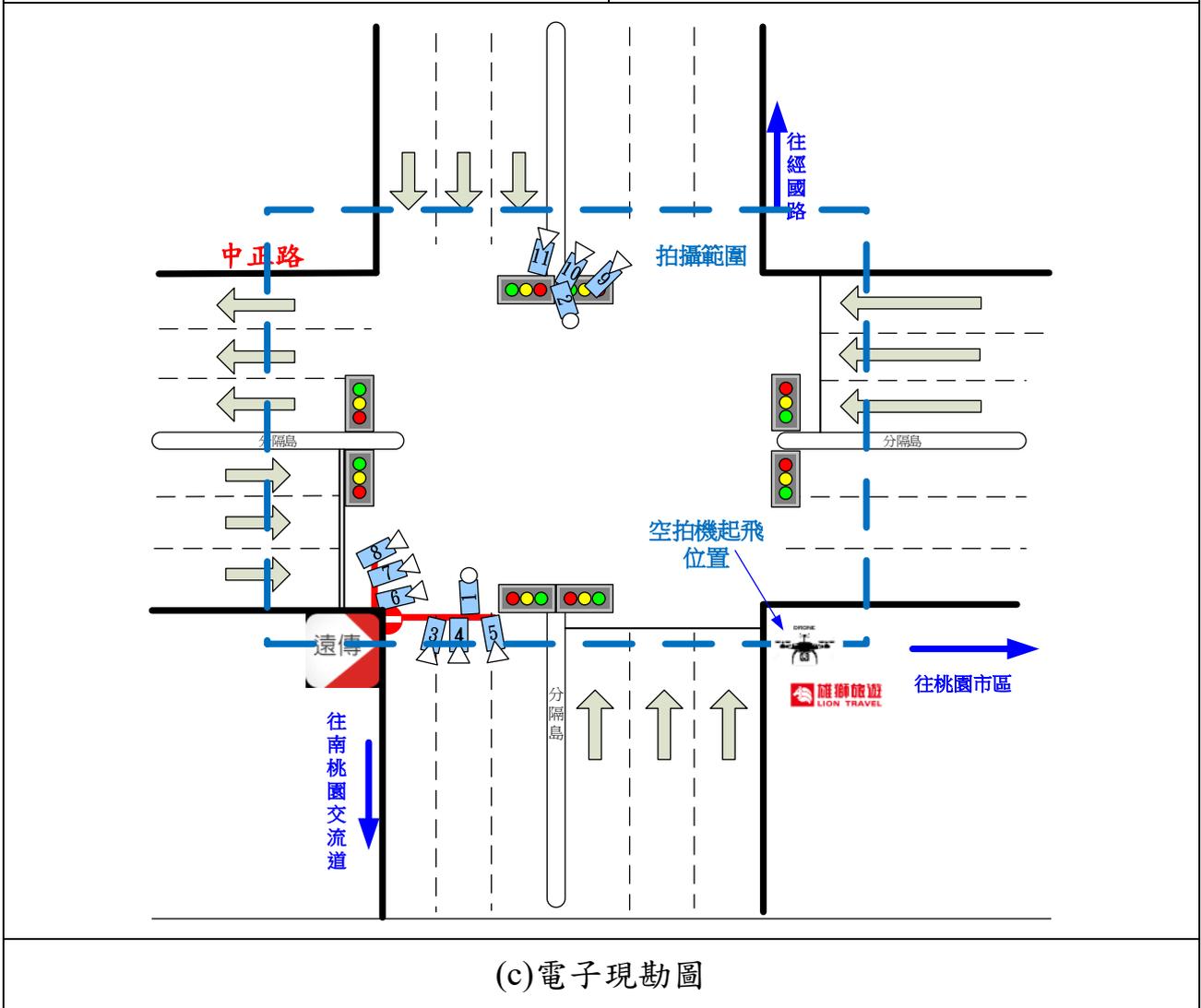
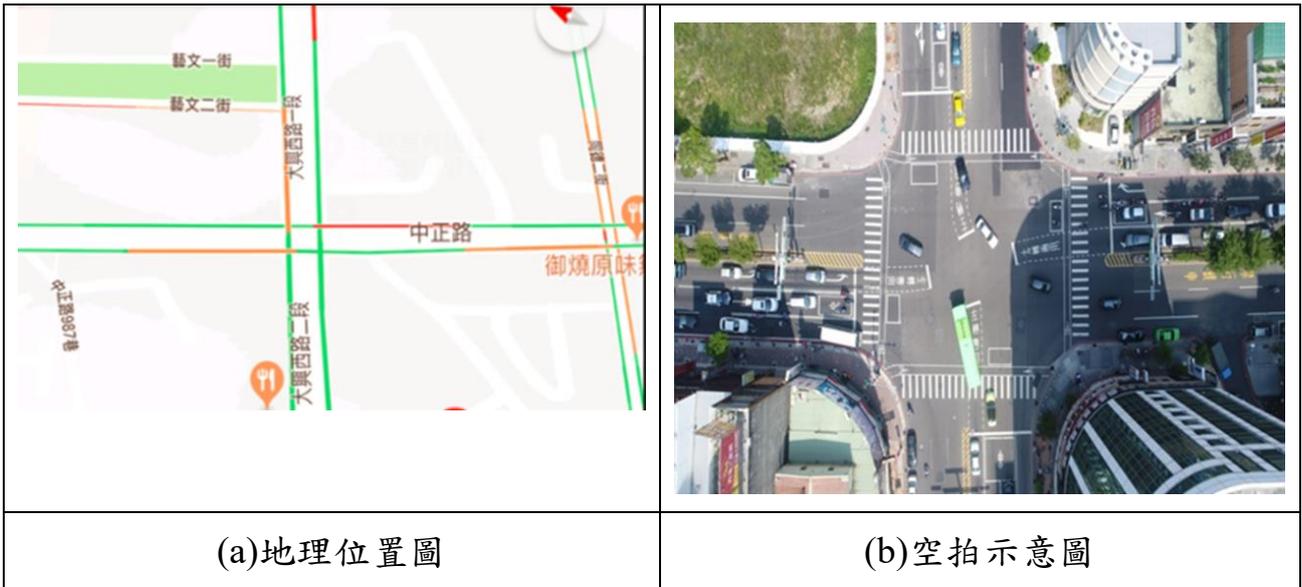


資料來源：本研究繪製

圖 4.6-1 拍攝地點 A(桃園市八德區中華路與茄苳路口)

4.6.2 拍攝地點 B：桃園市桃園區中正路與大興西路口

1. 道路型態：如圖 4.6-2，橫向主幹道中華路路寬 24 米 6 線道，為桃園市主要幹道之一，其南至北連接桃園區桃園火車站與蘆竹區中正北路，縱向幹道大興西路路寬 24 米 6 線道，為國道二號南桃園交流道下到桃園市區的重要聯絡道路。
2. 交通狀況：此交岔路口車流量多、車種繁複，並有足夠的車流量可觀察各樣車種交錯之行為，以車種分佈來說，仍以機車、小客車佔大宗，因緊鄰商業辦公區、餐廳、桃園展演中心等休憩區域，行人、腳踏車時常穿梭於該交岔路口。
3. 路口幾何：量測主要幹道的車道寬、行穿線寬、及機車停等區寬如圖 4.6-2(c)。
4. 路口特性：選擇這個交岔路口可同時觀察往返桃園區火車站車流，亦可提供交流道車輛進入市區之交通資訊，且因其周圍商業發達、商店林立，並緊鄰桃園中正藝文特區，使得該交岔路口具有調查取樣的參考性。調查期間，交岔路口旁建案空地經協調後可供空拍飛行器起飛，可加快拍攝進度及避免可能對用路人之干擾。

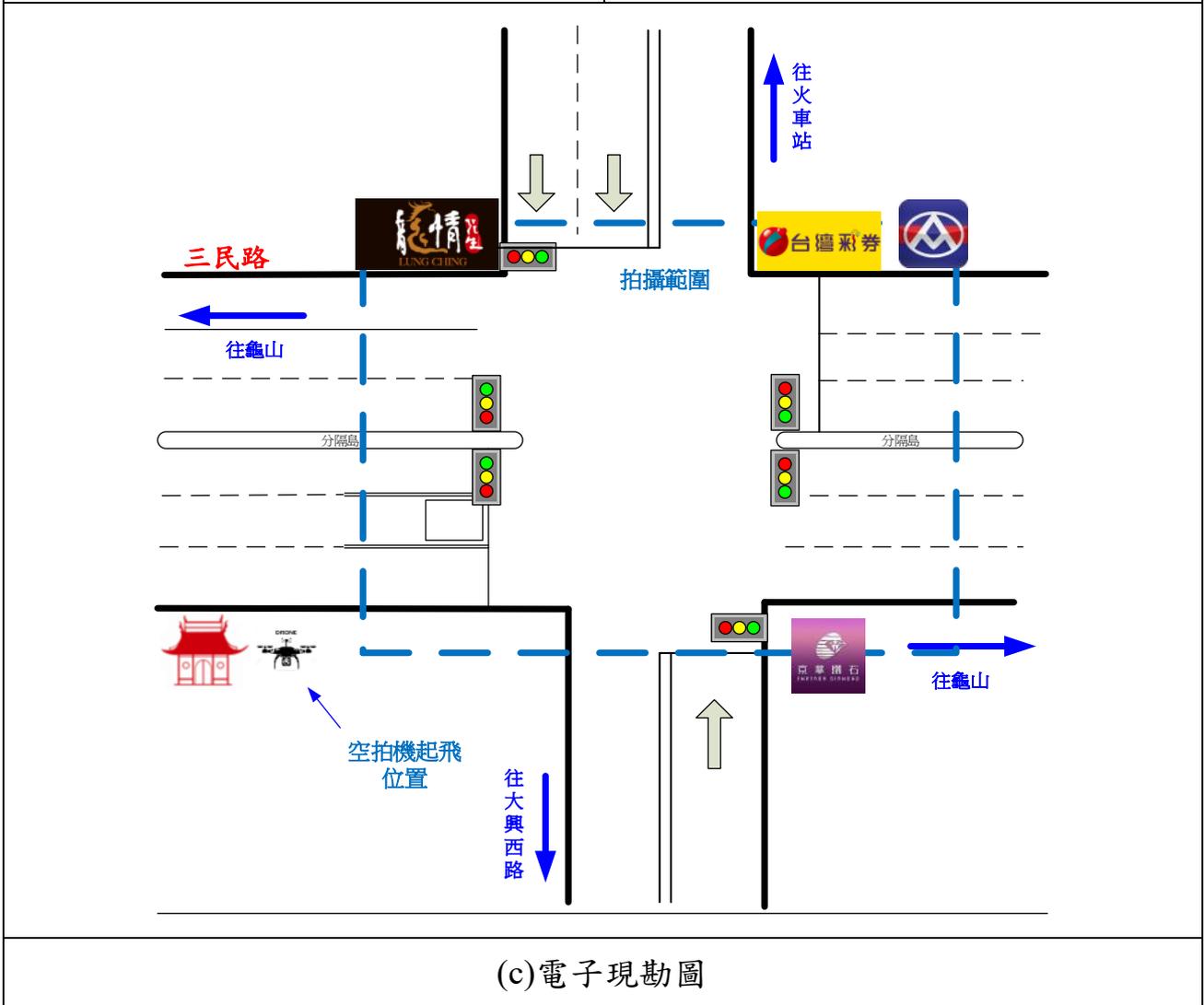
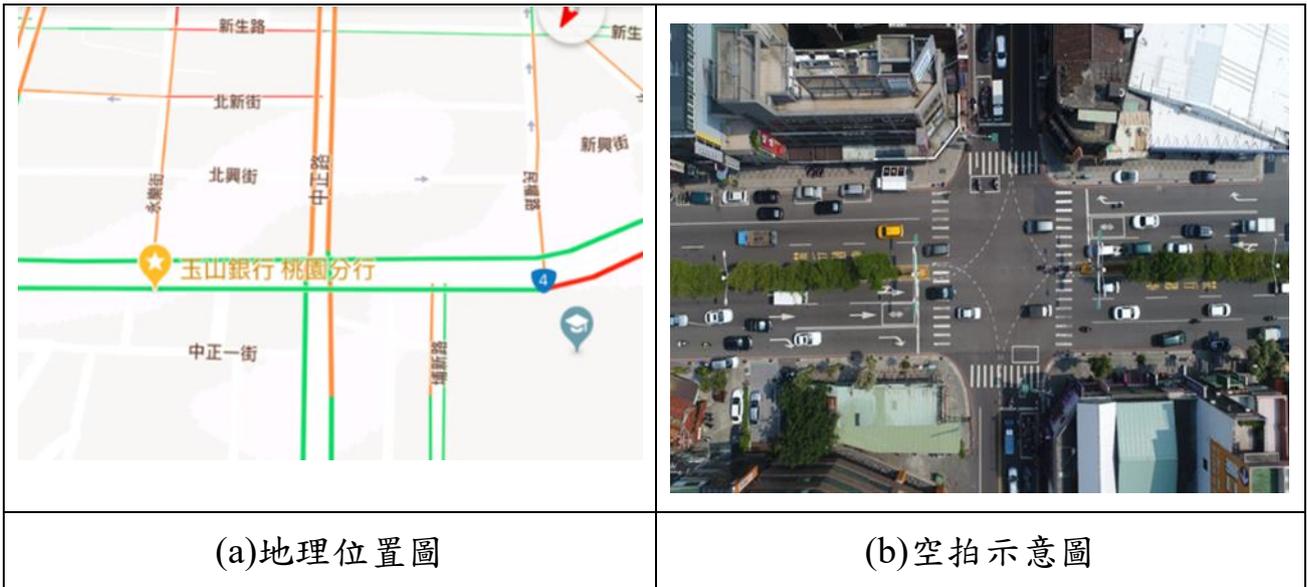


資料來源：本研究繪製

圖 4.6-2 拍攝地點 B (桃園區中正路與大興西路口)

4.6.3 拍攝地點 C：桃園市桃園區中正路與三民路口

1. 道路型態：如圖 4.6-3，橫向主幹道三民路（台 1 及台 4 共線）路寬 24 米 6 線道，為桃園市主要幹道之一，其東至西連接龜山區與中壢區，縱向幹道中正路路寬 12 米 3 線道，其南至北連接桃園區桃園火車站與蘆竹區中正北路。
2. 交通狀況：該交岔路口車流量大、車種豐富，一般常見小客車、機車、貨車以外，因其緊鄰桃園區果菜批發市場、成功國小，使得該交岔路口十分有取樣的參考值；做為調查取樣交岔路口而言，有足夠的車流量可觀察各樣車輛交錯之行為，以車種分佈來說，仍以機車、小客車佔大宗。
3. 路口幾何：量測主要幹道的車道寬、行穿線寬、及機車停等區寬如圖 4.6-3(c)。
4. 路口特性：選擇這個交岔路口可同時觀察往返桃園區火車站車流，亦可提供往返龜山區、中壢區之車流交通資訊，調查期間，交岔路口旁建案空地經協調後可供空拍飛行器起飛，可加快拍攝進度及避免可能對用路人之干擾。

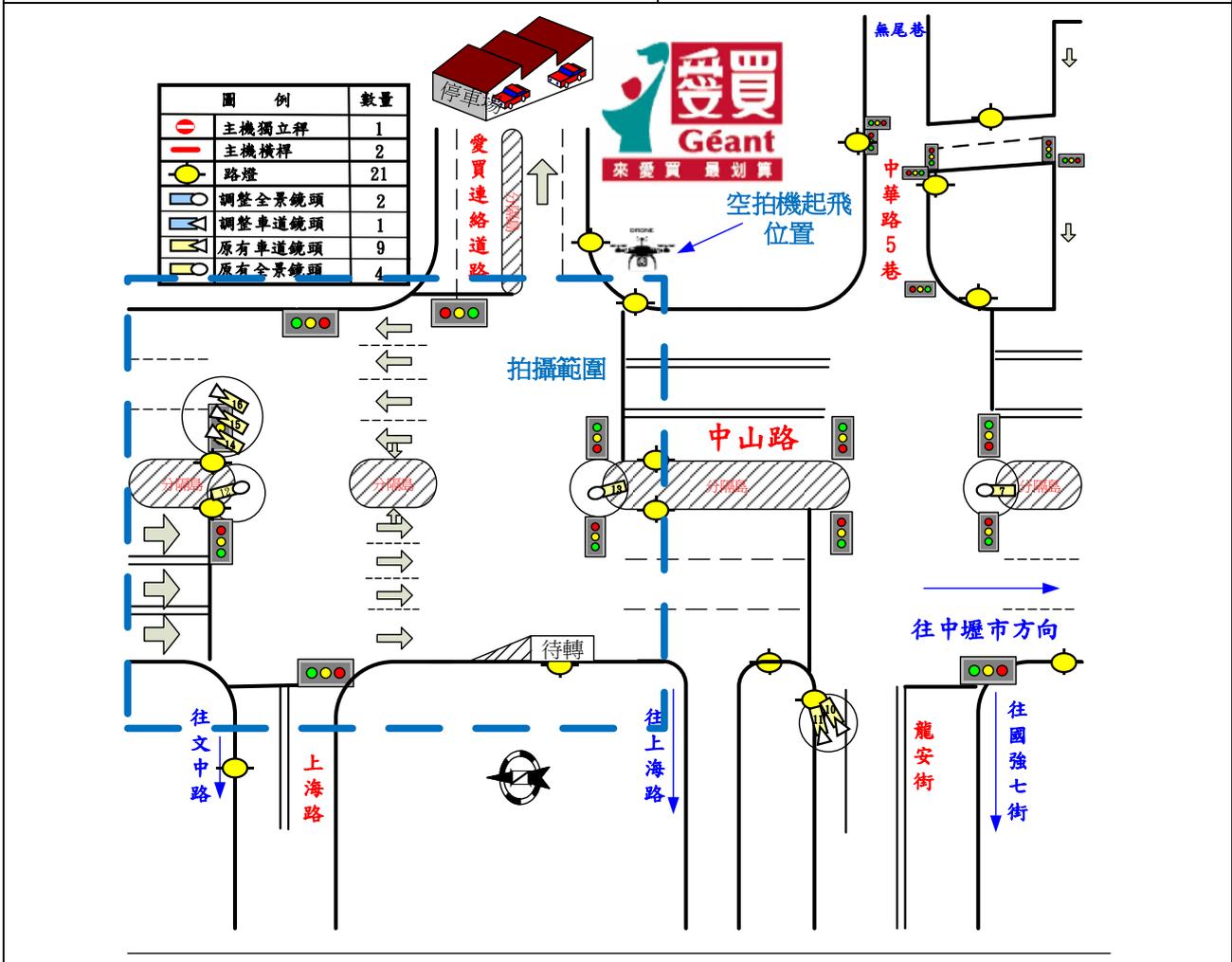
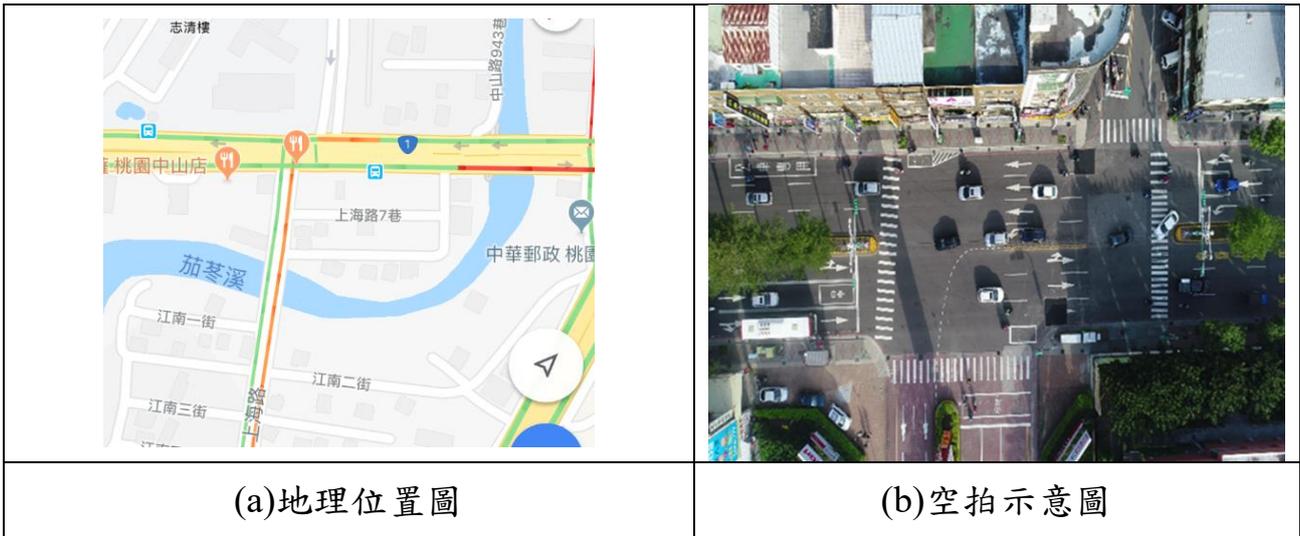


資料來源：本研究繪製

圖 4.6-3 拍攝地點 C (桃園區中正路與三民路口)

4.6.4 拍攝地點 D：桃園市桃園區中山路與上海路口

1. 道路型態：如圖 4.6-4，橫向主幹道中山路（台 1 線），路寬 24 米 6 線道為桃園市主要幹道之一，其東至西連接桃園區與中壢區，縱向幹道上海路，路寬 12 米 3 線道其南至北連接國道二號南桃園交流道至愛買購物中心、桃園市武陵高中。
2. 交通狀況：此路段車流量多、車種繁複，並有足夠的車流量可觀察各樣車輛交錯之行為，以車種分佈來說，因其省道上便利性與實用性，大客車、大貨車的流量也不在少數；行人、腳踏車時常穿梭於該交岔路口。
3. 路口幾何：量測主要幹道的車道寬、行穿線寬、及機車停等區寬如圖 4.6-4(c)。
4. 路口特性：選擇這個交岔路口可同時觀察往返桃園區與中壢區車流，亦可提供進出愛買購物中心的交通資訊，該交岔路口車流量大、交岔路口號誌變化頻繁，路面標線複雜，一般常見小客車、機車、貨車以外，因其緊鄰購物中心、學校，使得該交岔路口具有調查取樣的參考性；調查期間，交岔路口購物中心旁空地經協調後可供空拍飛行器起飛，可加快拍攝進度及避免可能對用路人之干擾。



(c) 電子現勘圖

資料來源：本研究繪製

圖 4.6-4 拍攝地點 D (桃園市桃園區中山路與上海路口)

4.6.5 空拍影像資料整理

本研究於桃園市選定 4 處交岔路口進行拍攝，飛行拍攝時間為早晚交通尖峰時間，分別為上午 8 時至 10 時，下午 4 時至 6 時，拍攝場域包含桃園市桃園區中正路與大興西路、中山路與上海路、中正路與三民路、及八德區中華路與茄苳路，歷經 4 個多月拍攝，相關影像資訊整理如表 4.6-1：

表 4.6-1 空拍影像資料彙整表

影片段數	日期	開始時間	影片長度	結束時間	解析度	路口
1	2017/11/1	8:05:41	0:17:43	8:23:24	1280x720	桃園區中正路與三民路
2		8:23:25	0:17:43	8:41:08	1280x720	
3		8:41:08	0:09:30	8:50:38	1280x720	
4		8:13:01	0:09:22	8:22:23	3840x2160	
5		8:22:25	0:09:22	8:31:47	3840x2160	
6		8:43:13	0:14:01	8:57:14	3840x2160	
7		8:57:15	0:06:00	9:03:15	1920x1080	
8		9:06:52	0:14:00	9:20:52	1920x1080	
9		9:20:55	0:06:01	9:26:56	1920x1080	
10		9:30:48	0:09:13	9:40:01	1920x1080	
11	2017/11/15	16:44:10	0:14:00	16:58:10	1920x1080	桃園區中正路與大興西路
12		16:58:11	0:05:42	17:03:53	1920x1080	
13		17:07:03	0:14:00	17:21:03	1920x1080	
14		17:21:06	0:06:01	17:27:07	1920x1080	
15		17:30:46	0:13:59	17:44:45	1920x1080	
16		17:44:47	0:05:12	17:49:59	1920x1080	
17		17:54:39	0:07:36	18:02:15	1920x1080	
18	2017/11/16	8:17:59	0:14:00	8:31:59	1920x1080	桃園區中正路與大興西路
19		8:32:00	0:05:00	8:37:00	1920x1080	
20		8:39:57	0:14:00	8:53:57	1920x1080	
21		8:53:58	0:05:13	8:59:11	1920x1080	
22		9:03:45	0:14:00	9:17:45	1920x1080	
23		9:17:43	0:04:08	9:21:51	1920x1080	
24		9:25:21	0:10:06	9:35:27	1920x1080	
25		16:00:03	0:14:00	16:14:03	1920x1080	桃園區中正路與三民路

表4.6-1空拍影像資料彙整表(續)

影片 段數	日期	開始時間	影片長度	結束時間	解析度	路口
26		16:14:04	0:05:00	16:19:04	1920x1080	
27		16:22:26	0:14:01	16:36:27	1920x1080	
28		16:38:28	0:05:59	16:44:27	1920x1080	
29		16:46:31	0:14:00	17:00:31	1920x1080	
30		17:00:32	0:05:00	17:05:32	1920x1080	
31		17:21:01	0:10:16	17:31:17	1920x1080	
32	2017/11/28	8:32:28	0:09:06	8:41:34	1920x1080	八德區中華路與茄苳路
33		8:41:35	0:09:06	8:50:41	1920x1080	
34		8:50:41	0:02:27	8:53:08	1920x1080	
35		9:06:54	0:09:06	9:16:00	1920x1080	
36		9:16:01	0:09:05	9:25:06	1920x1080	
37		9:25:07	0:01:08	9:26:15	1920x1080	
38		9:31:28	0:09:06	9:40:34	1920x1080	
39		9:40:35	0:09:06	9:49:41	1920x1080	
40		9:49:41	0:03:31	9:53:12	1920x1080	
41		16:07:57	0:09:06	16:17:03	1920x1080	
42		16:17:04	0:09:05	16:26:09	1920x1080	
43		16:26:10	0:00:31	16:26:41	1920x1080	
44		16:39:14	0:09:06	16:48:20	1920x1080	
45		16:48:22	0:09:06	16:57:28	1920x1080	
46		16:57:28	0:01:51	16:59:19	1920x1080	
47		17:06:45	0:09:06	17:15:51	1920x1080	
48	17:15:52	0:07:48	17:23:40	1920x1080		
49	2017/12/6	9:10:36	0:05:28	9:16:04	3840x2160	桃園區中正路與三民路
50		9:16:04	0:04:21	9:20:25	3840x2160	
51		10:18:14	0:05:28	10:23:42	3840x2160	
52		15:27:29	0:05:28	15:32:57	3840x2160	桃園區中正路與大興西路
53		15:32:58	0:05:28	15:38:26	3840x2160	
54	2017/12/20	8:54:41	0:05:28	9:00:09	3840x2160	桃園區中正路與三民路
55		9:00:10	0:05:28	9:05:38	3840x2160	
56		9:05:37	0:05:28	9:11:05	3840x2160	

表 4.6-1 空拍影像資料彙整表(續)

影片 段數	日期	開始時間	影片長度	結束時間	解析度	路口		
57		9:11:05	0:02:40	9:13:45	3840x2160			
58		9:19:02	0:05:28	9:24:30	3840x2160			
59		9:24:31	0:05:28	9:29:59	3840x2160			
60		9:29:58	0:05:28	9:35:26	3840x2160			
61		9:35:26	0:02:41	9:38:07	3840x2160			
62		9:53:57	0:05:28	9:59:25	3840x2160			
63		9:59:26	0:02:07	10:01:33	3840x2160			
64		15:53:20	0:05:28	15:58:48	3840x2160			
65		15:58:49	0:05:28	16:04:17	3840x2160			
66		16:04:17	0:03:39	16:07:56	3840x2160			
67		16:14:37	0:05:28	16:20:05	3840x2160			
68		16:20:06	0:05:28	16:25:34	3840x2160			
69		16:25:34	0:05:28	16:31:02	3840x2160			
70		16:31:01	0:01:25	16:32:26	3840x2160			
71		16:44:47	0:05:28	16:50:15	3840x2160			
72		16:50:15	0:05:28	16:55:43	3840x2160			
73		16:55:43	0:05:28	17:01:11	3840x2160			
74		17:01:10	0:03:40	17:04:50	3840x2160			
75		2017/12/21	9:02:07	0:05:28	9:07:35		3840x2160	八德區中華路與茄苳路
76			9:07:36	0:05:28	9:13:04		3840x2160	
77			9:13:03	0:05:28	9:18:31		3840x2160	
78			9:18:31	0:00:32	9:19:03		3840x2160	
79			9:23:49	0:05:28	9:29:17		3840x2160	
80			9:44:02	0:05:28	9:49:30		3840x2160	
81	9:49:30		0:05:28	9:54:58	3840x2160			
82	9:54:58		0:03:50	9:58:48	3840x2160			
83	15:28:02		0:04:55	15:32:57	3840x2160			
84	15:52:08		0:03:20	15:55:28	3840x2160			
85	2017/12/26	8:51:23	0:05:28	8:56:51	3840x2160	桃園區中山路與上海路		
86		8:56:51	0:05:28	9:02:19	3840x2160			

表 4.6-1 空拍影像資料彙整表(續)

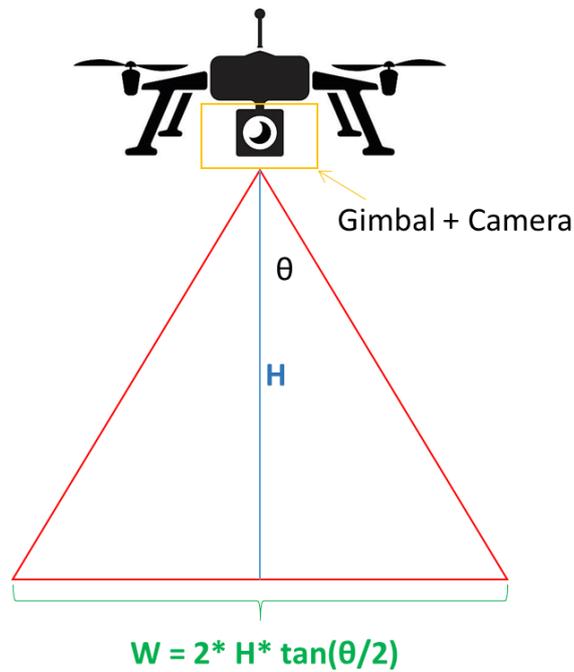
影片 段數	日期	開始時間	影片長度	結束時間	解析度	路口
87		9:02:19	0:05:28	9:07:47	3840x2160	
88		9:07:47	0:01:40	9:09:27	3840x2160	
89		9:13:58	0:05:28	9:19:26	3840x2160	
90		9:19:27	0:05:28	9:24:55	3840x2160	
91		9:24:54	0:05:27	9:30:21	3840x2160	
92		9:30:22	0:02:05	9:32:27	3840x2160	
93		9:40:46	0:05:28	9:46:14	3840x2160	
94		9:46:15	0:05:28	9:51:43	3840x2160	
95		9:51:42	0:05:28	9:57:10	3840x2160	
96		9:57:10	0:01:43	9:58:53	3840x2160	
97		15:34:29	0:05:28	15:39:57	3840x2160	
98		15:39:58	0:05:28	15:45:26	3840x2160	
99		15:45:25	0:05:28	15:50:53	3840x2160	
100		15:50:53	0:02:40	15:53:33	3840x2160	
101		15:58:04	0:05:28	16:03:32	3840x2160	
102		16:03:33	0:05:28	16:09:01	3840x2160	
103		16:09:00	0:05:28	16:14:28	3840x2160	
104		16:14:28	0:02:40	16:17:08	3840x2160	
105		16:30:21	0:05:28	16:35:49	3840x2160	
106		16:35:50	0:05:28	16:41:18	3840x2160	
107		16:41:17	0:05:27	16:46:44	3840x2160	
108		16:46:45	0:02:32	16:49:17	3840x2160	
109		10:10:33	0:03:03	10:13:36	3840x2160	桃園區中山路與上海路(50m)
110		10:19:21	0:00:43	10:20:04	3840x2160	桃園區中山路與上海路(斜拍 75m)
111		10:20:05	0:03:58	10:24:03	3840x2160	桃園區中山路與上海路(100m)
112		14:54:09	0:01:13	14:55:22	3840x2160	八德區中華路與茄苳路(斜拍 75m)
113		15:22:23	0:03:05	15:25:28	3840x2160	桃園區中山路與上海路(100m)
114		15:25:52	0:03:08	15:29:00	3840x2160	桃園區中山路與上海(50m)

資料來源：本研究繪製

4.7 小結

本研究以無人機在空中拍攝的方式進行交岔路口車流影片的錄影，於調查地點 A、B、C 和 D 四處交岔路口進行拍攝，總計拍攝影片 122 段，時間總長度為 13:21:25。考量本研究分析工具之空拍影像可用性，蒐集可用之空拍影像資料歸納如下：

1. 為適合於都會區交岔路口迅速升空執行，具備機身輕巧、快速起降之特性，無人機選用以 P4P 最為合適。
2. 為分析交岔路口車流行為，以飛行高度 75 公尺拍攝涵蓋交岔路口之停止線後延伸約兩部車輛長度之範圍，最利於車輛在進出交岔路口時能被完整追蹤，並保有較大車輛偵測面積。
3. 為提升交通衝突指標估算準確度，採用 0° 垂直向下拍攝，可準確定位車輛角點，避免斜拍車輛在外觀上的不一致，提升車輛辨識與追蹤的準確性。
4. 針對無人機影像蒐集方案，為避免環境因素影響拍攝效果，須於無雨、霧，且風速小於 9m/s 以下進行，風速愈小，影像品質愈佳，因此建議於低風速下進行影像蒐集，以提高影像之可用性。影像解析度對於車輛偵測、辨識及追蹤具有高度關聯之影響性，爰此拍攝影片之解析度必須為 1080P/4K，每秒幀率 30fps 以上，宜適用於後續影像分析訓練。
5. 為利於影像穩定技術對空拍影像之校正，畫面設定方式採主要道路橫向置中、次要道路縱向置中，確認影像對焦後，關閉其餘自動調整設定。
6. 經整理相關計算公式如圖 4.7-1 所示。公式 $W = 2 * H * \tan(\theta/2)$ 中，W 為拍攝路面之寬度，H 為無人機飛行高度， θ 為攝影機 FOV 角度。由此公式可先由地面丈量欲拍攝範圍之寬度，即可反推無人機飛行之高度，請參考表 4.7-1 所列範例。



資料來源：本研究繪製

圖 4.7-1 無人機高度與拍攝範圍關係圖

表 4.7-1 無人機飛行高度與攝影機拍攝範圍對應表

攝影機種類	60度攝影機	DJI_P4P	GoPro4	150度魚眼
FOV角度	60度	80度	120度	150度
無人機 飛行高度 拍攝範圍 (寬度m)				
30m	35	50	104	224
60m	69	101	208	448
90m	104	151	312	672
120m	139	201	416	896

資料來源：本研究繪製

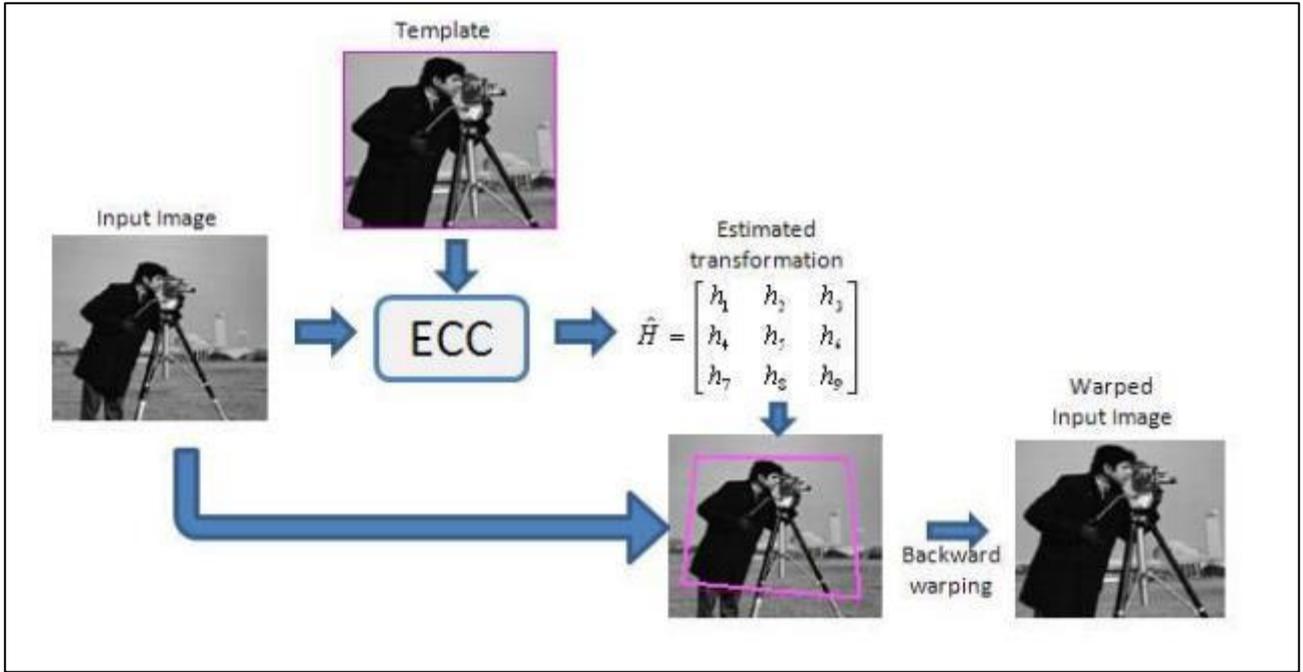
第五章 影像處理

5.1 影像晃動校正

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^{[54][55]}，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，如資料來源：[54]

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



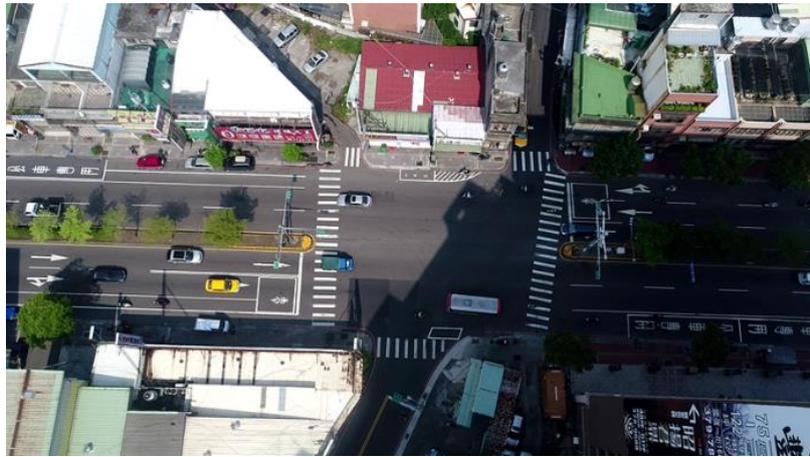
資料來源：[54]

圖 5.1-1 ECC 影像對齊法之流程示意圖

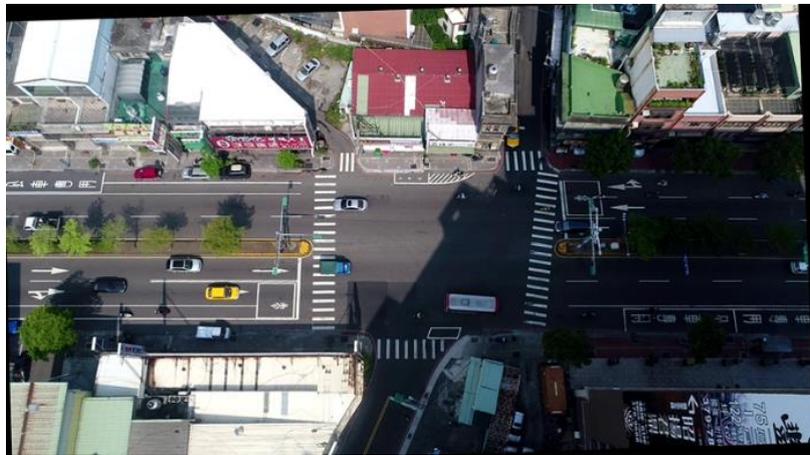
圖 5.1-2 為利用 ECC 影像對齊技術以空拍影像中首張影像為樣板之對齊結果。由圖中可明顯發現空拍機所拍攝之影像，在 5 分鐘後(圖 5.1-2(b))與首張影像(圖 5.1-2(a))有了明顯的位置改變。原本首張影像中大致水平的橫向道路，在 5 分鐘後產生了明顯的傾斜。但在經過影像對齊處理之後(圖 5.1-2(c))，橫向道路重新旋轉回到水平的位置，影像邊緣的黑色區域則是屬於旋轉前的原影像外區域，因此缺乏實際影像內容資訊。在經過影像對齊處理後，後續的影像資料才能在同一個平面座標系統進行分析處理，減少車輛軌跡因空拍機晃動位移而產生顯著誤差。



(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

5.2 傳統車輛偵測

在一個連續影像中要偵測一個移動的物體，傳統上主要是建立影像的靜止背景模型(background modeling)，之後將連續輸入的影像和背景影像相減，即可快速地取得前景物。常用的做法包含下面幾類：

5.2.1 連續影像相減 (Frame difference)

原理是利用時間上連續的影像做一對一的像素相減；若是兩者差異為零，就表示此像素不屬於移動物件像素；反之，則此像素為移動物件像素。由於相鄰影像差是利用偵測兩張影像間因物體移動，而產生明顯色彩差異的區域，此類方法最簡單，但在車輛移動緩慢時，產生之明顯色差區域亦相對甚小，偵測出的移動物件常常會發生內部破碎的情形，因此難以偵測出完整車輛。

5.2.2 混和高斯模型 (Gaussian Mixture Model, GMM)

由於影像的像素值式不會固定的，例如因為實際物品的移動、攝影機搖晃或者亮度改變造成的影響，這些改變造成像素的數值在原來的值附近做小幅的變動，因此使用混和高斯模型是針對每個像素統計過去 N 張影像的色彩分布，一個高斯混和模型具有三個參數，分別是混合加權值(mixture weights)、平均值向量(mean vector)以及共變異數矩陣(convariance matirx)。目標是能精確地找出此高斯混合模型的最佳參數。

但在很多情況下，顏色的分布不是只在一個數值附近做變動，而是在某幾個數值做變動，因此多數的應用常以 3~5 個高斯函數去擬合(fitting)此色彩分布，將色彩落在任一高斯函數平均值附近 2.5 個標準差內的範圍，視為背景路面的色彩。此方法對微小的局部晃動所引起的雜訊有著不錯的抵抗性，但大量的參數也造成調校上的不便，且運算量也遠高於前述方法。

5.2.3 平均值濾波

像素色彩平均值濾波是將過去 N 張影像的每一個像素點，利用統計的方式，將連續的影像取「平均」，就能得到一張不錯的平均值背景影像，此影像作為路面背景模型，並與現在影像進行相減，取出明顯色差區域作為可能的前景車輛區域。此方法雖然較相鄰影像差法更容易取出完整車輛區域，但由於平均值易受極值影響，因此當白色之車輛經過時，容易長期影響原本灰暗路面區域的色彩平均

值，導致錯誤的路面背景模型，進而引發大量誤偵車輛的情況發生。

5.2.4 中位數濾波

另一種統計的方式是計算連續影像的「中位數」，將過去 N 張影像取出一張中位數影像，以此影像作為背景模型，並與現在影像進行相減，取出明顯色差區域作為可能的前景車輛區域。相較於利用平均值的方法，中位數可有效避免極值所造成的影響，只要每個像素位置之路面出現率大於車輛出現率，該像素位置之中位數即為有效的路面顏色，因此建立出之路面背景模型通常較為乾淨正確。

考量到執行時的效率與效果，本研究主要利用像素色彩中位數濾波來取得路面背景。從資料來源：本研究繪製

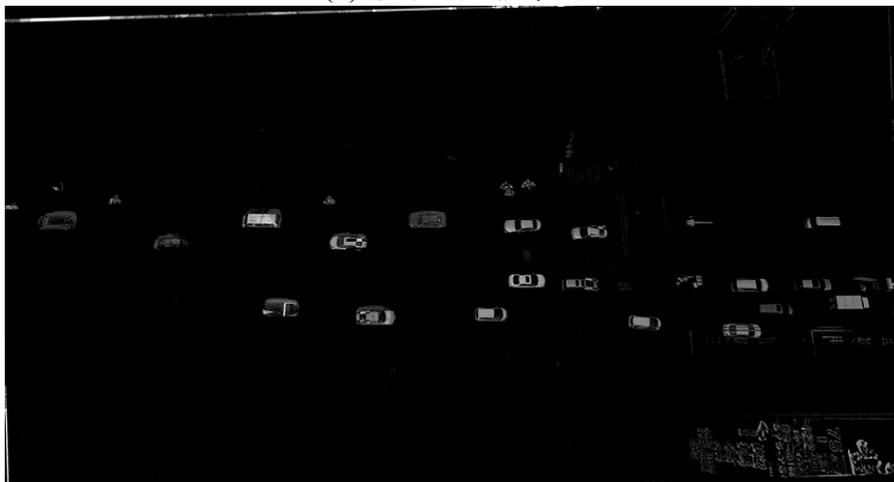
圖 5.2-1，本研究可以發現中位數濾波可有效建立出乾淨的路面背景影像，透過將當前影像與路面背景影像進行相減後，可以透過影像差異取出目前道路上的完整行進車輛前景區域。



(a)利用中位數濾波取得之路面背景影像圖



(b)當前空拍影像圖



(c)將當前影像與路面背景影像相減後之影像差異圖

資料來源：本研究繪製

圖 5.2-1 中位數濾波之前景物偵測示意圖

由於空拍機拍攝時會全程維持在固定高度，因此影像上基本的汽、機車輛大小亦可大致限縮在一定範圍內，可以利用矩形來擬合前景車輛的外緣，達到快速而有效的車輛偵測目的，如圖 5.2-2 所示。然而，其中部分車輛可能因為不同原因造成偵測失敗(如圖 5.2-2 中間的白色與藍色車輛)，因此仍需要車輛追蹤方法來找出失偵的車輛。



資料來源：本研究繪製

圖 5.2-2 利用矩形(紅色外框者)對前景車輛進行擬合示意圖

5.3 深度學習之車輛偵測

自從2012年Alex(2012)等人^[60]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^[61]，與及減緩梯度消失問題以突破上百層深度的ResNet架構^[62]。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。另一方面，深層網路所帶來的大量運算則成為了目前深度學習的問題之一，包含Faster-RCNN^{[9][10]}等架構都著重在預先偵測可能的物體位置，進而加速物體辨識速度。

相對於前一小節的傳統偵測方法，基於深度學習的方法可以在單張影像上偵測車輛位置並同時辨識車種。傳統基於背景相減的方法主要有兩大劣勢，一是難以偵測路口停等待轉等長期靜止的車輛；另一劣勢則是快速發生的光影變化會引發誤偵，例如雲層忽然遮蔽太陽便會在影像上發生全面性的亮度差異。從原理上來說，傳統基於背景相減的方法並非針對車輛進行偵測，而是針對因車輛移動產生的亮度差異進行偵測。因此任何無法偵測(停止車輛)與錯誤偵測(陰影變化)的結果，都會對車輛偵測結果產生嚴重影響。然而，基於深度學習的車輛偵測方法，是透過學習車輛應有之外在特徵，真正針對車輛本身來進行偵測，加上深度學習本身在物件辨識上的高準確性，因此近年已快速而全面地取代傳統方法，應用於車輛偵測與分類問題上。

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機畫面，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。首先透過人工方式標註影像中大量不同車輛的矩形範圍，並針對不同車種給予不同類別編號，再透過深度學習針對被標註的大量車輛影像進行訓練，取得其網路層中的大量權重數據並作為偵測模型。

圖 5.3-1 是本研究自行研發之影像資料標記程式，透過人工方式標註影像中大量不同車輛的矩形範圍，並針對不同車種給予不同類別編號。圖 5.3-1 中的紅線是由使用者自行標記之車道停止線。本研究將標註由交岔路口往外延伸到紅線外約 1~2 部車長範圍的車輛。標註時除需指定車輛的 4 個角落位置，同時會一併要求人工指明該方框屬於哪類車種。



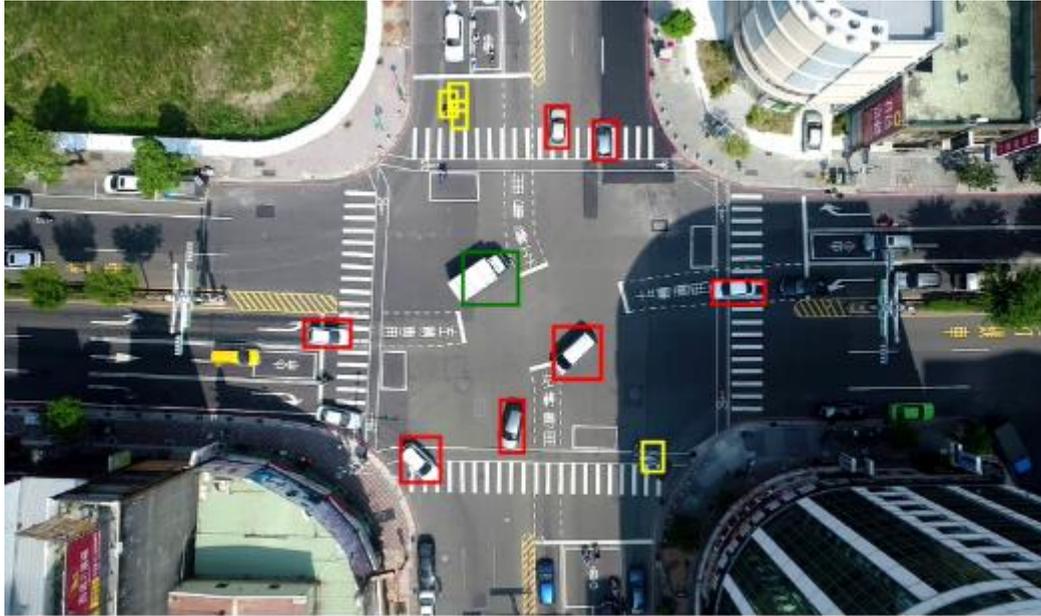
資料來源：本研究繪製

圖 5.3-1 影像資料標記程式介面圖

程式方面主要以 Python 進行撰寫與整合。硬體上需搭載一片 Nvidia 公司的 GeForce GTX 1080 Ti 高階顯示卡、64G 記憶體以提升深度學習之計算效率。

5.3.1 Faster R-CNN 之車輛偵測與分類

當透過 Faster R-CNN 針對被標註的大量車輛影像進行訓練後，可取得其網路層中的大量權重數據並作為偵測模型。在偵測階段僅需提供單張影像，Faster R-CNN 會針對可能的物體位置自動加以辨識分類，並輸出所有可能車輛之矩形範圍與其車輛種類。由於每部已偵測車輛在影像中只需一個樣本即可進行分類，因此經過追蹤得到之單一車輛可用一張或少量樣本即可加以分類。本研究在每隔 6 張對影片畫面進行重新取樣，相當於從 29.97fps 的原始影片重新取樣至約 4.995fps，以減少深度學習偵測車輛時所需花費的時間。



資料來源：本研究繪製

圖 5.3-2 利用Faster R-CNN進行車輛偵測與分類結果

圖 5.3-2 為利用 Faster R-CNN 在十字交岔路口附近進行的車輛偵測、分類結果，其中紅色框代表一般小客車、綠框代表貨車、黃框代表機車。由圖 5.3-2 可以發現 Faster R-CNN 優秀的偵測分類效果，但其方框範圍無法貼合轉彎中車輛之外緣，造成轉彎中之行經區域明顯大於實際的車輛行經區域，進而影響後續估算衝突指標的精確性。

5.3.2 Mask R-CNN 之車輛偵測與分類

由於 Faster R-CNN 的物件偵測方法無法準確偵測物體外型，僅能找尋出由物體上下左右端點圍起的外接矩形區域，如圖 5.3-2 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^[66]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，如圖 5.3-3 所示，可同步完成偵測與分類工作，有效簡化整體處理流程。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岔路口之車輛，統計該車輛在每張畫面上被分類車種之次數，來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。

針對聯結車的部分，本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口(中華路與茄荖路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)進行研究，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝突結果。受限於擇選拍攝之交岔路口中，聯結車出現頻率相較於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致無法訓練出有效之聯結車分類器。



資料來源：本研究繪製

圖 5.3-3 利用 Mask R-CNN 進行車輛偵測與分類結果圖

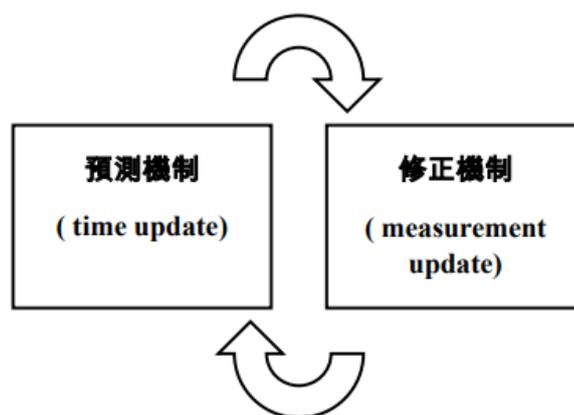
然而，由於目前 CNN 架構之深度學習方法對小面積影像表現不佳，因此對於面積最小的機車車輛，本研究將採 5.4.2 節光流法之車輛追蹤方法對特徵點進行追蹤，取得其移動軌跡後，若該特徵點並未落於任何深度學習偵測出之四輪車輛範圍內，則將進出路口的單一軌跡視為機車軌跡。下一節將介紹車輛追蹤的方法。

5.4 車輛追蹤

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：

5.4.1 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)^[56]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 5.4-1 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：[56]

圖 5.4-1 卡曼濾波器遞迴示意圖 (Greg Welch, 1995)

又例如粒子濾波器(particle filter)^[57]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)^[58]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。

5.4.2 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)^[59]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，因此本研究使用局部特徵追蹤法於空拍影像中的車輛追蹤問題，在效率上也遠比前一類方法更有效率。本研究以車輛上的角點特徵作為局部追蹤之特徵點，並將所追蹤之車輛依據其中心點作一運動軌跡描繪，如資料來源：本研究繪製

圖 5.4-2 所示，時間點依序為：(a)第 0 秒、(b)第 3 秒、(c)第 10 秒、(d)第 30 秒、(e)第 60 秒及(f)第 80 秒，每一條彩色軌跡對應一成功追蹤之車輛（包含汽車與機車），可由累積之描繪軌跡發現無論車輛運動模式為直行或轉向，均可被穩定正確的追蹤紀錄。



(a)第 0 秒



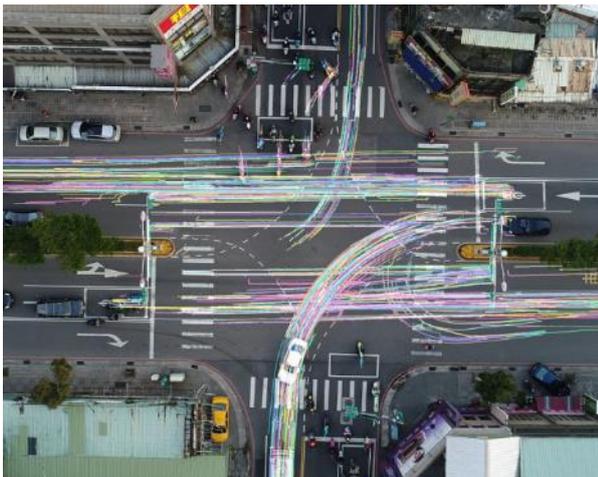
(b)第 3 秒



(c)第 10 秒



(d)第 30 秒



(e)第 60 秒



(f)第 80 秒

資料來源：本研究繪製

圖 5.4-2 利用角點特徵之車輛追蹤時序圖

有鑑於光流法可有效處理大量局部運動，因此在本計畫中利用光流法對可能為機車的特徵點進行追蹤，取出其通過路口的完整軌跡。若特徵點屬於 Mask R-CNN 所偵測出之四輪以上汽車範圍，則該特徵點將被移除而不進行追蹤。在濾除掉可能因同部機車的多個特徵點而產生之鄰近重複軌跡後，最終僅個別機車的移動軌跡會被保留下來。

由於拍攝範圍需覆蓋整個路口，並包含停止線後兩輛車之距離，故拍攝取得之部分車輛面積較小，且本研究採用之 Mask R-CNN 方法，會逐步將車輛影像卷積縮小，當經過多層卷積後的單層輸出結果畫面會越來越小。因此經過多層深度卷積，已不足以形成一個點，進而在輸出結果畫面上消失，爰此，在 Mask R-CNN 方法上直接限制能偵測到的物體大小，故不適用於小型物件之追蹤。本研究另採用特徵點追蹤方式，進行機車、自行車、行人等軌跡追蹤，其結果整理如下：

機車：由於機車車輛目前僅能採用特徵點追蹤方式取得，而道路上行穿線及停等線等白色路面標線往往會與灰黑柏油路面間形成強烈色差，進而取出比機車更為強烈之特徵點，導致機車行經這些顯著標線時，追蹤目標由機車車體轉移至標線位置，因此儘管在路面上無明顯標線的區段上可成功追蹤機車，但實際僅有約半數機車車輛能完整追蹤其通過路口之軌跡。

自行車：相較於機車之特徵點數量更少，且外型相對單一，加之影像小且易受路上標線影響，故因其特徵點不足及受環境干擾嚴重，無法視為同一物件進行完整追蹤，因此也無法繪製軌跡。

行人：行人追蹤方面，所取得之行人解析度約 10×10 pixels，已無法完整解析辨識，且其特徵點又較機車、自行車等之數量更少，故無法追蹤其軌跡。

專家建議可提高追蹤影像面積或採用其他方法，如稠密光流法，因稠密光流法可有效處理大量局部運動，因此未來可考量較耗時的稠密光流法追蹤技術或其他機器學習架構，改善機車、自行車及行人在空拍影像上之偵測率與追蹤效果。

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 張畫面中車輛 V_i 在下一畫面的矩形範圍 P_{i+1} 。之後，再將預測位置與 Mask R-CNN 在下一畫面的所有偵測位置比對，若 P_{i+1} 與其中一個偵測位置 D_{i+1} ，

兩者間的矩行範圍重疊程度最高，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} 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。..

5.5 準確性驗證

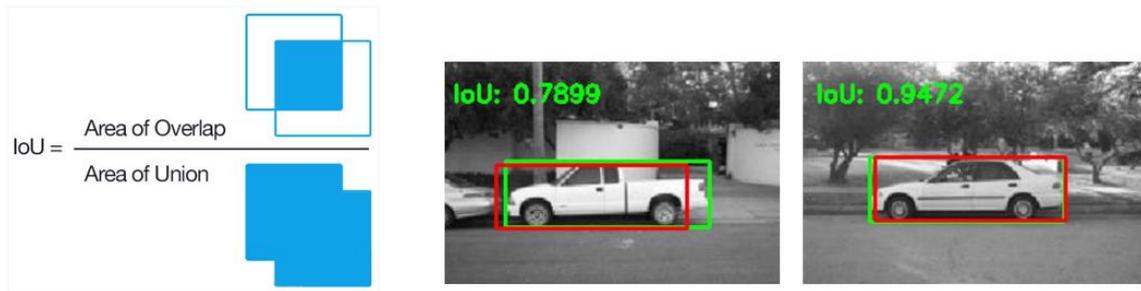
為驗證車輛偵測與追蹤之成效，本研究建立了一個包含多處交岔路口與不同時段之小型影像資料庫，對影像中之車輛以人工標註精確的車種與車輛位置，並與經由程式自動偵測與追蹤之結果進行比較。一方面驗證車輛種類、位置、軌跡等基本參數之準確性，另一方面驗證利用基本參數所推估之衝突參數的可靠程度。本研究利用包含了 4 個路口不同時段的影片進行分析，由左至右依序為路口 A(桃園市八德區中華路與茄苳路)、路口 B(桃園市桃園區中正路與大興西路)、路口 C(桃園市桃園區中山路與上海路)及路口 D(桃園市桃園區中正路與三民路)，各路口畫面如圖 5.5-1 所示，每個路口影片長 3 分鐘，並以每 1 秒一張畫面的頻率進行取樣，透過人工於 720 張影像針對四輪車輛標註位置。為了評估本研究所採用方法之正確性，以下分別針對車輛軌跡位置、車種分類、車輛速度三項，提出對應之正確性評估方式：

			
路口 A	路口 B	路口 C	路口 D
桃園市八德區中華路與茄苳路口	桃園市桃園區中正路與大興西路口	桃園市桃園區中山路與上海路口	桃園市桃園區中正路與三民路口

資料來源：本研究繪製

圖 5.5-1 四個測試路口

1. 在車輛偵測追蹤上，以各類車輛所有的軌跡位置之 mIOU(mean Intersection over Union)來評估追蹤效果。以圖 5.5-2 為例，紅框為單張影像上之偵測車輛範圍、綠框為實際人工標註之車輛範圍，則 IOU 為紅綠兩框交集區域與聯集區域之比例，而 mIOU 則為同一部車輛在影片中的平均 IOU。在四輪車輛追蹤上，本研究的偵測框與實際車輛範圍的平均覆蓋率 mIOU 約為 0.7439。從影像檢索的觀點來看，此位置準確度上已經算是相當精準，特別是本研究中的車輛具有旋轉角度，大幅提高了準確框住車輛範圍上的難度。透過實驗觀察發現，mIOU 較低的情況主要來自烈日下的同車輛陰影，以及偵測失敗下僅靠前張同車資訊進行追蹤這兩類情況。



資料來源：A. Rosebrock, 2018

圖 5.5-2 計算單部車輛 IOU 示意圖

2. 車種分類: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 Mask R-CNN 車種分類結果,如表 5.5-1。

表 5.5-1 路口 A、B、C、D 之混淆矩陣

路口 A(桃園市八德區中華路與茄荖路口)		Mask R-CNN 分類車種			路口 B(桃園市桃園區中正路與大興西路路口)		Mask R-CNN 分類車種		
		小客車	貨車	大客車			小客車	貨車	大客車
實際車種	小客車	1044	1	1	實際車種	小客車	1421	16	14
	貨車	55	200	1		貨車	49	58	14
	大客車	0	0	8		大客車	0	0	9
路口 C(桃園市桃園區中山路與上海路口)		Mask R-CNN 分類車種			路口 D(桃園市桃園區中正路與三民路口)		Mask R-CNN 分類車種		
		小客車	貨車	大客車			小客車	貨車	大客車
實際車種	小客車	1997	1	0	實際車種	小客車	1038	0	0
	貨車	48	66	2		貨車	47	35	2
	大客車	0	0	18		大客車	0	0	26

*表內貨車為小貨車 資料來源:本研究繪製

由表 5.5-1 可以發現,路口 A、B、C、D 小客車的分類正確率極高。以表現最差的路口 B 為例,在 1451 件小客車中,有 1421 件被正確地分類為小客車、16 件被分為貨車、14 件被分為大客車,正確率仍有 98%。另路口 A、B、C、D 貨車的分類正確率則明顯偏低,容易被誤分類為小客車,係基於空拍影像下的貨車與小客車外型與大小接近,加上貨車訓練樣本數明顯較小客車少,且貨車間外觀差異大(後方為車廂/車斗、車斗上酬載各式物體,如圖 5.5-3),導致貨車容易被誤認為小客車,但小客車不易被誤認為貨車。而在大客車方面,測試影片中的幾部大客車皆能被正確分類。值得一提的是,路口 B 有部分小客車與貨車被誤認為大客車,主因是來自於左轉專用待轉區上,常有多部同色小客車與貨車前後緊鄰等待左轉,在視覺上連接成一體而與大客車相近。



資料來源：本研究繪製

圖 5.5-3 部分貨車外觀

在四種不同型式之路口中，小客車平均分類正確率約為 99.4%、貨車約為 62.2%、大客車為 100%。由於前述分類方式為影像檢索常用之分類方式，若是採本研究案原需求之小型車(小客車及貨車)與大型車(大客車)分類方式，則小型車平均分類正確率約為 99.4%、大型車為 100%

3. 在車輛速度準確性的評估上，則透過人工標註的車輛位置計算其在影像上移動速度(pixel/sec)，並以實測路口大小依比例換算成對應之移動速度(km/h)，最後根據透過人工標註之車輛位置計算出之速度 V_g ，與及根據本研究車輛追蹤結果計算出之速度 V_e ，取兩者間之差值 $|V_g - V_e|$ 來評估速度誤差。本研究統計出之平均車速誤差 $|V_g - V_e|$ 為 1.384km/h。

行人因所取得影像之行人解析度約 10x10 pixels，已無法完整解析辨識，且其特徵點又較機車、自行車等之數量更少，故無法追蹤其軌跡。自行車相較於機車之特徵點數量更少，且外型相對單一，加之影像小且易受路上標線影響，故因其特徵點不足及受環境干擾嚴重，無法視為同一物件進行完整追蹤，因此也無法繪製軌跡。聯結車的部分，本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口，受限於選擇拍攝之交岔路口中，聯結車出現頻率相較

於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致聯結車辨識準確率相對於其他車種低，經過影像訓練後，仍難以運用辨識，故無法進行聯結車的軌跡繪製。

5.6 小結

在此小節中，主要將歸納本研究在針對不同交通對象上採用之影像處理技術。表 5.6-1 為針對不同車輛特性，在本研究中採用之影像處理技術一覽表。其中，自行車與聯結車由於在市區選定交岔路口的出現頻率過低，因此無法針對其過少的樣本資料進行深度學習與實驗測試。未來若要對其進行處理，須尋找特定路口重新大量蒐集空拍影像，才能進行後續的測試與實驗。在行人方面，由於 UAV 拍攝高度高達 75 公尺且為垂直俯拍，因此行人在影像中僅出現直徑約 10 像素的頭部區域，自行車的部分雖較行人稍大，然自行車為扁長形，寬度極小，因此所占影像面積亦過小。由於 CNN 系列之深度學習架構非常不適合這類過小的影像，而傳統特徵點偵測亦難以適用在頭頂俯拍這類缺乏變化的情況，加上行走的白色行穿線本身四個角點提供了更多更強烈的特徵點，因此更容易讓行人或自行車之特徵點資訊掩沒在大量行穿線特徵點之中。在現階段來說，複雜交通路口下的行人及自行車偵測仍難以透過空拍影像進行，反而是路口監視器的拍攝畫面可以提供更完整且更大範圍的行人全身或自行車全貌資訊，足以讓目前的深度學習技術成功處理行人及自行車偵測問題。但由於路口監視器的拍攝視角與空拍影像差異過大，因此如何將從路口監視器畫面偵測出的行人或自行車位置，重新在時空上同步到空拍影像畫面中，會是另一項艱鉅的挑戰。

表 5.6-1 車輛偵測、分類、追蹤採用之影像處理技術一覽表

		偵測方法	分類方法	追蹤方法
行人		面積太小不適用於深度學習與特徵點追蹤		
自行車				
機車		特徵點(角點)偵測	進出口之完整特徵點追蹤軌跡，直接分類為機車	光流法，單點追蹤
小型車	小客車	Mask R-CNN +矩形擬合	Mask R-CNN +投票機制	光流法，透過轉換矩陣取得新的矩形位置
	貨車			
大型車	大客車			
聯結車		Mask R-CNN+矩形擬合，但受限訓練樣本極端不足，難以訓練出有效分類器		

資料來源：本研究繪製

有鑑於此，本研究將樣本缺乏、影像過小或特徵點不足之物件，如行人、自行車與聯結車等交通對象排除在偵測目標之外，而將重點集中於機車、小型車(小客車與貨車)、大型車(大客車)這些主要車輛上，以利完成路口衝突分析。

在機車的偵測上，由於其面積仍明顯小於一般 CNN 深度學習架構之要求，因此我們主要採用的是傳統的特徵點偵測策略，利用光流法針對單一特徵點進行持續追蹤、濾除位置相近、軌跡相似的重複軌跡後，取出單部機車行經路口之完整軌跡。由於在持續追蹤上會排除所有來自於四輪車輛矩型範圍的特徵點，因此僅剩的軌跡資訊可以直接歸類為機車車輛。基本上，機車的特徵點在一般道路上可以相當穩定的被偵測出來，但當其經過行穿線、號誌燈等有大量明顯特徵點位置時，便相當容易受其干擾而使追蹤失敗。

在四輪車輛的分類上，本研究主要依循深度學習中最常用的車輛分類類別—小客車(sedan)、貨車(truck)與大客車(bus)。考量到車輛轉彎時的傾斜矩型範圍需求，我們採用了 2017 年才被提出的 Mask R-CNN 架構偵測出像素等級的車輛輪廓，再重新透過矩形擬合找出最適當的傾斜矩型範圍。

在追蹤上，針對這些矩形範圍內的特徵點，會透過光流法找出特徵點在下一張畫面的對應位置，再透過計算轉換矩陣來預測出下一張畫面中新的矩形範圍，

並與下一張畫面的偵測結果做匹配，得到同一部車的連續軌跡資訊。而在分類上，雖然在 Mask R-CNN 架構下，單張畫面的分類結果會與偵測同步產生，但仍需藉由投票機制決定出同一部車在所有畫面中，最常被分到的車種類型來作為分類結果。

第六章 建立分析工具

6.1 分析工具構思

為了協助交通管理單位與道路設計人員，從空拍影像中獲取基本交通資訊及評估交岔路口風險，本研究透過無人機酬載數位相機設備，拍攝高事故風險地點人車流動影像，透過彙整影像晃動校正、車輛偵測/分類、車輛追蹤等相關影像技術，進行人車衝突研究，找出衝突熱區(點)，並建立高事故風險地點診斷工具平台，在肇事發生前即診斷出交通衝突問題。目前分析工具可產出資訊如下表 6.1-1 所示，其中 TTC 及 PET 交通衝突指標可產出衝突頻率熱圖(Conflicts Frequency Heatmap)。

表 6.1-1 分析工具產出資訊表

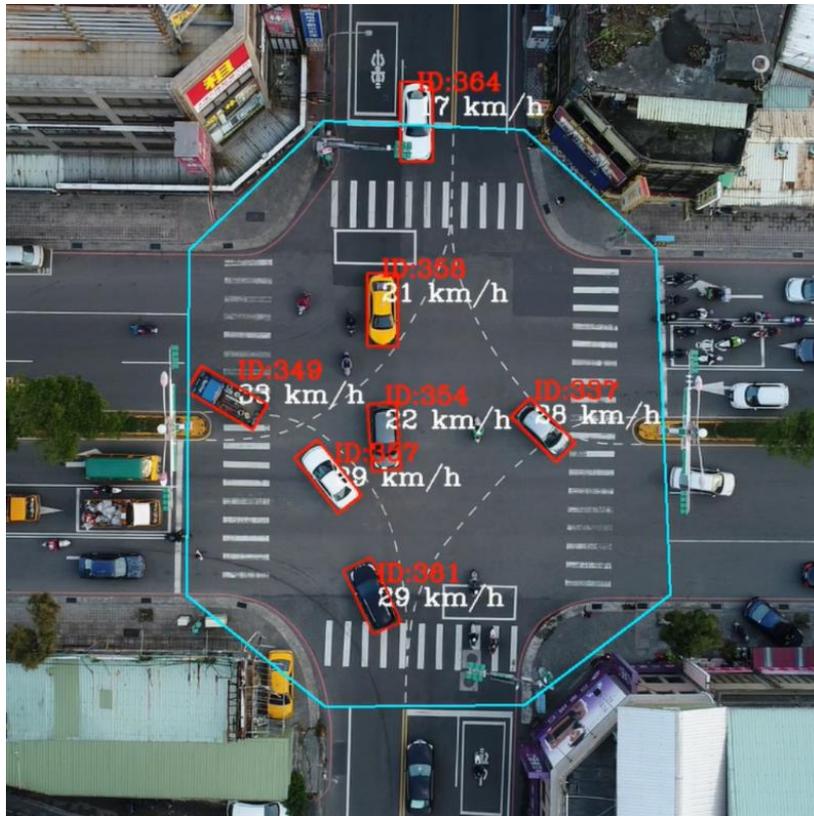
平台產出資訊項目	描述
車種	機車、貨車、小客車、大客車等車輛
車輛位置	緊貼車輛邊緣的外圍矩形範圍(以 4 個角落座標位置描述)
車輛中心	車輛外圍矩形的中心位置(x, y)
車輛軌跡	車輛外圍矩形 4 個角落的位移軌跡(x, y, t)
車輛速度	車輛中心在單位時間內的位移距離(公尺/秒)
碰撞時間(TTC)	兩部車輛在當前速度下的預計碰撞衝突時間(秒)
後侵佔時間(PET)	兩部車輛軌跡交錯的最小時間差(秒)

資料來源：本研究繪製

6.2 車輛位置及速度分析

在表 6.1-1 中，車種部分會透過 Mask R-CNN 取得每部車輛所屬之車種類別；車輛位置、中心則由車輛偵測階段得到之邊界矩形進行計算與描述；車輛軌跡則由車輛追蹤結果判定不同時間之同一部車輛位置，並透過車輛中心位移 S 與時間差 t_d 計算出車輛速度 S/t_d ，如圖 6.2-1 所示。其中，青色線段用於判定進出交岔路口之車輛，所有進入(車輛前緣經過)青色線段所圍區域的車輛將被追蹤，直到離開時(車輛前緣再次經過青色線段瞬間)再將其軌跡資訊一次寫入資料庫

加以存檔。紅色矩形為偵測出之車輛範圍，並於車旁以紅字顯示其車輛編號，以白字顯示車輛速度資訊。

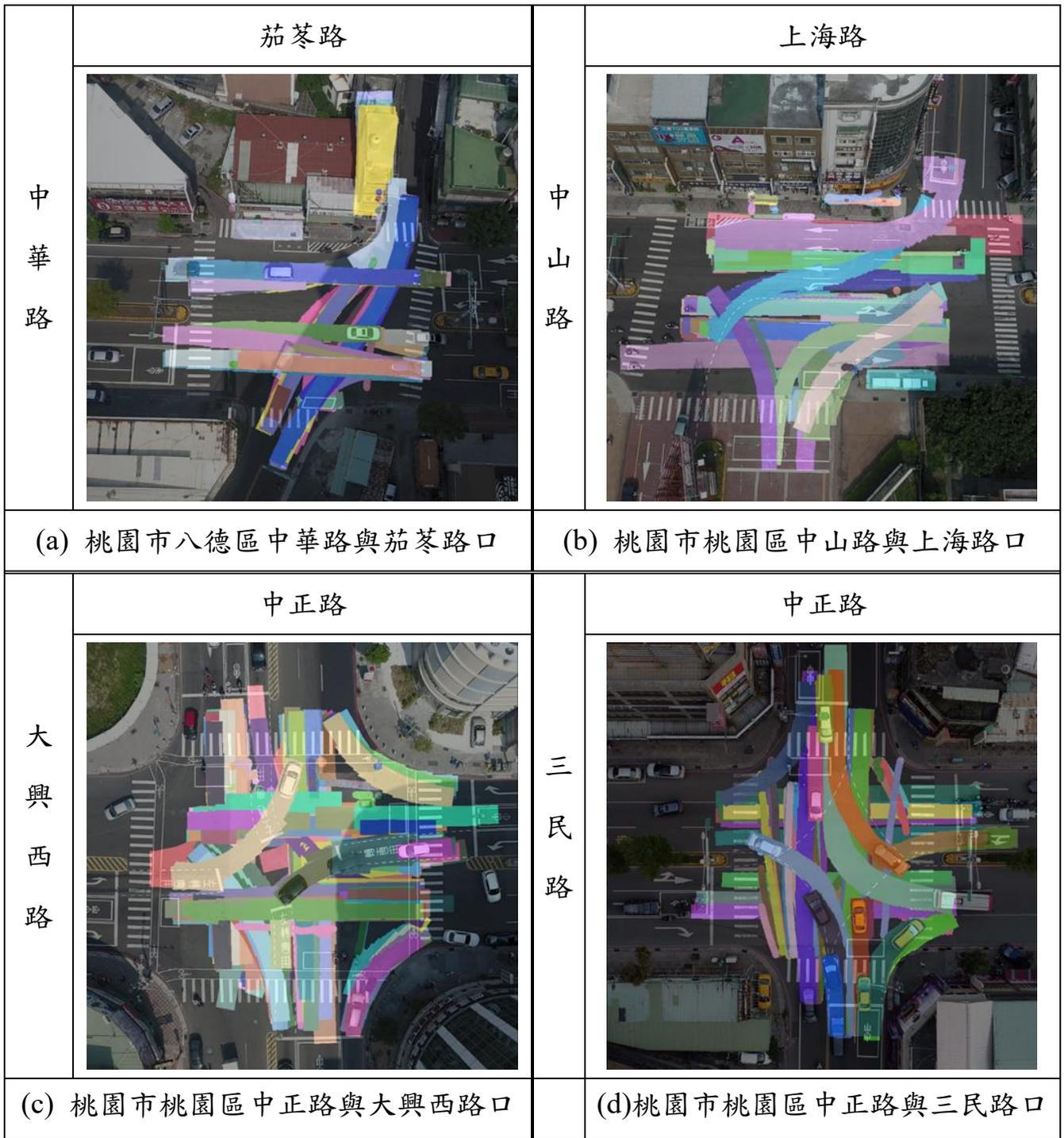


資料來源：本研究繪製

圖 6.2-1 車輛位置及速度估算

6.3 車輛軌跡展示

本研究分析工具上除了能提供如圖 6.3-1 車輛位置與速度等展示功能外，也透過車輛軌跡資料的連續繪製，來呈現車流行經交岔路口軌跡，如圖 6.3-1 所示。其中，依序為(a)桃園市八德區中華路與茄苳路口、(b)桃園市桃園區中山路與上海路口、(c)桃園市桃園區中正路與大興西路口、(d)桃園市桃園區中正路與三民路口。相較於單一線段的車輛軌跡表示方式，本研究分析工具提供車輛行駛經過的完整區域，每部車輛會以不同顏色描繪其行經路徑，讓瀏覽者更容易觀察不同車輛完整行經交岔路口軌跡之交疊情形。



資料來源：本研究繪製

圖 6.3-1 交岔路口車流軌跡重現

6.4 交通衝突分析與圖表展示

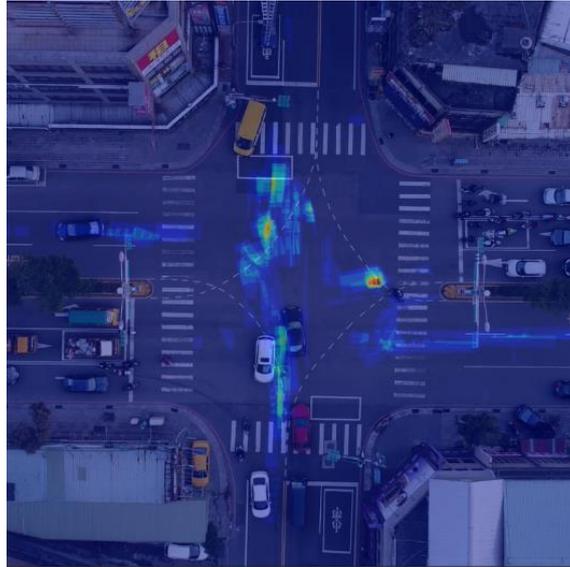
6.4.1 碰撞時間(Time to collision, TTC)

在 TTC 的計算上，本研究根據每部車輛當前移動方向與速率，將預估出之未來第 k 張畫面的車輛位置描繪於影像，可取得任兩部車輛 v_i 與 v_j 交會重疊區域之聯集區域 O_k ，也就是在當前車輛位置、車速下，未來第 k 張畫面的預估碰撞區域。假設將 O_k 視為是一張二元影像(binary image)，屬於預估碰撞區域的值為 1；其餘非碰撞區域的值為 0，則近 K 張二元影像 O_k 在時間上的加總結果即代表未來 K 張畫面中發生的碰撞分布次數，稱之為 TTC_K ，如公式(2)：

$$O_k = \bigcup_{i \neq j} (v_{i,k} \cap v_{j,k}) \quad (1)$$

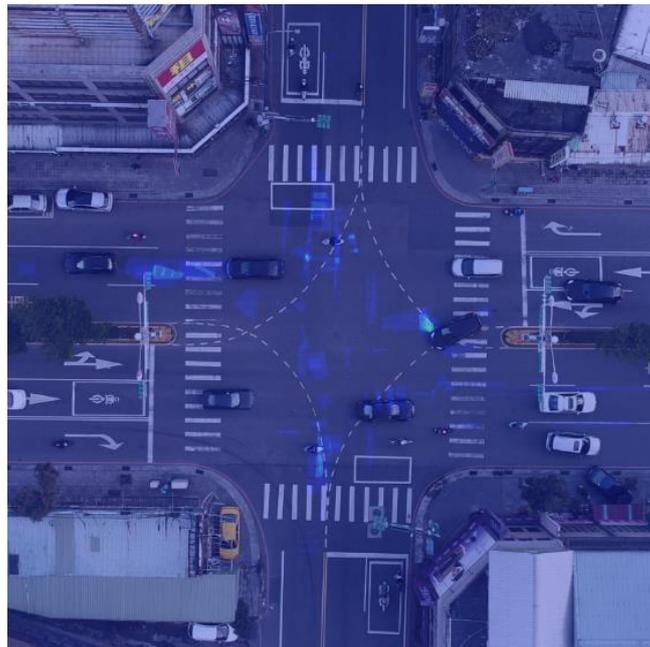
$$TTC_K = \sum_{1 \leq k \leq K} O_k \quad (2)$$

此時 TTC_K 代表未來在 K 張畫面內，所有可能衝突的車輛交疊位置以及交疊次數。由於 TTC 代表的是在當前速度方向下的車輛衝突情況，例如後車比前車快或兩部對向車輛同時轉彎交會等情形。圖 6.4-1 為以 5fps 影片為對象估算 TTC_{15} 之範例，即 3 秒內發生的可能衝突區域。如此，每 3 秒我們會取得一筆 TTC 資料。圖 6.4-1 中越接近紅色代表該位置累計的 TTC 衝突次數越高。由圖中可見一連串縱向的衝突熱區，主要來自相當鄰近的對向車流與轉彎車輛；偏右方的獨立點熱區則來自停等待轉車輛及其後的跟隨車輛。圖 6.4-2 與圖 6.4-3(a) 分別為 TTC_{10} 與 TTC_{20} 的熱區圖，也就是 2 秒內與 4 秒內的可能衝突熱區。在圖 6.4-3(b) 中，特別針對紅圈位置在 20 張畫面內的衝突次數進行表示，最短的 TTC 衝突為相隔 5 張畫面後發生(一次)，其次為間隔 8 張畫面(一次)與間隔 9 張畫面(兩次)，後續則隨著時間差增加，碰撞情形也越容易發生，並在間隔 19 張畫面下達到最高碰撞五次。若以 TTC_{10} 做為前提做統計，則只會採計衝突時間差 10 張畫面內之次數，也就是該點位置 TTC_{10} 為 4，分別發生在相隔 5、8、9 張畫面的情況，其中 9 張畫面佔了兩次。



資料來源：本研究繪製

圖 6.4-1 TTC_{15} 衝突熱區分布圖



資料來源：本研究繪製

圖 6.4-2 TTC_{10} 衝突熱區分布圖



(a) TTC_{20} 熱區分布圖



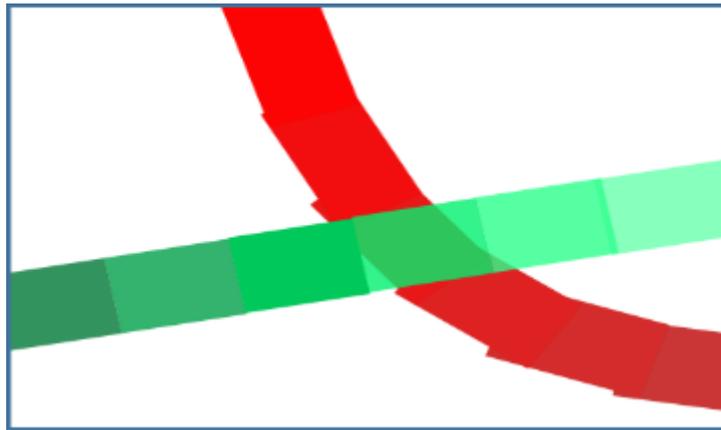
(b) TTC_{20} 衝突次數統計圖

資料來源：本研究繪製

圖 6.4-3 TTC_{20} 衝突熱區分布與統計圖

6.4.2 後侵占時間(Post encroachment time, PET)

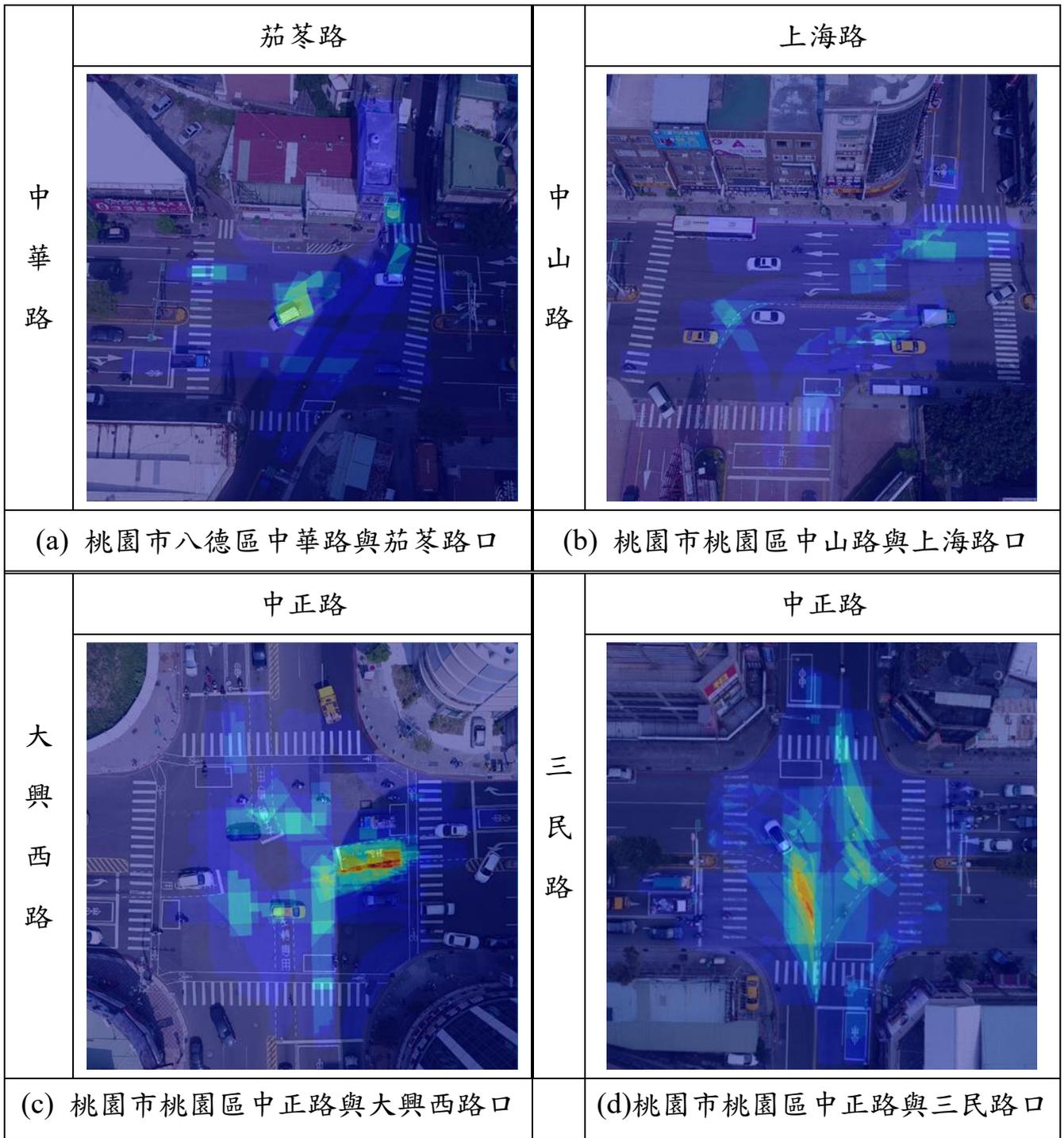
在 PET 的計算上，本研究將模擬計算不同車輛軌跡重疊瞬間之時間差，其基本概念係假設不同方向車輛的矩形範圍以不同顏色表示不同方向，並以不同亮度代表車輛位置出現的時間，且同一像素位置僅保留該位置最新車輛的行經軌跡，則可以透過檢查不同顏色之車輛軌跡判斷是否有不同方向車流交錯覆蓋，並可透過檢查其亮度差異來判斷兩部不同車流車輛交錯的時間差。以圖 6.4-4 為例，紅色與綠色分別表示於交岔路口上兩部車輛在不同時間的車輛軌跡，亮度越高代表時間越晚的車輛位置。紅色與綠色軌跡交錯的區域為可計算 PET 的區域，由於軌跡亮度代表行經的時間點，因此在軌跡交錯區域中的每個像素位置，皆可透過計算紅色與綠色軌跡的亮度差，來計算交岔路口影像中每個像素點之 PET 之數值。



資料來源：本研究繪製

圖 6.4-4 用於計算PET之兩部車輛軌跡示意圖

圖 6.4-5 為針對 5fps 影片為對象估算 PET_{50} 之範例，即 10 秒內發生的可能衝突熱區分布。其中，依序為(a)桃園市八德區中華路與茄苳路口、(b)桃園市桃園區中山路與上海路口、(c)桃園市桃園區中正路與大興西路口、(d)桃園市桃園區中正路與三民路口四個測試路口之 PET_{50} 衝突熱區圖。圖 6.4-5 中越接近紅色代表該位置累計的 PET 衝突次數越高。如圖(c)桃園市桃園區中正路與大興西路口右側之衝突熱區主要由右方左轉車輛與上方左轉車輛形成；圖(d)桃園市桃園區中正路與三民路口中間之衝突熱區主要由下方左轉車流與上方向下之直行車流相互交錯產生。由觀察得知，TTC 中同方向車流間的可能追撞情況，並不會出現在 PET 熱區圖之中。

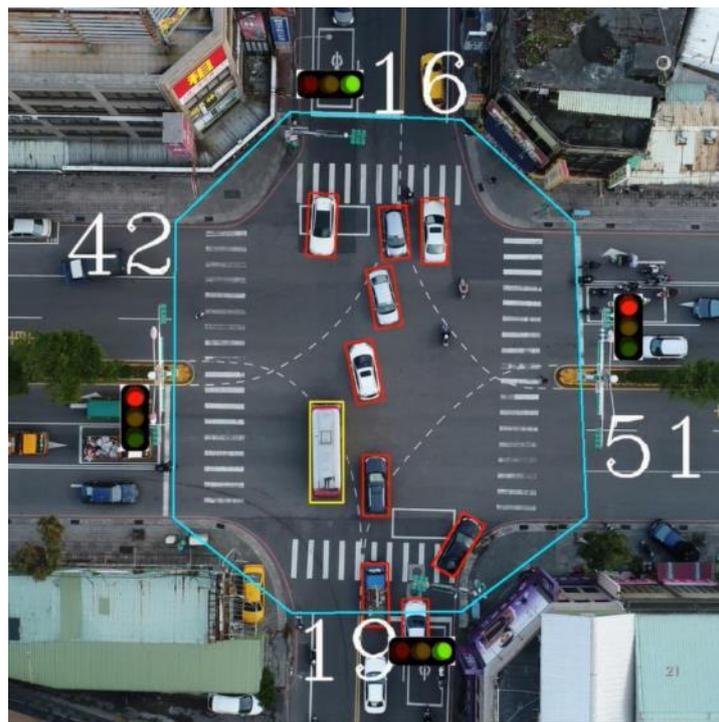


資料來源：本研究繪製

圖 6.4-5 PET₅₀ 衝突熱區分部圖

6.5 交通號誌同步

本研究也提供了交通號誌與影片同步的功能，只要以畫面為單位輸入各路口交通號誌的變化週期，以及影片首張畫面對應之實際號誌時間，便可在影片上顯示同步後的交通號誌變化情況，供瀏覽者作為交通管理之參考。例如在 5fps 影片中，某個路口之號誌變化週期為綠燈 30 秒，黃燈 2 秒，紅燈 28 秒重複循環，則表示影片中之號誌變化週期為綠燈 150 張後，接黃燈 10 張，之後再接紅燈 140 張，形成每 300 張一次循環的變化週期，爰只須指定第一張畫面是處於這 300 張的哪一刻燈號狀態，便可依序推測後續的燈號變化情形。圖 6.5-1 所示之號誌變化，亦即為根據該路口實際號誌時相變化，透過人工校準時間取得之結果。所謂人工校準係採用人工進行影像停格與時相確認，由於時相變化之週期固定，經人工方法驗證後確認此同步功能可實際運用於號誌變化之紀錄。由於影片經過重新取樣為 5fps，而時相紀錄為以秒作為單位，因此誤差大約會落在 0.2 秒~1 秒間。



資料來源：本研究繪製

圖 6.5-1 交通號誌同步與車流統計圖

本研究經桃園市交通局取得 4 處交岔路口之時制計畫表(桃園區中山路與龍鳳一街與茄苳路、桃園區三民路與中正路、桃園區大興西路與中正路、桃園區中山路與上海路)，請參閱附錄 J。

6.6 交通調查資料

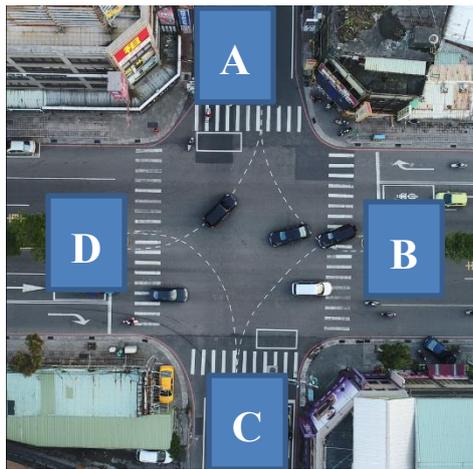
除了透過本研究所發展風險偵測平台估算衝突熱區，機車、汽車、貨車與大客車等車輛通過入口之軌跡，也會以 CSV 檔方式加以記錄儲存，以方便其他交通分析人員讀取車輛軌跡資訊並加以運用。CSV 檔中每一列即為一部車輛在通過路口期間的完整軌跡資料。針對每一部車輛，系統將依序紀錄該部車輛進入路口時間(frame)、離開路口時間(frame)、進入路口代號、離開路口代號、車種(m 為機車、c 為汽車、t 為貨車、b 為大客車)、連續的軌跡位置資訊。對於汽車、貨車與大客車等四輪車輛，將記錄構成其矩形範圍之四個角點座標(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)，對於機車則僅記錄單點座標(x_1, y_1)。以表 6.6-1 為例，第一列顯示的資訊為該部車輛從第 62 張畫面由路口 D 進入，至第 84 張畫面由路口 B 離開之機車車輛。由於機車是以坐標點(x, y)表示其位置，故該機車的軌跡移動依序為(367, 610), (383, 610), (399, 610),...。若該筆車輛為汽車等四輪車輛，如表 6.6-1 中第二列紀錄，則該車第一個位置之四個角點座標分別為(814, 433), (814, 398), (897, 398), (897, 433)、第二個位置為(796, 435), (796, 400), (879, 400), (879, 435)，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(如表 6.6-2)、路口車流量變化等不同用途分析。

表 6.6-1 桃園市桃園區中正路與三民路口軌跡紀錄表

	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
10	62	84	D	B	m	367	610	383	610	399	610	415	609	431	609	447	608	463	608	479	607	495	606	511	605	527
11	53	85	B	D	c	814	433	814	398	897	398	897	433	796	435	796	400	879	400	879	435	778	435	778	400	863
12	57	92	D	B	c	194	633	194	598	285	598	285	633	212	632	212	597	301	597	301	632	232	633	232	598	317
13	81	99	D	B	m	369	588	390	588	411	588	431	588	451	587	470	587	490	587	510	587	530	587	550	587	569
14	78	104	D	B	c	252	587	252	552	325	552	325	587	346	589	272	586	274	552	348	555	367	588	293	586	295
15	78	126	D	B	c	187	660	187	627	268	627	268	660	200	661	200	628	281	628	281	661	212	661	212	628	295
16	1	133	D	A	c	466	546	450	515	526	475	542	506	466	545	450	515	526	475	542	505	469	546	452	516	525
17	1	167	B	C	c	784	491	784	454	875	454	875	491	786	491	786	454	875	454	875	491	782	492	780	454	870
18	155	168	B	D	m	706	409	679	409	651	409	625	408	598	408	570	408	543	408	516	407	489	407	462	407	434
19	148	177	B	D	c	812	380	810	343	902	338	904	376	790	379	790	344	885	344	885	379	772	379	772	344	865
20	133	187	B	C	c	738	492	735	454	822	448	825	486	734	492	731	454	822	448	825	486	730	494	728	454	808
21	151	209	B	C	c	830	495	830	460	909	460	909	495	822	493	822	460	905	460	905	493	895	495	816	495	816
22	224	248	B	D	c	822	416	822	381	915	381	915	416	796	417	796	382	889	382	889	417	774	419	774	384	865
23	248	268	B	D	c	718	423	718	388	799	388	799	423	694	425	694	388	775	388	775	425	672	425	672	390	755
24	222	287	B	D	b	828	499	828	449	985	449	985	499	810	492	810	448	975	448	975	492	805	498	803	448	958
25	256	292	B	C	c	820	479	820	444	907	444	907	479	893	479	808	444	893	444	893	444	792	479	792	444	883
26	270	292	B	D	c	806	423	806	390	891	390	891	423	784	423	784	390	867	390	867	423	758	423	758	390	839
27	269	315	B	C	c	830	489	830	452	913	452	913	489	814	489	814	452	903	452	903	489	800	489	800	454	889
28	303	332	A	C	m	468	345	467	353	467	362	467	371	467	382	466	393	466	404	465	417	465	430	464	443	464
29	301	333	A	C	m	472	343	472	349	472	356	472	364	471	373	471	382	471	393	471	404	470	415	470	427	469

資料來源：本研究繪製

表 6.6-2 路口轉向比統計範例表



		離開路口位置				
		A	B	C	D	小計
進入口口位置	A	0%	21%	67%	12%	100%
	B	8%	7%	13%	72%	100%
	C	49%	25%	0%	26%	100%
	D	1%	81%	17%	1%	100%

資料來源：本研究繪製

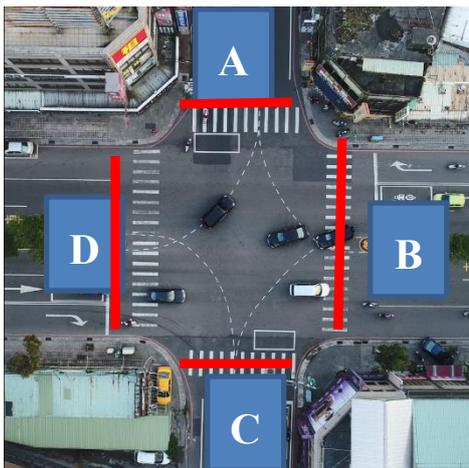
表 6.6-2 顯示該路口的車輛轉向比例的統計範例，當中的轉向比例指由一個方向進入該路口並由各方向離開路口的車流比例。例如，由 A 方向進入路口的車流量，有 0% 由 A 方向離開（迴轉）、21% 由 B 方向離開（左轉）、67% 由 C 方向離開（直行）、12% 由 D 方向離開（右轉）。值得注意的是，統計顯示由 B 方向進入路口的車流當中，由 B 方向離開的車輛數佔 7%；由 D 方向進入並由 D 方向離開的車輛數佔 1%，經確認這些車輛是在路口迴轉，說明平台有能力判斷車輛在路口進行各方向的轉向及迴轉。

6.7 小結

透過無人機空拍的定點影像，本研究結合影像處理技術偵測交岔路口車流量、判別不同車種、車輛軌跡及車輛速度等交通資料，透過圖表方式將蒐集的交資料系統化地呈現於分析工具中，再進一步計算分析出交通衝突參數與圖表展示交岔路口衝突熱區等資訊，能在肇事發生前診斷出交通衝突問題，供交通管理單位與道路設計者，作為研擬預防性交通改善之參考。

分析工具產生之車流軌跡資料，在交通車流分析可以有十分廣泛的應用。以下運用車流軌跡及號誌燈號進行分析，計算車輛通過路口停止線之相關資訊，產生範例圖表，可作為速度管理、路口績效評估、號誌設計等之參考。本範例採用桃園區中正路與三民路口的車流軌跡資料，影片長度共 280 秒，通過路口的車輛數共 289 台，其車流量 OD 矩陣如表 6.7-1 所示。

表 6.7-1 車流量 OD 矩陣表 (全部車種)



From\To	A	B	C	D	Total
A	0	14	45	8	67
B	6	2	5	53	66
C	32	16	1	17	66
D	1	72	15	2	90
Total	39	104	66	80	289

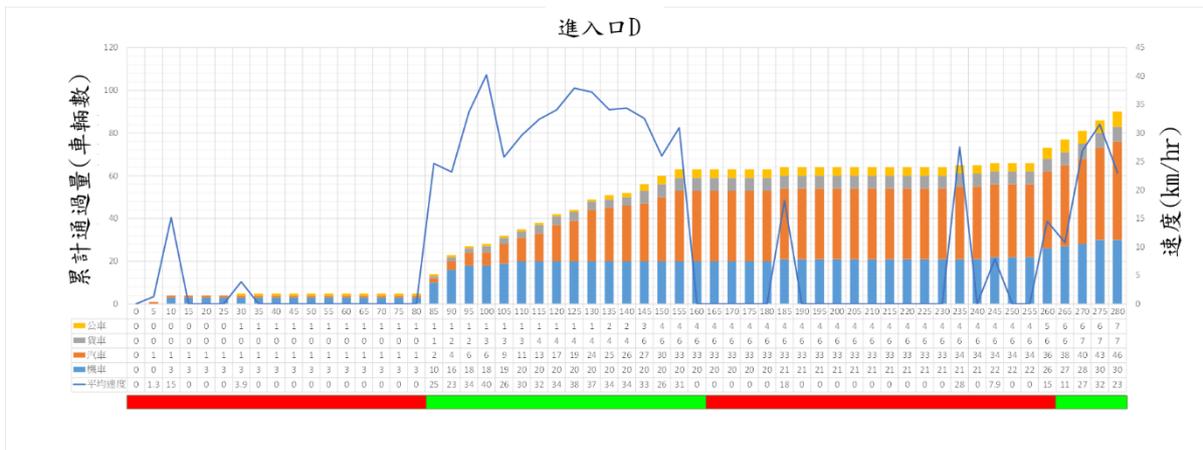
(a) 桃園區中正路與三民路口

(b) OD 矩陣表

資料來源：本研究繪製

進一步探討車輛進入路口的車流量及其速度是否受號誌燈號之影響，可運用軌跡資料計算車輛通過停止線(或使用者可自行設定進入路口之標線位置)的車流量及速度。圖 6.7-1 顯示不同車種之車輛通過進入口 D 之停止線的累積量，以及通過停止線時之車輛速度，為簡化表達採 5 秒鐘間距顯示。該路口之號誌週期為 180 秒，進入口 D 之綠燈時間為 75 秒，圖 6.7-1 範例之綠燈時間在 85-160 秒之間，可看出綠燈開始時車輛開始通過路口，車輛通過停止線的瞬間速率

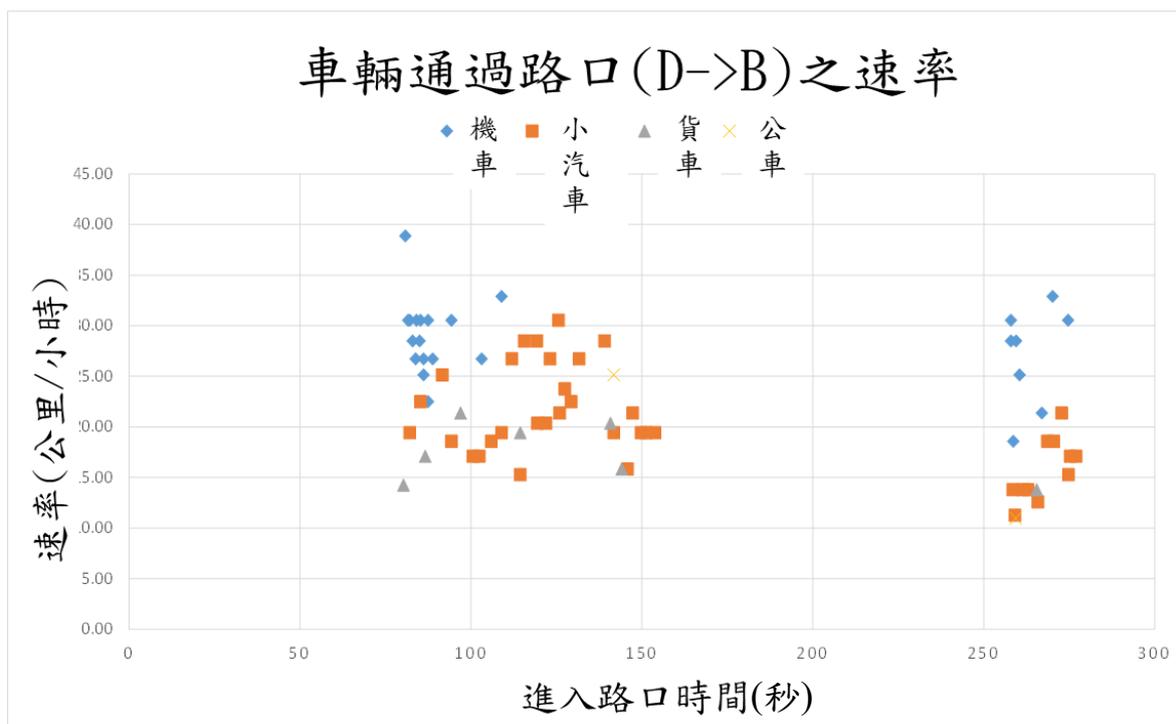
提升至最高約 40 公里/小時；當綠燈結束時，車流通過量及速率降為 0，顯示車流特性與號誌燈號一致，結果合理。



資料來源：本研究繪製

圖 6.7-1 進入口 D 之車流量及速度

另外，軌跡資料記錄了車輛進入路口及離開路口之時間，可用於判斷不同車種通過路口的時間集中性及速度是否有差異。圖 6.7-2 顯示不同車種之車輛通過路口之平均車速，計算方式為 D 線及 B 線之距離除以一車輛跨越 D 線及 B 線之時間差。由圖中可以看出，車輛的通過發生於號誌綠燈的時間，而該進口有設置機車停等區，因此停等車隊疏解的前端多為機車，綠燈時間開始後有一群機車先通過路口。不同車種通過路口的速度也有差異，圖中可看出，機車通過路口的速度為最高，其次為小汽車，貨車的速度較低，公車因數量過少不納入比較。



資料來源：本研究繪製

圖 6.7-2 車輛通過路口之速率

第七章 結論與建議

本研究係結合無人機應用、影像處理技術及交通管理三大領域專業，開發一套交通分析工具。藉由無人機(Unmanned Aerial Vehicle,UAV)懸停於空中，攝影機可完全垂直俯視地面，拍攝交岔路口車流影像，並透過影像分析軟體，直接觀察影像中的車流軌跡，找出交岔路口衝突熱區(點)位置，研究結論與建議如下。

7.1 結論

7.1.1 無人機應用

(一) 無人機優於傳統方法之好處

傳統交通改善方法往往須花費長時間及大量人力蒐集事故發生後的統計資料，才能找出交岔路口發生事故的可能問題，以進行交通事故之分析改善。

本研究藉由無人機可懸停於空中，其下方之酬載攝影機可完全垂直俯視地面之優點，拍攝交岔路口車流影像之幾何失真遠較一般監視器影像小，同時也迴避傳統電腦視覺領域物體辨識(分別是車輛間遮蔽問題，以及不同視角下之車輛辨識問題)難題，並透過影像分析軟體，分析出道路上車輛之軌跡資料，找出交岔路口衝突熱區位置，再透過碰撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)之交通衝突基礎指標，可計算出車輛交會時間差較短之區域，以提供交通工程人員作為研擬預防交通事故之參考。

(二) 無人機拍攝限制

本研究整理表 7.1-1，說明無人機應用之拍攝限制，以作為後續研究之參考。

表 7.1-1 無人機拍攝限制條件說明表

項目	說明
天候因素	強風：風速大於 9m/s，不建議飛行採集
	雨天：下雨天不建議飛行採集
	冰雪、起霧：不建議飛行採集
機體操作及酬載設備	無人機雲台需支援三軸穩定功能
	無人機攝影機擇定無曲面效果且攝影角度大
	攝影機解析度以 1080p 以上為佳
	無人機飛行高度 75 公尺
	風速 9m/s 以下
	拍攝解析度 1080p@30fps 以上
機體管理及規範 (除最後兩項以外，政府機關(構)、學校或法人經民航局能力審查核准後可豁免)	飛行高度不超過 400 呎
	不得於日落後至日出前之時間飛航
	需於目視範圍內操作
	不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動
	操作人應隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況
	應防止遙控無人機與其他航空器、建築物或障礙物接近或碰撞

資料來源：本研究繪製

(三)無人機空拍影像蒐集之作業規範

本研究採用無人機進行路口影像蒐集作業，惟遙控無人機所有人或操作人在操作遙控無人機時，應警覺四周環境狀況且具有操作安全之危害識別、風險分析及應變處理等能力，須切實遵守民航法遙控無人機專章之規定，並應於從事活動前依規定投保責任保險。

(四) 最佳拍攝影像設定

鑑於無人機飛行高度、雲台選擇、攝影機拍攝角度、影像解析度及拍攝範圍等，皆對於路口影像擷取及影像分析訓練有深度關聯性。由於來源影像訓練資料，對後續分析有極高之影響，故首先要確保無人機飛行及攝影機穩定，因此在雲台選擇上至少需支援三軸穩像功能，而飛行天候影響無人機飛行穩定性，經本研究多次實際調查經驗，須於 9m/s 以下方可取得穩定影像，風速愈小，影像品質愈佳，因此建議於低風速下進行影像擷取，以利提高影像訓練之高可用性。影像解析度部分，以目前研究結果取得 4K/1080p 影像解析度，即可進行影像訓練。而拍攝範圍與分析需求緊密關聯，如本研究係以十字路口及停止線後涵蓋兩輛車為範圍，故須取得此範圍之影像來源始得為有效影像，而拍攝範圍乃由無人機飛行高度、攝影機拍攝角度等決定。

雖然攝影機角度越大，能拍攝之範圍越廣，然畫面也會因此而變形，如魚眼攝影機、GoPro 等皆會造成部分曲面效果，故在選擇上仍建議以一般攝影機為影像擷取設備，再從中擇定角度範圍較大者為優。

為分析交岔路口車流行為，以飛行高度 75 公尺拍攝涵蓋交岔路口之停止線後延伸約兩部車輛長度之範圍，最利於車輛在進出交岔路口時能被完整追蹤，並保有較大車輛偵測面積。

7.1.2 影像處理技術

本研究提出與應用許多影像技術，以解決空拍影像中之車輛追蹤問題，包含空拍影片穩定化、車輛偵測、分類與追蹤，並建立分析工具以呈現車輛軌跡資訊，且應用 PET、TTC 之交通衝突指標，估算交岔路口衝突熱區。

(一) 車輛偵測、追蹤與分類

車輛軌跡的抽取為本研究的核心基礎，本研究依據對象尺寸不同，主要採用下列兩種策略：

1. 對於四輪以上(含)車輛，利用最新的深度學習方法(Mask R-CNN)進行偵測與分類，並透過傳統影像處理常用的特徵點偵測/追蹤技術，對偵測到的車輛區域進行追蹤、配對，取出行經路口車輛之行經區域。由於深度學習方法具有相當之可靠性，因此在此類車輛的偵測上較無問題，但分類上由於貨車訓練樣本較為缺乏及貨車外觀上的不一致，因此容易將貨車誤判為小客車；另一方面，由於車種間之分辨與車輛軌跡估算無關，事實上並不影響本研究核心的擷取車輛軌跡結果及後續的衝突熱區估算。而聯結車因在擇定路口中出現數量過少而無法透過訓練進行辨識外，本研究在其他四輪車輛軌跡的抽取上皆可正常呈現。
2. 對於機車等較小型車輛(自行車、機車)及行人，由於拍攝範圍需覆蓋整個路口，並包含停止線後兩輛車之距離，致使拍攝取得之物件面積較小而無法利用深度學習方法追蹤，故對於行人、自行車、機車的軌跡追蹤，僅能針對極小面積(機車約 20×10 、行人約 10×10 像素大小)之相關物件特徵點進行追蹤，以期找出畫面中的移動點。在機車方面由於面積稍大且外觀變化較多，故在一般路面上可較成功地被追蹤出來，但遭遇路面標線、行穿線等大量強烈特徵點時，較易造成混淆而導致追蹤失敗。因此，能完整追蹤行經路口機車軌跡之比例約占五成。而行人與自行車相較於機車之特徵點數量更為缺乏且外觀相對單一，因此在空拍影像中難以被連續地成功追蹤。

(二) 訓練樣本數量

本研究訓練資料係自 1,000 張空拍影像中，以人工標記車輛所在區域，每單張訓練影像之標記約需花費 3~5 分鐘，始能將畫面上所有目標車輛進行標註，而每張影像基本上包含 10 輛以上汽車。本研究目前在訓練與驗證影像上之標註量超過 1,500 張，約相當於 100 小時之工時量。整個標註過程包含選擇標註影像、指派人員標註、檢查標註內容等，作業時間長達兩個月。

深度學習的訓練影像數基本上越多越好，但空拍影像缺乏公開資料庫，所有訓練資料皆須本研究蒐集影像並重新以人工標註。從期末分類結果來看，小客車標註約萬輛(千張以上影像)，能達到接近 100% 之分類成功率，訓練資料量已足

夠。若貨車與聯結車之數量達萬輛，可能便能獲得接近小客車之表現。然而，每張影像在標註時的必要前提為"影像中之所有車輛皆須標註，否則未標註之車輛會明顯影響訓練結果"。而一張影像中即便偶有一部貨車/聯結車，仍需標註影像中其他十倍於此的小客車數，而需標註超越萬張影像，相當於 1000 小時的工時量，因此訓練資料的樣態與數量是會直接影響辨識結果。

(三) 深度學習需計算量大之電腦資訊硬體

目前物件偵測所使用之深度學習技術主要多採 CNN 架構，幾乎都需要 GPU 加速支援以提升偵測速度。以 Mask R-CNN 為例，在頂級 GPU(Nvidia 1080ti)下的偵測速度平均也僅有 5fps 左右。而支撐向量機 (Support Vector Machine, SVM) 等傳統機器學習方法，則可以在無 GPU 加速情況下，進行 30fps 的即時偵測。因此深度學習方法相較於傳統機器學習方法，勢必需要更多的時間來處理一部空拍影片。如硬體(Nvidia 1080ti)記憶體不足，亦可考慮國網中心租用更高效能之硬體。

(四) 準確性驗證

本研究分別利用 mIoU 與混淆矩陣來評估四輪車輛軌跡以及車輛分類的正確性，結果顯示在車輛軌跡部分與人工註解的實際軌跡有著高度重疊性，在小客車與大客車的分類表現上亦有 99%以上的正確率。在車速方面，則與人工標註資料所計算出之結果平均相差僅 1.384km/h。

7.1.3 分析工具功能

本研究所研提之平台提供下列主要功能：

1. 透過影像分析軟體，分析出道路上車輛之軌跡資料，並建立影像與分析資料的資料庫。
2. 計算交岔路口交通量、車行速率等基本交通資訊，並製成表格及圖形，且展示分析結果可與影像對應。
3. 以交通衝突指標，計算兩車的碰撞時間(TTC)及後侵佔時間(PET)，找出衝突熱區並產生衝突頻率熱圖等。
4. 透過交通號誌與影片同步的功能，可在影片上顯示同步後的交通號誌變

化情況資訊。

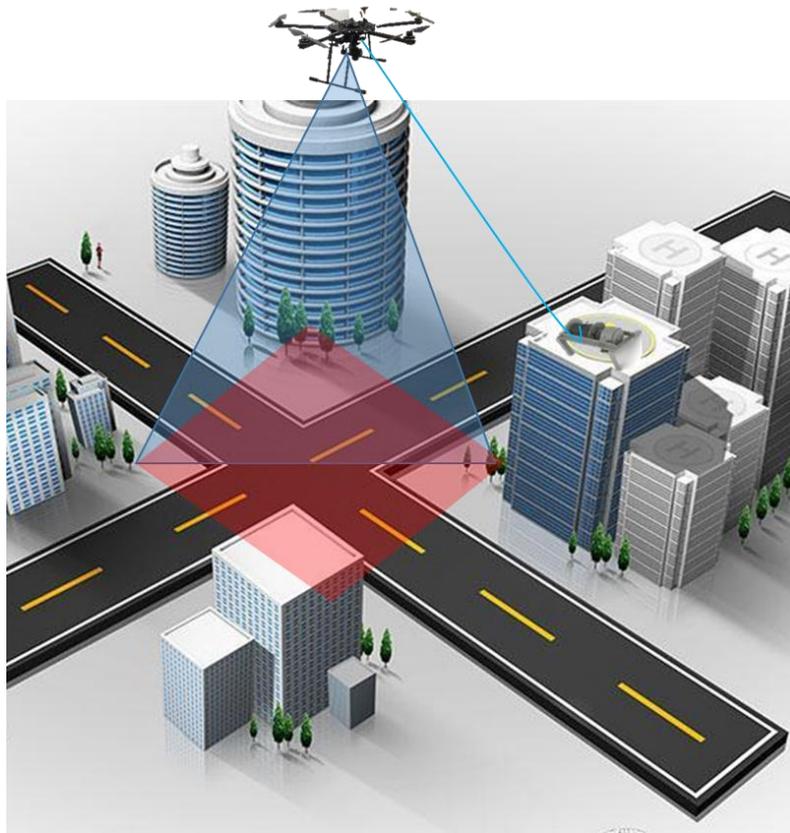
5. 車流軌跡資料庫(CVS 格式檔)可進行二次分析，產生圖表如車流量、轉向比例、不同車種的速率比較等資訊。

7.2 建議

7.2.1 無人機

本研究成果發現，採用無人機進行交通路口影像蒐集與拍攝，帶來前所未有的高空視角，有別於透過路口固定式攝影機所拍攝的影像，高空拍攝有利於更直接有效的取得正射影像資料，也利於進行各項人車軌跡的分析工作。然而無人機因機械結構、電池電量不足等限制，目前僅能連續蒐集 20 分鐘之資料，因此建議如下：

1. 客製長時多懸翼無人機：與國內無人機廠商提出長時效需求，目前可客製飛行時間大於 45 分鐘之機種，且隨著科技進步，如馬達效能、電池電量提升等，未來飛行時間將更長。
2. 導入繫留無人機：採用繫留無人機，可機動部署於建築物頂樓(如圖 7.2-1 所示)，由市電供應無人機所需電力，此方案幾可源源不絕提供電力，毋需擔心飛行時間不足之問題。



資料來源：本研究繪製

圖 7.2-1 繫留無人機設置示意圖

7.2.2 影像處理技術

在聯結車的偵測分類上，預期可透過增加訓練樣本來達成偵測。貨車部分亦可透過增加訓練樣本來加強與小客車間的區隔。對於行人、自行車、機車等小型物件，由於拍攝範圍需覆蓋整個路口，並包含停止線後兩輛車之距離，故拍攝取得之物件面積較小，未來建議的解決方向如下：

1. 使用稠密光流法估算影像中所有點的移動，避免因缺乏特徵點或特徵點不明顯而難以追蹤的問題。但此作法在高解析度影像上需要相當大量計算，勢必造成影像處理效率大幅下降。
2. 記錄屬於道路背景之特徵點位置並排除在追蹤對象外，減少追蹤錯誤或失敗的情況。然而，雖然影像已經過晃動校正，但仍不可避免地存在極微小的位置偏差，這將造成如何認定道路背景特徵點位置的問題。

3. 將特徵點追蹤從相鄰畫面間的追蹤，擴展為多張畫面間的追蹤。這樣的作法在理論上雖可兼顧一定效率，但實作上將明顯讓追蹤問題趨於複雜化，需要大量時間重新對多重追蹤問題進行分析探討。

7.2.3 分析工具後續可發展之功能

本計畫所發展之平台工具，已經具備分析車流衝突的基本功能，後續相關的應用模式開發，建議如下：

1. 運用交通衝突事件發生的頻率，評估交通工程設計改善方案的成效。
2. 未來可進行更大規模之驗證分析，比較多個路口的交通衝突特性以及交通事故資料，分析其相關性及影響因素。
3. 建議可增加替代指標門檻 (surrogate threshold) 的過濾(filter)功能，讓使用者可以自行設定衝突事件判斷的敏感程度。
4. 針對不同車種之車輛軌跡產生時空圖，探討車輛變換車道、不同車種之間的互動及干擾等。
5. 針對國內比較主要的交通安全潛在風險之情景進行探討，如路口的左轉車輛行為，路段上的違規停車、併排停車、公車站對周邊交通車流狀況的影響等。

參考文獻

- [1] 黃家耀 等，”機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立”，2014
- [2] M. A. Khana, W. Ectorsa, T. Bellemansa, D. Janssens and G. Wetsa, “UAV-Based Traffic Analysis: A Universal Guiding Framework Based on Literature Survey,” *ScienceDirect Transportation Research Procedia*, vol. 22, 2017, pp. 541-550.
- [3] L. Xin, D. Yang, Y. Chen and Z. Li, “Traffic Flow Characteristic Analysis at Intersections from Multi-layer Spectral Clustering of Motion Patterns using Raw Vehicle Trajectory,” *Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2011, pp. 513-519.
- [4] L. Song, F. Jiang, Z. Shi, R. Molina and A. K. Katsaggelos, “Toward Dynamic Scene Understanding by Hierarchical Motion Pattern Mining,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 15, no. 3., 2014
- [5] X. Wang, K. T. Ma, G. Ng, and W. E. Grimson, “Trajectory Analysis and Semantic Region Modeling Using Nonparametric Hierarchical Bayesian Models,” *IEEE International Conference on Computer Vision.*, 2008
- [6] Z. Dong, Y. Wu, M. Pei, and Y. Jia, "Vehicle type classification using a semisupervised convolutional neural network," *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 16, no. 4, 2015, pp. 2247-2256.
- [7] Y. Yao, B. Tian, and F. Y. Wang, "Coupled Multivehicle Detection and Classification With Prior Objectness Measure," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 3, 2017, pp. 1975-1984.
- [8] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik, "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation," *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2014, pp. 580-587.
- [9] R. Girshick, "Fast R-CNN," *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, 2015, pp. 1440-1448.
- [10] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks," *Advances in neural information processing systems*, 2015, pp. 91-99.
- [11] 交通部，”機車交通政策白皮書”，2016。
- [12] 黎俊彬，”號誌平面化交岔路口對向直行左專車輛安全通行之研”，*國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文*，2005。
- [13] Brian L. Allen, B. Tom Shin, and Peter J. Cooper, "Analysis of Traffic Conflicts and Collisions", *Transportation Research Board, Annual Meeting*, 1978, pp.67-74.

- [14] F. Amundsen, and C. Hyden, “The Swedish traffic conflict technique. In Proceedings of First Workshop on Traffic Conflicts”, *Institute of Transport Economics, Oslo.*, 1977.
- [15] 詹炳源, ”以交通衝突理論分析交岔路口及研擬改善策略之研究”, *中央警官學校警政研究所碩士論文*, 1990。
- [16] Hydén, “The general relation between different types of elementary events for the illustration of interactions between road users”, 1987.
- [17] A. Tarko, G. Davis, N. Saunier et al., “White paper: surrogate measures of safety,,” in *Committee on Safety Data Evaluation and Analysis (ANB20)*, 2009.
- [18] E. Sacchi, and T. Sayed, “A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluations: The case of right-turn smart channels,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 59, 2013, pp. 260-266.
- [19] 朱建全, ”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*, 1999。
- [20] 張家豪, ”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*, 1996。
- [21] Thompson, Mary, Kwon, Oh, and Ju Park, Min, “The Application of Axiomatic Design Theory and Conflict Techniques for the Design of Intersections: Part 1”, *The Fifth Internal conference on Axiomatic Design.*, 2009.
- [22] 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。
- [23] Hayward, J.Ch.. “Near miss determination through use of a scale of danger”. Report no. TTSC 7115, *The Pennsylvania State University, Pennsylvania.*, 1972.
- [24] Perkins, S.R. and Harris, J.L. “Criteria for traffic conflicts characteristics.” Report GRM 632. *General Motors Corporation*, 1967. Amundson, F. and Hyden, C. Proceedings of first workshop on traffic conflicts. *Institute of Economics, Oslo.* 1977.
- [25] Huang, F., Liu, P., Yu, H. and Wang W. “Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections”. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 2013, pp.1014-1024.
- [26] Shahdah, U., Saccomanno, F., and Persaud, B. “Application of traffic microsimulation for evaluating safety performance of urban signalized intersections”. *Transportation Research part C*, 2015, 96-104.
- [27] Saunier, N. and Sayed, T. “Automated road safety analysis using video data”. *Journal of Transportation Research Record*, 2019, 57-64.
- [28] Autey, J., Sayed, T. and Zaki, M. “Safety evaluation of right-turn smart channels using automated traffic conflict analysis”. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 2012, 120-130.

- [29] Sayed, T., Ismail, K., Zaki, M.H. and Autey, J. “Feasibility of computer vision-based safety evaluations: case study of a signalized right-turn safety treatment”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2280, 2012, 18-27.
- [30] El-Basyouny, K. and Sayed, T. “Safety performance functions using traffic conflicts”. *Safety Science*, 51, 2013, 160-164.
- [31] Laureshyn, A., Svensson, Å . and Hydén C. “Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation”. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42, Issue 6,2010, pp.1637-1646.
- [32] 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>
- [33] Stevanovic, A., Stevanovic, J. and Kergaye, C. “Optimizing Signal Timings to Improve Safety of Signalized Arterials”. *The 3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, September 14-16, Indianapolis, Indiana, USA., 2011.
- [34] Habtemichael, F. and Picado-Santos, L. “Safety evaluation of aggressive driving on motorways through microscopic traffic simulation and surrogate measures”. *The 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, 2012.
- [35] Essa, M. and Sayed, T. “Transferability of calibrated microsimulation model parameters for safety assessment using simulated conflicts”. *Accident Analysis and Prevention*, 84, 2015, pp.41-53.
- [36] Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å., & Daniels, S. “In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator”. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 2017, pp.46–56.
- [37] Johnsson, Carl, Laureshyn, Aliaksei & De Ceunynck, Tim, “In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators”, *Transport Reviews*, 2018.
- [38] Video Analytics Towards Vision Zero, <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/video-analytics-towards-vision-zero/>
- [39] 曾家瑜 等著，”利用空中拍攝進行交通調查之可性研究”，中華民國運輸學會，2014。
- [40] Peleg, M., Stoch, L., & Etrog, U. “Urban traffic studies from aerial photographs”. *Transportation*, 2(4), 1973, pp.373-389.
- [41] Makigami, Y., Sakamoto, H., & Hayashi, M. “An analytical method of traffic flow using aerial photographs”. *Journal of Transportation Engineering*, 111(4), 1985, pp.377-394.
- [42] Ardekani, S., & Herman, R. “Urban network-wide traffic variables and their relations”. *Transportation Science*, 21(1), 1987, pp.1-16.

- [43] Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., & Redmill, K. "Surface transportation surveillance from unmanned aerial vehicles". *In Proc. of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 2004.
- [44] Angel, A., Hickman, M., Chandnani, D., & Mirchandani, P, "Application of aerial video for traffic flow monitoring and management". *In ASCE 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation.*, 2002.
- [45] Shastry, A., and R. Schowengerdt. "Airborne Video Registration for Visualization and Parameter Estimation of Traffic Flows". *In Proceedings of the Pecora 15 Conference (CD-ROM)*, 2002.
- [46] Guido, G., Saccomanno, F., Vitale, A., Astarita, V. and Festa, D., "Comparing safety performance measures obtained from video capture data". *Journal of Transportation Engineering ASCE*, 137(7), 2011, pp.481-491.
- [47] Sacchi, E., Sayed, T. and deLeu, P. "A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluations: the case of right turn smart channels". *Accident Analysis and Prevention*, 59, 2013, pp.260-266.
- [48] St-Aubin, P., Saunier, N. and Miranda-Moreno, L." Large-scale automated proactive road safety analysis using video data". *Transportation Research Part C*, 58, 2015,pp.363-379.
- [49] Chen, P., Zheng, W., Yu, G., and Wang, Y. "Surrogate Safety Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflict at Intersections Using Unmanned Aerial Vehicle Videos". *Journal of Advanced Transportation.*, 2017.
- [50] Zheng, L., Ismail, K. and Meng, X., "Traffic conflict techniques for road safety analysis". *open questions and some insights. Can. J. Civ. Eng.* 41, 2014, pp. 633–641.
- [51] 臺中市政府警察局，"空拍機於事故現場圖入口圖庫建置之應用簡報"，2017。
- [52] 丁奕豪，"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，2017。
- [53] 花蓮線警察局，"空拍機於交通事故處理案"，2017。
- [54] G. D. Evangelidis , E. Z. Psarakis, "Parametric Image Alignment using Enhanced Correlation Coefficient Maximization", *IEEE Transaction on Pattern Analysis & Machine Intelligence* , Vol. 30, No. 10, 2008, pp. 1858-1865.
- [55] G. D. Evangelidis E. Z. Psarakis, "Projective Image Alignment by using ECC Maximization", in *Proc. Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISSAP)*, 2008.
- [56] Greg Welch and Gary Bishop, "An introduction to the kalman filter", 1995.
- [57] B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon, "Beyond the Kalman Filter": *Particle Filters for Tracking Applications*, Artech House, 2004.

- [58] 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*, 2012.
- [59] Gunnar Farneback, "Two-frame motion estimation based on polynomial expansion", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2749, 2003, pp.363-370.
- [60] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." *Advances in neural information processing systems*, 2012, pp. 1097-1105.
- [61] K. Simonyan, and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," 2014
- [62] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," 2015.
- [63] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, R. Girshick. "Mask R-CNN." *In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2017.

附錄 A. 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-106-SEB009

道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用

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) 靜宜大學 周文光教授		
1. 5.2 關於車輛偵測，利用背景固定對前後亮張照片做處理效果似乎不錯；然而當有一方的車輛靜止不動(等紅綠燈)，這些車輛是否就消失不見了？如何解決？另外是否有考慮用深度學習(CNN 或 RCNN)的技術來偵測車輛？	1. 長時間停滯之前景車輛確實會轉為背景像素點，可透過調整方法參數來減緩此問題，或是結合追蹤結果確認車輛處於停止狀態。 2. 本研究計畫採用深度學習架構進行車輛偵測與車輛分類(皆採用 Mask R-CNN)。	同意。
2. 5.3 關於車輛追蹤用的技術還頗傳統，目前實做出來的成效如何？是否考慮使用深度學習的技術？	1. 本研究計畫由於拍攝高畫質影片，特徵點不易消失，所使用之局部光流追蹤技術於本研究蒐集之影像表現穩定。 2. 本研究計畫採用深度學習架構進行車輛偵測與車輛分類(皆採用 Mask R-CNN)，由於深度學習應用在物體追蹤上之技術架構發展較不成熟，暫不考慮使用深度學習進行車輛追蹤。	同意。
3. 期中報告背景陳述過多而計畫實際進行的方法、實驗結果、改進方案等陳述篇幅較少，期待期末報告這些陳述能多於背景陳述。	感謝委員指導，由於本研究計畫包含多項影像分析技術且環環相扣，目前部分技術仍在整合中。詳細完整實驗將於整合完成後陸續加入期末報告中。	同意。
4. 100 多段影片即可訓練深度學	1. 本研究計畫深度學習架構進行	敬悉。

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
習，樣本是否足夠？	車輛偵測與車輛分類(皆採用 Mask R-CNN)。 2. 由於空拍畫面下的車輛外型一致性高且不易變形，因此 100 多張影像(約含 2700 個車輛樣本)即有不錯的效果。但深度學習在訓練資料越多的情況下，表現往往也會隨之提升，因此未來我們會持續標記更多不同樣本進行訓練，提升訓練模型的可靠性。	
5. 本研究計畫只分析流動車輛，是否可加入分析靜止車輛內容？	在偵測階段如採用傳統的前景偵測方法，恐怕難以偵測長期停止之車輛；但利用機器學習則可偵測靜止車輛。	敬悉。
6. 車輛追蹤、分類是否用 RCNN 的方式？	目前是用 faster RCNN 架構進行車輛分類，未來可能採用具有更先進的 Mask R-CNN 以取得 pixel-level 的偵測車輛範圍，這也有助於矩形擬合之結果。	敬悉。
7. 影片看不到聯結車等資訊，建議可選定工業區上空拍攝。	本研究計畫無規劃拍攝工業區交岔路口，以現有拍攝交岔路口之多數樣本，建議先行採用機車、小客車、貨車及巴士(大客車)做車輛分類。	同意。
8. 專案進度過少，請補上。	本研究計畫後續配合甲方(運研所)於工作會議中討論。	同意。
(二) 長榮大學 吳永基教授		
1. 期中報告敘述過多，對於目前工作實務，描述太少。	感謝委員指導，將補充修訂影像分析工作細節於期中報告書。	同意。
2. 期中報告內未明確說明車輛與行人之分類，請補充。	感謝委員指導，將補充車輛分類說明細節於期中報告書。另行人因缺乏特徵點，加上面積小，現階段影像分析不易辨識，後續將行人分類	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
	建議作法納入期末報告書內說明。	
3. 目前分類失敗之原因為何?是否因為是 Deep Learning 取樣數不夠。	由於目前無開放之空拍車流訓練資料庫,所有訓練影像皆需人力標註取得,較少的訓練樣本數會造成部分的分類失敗,未來會持續增加相關訓練樣本。	同意。
4. 無人機之飛行仍需要注意安全,特別是法規。	感謝委員指導,本研究計畫將持續關注相關法規頒布情形,並同步更新於期末報告書內容。	同意。
5. 特徵抓取可以加強。	感謝委員指導,本團隊將找尋其他更多有利合適之特徵。	同意。
6. 建議增加交通方面專家,協助後面平台系統之建置。	交通專家部分擬邀交通大學運輸與物流管理學系黃家耀老師參與諮詢。	同意。
7. 十字路口風險高,如何降低此高風險場域所可能衍生的問題?	感謝委員指導,為確保執行勤務之安全,除依期中報告書所列之路口場域評估準則及無人機失聯 SOP 說明外,並以妥善飛行載具機械,聘用具受訓證照之經驗飛手、注意飛安環境交管及投保公共意外險等四個面向進行安全管控與保險機制。	敬悉。
8. 簡報內容之飛行取得 UTC 證照與飛手並不同人?請說明。	簡報上 UTC 證書為示意用。本團隊實際操作之飛手皆為參加 UTC 培訓課程之有經驗人員。	敬悉。
9. 飛行拍攝時間為何?車輛數目多寡?	本研究計畫飛行拍攝時間依甲方(運研所)需求為早晚交通尖峰時間,分別為上午八時至十時,下午四時至六時。交岔路口車流數為本案分析平台所展示之交通相關資訊的一部分,將於期末成果發表會展示相關成果。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
10. 飛行使用 2 種無人機款式，用意如何？	本案為拍攝長時間交通影片，原採 Drone Dynamics X6-Plus 進行長滯空拍攝作業，後因市區拍攝安全考量，改以 DJI Phantom 4 pro 進行後續作業。	敬悉。
11. 請補充本研究計畫保險內容為何？	保險內容將補列入期中報告書附錄。	同意。
12. 乙方出勤人員狀態?(建議至少每次飛行須有 3 員，飛行手、觀測手、秩序(環境狀態)維護手)	感謝委員建議，本研究計畫任務出勤人員包含飛行手、觀測手、維安人員等三組人，可確保飛行安全。	敬悉。
13. 無人機錄影儲存方法為何?可即時遠端觀看?影片有管理機制嗎?	本研究計畫蒐集之大量影像資料，將採隨身碟方式交付予甲方(運研所)驗收，暫無規劃遠端觀看等機制。	同意。
14. 期中報告少著墨行人辨識，是否可由深度學習分類?	空拍行人僅頭頂區域且面積相當小，非常不適合深度學習進行分類。後續將行人分類建議作法納入期末報告書內說明。	同意。
15. 深度學習訓練資料，只需這些拍攝資料量即足夠?車型、車色，如何由深度學習特徵點訊息表示?	由於空拍畫面之車輛外型一致性高且不易變形，因此 100 多張影像(約含 2700 個車輛樣本)即有不錯的效果。但深度學習在訓練資料越多的情況下，表現往往也會隨之提升，因此未來我們會持續標記更多不同樣本進行訓練，提升訓練模型的可靠性。車色分析非屬本案範疇，僅針對車輛種類進行分析。	同意。
16. 後侵占時間，車速快慢會有差異，是否有考量?	由於每秒畫面幀數夠高(30fps)，理論上不會有明顯影響。	敬悉。
(三) 新竹縣政府交通旅遊處		
1. 縣府應用空拍機觀測轄管道路交通改善狀況已執行一年，本	感謝新竹縣政府交通旅遊處肯定。	敬悉。

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
研究未來呈現之分析平台，對於縣府很實用。		
2. 縣府已規劃使用 DJI 進行直播功能，整合入中心端交控平台，並接受任務調配。提供給研究單位作參考。	感謝指導，本研究計畫無規劃使用 DJI 進行直播功能。	敬悉。
(四)交通部路政司		
1. 末端產出資料，建議著重在交通功能分析與號誌時相之關聯性連結。	本團隊再向桃園市政府交通局取得路口號誌時相資料，可於平台中與無人機影像針對時間進行事後同步，以得知準確的號誌切換時間點，相關結論將彙整於期末報告書。	同意。
2. 行人為道路上重要交通因素，請考量分析。	行人因缺乏特徵點，加上面積小，現階段影像分析不易辨識，後續將行人分類建議作法納入期末報告書內說明。	同意。
3. 期中資料，少看到大客車、聯結車(迴轉半徑大)，請再提供分析。	本研究計畫以現有拍攝交岔路口之多數樣本，建議先行採用機車、小客車、貨車及巴士(大客車)做車輛分類。	同意。
4. 機車與腳踏車分類，是否可行?	在目前解析度上，恐無法清楚區隔，僅先就機車進行研究，後續會將機車與腳踏車分類建議作法納入期末報告書內。	同意。
5. 簡報資料 page 12，50 米照片是否放反?	遵照辦理。	敬悉。
6. 簡報資料 page 27，分析資料的抓取物件，有抓到槽化線、房屋等，請確認?	部分錯偵(false detection)情形會透過道路區域劃定與機器學習分類加以排除。	敬悉。
(五) 科技顧問室		
1. 本計畫成果可以提供中央單位與各縣市政府一個進行高風險	因空拍影像不會產生車輛相互遮蔽的問題，除非車輛在影像上相連一	敬悉。

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
地點診斷分析的工具，因此應該能分析不同車流密度之路口。汽車由於面積較大，因此在高密度車流的情形下，比較不會有辨識上的問題，而機車由於面積小，且於紅燈停等時，會聚集於機車停等區。因此當機車密度過於高時，是否會造成辨識上的困難？	起，故對偵測不致於造成影響。車流追蹤上採用局部特徵，因此也不會因遮蔽而無法持續追蹤。車流量大不會對偵測及追蹤有明顯影響。	
2. 承上點意見，建議列出拍攝路口中的車流量與轉向比。	本研究計畫將提供使用者介面指定路口各個停止線位置，配合車輛偵測、追蹤並記錄每部車輛進出之停止線編號，可達成車流量與轉向比功能展示。	同意。
3. UAV 鏡頭照射範圍與畫質的選擇有關，如照射範圍越大畫質應盡量採用 4K 畫質；4K 畫質的影片，機車的特徵應可被清楚辨識，如圖 5.2.1 及圖 5.2.2，又 4K 畫質的影像檔案較大，電腦在處理影像辨識勢必要花更多的時間，在畫質與處理效率上如何取捨？	本團隊目前已有利用 4K 影片進行拍攝，對機車特徵之追蹤確實較有幫助。由於本計畫應用上並無即時處理之需求，因此我們將優先採用 4K 影片進行處理。	同意。
4. 由本計畫研究範圍看來，主要是集中於號誌化交叉路口，有許多號誌化路口的事故發生原因是因為搶紅燈所導致，但影像並無與號誌的時制同步，如此可能無法判斷某些危險因素。建議影像中需要有號誌之資訊，如此會有比較全面的診斷。	本團隊再向桃園市政府交通局取得路口號誌時相資料，於平台中同步結合無人機影像，並整理相關結論於期末報告書。	同意。
5. 請補充各車種各車色目前的辨識正確率為何？而計畫之目標正確率為多少？	本研究計畫無辨識車色之需求。另對於車種辨識率，本團隊期望一般轎車可達九成以上、機車與其他大型車輛可達八成以上正確率。	同意。
6. 除了針對幾個高風險的路口外，建議可以找幾個肇事機率	本研究計畫於專案啟動前即與甲方(運研所)進行需求訪談，確認高風	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
較低的路口來分析各項指標，以做為比較標準，並可作為高肇事風險路口改善的目標值。	險路口以符合甲方(運研所)需求目標，無規劃拍攝肇事機率較低之岔路口。	
7. 建議於路口的靜態畫面中可以標註路口寬度、車道寬度、機車停等區大小等的路口幾何參數或是提供比例尺。	遵照辦理，並於期末成果展示。	同意。
(六) 交通部公路總局		
1. 目前各縣市政府亦有陸續規劃藉由無人機空拍路口車流影像，期望未來平台開發可整合各縣市政府影像資料或供各單位使用，而不僅只是侷限本案分析。	感謝指教，本案並無規劃整合各縣市影像資料。	同意。
2. 車輛追蹤的車流轉向軌跡對公路主管機關相當實用，惟機車進入路口後的軌跡路線易造成混亂，建議以不同顏色與汽車作為區別。	遵照辦理。	同意。
3. 本案建議無人機操作拍攝時間以日間為主，惟就直覺而言肇事大多發生於夜間，且路口號誌時制及車流方向性亦不盡相同，故夜間影像建議亦應採用及分析。	目前民航局研擬之無人機草案明訂不宜夜間飛行，故本研究計畫規劃於白天交通尖峰時段進行無人機之空拍作業，不就夜間影像進行分析。	同意。
(七) 本所運輸資訊組		
1. 第二章所回顧文獻編號與第七章參考文獻未能全然對應，並請對文章所附圖表加以補充說明，另第五章各節有關影像處理技術或演算法內容，建議納入第二章或以專章介紹。	本團隊後續將核對更正文獻編號並對圖表加以補充說明。第五章為本研究計畫為打造車流分析工具之核心關鍵，故以專章加以介紹。	同意。
2. 2.1.2 節之車流分析技術，似為車輛辨識技術，建議一併檢視期中報告初稿，並加以調整。	2.1.2 節之車流分析技術同時包含車輛偵測與車輛辨識，不包含車輛追蹤將補充於期中報告。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>3. 本計畫利用 UAV 影像進行車流與事故風險偵測，惟期中報告初稿對此著墨不多，建議除目前在 UAV、影像分析、深度學習等面向探討外，期中報告初稿應有階段性的分析與成果，以利期中階段以後之各項分析工作進行，例如：</p> <p>(1) 如何利用所蒐集之人車軌跡資料來進行 TTC 與 PET 參數計算及事故風險評估，建議可參考交通部 103 年「機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立」研究之車流分析作法(該報告可至交通部網站 http://www.motc.gov.tw 下載)。</p> <p>(2) 目前 TTC 計算以同方向車流進行，對於路口因車輛轉向行為之 TTC 計算方法為何？</p> <p>(3) 本案利用 UAV 來進行號誌控制績效之作法或實驗設計。</p> <p>(4) 由於 UAV 位於 75 公尺高度往下拍攝，在此高度與影像解析度下之空間位移與速度計算精確度為何？對於 TTC 與 PET 計算之可能誤差量為何？</p> <p>(5) 如何進行 P.82 表 5.5-1 交通參數”車種”中之行人、機車、小客/貨車、巴士等？</p>	<p>(1)(2)(3)(5)將補充說明於期中報告，(4)需待系統完成後進行實驗，將於期末報告再行提出。</p>	<p>同意。</p>
<p>4. 建議期中報告初稿應將自 UAV 作業影像取得起、至影像分析、深度學習、人車軌跡</p>	<p>人工作業與演算流程之軟硬體環境將補充於期中報告說明。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
產生、TTC 與 PET 計算、... 等，所有人工作業與演算流程之軟硬體環境或演算法或參數加以描述與說明，如涉及團隊既有技術的使用，請另行提送文件給本所確認。		
5. 建議後續在期末報告初稿中可補充說明以 UAV 進行本案研究課題之可能限制，以及處理方式。	本團隊後續將補充相關細節於期末報告。	同意。
(八) 本所運輸安全組 葉祖宏副組長		
1. 平台如何產生計算這些交通參數，要能清楚交代。	本團隊後續將補充相關細節於期末報告。	同意。
2. 平台模擬之安全意涵為何？如路口車輛流量、轉向比。	本團隊將徵詢交通專家就路口交通安全提出建議。	同意。
3. 本案與交通的控制有關，號誌變換時可以單獨運算。	本團隊再向桃園市政府交通局取得路口號誌時相資料，可於平台中同步結合影像分析結果，單獨就號誌變換時進行運算分析。	同意。
4. 期中報告可讀性弱，建議修正以後再呈現。	遵照辦理。	同意。
5. 行人的部分建議可以用局部拍攝的方式加強。	行人因缺乏特徵點，加上面積小，現階段影像分析不易辨識，後續將行人分類建議作法納入期末報告書內說明。	同意。
6. 偵測的結果：車速、距離、等參數，如何驗證？提供誤差量的驗證。	本團隊後續將補充準確率驗證章節於期末報告。	同意。
(九) 本所 陳天賜副所長(主席)		
1. 有關計算評估交岔路口號誌控制績效指標部分，其交通號誌時制變換時間，如何整	本團隊再向桃園市政府交通局取得路口號誌時相資料，可於平台中同步結合無人機影像，並彙整相關結	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
合及同步? 請團隊說明, 並 納入報告書中。	論於期末報告書。	
2. 在影像分析行人與自行車辨 識部分, 報告書尚無詳細說 明, 請團隊說明, 並納入報 告書。	行人、自行車因缺乏特徵點, 加上 面積小, 現階段影像分析不易辨識, 後續將行人、自行車分類建議作法 納入期末報告書內說明。	同意。
3. 我國目前對於無人飛行載具 之相關法規尚未成熟, 未來 本案持續執行無人飛行載具 拍攝實作時, 請團隊留意相 關法規發展情形, 並依規定 辦理。	感謝主席建議, 本研究計畫將持續 關注相關法規頒布情形, 並同步更 新於期末報告書內容。	同意。
(十) 國立交通大學 吳宗修教授 (書面意見)		
1. 建議在 2.1 節針對其他技術作 較詳細的介紹與比較, 能再 加上一個簡要的綜整比較表 更佳。	遵照辦理。	同意。
2. 所有的附圖都應有文字配合 適當說明。(全文嚴重缺陷, 務必改善!)	遵照辦理。	同意。
3. 4.5.2 與 4.5.3 節突然冒出兩 種規格的設備, 無從得知其 合理性。或可列表比較市場 上的現有主流產品主要規 格。	感謝委員指導, 本研究計畫為拍攝 長時間交通影片, 原採 Drone Dynamics X6-Plus 進行長滯空拍攝 作業, 考量無人機執行實地拍攝過 程之安全性, 改以 DJI Phantom 4 pro 進行後續作業, 有關設備規格將另 置於附錄。	同意。
4. 50-58 頁花太多篇幅在設備規 格細節, 可以放到附錄裡。	遵照辦理。	同意。
5. 「攝影機完全垂直俯拍可取 得最穩定且一致的車頂區 域」, 「斜拍角度過大, 致使 車輛外型有較大差異, 應盡 量避免」, 「建議以緊鄰路口 的空地上方拍攝為宜」, 試問 真正操作準則為何(如飛行載 具多高時可離道路多遠而不	感謝委員指導, 本研究計畫無人機 操作準則係選擇路口空曠安全處, 將無人機原地抬升至適當高度後, 平移至交叉路口中央, 並依 4.3 節 描述進行畫面設定, 將補充相關細 節於期中報告書內。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
影響後續分析精確度)?		
6. 「4.7.2 最佳拍攝參數」建議要有說理(reasoning)支持，或提出多情境結果作比較歸納。	本研究計畫歷經 4 個多月(106 年 9 月至 12 月)於桃園市區四處路口進行早晚交通尖峰時刻拍攝，將依實際拍攝經驗就安全、風速及影像分析等相關議題歸納所得出最佳拍攝參數，相關細節於期中報告書內。	同意。
7. 5.4 節對 CNN 的說明應該在 2.1.2 節剛出現時就提出。	遵照辦理。	同意。
8. 現階段尚看不出預期成果的達成度。	目前主要工作進度在於取得車種、車輛位置、車輛軌跡等重要基本資訊，屬於影像分析核心技術層面。後續平台建立之相關成果將於期末報告展示。	同意。
(十一) 國立台灣科技大學 戴文凱教授 (書面意見)		
1. 針對警員繪製之肇事現場圖(肇事碰撞構圖 Collision Diagram)，以了解事故類型、傷亡、道路狀況、光線類型、對應空間位置等之可能有多高? 預期可強化肇事碰撞構圖採證及跡證標示之漏失、蒐證測繪之盲點之程度為何?	1. 感謝委員指導，但此建議已超過本研究計畫之研究範圍。 2. 本研究計畫主要係透過影像分析技術，找出車流衝突熱區(點)，並建立之高事故風險地點診斷工具平台，能在肇事發生前即診斷出交通衝突問題，並產生衝突風險區域之分布統計與數據。分析平台數據可提供各領域專家參考，依其需求進行路口交通安全評估及改善。	同意。
2. 發展影像分析軟體，並具下列功能： (1) 辨識行人、不同車種(聯結車、大型車、小型車、機車、自行車等)。 (2) 以時間追蹤與描繪每一行人及車輛軌跡。 (3) 辨識交通控制設施之位置及	目前我們影片拍攝時段主要包含八時至十時上班時段，下午四時至六時下班時段，以涵蓋不同車流量情形。準確性之估算與影響評估將於期末報告提供。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>變化時間。 上述 3 點預期採樣時間為何？準確性為何？才足以助益於找出人車流衝突熱區，建立高事故風險地點，消弭潛在車流衝突熱區、降低事故發生？</p>		
<p>3. 本研究成果將如何研擬預防性之交通安全改善方案？</p>	<p>本研究計畫主要係透過影像分析技術，找出車流衝突熱區(點)，並建立之高事故風險地點診斷工具平台，能在肇事發生前即診斷出交通衝突問題，並產生衝突風險區域之分布統計與數據。分析平台數據可提供各領域專家參考，依其需求進行路口交通安全評估及改善。</p>	<p>同意。</p>
<p>(十二) 臺北市政府交通局 (書面意見)</p>		
<p>1. 報告內容未見於空拍機於夜間拍攝照片，是否會有與日間拍攝之影像清晰度、辨識度等差異過大情形，宜請研究團隊釐清。</p>	<p>目前民航局研擬之無人機草案明訂不宜夜間飛行，故本研究計畫規劃於白天交通尖峰時段進行無人機之空拍作業，不就夜間影像進行分析。</p>	<p>同意。</p>
<p>2. 於車流量大之路口(尤其機車)，是否仍可準確偵測及追蹤車輛。</p>	<p>因空拍影像不會產生車輛相互遮蔽的問題，除非車輛在影像上相連一起，故不致於對偵測造成顯著影響。車流追蹤上採用局部特徵，因此也不會因遮蔽而無法持續追蹤。車流量大不會對偵測及追蹤有明顯影響。</p>	<p>敬悉。</p>
<p>3. 後續研究工作未提及透過此工具分析路口，是否可提供交通部門具體改善建議，請研究團隊釐清。</p>	<p>本研究計畫主要係透過影像分析技術，找出車流衝突熱區(點)，並建立之高事故風險地點診斷工具平台，能在肇事發生前即診斷出交通衝突問題，並產生衝突風險區域之分布統計與數據。分析平台數據可提供各領域專家參考，依其需求進行路口交通安全評估及改善。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
(十三) 臺中市政府交通局 (書面意見)		
1. 此計畫透過空拍機攝影事故風險地點人車流影像，惟空拍機之電池續電量限制飛行時間最多 30 分鐘，仍需再扣除遙控起飛至拍攝點以及降落時間，建議說明如何克服此問題，以供後續相關研究之參考。	建議可採有線無人機方案，透過纜繩供電提高空拍時間。	敬悉。
2. 此案目前已完成空拍影像對齊校正、車輛偵測及分類，後續將開發交通流量、軌跡資料及交通衝突參數分析，研究成果預期將可供各交通主管機關參考學習。另建請於期末報告說明該模式準確性之驗證方法與成果。	將於期末報告書中補充說明。	同意。
(十四) 高雄市政府交通局 (書面意見)		
1. 本案期中報告內容多為「建立 UAV 影像式交通車流及事故風險分析平台」所需偵測與分析工具之介紹及現況發展，並未敘明平台建置內容、設置用途及使用限制等，建議補充說明。	本研究計畫目前工作進度刻正進行影像分析模組研發階段，後續將分析平台建置內容，如車輛軌跡、路口車流數、車輛速度、衝突熱區、碰撞時間 TTC、後侵占時間 PET、車輛形式篩選 (機車、貨車、小客車、巴士) 及轉向比等，並補充於期末報告內。	同意。
2. 本案所採工具應可應用於警察單位事故處理，建議研究結果可轉知警察單位參考。	本研究計畫之分析平台可提供相關領域單位作為預防性交通改善之參考。警察單位係著重在交通事故現場重建，兩者需求略有不同。如有需要，可將研究成果供警察單位參考。	同意。
(十五) 本所運輸安全組 (書面意見)		
1. 期中報告書 P.7 第三行(在[1]中，作者們回顧了.....)，請將文獻[1]作者列出。	遵照辦理。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
2. 報告書 2.1 節，出現許多專有名詞，例如 visual words、LDA、群聚分布、Traffic states、使用非參數化的貝氏模型(nonparametric Bayesian model) 與 HDP(Dual Hierarchical Dirichlet Processes)...等，請將英文名詞的中文翻譯列出，英文名詞以()標註，另各項名詞之意涵需加以闡述，如涉及重要觀念，應另立段落加以敘明。	部分英文字詞僅由該篇論文作者使用命名，並非慣用名詞，因此未加以翻譯，相關名詞(如群聚分布/cluster、交通狀態/Traffic states、非參數化的貝氏模型/nonparametric Bayesian model)之中、英文會補充於期中報告。前述名詞多為各個單一方法採用之數學模型或演算法，由於其與本計畫採用方法皆無直接關聯性，本報告僅就各個單一方法做演算法上的概念陳述並補充於 2.1 節。	同意。
3. 期中報告書 P.9~P.11，圖 2.1-3 車輛軌跡分類結果、圖 2.1-4 Traffic states 分類結果，以及圖 2.1-5 不同車流分群結果，關於該圖之文字敘述過簡，其分群原則、理由、效果等應加以闡述。	遵照辦理。	同意。
4. 期中報告書 P.22~P.21，圖 2.3-1 常見路口攝影設備，並無在內文提到，請應加以闡述。	遵照辦理。	同意。
5. 期中報告書 P.23~P.24，圖 2.3-3 使用既有之路口攝影機影像、圖 2.3-4 後端平台進行深度學習及圖 2.3-5 衝突分析功能示意圖，並無在內文提到，請應加以闡述。	遵照辦理。	同意。
6. 有關 4.5 無人機硬體規格章節，圖表之文字敘述過簡，對於機體型式、最大陣風及	詳細無人機設備規格將另置於附錄。並另表說明無人機特性規格比較於期中報告書內。	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
續航力、穩定性、安全性等特性進行回顧，以及分析與比較。另表部分非僅列無人機規格表，應加以闡述。		
7. 期中報告書 P.59，4.6 交岔路口空拍影像說明部分，請應加以說明在不同拍攝高度之下，對於車輛偵測、追蹤、分類、交通衝突分析、交通控制等課題之優劣比較作完整歸納。	基本上所有空拍影像處理皆希望高度越低以取得越清晰之路面影像。然若要觀測完整路口，則需視路口不同提升拍攝高度至涵蓋完整路口範圍為止。因此應視路口大小動態調整飛行高度。一般而言，多數路口在高度 75 公尺拍攝之畫面即可剛好涵蓋完整路口區域。較小路口約 50 公尺，大型路口約 100~120 公尺。相關比較將以表格方式於期中報告進行歸納分析。	同意。
8. 期中報告書 P.65，4.6.1 拍攝高度與視角範圍章節中，比較說明 UAV 各種拍攝方式的分析效果(例如影像擷取的視角範圍、拍攝高度及角度、影片解析度及光線特性等)之差異性敘述過簡，應加以闡述。	遵照辦理。	同意。
9. 期中報告書 P.68，專有名詞 (EV+、白平衡等)，請將英文名詞的中文翻譯列出，英文名詞以()標註，另各項名詞之意涵需加以闡述，如涉及重要觀念，應另立段落加以敘明。	遵照辦理。	同意。
10. 報告書第五章，出現許多專有名詞，例如 ECC (Enhanced Correlation Coefficient)影像對齊技術、	1. 將列出相關英文名詞的中文翻譯。 2. 前述名詞多為各個單一方法採用之數學模型或演算法，由於其與本	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>靜止背景模型(background modeling)、利用相鄰畫面差(frame difference)、混和高斯模型(Gaussian Mixture Model, GMM)、卡爾曼濾波(Kalman filter)、粒子濾波器(particle filter)、角點(corner)、光流法(optical flow)、卷積神經網路(Convolutional Neural Networks, CNNs)、AlexNet、VGG 架構、減緩梯度、top-5 錯誤率、GPU、Faster R-CNN...等，請將英文名詞的中文翻譯列出，英文名詞以()標註，另各項名詞之意涵需加以闡述，如涉及重要觀念，應另立段落加以敘明</p>	<p>計畫採用方法皆無直接關聯性，本報告僅就各個單一方法做演算法上的概念陳述。</p>	
<p>11. 報告書第五章，有關影像前處理、車輛偵測、車輛追蹤、車輛分類等課題，建議補充說明各自不同解法論述，以及不同解法間的利弊得失，另建議針對本計畫之採用解法及採用解法缺失的彌補方式，應詳加論述。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關車輛偵測、車輛追蹤已於第五章說明可能之作法，並分析其優缺點後選擇最適合方案作為本研究之實作方法。 2. 後續將於期末報告補充車輛偵追蹤與車輛分類之準確率驗證。 	<p>同意。</p>
<p>12. 期中報告書 P.81 圖 5.4 1 為利用 Faster R-CNN 在十字路口附近進行的車輛偵測、分類結果，其中紅色框代表一般轎車、綠框代表貨車、黃框代表機車，但方框範圍無法貼合車輛外緣，對於分析平台中交通衝突參數(如：碰撞時間、後侵佔時間等)之精度是否受到影響，使用何種解法缺失的彌補方式，應詳</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 方框範圍無法貼合車輛外緣會影響衝突函數之估算，需引進以像素為單位進行分割的深度學習方法，重新提取車輛邊界範圍。 2. 前述解決方案已正在實作改善中，詳細結果與說明將補充於期末報告書內。 	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
加論述。		
<p>13. 從 94 年~105 年以 A1 及 A2 肇事統計，機車肇事件數高達 61%，其次小客車 27%。因此，本研究案對於機車族群之車流行為列為觀察重點，有關機車於車輛偵測、車輛分類及車輛追蹤部分，在本研究案圖 5.3-1 利用角點特徵之車輛追蹤時序圖已有呈現，惟本報告書並無敘述說明機車影像處理過程(在影像處理上，其特徵點是否與其他車種偵測、追蹤及分類)應在內文加以闡述。另自行車、行人部分，在本研究案尚未明確說明影像前處理、車輛偵測、車輛追蹤、車輛分類情形，應針對本計畫所採用解法之可行性及採用解法缺失的彌補方式，或另有其他解法，在內文加以補充說明。</p>	<p>1. 本研究計畫採用機車、小客車、貨車及巴士(大客車)做車輛分類，將於期末報告書內說明。</p> <p>2. 行人、自行車因缺乏特徵點，加上面積小，現階段影像分析不易辨識，後續將行人、自行車分類建議作法納入期末報告書內說明。</p>	同意。
<p>14. 未來分析平台必須至少包括影像分析、資料庫、以及交通資料分析及圖表展示 4 部分，其中資料庫及交通資料分析及圖表展示部分必須容易擴充，且利於相關公部門推廣應用，故開發分析平台部分建議使用通用語言程式。</p>	目前本團隊係使用 python 撰寫相關程式，此程式語言大量使用在影像處理、機器學習、統計分析等領域。	敬悉。
(十二) 主席結論		
<p>1. 有關委員及各單位意見，請列表逐一回應，並請於 107 年 3 月 1 日前提出期中修正報告書送本所再審。</p>	遵照辦理。	同意。
<p>2. 建議合作單位於後續分析平台建立時，可諮詢具備交通安全相關學經歷背景之專家</p>	交通專家部分擬邀交通大學運輸與物流管理學系黃家耀老師參與諮	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
學者。	詢。	

附錄 B. 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-106-SEB009

道路交通車流及事故風險偵測與分析工具之發展應用

執行單位：訊力科技股份有限公司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
(一) 國立成功大學郭淑美教授		
<p>1. 期末報告尚未達某些預期目標，如：行人、機車之偵測，且大卡車(含貨車)辨識率不佳。</p>	<p>1. 本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，與甲方選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口(中華路與茄苳路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)進行研究，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝突結果。(報告書 P2)</p> <p>2. 鑒於近兩年在影像處理技術之領域中，於深度學習迅速發展之下，仍須針對不同方法(包含傳統影像處理技術與最新深度學習技術等)進行嘗試，以選擇最適本研究影像處理技術之方法。(報告書 P2)</p> <p>3. Mask R-CNN 在執行時，會逐步將車輛影像卷積縮小，當經過多層卷積後的單層輸出結果畫面會越來越小。當一部機車、自行車或行人經過多層深度卷積，而不足以形成一個點，便會在輸出結果畫面上消</p>	<p>1. 同意。</p> <p>2. 本研究案之目的係結合無人機應用、影像處理技術及交通管理三大領域專業，開發出一套交通分析工具平台。由於缺乏前例可循，屬於探索(嘗試)性質之研究。</p> <p>3. 本研究案為能追蹤車輛軌跡以找出車輛間可能發生碰撞之位置及風險，因此優先選擇使用無人機於交岔路口上方拍攝，即可直接觀察影像中的車流軌跡。</p> <p>4. 為能有效掌握高事故風險地點特性，選擇桃園市 4 處交岔路口作為優先拍攝之場域，惟具代表性之高事故風險</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>失，爰此，在 Mask R-CNN 方法上直接限制能偵測到的物體大小。鑑於光流法可有效處理大量局部運動，因此在本研究中利用光流法對可能為機車、自行車或行人的特徵點嘗試進行追蹤，以取出其通過路口的完整軌跡。(報告書 P94~P99)</p> <p>4. 本研究已完成車輛之偵測、辨識及追蹤，紀錄每一車輛之軌跡資料，並建立出可計算 PET、TTC 等衝突指標之系統雛型。惟現有最適影像處理之方法，在機車、自行車及行人部分，仍有待後續改善，此外，受限於選擇拍攝之交岔路口中，大卡車出現頻率相較於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致辨識準確率相對於其他車種低。(報告書 P94~P99)</p> <p>5. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。(報告書 P124~P125)</p>	<p>交岔路口，未必所有車種都能蒐集到足夠的樣本進行影像辨識訓練。</p> <p>5. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。</p> <p>6. 依上所述，本研究已達成預期目標。</p>
<p>2. 建議鎖定目標(問題)，尋找方法(而非確定採用無人機及 Deep Learning 等方法解問題)。</p>	<p>1. 感謝委員建議。本研究依甲方要求以無人機拍攝影像。</p> <p>2. 本研究藉由無人機可懸停於空中，其下方之酬載攝影機可完全垂直俯視地面之優點，拍攝交岔路口車流影像之幾何失真</p>	<p>1. 同意。</p> <p>2. 本研究案為能追蹤車輛軌跡以找出車輛間可能發生碰撞之位置及風險，因此優先選擇使用無</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>遠較一般監視器影像小，同時也迴避傳統電腦視覺領域物體辨識(分別是車輛間遮蔽問題，以及不同視角下之車輛辨識問題)難題，並透過影像分析軟體，分析出道路上車輛之軌跡資料，找出交岔路口衝突點(熱區)位置。(報告書 P2)</p> <p>3. 本研究嘗試行人、自行車、機車、小型車(小客車、貨車)、巴士、聯結車之影像偵測、分類及追蹤之方法有 Faster R-CNN、Mask R-CNN 及光流法等。對於本案選擇最適之車輛偵測、分類及追蹤方法之歸納，請參考期末報告書第 5.6 節。(報告書 P99~P101)</p>	<p>人機於交岔路口上方拍攝，即可直接觀察影像中的車流軌跡。</p>
<p>3. 未見使用無人機及 Deep Learning 等方法與目前較成熟方法(例如：路口偵測器)比對成果。</p>	<p>有關使用無人機與 Deep Learning 之效果比對部分，非本研究討論範圍。</p>	<p>同意。</p>
<p>4. 本案只限制在無人機，是否考量與傳統成熟的路口監視攝影機作影像結合。</p>	<p>有關無人機影像與傳統路口監視攝影機之影像結合部分，非本研究討論範圍。後續研究計畫可考慮納入討論。</p>	<p>同意。</p>
<p>(二) 靜宜大學周文光教授</p>		
<p>1. 車輛樣本訓練資料用了 1,000 張人工標註資料，是否足夠?訓練資料的樣態與數量是否直接影響結果。</p>	<p>1. 本研究訓練資料係自 1000 張空拍影像中以人工標記車輛所在區域(每單張訓練影像之標記約需花費 3~5 分鐘將畫面上所有目標車輛進行標註)，每張影像至少包含 10 輛以上汽車。本研究目前在訓練與驗證</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>影像上之標註量超過 1500 張，相當於平均 100 小時之工時量(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，長達兩個月)。</p> <p>2. 深度學習的訓練影像數基本上越大越好，但空拍影像缺乏公開資料庫，所有訓練資料皆須研究團隊蒐集影像並重新以人工標註。從期末分類結果來看，小客車標註約萬輛(千張以上影像)能達到接近 100% 之分類成功率，訓練資料量已足夠。若貨車與聯結車之數量達萬輛，可能便能獲得接近小客車之表現。然而，每張影像在標註時的必要前提為"所有影像中之車輛皆須標註，否則未標註之車輛會明顯影響訓練結果"。而一張影像中即便偶有一部貨車/聯結車，仍需標註影像中其他十倍於此的小客車數。因此需標註超越萬張影像。相當於 1000 小時的工時量。因此訓練資料的樣態與數量是會直接影響結果。</p> <p>3. 上述處理情形本研究團隊將於報告中補充說明。(報告書 P119)</p>	
<p>2. 過小物件不適用深度學習，需要釐清，原因為何?(是否與訓練資料不足有關，若是則可以解決)，也因此行人、自行</p>	<p>1. Mask R-CNN 在執行時，會逐步將車輛影像卷積縮小，當經過多層卷積後的單層輸出結果畫面會越來越小。當一部機</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>車、機車的識別效果差，導致無法後續分析。</p>	<p>車、自行車或行人經過多層深度卷積，而不足以形成一個點，便會在輸出結果畫面上消失，爰此，在 Mask R-CNN 方法上直接限制能偵測到的物體大小。鑑於光流法可有效處理大量局部運動，因此在本研究中利用光流法對可能為機車、自行車或行人的特徵點嘗試進行追蹤，以取出其通過路口的完整軌跡。</p> <p>2. 另關於行人、自行車及機車之識別效果差部分，與訓練資料是否足夠無關，可能是受限於解析度問題(例如：行人像數目前只有 10 x 10 pixel，基本上無法偵測，專家學者建議像素至少 20x20 pixels)，以及交岔路口有標線干擾問題，不易掌握其軌跡，仍需在嘗試其他影像處理方法實際測試，且有足夠時間訓練及驗證，才能提昇行人、自行車及機車之識別效果。</p> <p>3. 上述處理情形本研究團隊將於報告中加強說明。(報告書 P94)</p>	
<p>3. 就深度學習因計算量大而言，以目前電腦資訊硬體速度大幅增進下，似乎不是問題，但本研究計畫將其列為缺點與一般觀點不同，可否說明。</p>	<p>1. 目前物件偵測所使用之深度學習技術主要多採 CNN 架構，幾乎都需要 GPU 加速支援以提升偵測速度。以 Mask R-CNN 為例，在頂級 GPU(Nvidia 1080ti)下的偵測速度平均也僅有 5fps 左右。而支撐向量機</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>(Support Vector Machine, SVM) 等傳統機器學習方法，則可以在無 GPU 加速情況下，進行 30fps 的即時偵測。因此深度學習方法相較於傳統機器學習方法，勢必需要更多的時間來處理一部空拍影片。</p> <p>2. 但由於本研究無即時運算上之需求，因此在追求較佳偵測效果之前提下，採用深度學習方法為宜。</p> <p>3. 上述處理情形將納入報告中說明清楚。(報告書 P119)</p>	
<p>4. 斑馬線會影響物件識別，可否先前處理消除斑馬線以減少干擾，提昇機車與行人之識別。</p>	<p>感謝委員建議。空拍影像雖已經過穩定化，但仍不可避免有 1~2 像素位移，爰此，無法透過背景相減完全消除斑馬線，反而容易因相減產生斑馬線之邊界(edge)，形成更多易被誤認為機車與行人可能之特徵點，無助於提昇機車與行人之識別。</p>	<p>同意。</p>
<p>5. 關於貨車準確性驗證錯誤率高，訓練資料不足，建議換交岔路口(如至港區附近)蒐集貨車訓練資料。</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，與甲方選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口(中華路與茄苳路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)進行研究，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝突結果。(報告書 P2)</p> <p>3. 受限於選擇拍攝之交岔路口</p>	<p>1. 同意。</p> <p>2. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。</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>中，大卡車出現頻率相較於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致辨識準確率相對於其他車種低。</p> <p>4. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法連同委員建議，將一併納入期末報告中說明。(報告書 P124~P125)</p>	
<p>6. 關於腳踏車及機車影像辨識部分，建議與路口監視攝影機作影像結合來辨識。</p>	<p>感謝委員建議。有關腳踏車及機車影像辨識部分，與路口監視攝影機作影像結合，非本研究討論範圍。後續研究計畫可考慮納入討論。</p>	<p>同意。</p>
(三) 台灣科技大學戴文凱教授		
<p>1. 就計畫執行與成果績效，宜將預期工作項目與預期成果對比於計畫實際完成的工作與成果，逐一條列與彙總呈現。</p>	<p>遵照辦理。(報告書 P208~P212)</p>	<p>同意。</p>
<p>2. 請說明本案偵測與分析工具之 SOP 與整體系統運行架構，以及本所人員實際使用情形(教育訓練)。</p>	<p>遵照辦理。(報告書 P132~P154)</p>	<p>同意。</p>
<p>3. 請補充診斷潛在交通安全問題、強化碰撞構圖採證及跡證標示之漏失，以及路段改善之實際成果。</p>	<p>感謝委員建議，此需求非本研究討論範圍。</p>	<p>同意。</p>
<p>4. 針對分析平台之車輛軌跡行為，為何需用空拍機?為何不採用定點式 Video?為何不做 simulation?</p>	<p>1. 感謝委員建議。本研究依甲方要求以無人機拍攝影像。採用定點式 Video 或作 Simulation，非本研究討論範圍。</p>	<p>1. 同意。 2. 本研究案為能追蹤車輛軌跡以找出車輛間可能發生碰撞</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>2. 本研究藉由無人機可懸停於空中，其下方之酬載攝影機可完全垂直俯視地面之優點，拍攝交岔路口車流影像之幾何失真遠較一般監視器影像小，同時也迴避傳統電腦視覺領域物體辨識(分別是車輛間遮蔽問題，與及不同視角下之車輛辨識問題)難題，並透過影像分析軟體，分析出道路上車輛之軌跡資料，找出交岔路口衝突點(熱區)位置。(報告書 P2)</p>	<p>之位置及風險，因此優先選擇使用無人機於交岔路口上方拍攝，即可直接觀察影像中的車流軌跡。</p>
(四) 中央警察大學曾平毅教授		
<p>1. 本案利用無人機蒐集道路交通資訊部分，成果顯著，惟影像式交通車流及事故風險分析平台部分之成果有限，應加以詳細具體說明。</p>	<p>本研究所開發之影像式交通車流以及事故風險分析平台功能有：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 透過影像分析軟體，分析出道路上車輛之軌跡資料，並建立影像與分析資料的資料庫。 2. 計算交岔路口交通量、車行速率等基本交通資訊，並製成表格及圖形，且展示分析結果可與影像對應。 3. 以交通衝突指標，計算車與車碰撞時間及後侵佔時間，並找出衝突點位置，產生衝突頻率熱圖等。 4. 交岔路口交通號誌同步。 5. 車流軌跡資料庫(CVS 格式檔)。(報告書第 6 章 P102~103 及 P120) 	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	上述分析平台功能之詳細說明，將補充於期末報告書。	
2. 建議探討如何利用交岔路口上方所空拍之影像，產出能分析路口衝突或風險之有用指標，以及如何利用車輛軌跡應用於交通改善。	本研究透過影像分析軟體，分析出交岔路口內每部車輛之軌跡資料，並以車與車碰撞時間及後侵佔時間作為交通衝突指標，找出衝突點位置，產生衝突頻率熱圖。例如：發現交岔路口交叉撞的衝突熱區，則可經由車輛軌跡找出是闖紅燈或綠燈提前起步所造成，再檢討全紅或黃燈時間以及停止線位置等交通工程問題，加以改善。惟本研究分析平台的交通改善應用非本研究討論範圍。	同意。
3. 分析平台宜能呈現道路幾何狀況、交通需求及交通管制狀況，以利於後續應用。	有關本研究分析平台開發成果能呈現如下，將於報告書中加強說明： 1. 道路幾何狀況：可提供影像比例尺(報告書 P262)，以對應到道路幾何狀況(實際路口幾何資料，將補充於期末報告書)(報告書 P67~P74)。 2. 交通需求部分：可提供交岔路口車輛軌跡資料(報告書 P101)、找出車與車衝突點位置、產出衝突頻率熱圖報告書 P104、P105、P107)、計算交通量(報告書 P111)、車行速率(報告書 P102~P103)等基本交通資訊，且展示分析結果可與影像對應。 3. 交通管制狀況：可與交岔路口之交通號誌同步。	同意。
(五) 開南大學郭正成教授		

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. 期末報告書第 5 頁，研究流程圖中，建立分析平台共有 5 項功能，但後續分析未說明其中的交通衝突圖表展示平台，應加以詳細具體說明。	遵照辦理。(報告書 P120~P122)	同意。
2. 期末報告書第 6 頁，最後一段「能在肇事發生前即診斷出交通衝突問題，供交通管理單位與道路設計者研擬預防性交通改善」。請就本計畫資料蒐集之 4 處交岔路口，根據本研究的衝突分析與歷年之事故資料進行比較分析，並具體提出預防性的交通改善建議，俾提供桃園市交通局參考。	感謝委員建議。關於與歷年之事故資料進行比較分析，並具體提出預防性的交通改善建議乙節，非本研究討論範圍。	同意。
3. 期末報告書第 59 頁，有說明所選擇 4 處交岔路口都是有路口監視器，可供後續調閱監視影片進行比對。請說明進行那些比對。	調閱監視影像進行比對，可協助人工驗證之參考，如交通號誌同步，請參考期末報告第 6.5 節。(報告書 P110)	同意。
4. 期末報告書第 101 頁，平均車速誤差 6.92km/h，這個誤差在衝突分析之應用，是否誤差太大。	感謝委員提醒。經事後驗證發現車速誤差應為 1.384km/h，細節說明將補充於期末報告書。(報告書 P98)	同意。
5. 建議將期末報告書第 111 頁所提之交通調查資料(CSV 檔)，直接在本計畫所發展之平台去分析，而不是僅提供 CSV 檔供其他使用者使用。	感謝委員建議。CSV 檔內之資料已用於車速、PET、TTC 等平台分析中，將於報告書中加強說明。(報告書 P111~P112)	同意。
6. 期末報告書第 107 頁，交通衝突熱區分析之碰	平台所計算之 PET 與 TTC 係根據	敬悉。

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
撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)是否有經過驗證，與平台所計算之結果是否一致。	學理上之定義進行估算。另抽樣進行人工觀看影片並記錄 TTC 及 PET，其結果顯示一致。	
7. 期末報告書第 108~109 頁，K 分別有 15(3 秒)、10(2 秒)、20(4 秒)，在實務上請建議應如何決定 K 值。	此處 K 值是指標的門檻值，門檻越大，判斷出的衝突數越多。過去文獻建議 TTC 的門檻值為 2 至 3 秒，但合理值跟分析情景、衝突形態、車輛種類等有關。因此，平台後續提供過濾功能，讓使用者自行設定門檻值。	同意。
8. 行人與機車的偵測與軌跡重現無法突破影像分析之技術，以致降低本研究之實務應用性。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員提醒。車輛及行人之影響辨識與追蹤確為本研究的關鍵。 2. 本研究雖已完成車輛之偵測、辨識及追蹤，記錄每一車輛之軌跡資料，並建立出可計算 PET、TTC 等衝突指標之系統雛型。惟現有最適影像處理之方法，在機車、自行車及行人部分，仍有待後續改善。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意。 2. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。
(六) 長榮大學吳永基教授		
1. 行人與自行車及機車肇事機會應該是大宗，可惜在自動辨識時，無法有高辨識率，如果無法辨識軌跡資料，可否透過路側攝影機來補足辨識行人與自行車及機車軌跡？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。關於透過路側攝影機來補足辨識行人與自行車及機車軌跡，非本研究討論範圍。後續研究計畫可考慮納入討論。 2. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。(報告書 P124~P125) 	同意。
2. 是否可以採用其他工具	1. 感謝委員建議。關於採用熱像	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
輔助判斷，如熱像儀或地面攝影機來增加辨識之可行性。	<p>儀或地面攝影機來增加車輛辨識之可行性部分，非本研究討論範圍。</p> <p>2. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。(報告書 P124~P125)</p>	
<p>3. 碰撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)之交通指標是否現有已存之研究，就有相同之結果?此研究與未來交通工程改善有何連結?可多做說明。</p>	<p>1. 碰撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)是交通衝突研究文獻中最常用的基礎指標，一般可經由兩車的軌跡資料計算取得。本研究的計算方式是依照指標的定義，直接運用影像中某空間(即像素)被不同車輛佔用的時間差去計算，運算上更有效率。</p> <p>2. 於交通工程改善上，例如：發現交岔路口交叉撞的衝突熱區，則可經由車輛軌跡找出是闖紅燈或綠燈提前起步所造成，再檢討全紅或黃燈時間以及停止線位置等交通工程問題，加以改善。惟本研究分析平台的交通改善應用非本研究討論範圍。</p>	同意。
<p>4. 無人機受天候影響大，不可能 24 小時都在路口飛行，事先發覺車流衝突似乎不易。此無人機方法與傳統方法好處在哪?</p>	<p>1. 傳統交通改善方法往往須花費長時間及大量人力蒐集事故發生後的統計資料，才能找出交岔路口可能的衝突點熱區，相較於應用無人機較沒有效率，且僅能就事故發生後進行交通</p>	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>改善，無法探討交通事故預防。</p> <p>2. 本研究藉由無人機可懸停於空中，其下方之酬載攝影機可完全垂直俯視地面之優點，拍攝交岔路口車流影像之幾何失真遠較一般監視器影像小，同時也迴避傳統電腦視覺領域物體辨識(分別是車輛間遮蔽問題，以及不同視角下之車輛辨識問題)難題，並透過影像分析軟體，分析出道路上車輛之軌跡資料，找出交岔路口衝突點(熱區)位置，並透過碰撞時間(TTC)與後侵占時間(PET)交通衝突基礎指標可計算出車輛交會時間差較短之區域，可提供交通工程人員作為研擬事前預防交通改善之參考。</p> <p>3. 上述處理情形本研究團隊將於報告中補充說明。(報告書 P116)</p>	
5. 期末報告書內實驗結果分析部分較為薄弱，應詳加論述。	遵照辦理。(報告書 P102~P113)	同意。
6. 分析平台實際功能之使用(或可能之功能)可多著墨，建議將交大黃教授對於分析平台功能之建議，納入期末報告書內。	遵照辦理。(報告書 P125~P126)	同意。
(七) 科技顧問室		
1. 有關機車與行人問題，請執行團隊於後續延續案，請描述說明可如何	遵照辦理。(報告書 P124~P125)	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
突破。		
2. 號誌變化之時制同步方法，在期末報告書內沒提到於軟體使用時，如何使用時制同步，應加以闡述。	遵照辦理。(報告書 P110~P111)	同意。
3. RFP 所提到之分析交通違規行為，如何做?	本研究平台可分析出交岔路口內每部車輛之軌跡資料，且可記錄車輛進入交岔路口後(即車輛通過停止線後)之車輛時間、位置，並可與同步後之交通號誌時間進行比對，以偵測出闖紅燈之交通違規行為。	同意。
4. 期末報告書第 108 頁，衝突區估算圖是由哪個方向產生? 建議車流方向特性，應加以闡述。	感謝貴室建議。交岔路口之路名資訊，將補充於期末報告。(報告書 P67~P74)	同意。
(八) 交通部公路總局		
1. 本局工程處工程段亦有使用無人機對勘查山區道路邊坡道路設施及路況，偶爾於連假期間針對易壅塞路段使用監看，係屬路段性的偵測；而本案是對交通路口車流狀況應用與分析，可供本局及地方政府參考使用。	感謝貴局肯定。	敬悉。
2. 本研究許多分析可供實務單位了解交通實際狀況，如交通衝突熱區 PET 有助於後續交通工程、槽化設施設計改善；惟機車事故仍佔大宗，亦屬國內車流特性，建議可針對此車種偵測尋求解決方案，或建議納入後續研究計	1. 感謝貴局建議。 2. 本研究已完成車輛之偵測、辨識及追蹤，記錄每一車輛之軌跡資料，並建立出可計算 PET、TTC 等衝突指標之系統雛型。惟現有最適影像處理之方法，在機車、自行車及行人部分，仍有待後續改善。	1. 同意。 2. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。

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
畫。	3. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。 (報告書 P124~P125)	
3. 簡報第 26 頁，路口 B 經執法單位說明是因左轉路口造成貨車分類錯誤，惟其餘 A、C、D 路口貨車分類錯誤仍屬偏高，顯示 Mask R-CNN 分類車種對貨車之判別程度不高，可否有改善方式？	1. 受限於擇選拍攝之交岔路口中，大貨車出現頻率相較於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致辨識準確率相對於其他車種低。 2. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。 (報告書 P124~P125)	1. 同意。 2. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。
(九) 臺中市政府交通局		
1. 請說明於建立空拍影像資料庫時，是否會受天氣如雨天、起霧等自然因素影響，又應如何校正。	考量無人機執行飛行作業之風險與安全，不宜在所述環境下飛行，故本研究不針對這些天候進行交岔路口交通資料蒐集。	同意。
2. 期末報告書第 106 頁，如何定義車輛已進入路口。	車輛進出路口目前是以車輛偵測框首次駛入青色邊界當下，判定為已進入路口。首次駛出青色邊界當下，判定為離開路口。	敬悉。
3. 交通事故之發生除了車與車之碰撞外，行人、自行車或路邊違停車輛亦可能為事故原因，建議納入分析。	感謝貴局建議。交通事故原因之分析，非本研究討論範圍。將建議後續研究計畫於行人、自行車等辨識率提升後，納入交通衝突分析中。	同意。
(十) 新竹縣政府交通局		
1. 新竹縣有在使用空拍機進行交通工程之改善應	1. 關於無人機拍攝條件請參考期	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>用，目前建立事故風險分析平台所提到會針對高風險地點，進行分析以事先發覺車流衝突問題，提供交通道路單位施政應用，未來視執法單位於各縣市之高風險地點路口進行拍攝，能否將分析結果呈現於平台亦或各縣市自行針對路口進行空拍，將該影片上傳此平台進行分析?</p>	<p>末報告書第 7.1.1 節(報告書 P114~P118)，包括無人機管理與規範，以及最佳拍攝影像設定等。</p> <p>2. 另本分析平台目前未規劃影片上傳之功能，將納入本研究報告之建議中。(報告書 P126)</p>	
<p>2. 若各縣市自行拍攝影片上傳平台進行分析，拍攝影片之條件與參數為何?或有哪些限制?</p>	<p>1. 關於無人機拍攝條件請參考期末報告書第 7.1.1 節(報告書 P114~P118)，包括無人機管理與規範，以及最佳拍攝影像設定等。</p> <p>2. 另本分析平台目前未規劃影片上傳之功能，將納入本研究報告之建議中。(報告書 P126)</p>	<p>同意。</p>
<p>(十一) 交通大學吳宗修教授(書面意見)</p>		
<p>1. 「預期完成工作項目 (二)1.(1)有關判別行人及自行車，並以行人及車輛行徑交岔路口軌跡資料」似未完成，且未詳細交代(僅輕描淡寫)。(降低無人機高度)事實上可以執行吧?</p>	<p>1. 本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，與甲方選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口(中華路與茄苳路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)進行研究，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝突結果。(報告書 P2)</p> <p>2. 鑒於近兩年在影像處理技術之領域中，於深度學習迅速發展之下，仍須針對不同方法(包含</p>	<p>1. 同意。</p> <p>2. 本研究案之目的係結合無人機應用、影像處理技術及交通管理三大領域專業，開發出一套交通分析工具平台。由於缺乏前例可循，屬於探索(嘗試)性質之研究。</p> <p>3. 本研究案為能追蹤車輛軌跡以找出車輛間可能發生碰撞之位置及風險，因</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>傳統影像處理技術與最新深度學習技術等)進行嘗試，以選擇最適本研究影像處理技術之方法。(報告書 P2)</p> <p>3. 本研究團隊嘗試以 50 公尺、75 公尺、100 公尺，拍攝一般雙向三線道之交岔路口為例，飛行高度 50 公尺拍攝縱向車道停止線後的範圍容易過小，不利追蹤車輛進出岔路口情形；飛行高度 100 公尺則縱向車道停止線後的範圍過大，間接降低空拍影像中岔路口區域範圍大小，不利車輛偵測與辨識；飛行高度 75 公尺可涵蓋岔路口外之車輛停止線後約兩部車輛長度的範圍，使影像中的車輛在進出岔路口時能被完整追蹤，並保有較大的車輛偵測面積，為適合進行岔路口車流分析之高度。(報告書 P62)</p> <p>4. Mask R-CNN 在執行時，會逐步將車輛影像卷積縮小，當經過多層卷積後的單層輸出結果畫面會越來越小。當一部機車、自行車或行人經過多層深度卷積，而不足以形成一個點，便會在輸出結果畫面上消失，爰此，在 Mask R-CNN 方法上直接限制能偵測到的物體大小。鑑於光流法可有效處理大量局部運動，因此在本研究</p>	<p>此優先選擇使用無人機於岔路口上方拍攝，即可直接觀察影像中的車流軌跡。</p> <p>4. 為能有效掌握高事故風險地點特性，選擇桃園市 4 處岔路口作為優先拍攝之場域，惟具代表性之高事故風險岔路口，未必所有車種都能蒐集到足夠的樣本進行影像辨識訓練。</p> <p>5. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。</p> <p>6. 依上所述，本研究已達成預期目標。</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>中利用光流法對可能為機車、自行車或行人的特徵點嘗試進行追蹤，以取出其通過路口的完整軌跡。(報告書 P94~ P99)</p> <p>6. 本研究已完成車輛之偵測、辨識及追蹤，記錄每一車輛之軌跡資料，並建立出可計算 PET、TTC 等衝突指標之系統雛型。惟現有最適影像處理之方法，在機車、自行車及行人部分，仍有待後續改善，此外，受限於選擇拍攝之交岔路口中，大卡車出現頻率相較於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致辨識準確率相對於其他車種低。(報告書 P94~ P99)</p> <p>7. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。(報告書 P124~P125)</p>	
<p>2. 如固定鏡頭，高度將決定拍攝涵蓋面積，而各路口大小範圍不一，則 4.6 節所述 75 公尺固定滯留高度之決定似不具合理性。完整作法宜就鏡頭攝角、解析度、攝錄範圍等變數推演高度，然後應用到不同大小的路口。</p>	<p>1. 本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，與甲方選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口(中華路與茄苳路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)進行研究，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	<p>突結果。(報告書 P2)</p> <p>2. 為利於影像處理分析(車輛偵測、辨識及追蹤等)，據本研究嘗試不同拍攝高度，以及搭配不同解析度攝影鏡頭，就目前所選路口，建議於高度 75 公尺結合垂直路面 0° 拍攝(1080p/4K 高解析空拍影像)。(報告書 P59~P64)</p> <p>3. 本研究亦提供相關計算公式(請參考 7.1.1.3)，可運用於不同大小之路口。(報告書 P113~P114)</p>	
<p>3. Mask R-CNN 「同一部車輛在不同畫面可能被分類於不同車種，因此會透過投票機制來決定」(p93)，投票機制如何運作宜有進一步說明。</p>	<p>遵照辦理。(報告書 P86~P87)</p>	<p>同意。</p>
<p>4. 平均覆蓋率 0.7439 屬於何種等級?IoU 的定義與一般標準值應有說明與解釋，且其縮寫宜一致(IOU 不等同於 IoU)。</p>	<p>遵照辦理。(報告書 P92~P93)</p>	<p>同意。</p>
<p>5. 估算車速時的距離如何量測?車速估算成果(V_g 與 V_e)應宜更詳細總整列出供甲方檢視。本研究平均車速誤差 6.92km/h，屬於何種等級?</p>	<p>感謝委員提醒。經事後驗證發現車速誤差應為 1.384km/h，相關細節說明將補充於期末報告書。(報告書 P98)</p>	<p>同意。</p>
<p>6. 「未來將考量較耗時的稠密光流法追蹤技術或其他機器學習架構，改善…」這是承諾下一期計畫的方</p>	<p>1. 本研究計畫在稠密光流法部分已進行過測試，雖可估測出較準確可靠的光流場，但在高解析度影像下由於計算時間龐大</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
向?應該在本期就做初步 測試才合理。	<p>(單此一部分計算速度約 1fps) , 尚需大量的測試來驗證 想法, 現況已將初步測試結果 說明於期末報告書。(報告書 P94)</p> <p>2. 對於大貨車、機車、自行車及 行人之偵測、辨識及追蹤部 分, 已透過專家學者座談會, 研討可行之建議與改善方法, 將一併納入期末報告中說明。 (報告書 P124~P125)</p>	
7. 機車的偵測「我們主要採 用的是傳統的特徵點偵測 策略, …」這是多種的選擇 結論, 或僅是操作敘 述?其正確性與適應性如 何?	<p>1. 本研究嘗試過包含特徵點(角點) 追蹤、稠密光流法等不同局部 運動分析方法, 比較過特徵點 (角點)追蹤與稠密光流法的運算 效率與追蹤效果後, 目前建議 可採用運算效率高, 且在一般 路面表現良好之特徵點(角點)追 蹤方法。此類方法唯一明顯缺 點為易受路面標線與交通號誌 上之特徵點(角點)干擾。(報告 書 P91~P94)</p> <p>2. 對於大貨車、機車、自行車及 行人之偵測、辨識及追蹤部 分, 已透過專家學者座談會, 研討可行之建議與改善方法, 將一併納入期末報告中說明。 (報告書 P124~P125)</p>	同意。
8. 研究主題之一「事故風險 偵測」在 6.3 節看似嘗試 被提出, 但完全看不到內 容, 這是一大(未完成)缺 陷。	本研究係以交通衝突研究文獻中最 常用的碰撞時間(TTC)與後侵占時 間(PET)作為事故風險偵測基礎指 標。詳細說明將補充說明於期末報 告書。(報告書 P105~P109)	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
9. 表 6.4-2 有六部車進入與離開同一路口方向，其意義為何?迴轉?	關於表 6.4-2 有六部車進入與離開同一路口方向乙節，經查六部車輛確為迴轉情形。	敬悉。
10. 如何實際將號誌時制的正確時間起點標記入影片內應有說明，讓操作者可以遵循。	遵照辦理。(報告書 P110)	同意。
11. 文獻編排格式要一致(出現序、姓氏或名排序)。(內文 p23 的文獻 31 應為 32 之誤植)	遵照辦理。(報告書 P127~P131)	同意。
12. 幾處圖表應更清晰呈現: 圖 2.2-3、圖 2.2-8、圖 4.3-1。完全一樣的圖表不宜重複出現(圖 3.2-2 與圖 3.2-3)。	遵照辦理。	同意。
(十二) 臺北市政府交通局 (書面意見)		
1. 依第七章結論與建議內容，本研究未能克服行人、自行車與機車辨識，是否有達到本研究結案標準，宜再釐清。	<p>1. 本研究為了能有效掌握高事故風險地點特性，於研究過程中，與甲方選定桃園市具代表性及參考性(交通事故較多地點)之 4 處交岔路口(中華路與茄苳路口、中正路與大興西路口、中正路與三民路口，以及中山路與上海路口)進行研究，拍攝畫面必須包含整個交岔路口，以計算不同方向車流移動及衝突結果。(報告書 P2)</p> <p>2. 鑒於近兩年在影像處理技術之領域中，於深度學習迅速發展之下，仍須針對不同方法(包含傳統影像處理技術與最新深度學習技術等)進行嘗試，以選擇</p>	<p>1. 同意。</p> <p>2. 本研究案之目的係結合無人機應用、影像處理技術及交通管理三大領域專業，開發出一套交通分析工具平台。由於缺乏前例可循，屬於探索(嘗試)性質之研究。</p> <p>3. 本研究案為能追蹤車輛軌跡以找出車輛間可能發生碰撞之位置及風險，因此優先選擇使用無人機於交岔路口上</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>最適本研究影像處理技術之方法。(報告書 P2)</p> <p>3. Mask R-CNN 在執行時，會逐步將車輛影像卷積縮小，當經過多層卷積後的單層輸出結果畫面會越來越小。當一部機車、自行車或行人經過多層深度卷積，而不足以形成一個點，便會在輸出結果畫面上消失，爰此，在 Mask R-CNN 方法上直接限制能偵測到的物體大小。鑑於光流法可有效處理大量局部運動，因此在本研究中利用光流法對可能為機車、自行車或行人的特徵點嘗試進行追蹤，以取出其通過路口的完整軌跡。(報告書 P94~ P99)</p> <p>4. 本研究已完成車輛之偵測、辨識及追蹤，紀錄每一車輛之軌跡資料，並建立出可計算 PET、TTC 等衝突指標之系統雛型。惟現有最適影像處理之方法，在機車、自行車及行人部分，仍有待後續改善，此外，受限於選擇拍攝之交岔路口中，大卡車出現頻率相較於其他車種少，產生訓練樣本相對不足，以致辨識準確率相對於其他車種低。(報告書 P94~ P99)</p> <p>5. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，</p>	<p>方拍攝，即可直接觀察影像中的車流軌跡。</p> <p>4. 為能有效掌握高事故風險地點特性，選擇桃園市 4 處交岔路口作為優先拍攝之場域，惟具代表性之高事故風險交岔路口，未必所有車種都能蒐集到足夠的樣本進行影像辨識訓練。</p> <p>5. 本所將提升不同車種及行人之辨識率，納入後續計畫需求研提之考量。</p> <p>6. 依上所述，本研究已達成結案標準。</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>研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。 (報告書 P124~P125)</p>	
<p>2. 是否可於路口靜態畫面顯示路口寬度、各車道寬度等資訊。</p>	<p>平台可提供影像比例尺(報告書 P262)，以對應到道路幾何狀況，如路口寬度、各車道寬度等資訊(實際路口幾何資料，亦將補充於期末報告書)。(報告書 P67~P74)</p>	<p>同意。</p>
<p>3. 本案於期末報告已可顯示路口衝突熱區，是否可進一步分析衝突熱區之可能碰撞型態，提供後續研擬改善措施依據。</p>	<p>關於交岔路口衝突熱區，確實可以進一步分析可能碰撞型態，然非本研究討論範圍。將建議後續研究計畫可納入討論。</p>	<p>同意。</p>
<p>(十三) 臺南市政府交通局(書面意見)</p>		
<p>1. 依據研究結果，無人機於交岔路口正上方之空拍圖效果甚佳，建議可推廣至各縣市作為交通事故現場之拍攝工具，以利製作更為完整之事故現場圖。</p>	<p>關於推廣各縣市作為交通事故現場之拍攝工具，以利製作更為完整之事故現場圖乙節，非本研究討論範圍。</p>	<p>同意。</p>
<p>2. 本期研究中，以無人機拍攝之車流影片長度僅約5分鐘，建議未來適度延長錄影長度並擴大研究時段，以建立較為完整之車流型態資料庫。</p>	<p>感謝貴局建議。本研究已透過專家學者座談會，研討如何延長無人機拍攝時間，並將相關建議補充於期末報告書內。(報告書 P123)</p>	<p>同意。</p>
<p>(十四) 高雄市政府交通局(書面意見)</p>		
<p>1. 建議本案所分析之衝突資料後續可與肇事資料作比對，以利事故預防決策或政策有效擬定。</p>	<p>感謝貴局建議。關於本研究所分析之衝突資料與肇事資料作比對乙節，非本研究討論範圍。</p>	<p>同意。</p>
<p>2. 倘於各地方政府實務上使用，可如何應用及須配合之資源，請補充說明。</p>	<p>關於各地方政府實務上可如何應用及須配合之資源部分，非本研究討論範圍。將建議後續研究計畫可納</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
	入考量。	
(十五) 本所運輸安全組(書面意見)		
1. 計畫摘要敘述過簡，建議計畫核心價值(例如:分析平台功能、計畫可能達成什麼目的或解決交通什麼問題，以及可提供那些對象使用)，應加以闡述。	遵照辦理。(報告書 P I)	同意。
2. 期末報告書第 2 頁，1.2 研究範圍與對象之內容敘述，請研究團隊再行檢視適當性。	遵照辦理。(報告書 P2)	同意。
3. 關於第二章文獻回顧部分： (1) 美國聯邦航空局 (FAA)對於無人機管制相關規定不只限於規範商用小型無人機規範，請團隊再補充相關資料於期末報告書內。 (2) 另無人機未來(產業)發展趨勢部分，請團隊補充相關資料於報告書內。	遵照辦理。((1)報告書 P32、(2) 報告書 P46~P49)	同意。
4. 期末報告書第 63 頁，(五)完成電子現勘圖部分，尚無看到四處交岔路口圖例。另關於期末報告 P.147，7.建議於路口的靜態畫面中可以標註路口寬度、車道寬度、機車停等區大小等的路口幾何參數或是提供比例尺；研究團隊回應為遵照辦理，惟期末	1. 電子現勘圖部分，將補充於期末報告書。(報告書 P67~P74) 2. 相關交岔路口幾何參數部分，已針對 4 處交岔路口進行調查，結果將整合於原始拍攝影像，並描述於期末報告書。(報告書 P67~P74)	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
報告書內並未看到此內容。		
5. 期末報告書第 100 頁，第 4 行小客車數與表 5.5-1 小客車數不一致，請研究團隊再行檢視。	遵照辦理。(報告書 P97)	同意。
6. 期末報告書第 101 頁，5.6 小結部分，行人與機車的說明，應調整至 5.5 準確性驗證章節內較為恰當。	遵照辦理。(報告書 P98)	同意。
7. 第六章建立分析平台部分： (1) 本章 6.3 節碰撞時間運算式內容敘述過簡，應加以具體闡述運算式之符號代表意義。 (2) 本章 6.4 節交通量調查資料中，表 6.4-2 資料轉向比計算，請團隊再確認。另交通量調查內容敘述過簡，應加以具體闡述。 (3) 本章碰撞時間與後侵占時間大都僅展示交通衝突熱區圖例，應針對從熱區圖資展示碰撞時間與後侵占時間相關表單，並加以闡述表內所呈現事故風險偵測之資訊。	遵照辦理。 (1)(報告書 P105) (2)(報告書 P112) (3)(報告書 P105~P109)	同意。
8. 第七章結論與建議： (1) 本章研究結論部分，應從空拍影像資料蒐集(如無人機	遵照辦理。(報告書 P114~P126)	同意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
<p>拍攝限制、如何取得有效拍攝影片等)、影像處理(包括各種車輛及行人偵測、分類、追蹤)、準確性驗證，以及分析平台之圖表展示等面向應加以歸納闡述。</p> <p>(2) 有關建議部分，應從無人機續航力、拍攝範圍等；影像處理部分，包括車輛及行人偵測、分類、追蹤及準確性驗證部分仍有些限制等，歸納闡述未來建議精進之作法為何，以為妥適。</p>		
(十四) 主席結論		
<p>1. 請訊力科技團隊(以下簡稱乙方)就契約工作項目要求，目前無人機空拍執行狀況，相關限制條件，有無克服方式，如對機車、自行車、行人無法辨識，大貨車取樣不足等，與本所運安組溝通，研議後續處理方式。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 已將本研究處理情形，說明於本表，例如：國立成功大學郭淑美教授意見 1.之處理情形。</p> <p>3. 對於大貨車、機車、自行車及行人之偵測、辨識及追蹤部分，已透過專家學者座談會，研討可行之建議與改善方法，將一併納入期末報告中說明。(報告書 P124~P125)</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 本研究案已達結案標準。</p> <p>3. 本組將參考專家學者座談會之建議納入後續計畫中考量。</p>
<p>2. 倘若分析平台要供各縣市政府作運用，須從研擬分析平台使用及操作手冊，直到後續交通改善，建立一套完整案例分析，對地方使用才有實際幫助。後續如何處</p>	<p>本研究分析平台之後續推廣應用方式，將提供建議方向，於報告書中說明。(報告書 P125~P126)</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審 查意見
理，請在期末報告書內 加以闡述。		
<p>3. 有關委員及各單位意見，請乙方列表逐一回應，並於期末報告加以闡述。惟本案未能辨識機車等運具外，尚有契約未完成之工項，包括：須就所研提意見及建議辦理專家學者座談會，並將專家學者意見納入期末報告書內，須實地影像資料訓練本所人員使用分析平台，以及研究成果至少 2 篇投稿國內外期刊或學術研討會等，另期末報告部分內容敘述仍應再更具體加以充實，經諮詢出席委員同意後，本案審查暫不予通過，請乙方於 107 年 9 月 28 日(星期五)前完成，並提出期末修正報告書送本所內部複審。</p>	遵照辦理。	同意。

附錄 C. 期末報告審查會議簡報



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
執行單位：訊力科技股份有限公司
委託單位：交通部運輸研究所
主持人：溫基信 先生

期末報告

會議日期: 107/7/23

簡報大綱

1. 計畫概述

- 1) 計畫緣起
- 2) 計畫目的
- 3) 計畫重點
- 4) 計畫期程

2. 空拍影像資料蒐集

- 1) 無人機法規更新
- 2) 無人機最佳拍攝參數

3. 影像處理技術

- 1) 影像晃動校正
- 2) 車輛偵測 (傳統 vs 深度學習)
- 3) 車輛追蹤
- 4) 準確性驗證
- 5) 歸納本研究採用之影像處理技術

4. 建立分析平台

- 1) 分析平台構思
- 2) 車流軌跡重現
- 3) 交通衝突熱區
- 4) 交通調查資料
- 5) 交通號誌同步

5. 結論與建議

- 1) 研究成果
- 2) 目前技術限制
- 3) 建議分析平台後續可發展之功能

1. 計畫概述 - 計畫緣起

- 我國105年道路交通事故30天內死亡**2,877人**，受傷**40萬人**所衍生的總損失成本高達**5,212億元**，約佔我國當年全國國民生產毛額(GDP)的**3.03%**。
- 傳統道路交通改善必須投入相當**人力及時間**進行交通事故基礎資料的蒐集與分析，係屬**事後**交通改善手法，相對於**事前預防**之研究較為少見。
- 本計畫藉由**空拍**之人車流動影像，透過**影像分析技術**，找出車流衝突熱區(點)，並建立之高事故風險地點**診斷工具平台**，能在**肇事發生前**診斷出交通衝突問題，供交通管理單位與道路設計者使作為事故預防改善之參考。

3

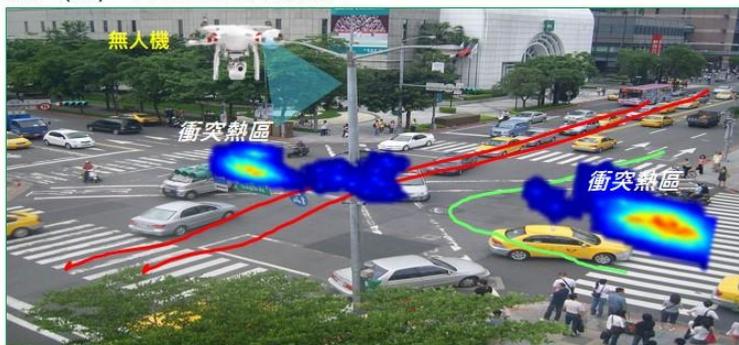
1. 計畫概述 - 計畫目的

1. 無人機拍攝之設計規劃

紀錄高事故風險地點人車流動影像，並建立路口飛行設計與規劃。

2. 建立事故風險分析平台

透過影像分析技術進行人車流衝突研究，分析各項交通衝突參數，期能找出車流衝突熱區(點)，降低嚴重事故發生。



針對**高風險地點**，**事先發覺車流衝突問題**，透過分析平台呈現，將成果提供交通道路管理單位業務施政應用。

4

1. 計畫概述 – 計畫重點

1. 文獻探討整理及無人機資料蒐集

- 彙整相關參考文獻共67篇，進行文獻探討整理。
- 彙整無人機之應用案例、法規及環境限制等特性比較。

2. 空拍影像資料收集

- 選定具代表性及參考性之4處高事故風險交岔路口，並收集122段早晚尖峰時段1080p/4K高解析空拍影像，做為系統開發與測試所需之影像資料庫。

3. 影像處理技術

- 透過影像處理技術，以自動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、車種等。
- 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，結合深度學習產生車輛分類，以辨識車種並同時偵測車輛位置。

4. 建立分析平台

- 將交通資料以系統化整合方式呈現於分析平台中，再進一步計算分析出交通衝突參數與衝突熱區圖表展示等資訊。

5

1. 計畫概述 - 計畫期程



6

2.空拍影像資料蒐集 - 無人機法規 (1/2)

- 依據107/04/25總統公告民用航空法無人機增訂條文 (8不2配合) , 預計於108/07實施。
- 自然人所有之最大起飛重量250公克以上及公務機關或法人所有之遙控無人機應辦理註冊, 並將註冊號碼標明於遙控無人機上。

操作單位	管理規定
自然人	<ol style="list-style-type: none"> 1) 遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面400呎。 2) 不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。 3) 不得裝載危險物品。 4) 遵守「遙控無人機管理規則」所訂定之操作限制。 5) 不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。 6) 不得於日落後至日出前之時間飛航。 7) 在目視範圍內操作, 不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。 8) 操作人不得在同一時間控制2架以上遙控無人機。
法人、學校 政府機關	<ul style="list-style-type: none"> • 政府機關(構)、學校或法人經民航局能力審核核准後可豁免上述1至8項的限制。 • 政府機關執行災害防救、偵查、調查、矯正業務, 經民航局核准後, 不必逐次申請。 • 應投保責任保險。
共同遵守	<ol style="list-style-type: none"> 1) 操作人應隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況。 2) 應防止遙控無人機與其他航空器、建築物或障礙物接近或碰撞。

7

2.空拍影像資料蒐集 - 無人機法規 (2/2)

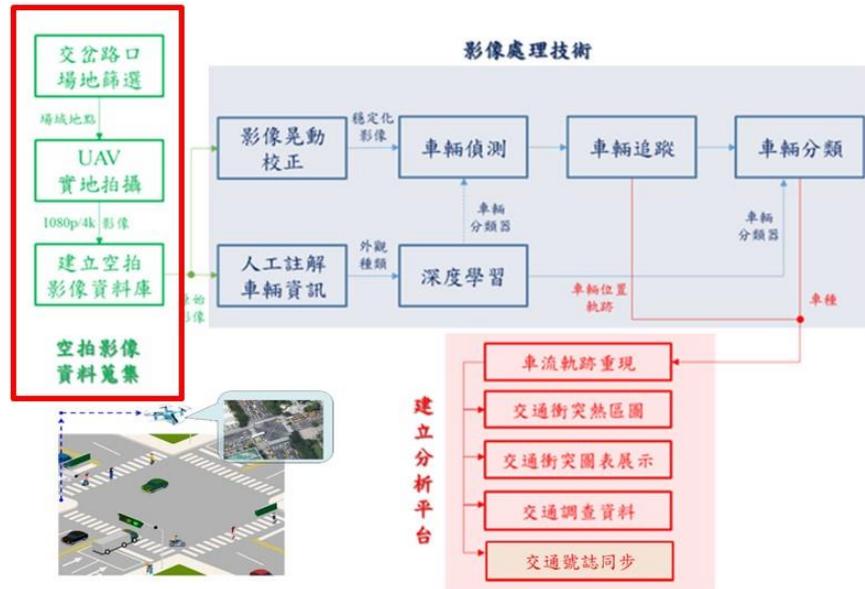
- 遙控無人機罰則規劃 (以下均可沒入無人機)

罰款	違反罰則
30-150萬 危害公眾飛行安全	<ul style="list-style-type: none"> • 違反第九十九條之十三第一項 (於禁限航區、機場四周範圍內操作) • 違反第九十九條之十四第一項第一款 (高度超過400呎)
6萬-30萬	<ul style="list-style-type: none"> • 第九十九條之十第二項 (未領有操作證) • 第九十九條之十五第三項 (未投保或未足額投保)
3萬-15萬 註冊/地點/操作限制	<ul style="list-style-type: none"> • 第九十九條之十第一項 (遙控無人機註冊或標明註冊號碼) • 第九十九條之十三第二項 (直轄市、縣(市)政府公告之區域、時間及其他管理事項) • 第九十九條之十四第一項第二款至第十款 (相關操作限制)
1萬-(5)-150萬 違反(一般)管理規定	<ul style="list-style-type: none"> • 違反第九十九條之十七授權法規命令(射頻識別、檢驗、認可、維修與檢查、飛航活動之活動許可及內容、製造者與進口者之登錄及責任、飛航安全相關事件之通報等)

- 遙控無人機保險

問題	說明
遙控無人機之保險為從人或從物?	目前以從物(無人機)方式規劃。
自然人所有之遙控無人機受法人雇用時, 進行飛航活動而致他人死傷或財產損失時之責任歸屬為何?	應由「所有人」與「操作人」負連帶賠償責任, 此處法人應負相關行政法上之管理責任。
自租賃業者租用遙控無人機, 須由何人投保責任險	應由租賃業者(所有人)辦理保險。
政府機關(構)、學校或法人投保之責任保險額度?	該額度比照航空客貨損害賠償辦法第三條, 死亡新臺幣300萬元、受傷新臺幣150萬元之責任保險。

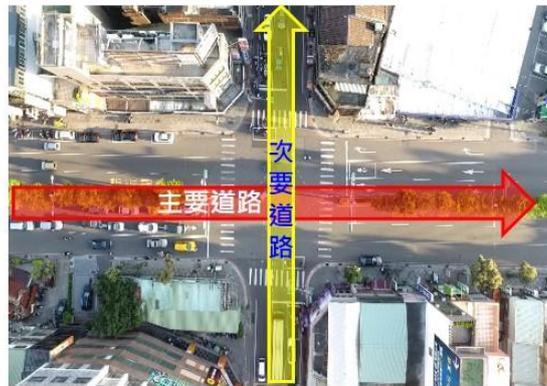
2.空拍影像資料蒐集



9

2.空拍影像資料蒐集 - 最佳拍攝參數

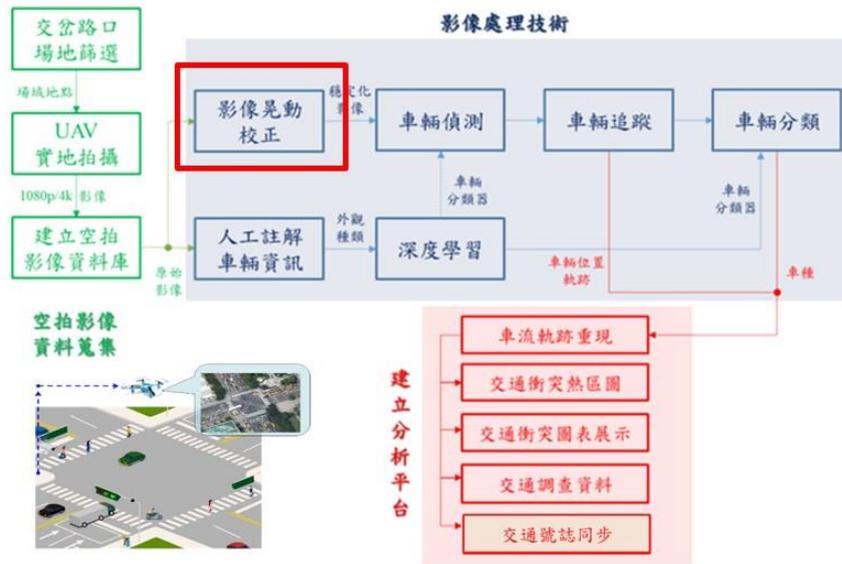
- **無人機：**
 - DJI Phantom 4 pro
- **高度：**
 - 75公尺
- **風速：**
 - 9m/s以下 (旋停)
- **解析度：**
 - 1080P/4 K, 30fps



- **畫面設定：**
 - 主要道路橫向置中、次要道路縱向置中
 - 確認影像對焦後，關閉其餘自動調整設定(EV+, 白平衡等)

10

3. 影像處理技術- 影像晃動校正(1/2)



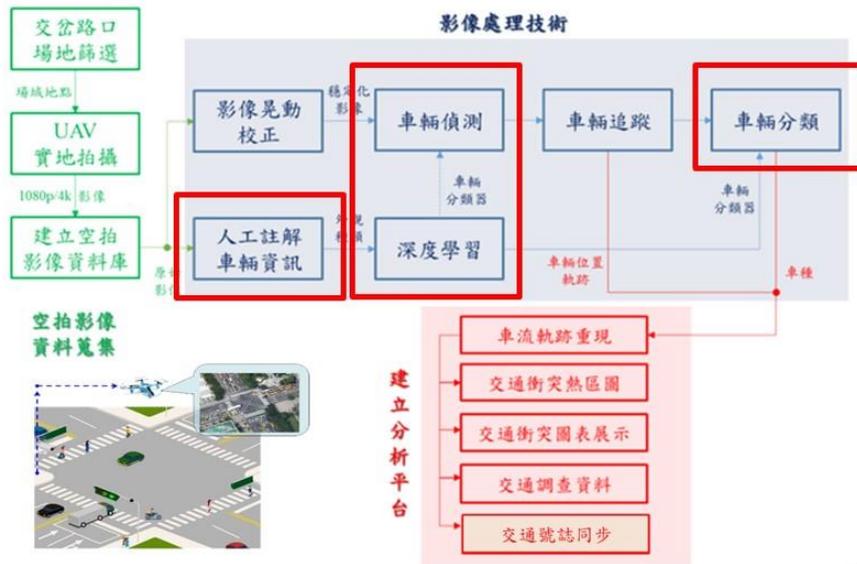
11

3. 影像處理技術- 影像晃動校正(2/2)



12

3. 影像處理技術- 車輛偵測(1/8)



13

3. 影像處理技術- 車輛偵測(2/8)

- 傳統背景相減法(中位數背景)



3. 影像處理技術- 車輛偵測(3/8)

- 傳統背景相減法之優缺點

- 方法簡單快速
- 難以偵測靜止車輛
- 對環境光影變化敏感
- 偵測出之車體並非完整



3. 影像處理技術- 車輛偵測(4/8)

- 深度學習(Mask RCNN)

- 為了能準確偵測轉彎中車輛外緣，我們採用了MASK R-CNN架構偵測每部車輛的像素範圍，再用可旋轉之矩形對其進行擬合(fitting)
- 訓練採用了1000張以上人工標註的空拍影像，並將車輛區分為汽車、貨車、巴士等三類，機車因面積過小而改採其他方式直接追蹤軌跡。



3. 影像處理技術- 車輛偵測(5/8)

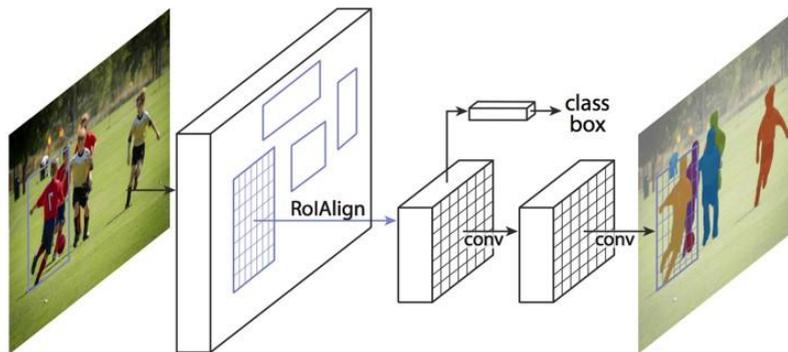
- 深度學習(Mask RCNN)



17

3. 影像處理技術- 車輛偵測(6/8)

- **Mask RCNN** (Regional Convolutional Neural Network)



Source: <https://arxiv.org/abs/1703.06870> 18

3. 影像處理技術- 車輛偵測(7/8)

- 深度學習之優缺點

- 可單張偵測靜止/非靜止車輛
- 準確率與可靠性高
- 能較完整偵測車輛實際範圍
- 可同時完成車輛分類
- 計算量大，需GPU協助運算
- 訓練需大量標註資料
- 無法偵測過小之物件



19

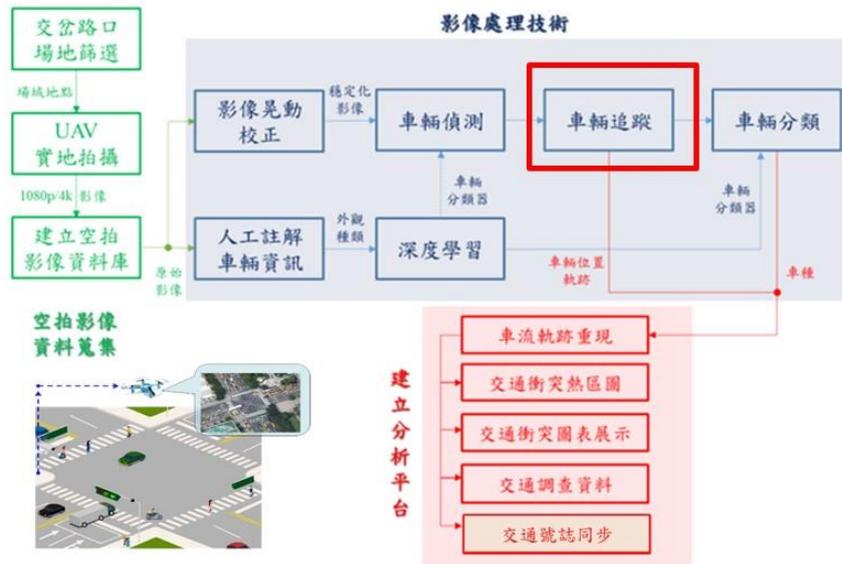
3. 影像處理技術- 車輛偵測(8/8)

- 傳統背景相減法 vs 深度學習方法

比較項目	傳統背景相減法	深度學習方法
速度	快	慢
準確性	低	高
受環境影響	易	不易
偵測靜止車輛	不可	可
進行車輛分類	不可	可
車體完整性	低	高
小物件偵測成效	普通	不佳

20

3. 影像處理技術-車輛追蹤(1/3)



21

3. 影像處理技術-車輛追蹤(2/3)

• 基於光流法追蹤車輛

- 機車由於面積過小，因此利用光流法針對單一特徵點進行持續追蹤、濾除四輪車輛區域之特徵點與重複軌跡後，取出單部機車行經路口之完整軌跡。
- 在四輪車輛的追蹤方面，利用光流法對車輛特徵點進行追蹤，並將前一張車輛位置(紅框)透過轉換矩陣計算出目前畫面的可能車輛位置(黃框)。



22

3. 影像處理技術-車輛追蹤(3/3)

- 四輪車輛追蹤

- 由於每張畫面的車輛都會單獨進行車種分類，因此經過追蹤的同一部車輛會透過投票機制，以被分類為最多次的車種作為最終的車種結果



23

3. 影像處理技術-準確性驗證(1/4)

- 測試資料:4個路口影片(1fps, 1024x1024)



Video1-八德區中華路與茄苳路 Video2-桃園區中山路與上海路 Video3-桃園區中正路與三民 Video4-桃園區中正路與大興

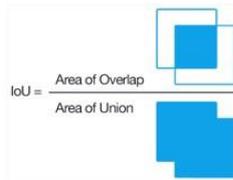
	Frame	Sedan	Truck	Bus	All
Video1	180	1046	256	8	1310
Video2	180	1451	121	9	1581
Video3	180	1998	116	18	2132
Video4	180	1038	84	26	1148
Total	720	5533	577	61	6171

24

3. 影像處理技術-準確性驗證(2/4)

• 車輛偵測追蹤: mIOU

- 以每部車輛所有的軌跡位置之mIoU(mean Intersection over Union)來評估偵測追蹤效果



$$mIoU = \text{mean}(\text{IoU}_1, \text{IoU}_2, \text{IoU}_3, \text{IoU}_4) = \underline{\underline{0.7439}}$$

25

3. 影像處理技術-準確性驗證(3/4)

• 車輛分類: 混淆矩陣(Confusion matrix)

路口 A		Mask RCNN 分類車種		
		小客車	貨車	巴士
實際車種	小客車	1044	1	1
	貨車	55	200	1
	巴士	0	0	8

路口 B		Mask RCNN 分類車種		
		小客車	貨車	巴士
實際車種	小客車	1421	16	14
	貨車	49	58	14
	巴士	0	0	9

路口 C		Mask RCNN 分類車種		
		小客車	貨車	巴士
實際車種	小客車	1997	1	0
	貨車	48	66	2
	巴士	0	0	18

路口 D		Mask RCNN 分類車種		
		小客車	貨車	巴士
實際車種	小客車	1038	0	0
	貨車	47	35	2
	巴士	0	0	26

26

3. 影像處理技術-準確性驗證(4/4)

• 車輛速度: 速度差值

- 人工標註計算出之速度為 V_g 、程式偵測追蹤車輛所計算出之速度為 V_e ，取兩者間之差值 $|V_g - V_e|$ 來評估速度誤差
- 本研究統計出之平均車速誤差為6.92km/h

27

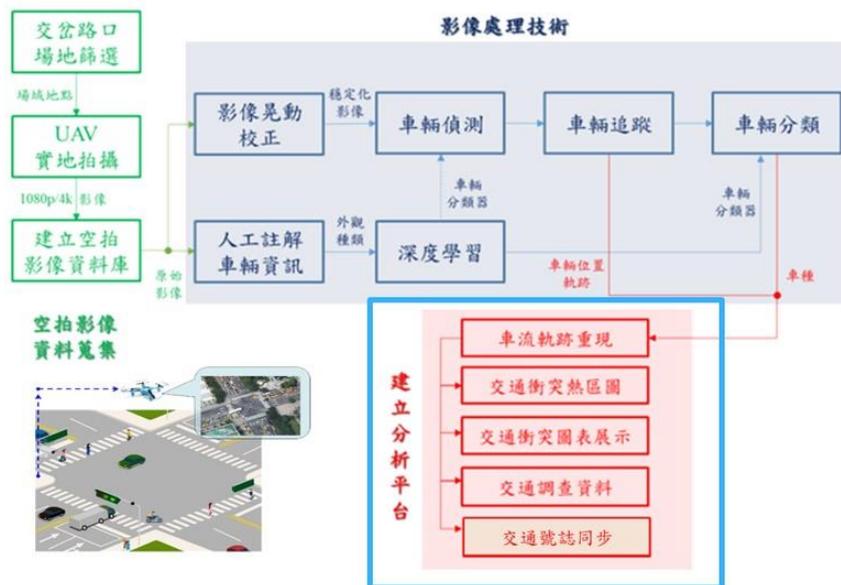
3. 影像處理技術-歸納本研究採用之影像處理技術

• 主要採用之影像處理技術

		偵測方法	分類方法	追蹤方法
行人		面積太小不適用於深度學習與特徵點追蹤		
自行車		影片中相關樣本過少，難以進行訓練與實驗		
機車		特徵點(角點)偵測	進出口口之完整特徵 點追蹤軌跡·直接分類為機車	光流法, 單點追蹤
小型車	小客車	Mask RCNN +矩形擬合	Mask RCNN +投票機制	光流法, 透過轉換矩陣取得新的矩形位置
	貨車			
大型車	巴士			
聯結車		影片中相關樣本過少，難以進行訓練與實驗		

28

4. 建立分析平台 -分析平台構思(1/2)



29

4. 建立分析平台 -分析平台構思(2/2)

- 透過影像處理技術，可取得之交通參數

交通參數	描述
車種	機車、貨車、小客車、巴士等車輛
車輛位置	緊貼車輛邊緣的外圍矩形範圍(以4個角落座標位置描述)
車輛中心	車輛外圍矩形的中心位置(x, y)
車輛軌跡	車輛外圍矩形4個角落的位移軌跡(x, y, t)
車輛速度	車輛中心在單位時間內的位移距離(公尺/秒)
碰撞時間(TTC)	兩部車輛在當前速度下的預計碰撞衝突時間(秒)
後侵佔時間(PET)	兩部車輛軌跡交錯的最小時間差(秒)

30

4. 建立分析平台 -車流軌跡重現

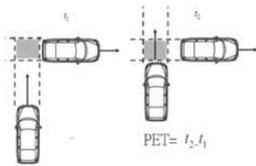
- 車流軌跡重現



31

4. 建立分析平台 -交通衝突熱區(1/2)

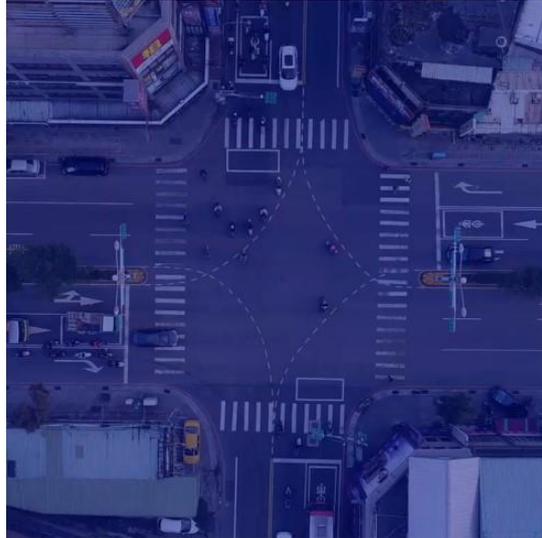
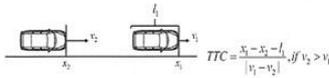
- 交通衝突熱區 **PET**(Post encroachment time)



32

4. 建立分析平台 - 交通衝突熱區(2/2)

- 交通衝突熱區 TTC(Time to collision)



33

4. 建立分析平台 - 交通調查資料

- 交通調查資料

- 可輸出CSV軌跡檔
- 每一列(row)為一部車輛之完整軌跡資料
- 欄位A:進入路口時間、B:離開路口時間、C:進入路口代號、C:離開路口代號
- 欄位E: m為機車、c為小客車、t為貨車、b為巴士
- 除機車以單點(x, y)表示位置，其餘車輛皆以4點(x, y)座標表示

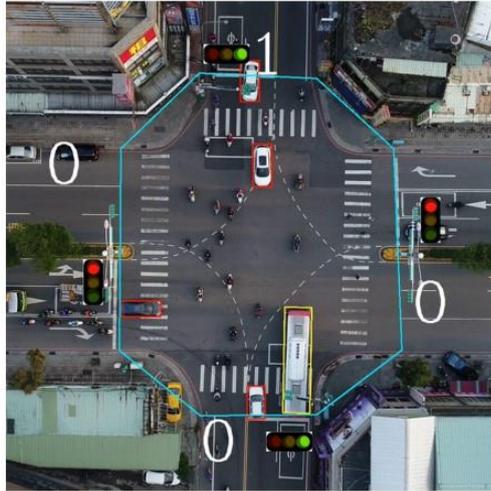
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
10	62	84	D	B	m	367	610	383	610	399	610	415	609	431	609	447	608	463	608	479	607	495	606	511	605	527
11	53	85	B	D	c	814	433	814	398	897	398	897	433	796	435	796	400	879	400	879	435	778	435	778	400	863
12	57	92	D	B	c	194	633	194	598	285	598	285	633	212	632	212	597	301	597	301	632	232	633	232	598	317
13	81	99	D	B	m	369	588	390	588	411	588	431	588	451	587	470	587	490	587	510	587	530	587	550	587	569
14	78	104	D	B	c	252	587	252	552	325	552	325	587	346	589	272	586	274	552	348	555	367	588	293	586	295
15	78	126	D	B	c	187	660	187	627	268	627	268	660	200	661	200	628	281	628	281	661	212	661	212	628	295
16	1	133	D	A	c	466	546	450	515	526	475	542	506	466	545	450	515	526	475	542	505	469	546	452	516	525
17	1	167	B	C	c	784	491	784	454	875	454	875	491	786	491	786	454	875	454	875	491	782	492	780	454	870
18	155	168	B	D	m	706	409	679	409	651	409	625	408	598	408	570	408	543	408	516	407	489	407	462	407	434
19	148	177	B	D	c	812	380	810	343	902	338	904	376	790	379	790	344	885	344	885	379	772	379	772	344	865
20	133	187	B	C	c	738	492	735	454	822	448	825	486	734	492	731	454	822	448	825	486	730	494	728	454	808
21	151	209	B	C	c	830	495	830	460	909	460	909	495	822	493	822	460	905	460	905	493	895	495	816	495	816
22	224	248	B	D	c	822	416	822	381	915	381	915	416	796	417	796	382	889	382	889	417	774	419	774	384	865
23	248	268	B	D	c	718	423	718	388	799	388	799	423	694	425	694	388	775	388	775	425	672	425	672	390	755
24	222	287	B	C	b	828	499	828	449	985	449	985	499	810	492	810	448	975	448	975	492	805	498	803	448	958
25	256	292	B	D	c	820	479	820	444	907	444	907	479	893	479	808	479	808	444	893	444	792	479	792	444	883
26	270	292	B	D	c	806	423	806	390	891	390	891	423	784	423	784	390	867	390	867	423	758	423	758	390	839
27	269	315	B	C	c	830	489	830	452	913	452	913	489	814	489	814	452	903	452	903	489	800	489	800	454	889
28	303	332	A	C	m	468	345	467	353	467	362	467	371	467	382	466	393	466	404	465	417	465	430	464	443	464
29	301	333	A	C	m	472	343	472	349	472	356	472	364	471	373	471	382	471	393	471	404	470	415	470	427	469

34

4. 建立分析平台 -交通號誌同步

• 交通號誌同步

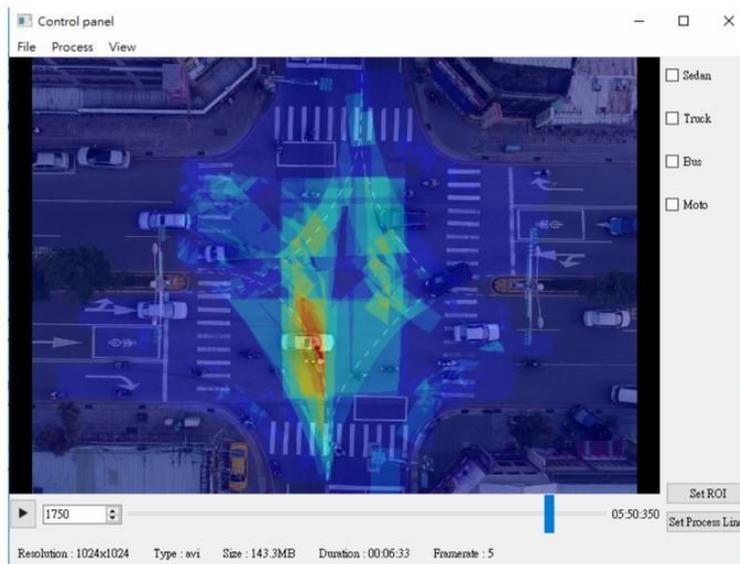
- 可在事後針對各出入口，以frame為單位設置號誌變化週期表，並透過人工對齊時間差，達到交通號誌變化與影片時間同步之目的



35

4. 建立分析平台 -分析平台界面

• 分析平台界面



36

5. 結論與建議 - 研究成果

• 主要貢獻

- 透過UAV、影像處理與深度學習等跨領域合作，自動對車輛進行偵測、追蹤、分類，並建立軌跡資料庫供後續交通分析所需
- 從影像處理觀點自動估測TTC與PET。相較過去以衝突點來評估衝突位置的方式，可取得更豐富的衝突面資訊，以呈現更精細的風險分布樣貌
- 完成一分析平台雛形，將技術落實於實際應用

37

5. 結論與建議 - 目前技術限制

• 目前技術限制

- 過小的物件難以偵測追蹤，如行人、自行車、甚至機車
- 部分車種缺乏足夠訓練樣本，如自行車、聯結車、甚至貨車與巴士

		偵測方法	分類方法	追蹤方法
行人		面積太小不適用於深度學習與特徵點追蹤		
自行車		影片中相關樣本過少，難以進行訓練與實驗		
機車		特徵點(角點)偵測	進出口之完整特徵點追蹤軌跡，直接分類為機車	光流法, 單點追蹤
小型車	小客車	Mask RCNN +矩形擬合	Mask RCNN +投票機制	光流法, 透過轉換矩陣取得新的矩形位置
	貨車			
大型車	巴士			
聯結車		影片中相關樣本過少，難以進行訓練與實驗		

38

5. 結論與建議 -建議分析平台後續可發展之功能(1/2)

- 本平台工具已經具備分析事故風險的基本功能，建議後續工作如下：
 - 增加事故風險偵測的功能及結果輸出
 - 運用車流軌跡及交通衝突資料，進行二次分析，計算各衝突事件之相關資訊。
 - 輸出各衝突事件之特性、衝突類型、以及衝突車輛之車流特性，以利研究人員進行詳細的分析。
 - 考慮輸出其他更多的替代指標。
 - 產生衝突事件之概要，比較及檢定不同影片中的交通事故風險是否存在差異。

39

5. 結論與建議 -建議分析平台後續可發展之功能(2/2)

- 增加交通車流分析的功能及結果輸出
 - 車流軌跡及號誌燈號資料，進行二次分析，計算車輛通過路口之車流特性，如通過量、速度分佈等，作為速度管理、路口績效評估、號誌設計之參考，例如探討車輛通過停止線時的速度是否受號誌之燈號變換所影響。
- 工具之精進及應用
 - 考慮更多的情景，如路段、圓環、非號誌化路口等。
 - 進行改善設計的「事前與事後分析」，評估交通工程設計改善方案的成效。
 - 未來可以進行更大規模之驗證分析，比較多個路口的交通衝突次數以及交通事故資料，分析其相關性及影響因素。

40