

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

以軌跡資料探討非號誌化路口之車流特性與行為分析
Exploring Traffic Characteristics and Behaviors Analysis
at Unsignalized Intersections Using Trajectory Data

研究生：陳濬得（Chen, Jun-De）
指導教授：黃家耀（Wong, Ka Io）

中華民國一一二年八月
August 2023

以軌跡資料探討非號誌化路口之車流特性與行為分析
Exploring Traffic Characteristics and Behaviors Analysis
at Unsignalized Intersections Using Trajectory Data

研 究 生：陳濬得
指導教授：黃家耀 博士

Student：Jun-De Chen
Advisor：Dr. Ka Io Wong

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management
College of Management
National Yang Ming Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Traffic and Transportation

August 2023

Taiwan, Republic of China

中華民國一一二年八月

誌謝

時光飛逝，來到風城新竹也即將滿六年了，回首這兩年研究所時光過的非常快又很充實，除了論文以外還參與許多計畫案，首先感謝我的指導教授黃家耀老師，受到老師平常的指導，包括各種做計畫案的過程及每週的論文 meeting，以及各種研究經費的協助與考取無人機證照，我才能順利的完成這篇論文。也謝謝我的口試委員曾平毅老師和陳彥佑老師，在口試時給我許多寶貴的建議，提升論文的內容品質。另外感謝交通部運輸研究所，本研究所使用之無人機空拍影片資料來源為交通部運輸研究所 110-112 年「無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試」之計畫研究成果。

除了指導教授外，也要謝謝閻姿慧老師在我大四時指導我和昱廷的畢專，並指導我們如何申請研究所；謝謝張宗勝老師、黃寬丞老師和黃明居老師有空時會來和我們一起打羽球；謝謝陳彥佑老師、吳宗修老師、黃明居老師、姚銘忠老師和水敬心老師在我論文撰寫過程中給了很多建議，以利我精進修正論文內容與方向。

謝謝 KILab 的學長姊們，在剛進研究所時有廖博晉毅不管問他什麼問題都會幫助我，群凱、佳欣、宜芳在畢業前跟我們聊如何面對寫論文的這段時間及許多未來工作相關的發展。謝謝同實驗室的惟心和昇燁，在碩班兩年的生活中，一起修課、做計畫案、出差空拍、寫論文，在遠通案的出差中還有耿瑞，因為你們讓我的研究所生活變得很充實有趣。也謝謝學弟妹品峰、佳萱、彥蓁、毓芬、品翰、春龍，一起參與老師的計畫案，還有一起出差執行許多無人機空拍，在我們趕論文的時候幫了許多計畫案上的忙，讓我、惟心和昇燁可以專心的寫論文，並時常跟我們分享食物，甚至畢業時還送給我們一人一束花，你們很用心耶。

另外還有許多不同實驗室的同學，因為有你們讓我的大學與碩班生活除了課業與論文以外還有許多有趣的事情發生。大學就認識的好朋友，欣辰、惟心、乙宙、丞翊、廷杰、昱廷、悠綺，我們一起修課、一起到很多地方玩耍；研究所認識熟悉了更多人，吏辰、信豪、佳諭、家佑、立慧、雅珮、瑄汝、周昱、梓翔、VERI、浩賢，大家時常聚在 KCLab 一起吃飯、玩桌遊、聊天、分享零食點心，還有每週一的打羽球環節，一起參加羽球比賽，一起去合歡山看星星、看日出、畢旅，還有那數不清一起趕論文的夜晚，因為有你們，我的碩班生活除了論文以外，還認識了一群好朋友，豐富了我的生活。

最後謝謝我的爸媽和兩位姊姊，是你們提供我遮風避雨的家，在我需要協助時提供必要的幫忙；另外也謝謝凰璇，在我最後衝刺論文的時候陪我講話談心，讓我順利撐過完成論文的最後一段時光。

陳濬得 謹誌

2023 年 8 月 23 日

於陽明交通大學綜合一館運管系 KILab

以軌跡資料探討非號誌化路口之車流特性與行為分析

學生：陳濬得

指導教授：黃家耀

國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

國內非號誌化路口於交通路網中佔有重要的地位，由於缺乏號誌管制以及車流行為的複雜性，導致非號誌化路口具有安全與效率的問題。根據交通部統計數據顯示，民國 111 年發生將近 37.6 萬件交通事故，其中有近 21.3 萬件事務發生於交叉路口，而在交叉路口事故中有 47% 的事故發生於非號誌化路口，彰顯了非號誌化路口在交通安全的問題上是值得被關注的議題。然而過去關於非號誌化路口的研究較少，其中一個可能原因是非號誌化路口的車流行為複雜、車流特性蒐集困難，不容易進行量化供後續分析。

近年來，隨著無人機快速發展和影像辨識與追蹤技術的提升，越來越多研究運用無人機影像蒐集的車流軌跡資料，並運用在車流特性及行為分析。相較於傳統車流資料收集方法，軌跡資料不僅提供時間維度的車流特性，還能夠呈現空間維度的資訊，進一步探討道路上不同位置車流特性之變化等。因此，為能充分量化非號誌化之車流特性，本研究運用無人機針對非號誌化路口蒐集的車流軌跡資料，深入探討其車流特性與車流行為能產生之項目。車流軌跡資料具有高保真度，可透過程式產生每個時間之位置、車速、加速度、軌跡動線等車流特性，並進一步加入設定計算超速行駛、跨越雙黃線、急減速、兩車衝突等具風險之駕駛或違規之不安全行為。

本研究以一個劃分幹支線道和一個未劃分幹支線道之非號誌化路口進行實測，探討能產製之車流特性及車流行為項目之方式。結果顯示，劃分幹支線道路口的幹線道機車與汽車之平均車速分別為 7.7 ~ 9.3 m/s 與 6.4 ~ 6.9 m/s、支線道平均車速則因為樣本數較少無法估算，未劃分幹支線道路口的機車與汽車之平均車速則分別為 4.3 ~ 6.8 m/s 與 2.9 ~ 5.5 m/s，機車平均車速普遍較汽車平均車速還大。另外，依照路口進入方向的路權分成幹線道、支線道及未劃分幹支線道三類管制措施，探討車輛涉及 6 項不安全行為之比例，分析結果顯示在三類管制措施中涉入未慢速通過路口的車輛比例皆為各自的前兩名之一，且三類管制措施下涉入至少一項不安全行為的車輛比例皆達七成以上，顯示非號誌化路口有較嚴重的安全隱憂。本研究之結果對交通工程和交通安全管理之車流資料收集及分析提供有價值的參考，同時填補國內於運用軌跡資料探討非號誌化路口車流特性與車流行為方面的研究缺口。

關鍵字：無人機、車流軌跡資料、非號誌化路口、車流特性、停讓行為、交通衝突

Exploring Traffic Characteristics and Behaviors Analysis at Unsignalized Intersections Using Trajectory Data

Student: Jun-De Chen

Advisor: Ka Io Wong

Department of Transportation and Logistics Management

National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

Unsignalized intersections play a significant role in the domestic transportation network. Due to the absence of traffic signal control and the complexity of traffic flow, these intersections encounter issues related to safety and efficiency. According to statistics from the Ministry of Transportation, in the year 2022, nearly 376,000 traffic accidents occurred in Taiwan, with approximately 213,000 of these incidents transpiring at intersections. Within intersection-related accidents, 47% took place at unsignalized intersections, underscoring the noteworthy safety concerns associated with these intersections. Nonetheless, there has been limited research on unsignalized intersections, potentially stemming from the complexity of traffic flow and the challenges in collecting traffic characteristics data, making quantitative analysis difficult for subsequent studies.

In recent years, with the rapid advancement of unmanned aerial vehicles (UAVs) and the improvement of image recognition and tracking technologies, an increasing number of studies have utilized UAV-captured traffic trajectory data for analyzing traffic characteristics and behaviors. In comparison to traditional methods of collecting traffic data, trajectory data not only offer temporal insights into traffic patterns but also provide spatial information, allowing for a more comprehensive exploration of variations in traffic characteristics at different locations on the road. Therefore, in order to quantitatively assess the traffic characteristics of unsignalized intersections, this research uses traffic trajectory data collected by UAVs and thoroughly investigate the resultant traffic patterns and behaviors. The trajectory data, with its high fidelity, allows for the generation of various traffic characteristics for each time frame, including position, speed, acceleration, and vehicle trajectory paths. Additionally, risk-related and unsafe driving behaviors, such as speeding, crossing double yellow lines, abrupt deceleration, and two-vehicle conflicts, can be computed based on set criteria.

This study conducted exploration at both an unsignalized intersection featuring a separation between the main and side roads, and an unsignalized intersection where the main and side roads are not separated, to explore the generation of traffic characteristics and behaviors. The results demonstrate that at the unsignalized intersection featuring a separation between the main and side roads, the average speeds for motorcycles and cars on the main road were in the ranges of 7.7 to 9.3 m/s and 6.4 to 6.9 m/s, respectively, while the average speeds on the side road could not be estimated due to limited sample size. At the unsignalized intersection where the main and side roads are not separated, the average speeds for motorcycles and cars were in the ranges of 4.3 to 6.8 m/s and 2.9 to 5.5 m/s, respectively, with motorcycles generally exhibiting higher speeds. Furthermore, based on the right-of-way of the intersection entry direction, the roads were categorized into main road, side road, and undivided main and side road. The proportions of vehicles involved in six unsafe behaviors were investigated. The results revealed that among these three categories, the proportion of vehicles involved in not slowing down while passing through the intersection ranked among the top two in each category. Additionally, the proportion of vehicles involved in at least one unsafe behavior exceeded 70% in all three categories, highlighting the significant safety concerns at unsignalized intersections.

The outcomes of this research provide valuable insights for traffic data collection and analysis in the fields of traffic engineering and traffic safety management. Furthermore, it addresses a research gap in the domestic context regarding the investigation of traffic characteristics and behaviors at unsignalized intersections using trajectory data.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Vehicle Trajectory Data, Unsignalized Intersection, Traffic Characteristics, Behaviors of Stopping and Yielding, Traffic Conflict

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iv
圖目錄	vi
表目錄	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍.....	3
1.4 研究流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 微觀車流軌跡資料.....	6
2.1.1 軌跡資料來源.....	6
2.1.2 軌跡資料的分析與應用.....	8
2.2 非號誌化路口的相關研究.....	9
2.2.1 非號誌化路口的車流特性及行為.....	9
2.2.2 非號誌化路口安全相關之分析方法與指標.....	10
2.3 安全中介指標與 SSAM 分析方法.....	12
2.4 小結.....	14
第三章 研究方法.....	15
3.1 軌跡資料來源與處理.....	15
3.1.1 資料來源.....	15
3.1.2 資料格式.....	15
3.1.3 資料預處理方法.....	16
3.1.4 車流軌跡資料內容.....	17
3.2 車流特性.....	18
3.3 車流行為.....	20
3.3.1 分析前置作業.....	20
3.3.2 空間速度變化.....	21
3.3.3 超速行駛.....	22
3.3.4 跨越雙黃線.....	23
3.3.5 急減速.....	23
3.3.6 衝突行為.....	24
3.4 小結.....	27
第四章 研究結果.....	28
4.1 資料選取及軌跡資料處理.....	28

4.1.1	路口挑選.....	28
4.1.2	軌跡資料預處理.....	30
4.2	非號誌化路口之車流特性分析.....	32
4.2.1	流量與流率.....	32
4.2.2	速度.....	36
4.2.3	加速度.....	41
4.2.4	跟車時距.....	42
4.3	非號誌化路口之車流行為分析.....	47
4.3.1	空間速度變化.....	47
4.3.2	超速行駛.....	55
4.3.3	跨越雙黃線.....	56
4.3.4	急減速行為與加速度變化.....	58
4.3.5	兩車衝突.....	61
4.4	車輛不安全行為比較.....	64
4.5	停止線設置位置探討.....	70
4.6	小結.....	73
第五章	結論與建議.....	74
5.1	結論.....	74
5.2	後續研究之建議.....	75
參考文獻		77

圖目錄

圖 1.1 涉入交叉路口事故之人數圖.....	2
圖 1.2 涉入交叉路口事故之死亡人數圖.....	2
圖 1.3 研究流程圖.....	5
圖 2.1 路口正攝空拍示意圖.....	7
圖 2.2 無人機影像處理流程.....	7
圖 2.3 Hydén 安全階層金字塔.....	12
圖 2.4 SSAM 採用之中介指標計算定義.....	13
圖 3.1 運用軌跡資料呈現多種關係圖之轉換過程.....	17
圖 3.2 車輛軌跡示意圖.....	18
圖 3.3 單一車輛之速度與加速度時間關係圖.....	19
圖 3.4 跟車時距計算方法示意圖.....	20
圖 3.5 運用小畫家取得參考物件之座標位置（停止線為例）.....	21
圖 3.6 速度位置關係（V-X）示意圖.....	22
圖 3.7 加速度位置關係（A-X）示意圖.....	24
圖 3.8 路口衝突分類型態示意圖.....	25
圖 3.9 後侵占時間計算方法示意圖.....	26
圖 4.1 台中市大里區成功二路光明路口（路口 1）之空拍底圖.....	29
圖 4.2 台中市大甲區鎮政路蔣公路口（路口 2）之空拍底圖.....	29
圖 4.3 速度與加速度平滑前與平滑後之比較圖.....	31
圖 4.4 以停止線為基準之位置示意圖.....	32
圖 4.5 路口 1 之軌跡圖（左圖為機車、右圖為小型車）.....	33
圖 4.6 路口 2 之軌跡圖（左圖為機車、右圖為小型車）.....	34
圖 4.7 路口 1 之流率變化圖（每分鐘一筆資料）.....	35
圖 4.8 路口 2 之流率變化圖（每分鐘一筆資料）.....	36
圖 4.9 兩車之速度時間關係圖（V-T 圖）.....	37
圖 4.10 路口 1 通過路口之速度分布.....	38
圖 4.11 路口 2 通過路口之速度分布.....	38
圖 4.12 路口 1 之空間車速分布圖（速度單位：m/s）.....	39
圖 4.13 路口 2 之空間車速分布圖（速度單位：m/s）.....	40
圖 4.14 路口 1 之空間加速度分布圖（速度單位：m/s ² ）.....	41
圖 4.15 路口 2 之空間加速度分布圖（速度單位：m/s ² ）.....	42
圖 4.16 路口 1 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距分佈圖.....	43
圖 4.17 路口 2 之 A、C 方向不同前後車組合之跟車時距分佈圖.....	44
圖 4.18 路口 2 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距分佈圖.....	44
圖 4.19 路口 1 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距與速度分佈圖.....	45
圖 4.20 路口 2 之 A、C 方向不同前後車組合之跟車時距與速度分佈圖.....	45

圖 4.21 路口 2 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距與速度分佈圖	46
圖 4.22 路口 1 之 B、D 方向直行車速度位置關係圖	47
圖 4.23 路口 2 之 A、C 方向直行車速度位置關係圖	48
圖 4.24 路口 1 之 B 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖	49
圖 4.25 路口 1 之 D 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖	49
圖 4.26 路口 2 之 A 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖	50
圖 4.27 路口 2 之 C 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖	51
圖 4.28 車輛之速度位置關係圖 (V-X 圖) 與 $\bar{v}_i$ 數值之關係	52
圖 4.29 路口 1 之 B、D 方向直行車 $\bar{v}_i$ 與 $\bar{v}_i$ 關係圖	53
圖 4.30 路口 2 之 A、C 方向直行車 $\bar{v}_i$ 與 $\bar{v}_i$ 關係圖	54
圖 4.31 路口 1 之超速熱區圖	56
圖 4.32 路口 2 之超速熱區圖	56
圖 4.33 路口 1 之跨越雙黃線車輛軌跡圖	57
圖 4.34 路口 2 之跨越雙黃線車輛軌跡圖	58
圖 4.35 路口 1 之急減速熱區圖	59
圖 4.36 路口 2 之急減速熱區圖	59
圖 4.37 路口 1 之 B 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)	60
圖 4.38 路口 1 之 D 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)	60
圖 4.39 路口 2 之 A 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)	61
圖 4.40 路口 2 之 C 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)	61
圖 4.41 路口 1 之 B 方向檢查追尾衝突影片截圖	64
圖 4.42 路口 1 與路口 2 的真實停止線與虛擬停止線位置示意圖	71
圖 4.43 路口 1 的實際停止線與虛擬停止線橫截面之速率分佈圖	71
圖 4.44 路口 2 的實際停止線與虛擬停止線橫截面之速率分佈圖	72

表目錄

表 3.1 軌跡資料表.....	16
表 4.1 台中市大里區成功二路光明路口之資訊.....	30
表 4.2 台中市大甲區鎮政路蔣公路口之資訊.....	30
表 4.3 路口 1 各轉向車種之流量統計表.....	33
表 4.4 路口 2 各轉向車種之流量統計表.....	34
表 4.5 直行車通過路口之平均速度比較表.....	39
表 4.6 路口不同方向不同前後車組合之最低跟車時距組合.....	46
表 4.7 路口 1 車輛通過停止線時速率敘述統計表（單位：m/s）.....	49
表 4.8 路口 1 車輛通過停止線時超過特定速度之比例.....	50
表 4.9 路口 2 車輛通過停止線時速率敘述統計表（單位：m/s）.....	51
表 4.10 路口 2 車輛通過停止線時超過特定速度之比例.....	51
表 4.11 路口 1 與路口 2 未充分減速或未慢速之車輛比例.....	55
表 4.12 路口 1 之衝突計算結果（依照衝突類型劃分）.....	63
表 4.13 路口 2 之衝突計算結果（依照衝突類型劃分）.....	63
表 4.14 不安全行為之判斷方式列表.....	66
表 4.15 路口 1 幹線道各項不安全行為之數量.....	67
表 4.16 路口 1 支線道各項不安全行為之數量.....	68
表 4.17 路口 2 各項不安全行為之數量.....	69
表 4.18 車輛通過真實停止線與虛擬停止線之速度比較表（單位：m/s）.....	72

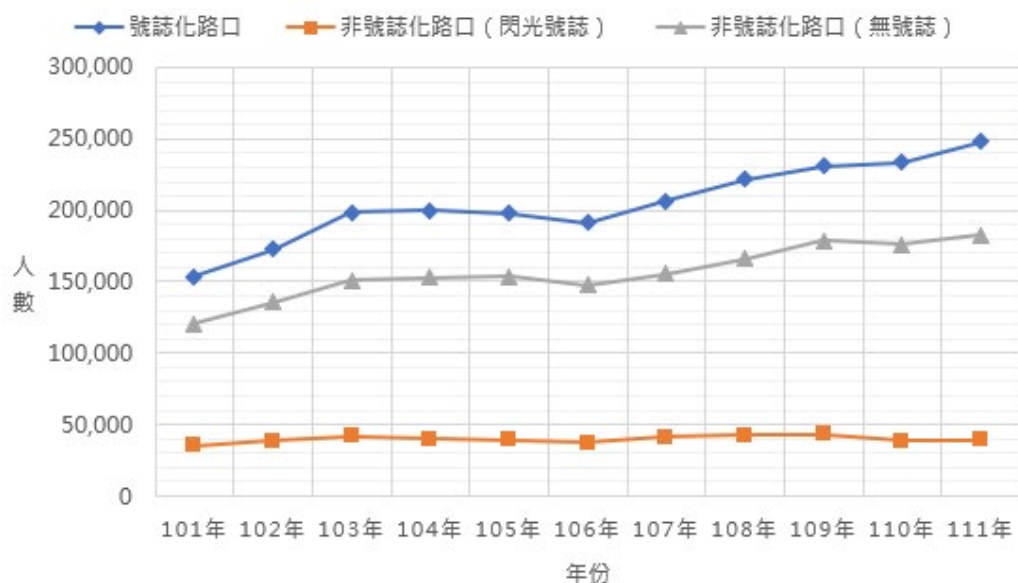
第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

臺灣的非號誌化路口主要的管制方法種類包含：閃光號誌、停讓慢標誌、標線、速限等方式。然而國內為混合車流環境、普遍車速不低、部分交通規則有疑慮、駕駛行為習慣與交通規則存在差異，加上因為非號誌化路口缺乏號誌管制將不同的來向車流分開，駕駛人如果沒有確實遵守規定，容易產生衝突甚至發生事故，導致非號誌化路口的效率與安全問題。

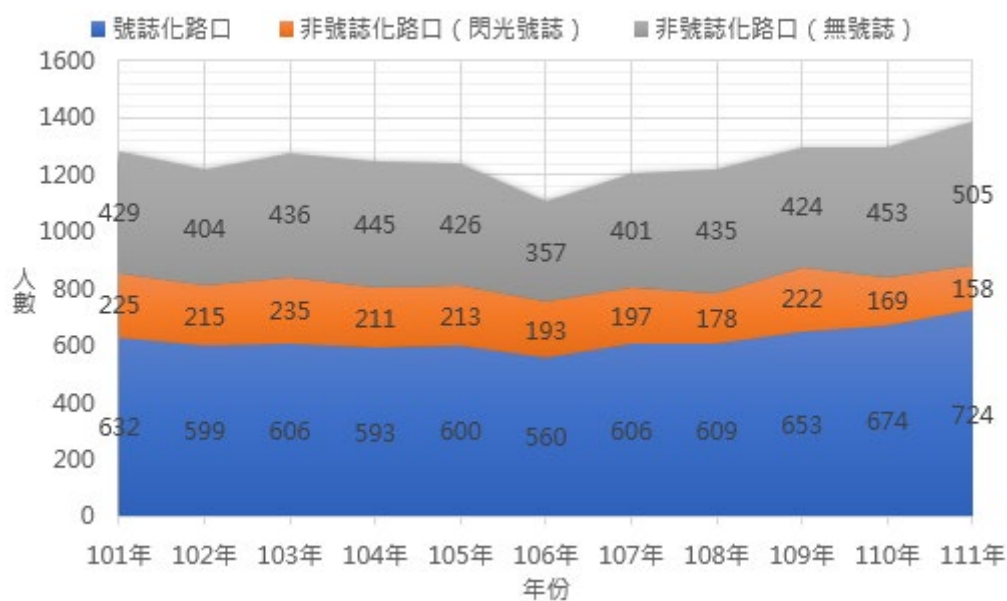
根據交通部道安資訊平台，民國 111 年發生將近 37.6 萬件交通事故，其中有近 21.3 萬件事故發生於交叉路口，約佔所有事故的 56.6%。在所有的交叉路口事故之中，有約 8.3 萬件事故發生於無號誌路口、約 1.8 萬件事故發生於閃光號誌路口，因此發生於非號誌化路口事故數比例超過 47%。另外從人數統計發現，過去 10 年內涉入交叉路口事故之人數呈現上升趨勢，由民國 101 年的三十多萬人成長至 111 年的四十七萬人，如圖 1.1 所示；從死亡人數來看，在交叉路口的事故中，發生於無號誌路口事故的死亡人數已經接近發生於號誌路口事故之死亡人數，如果將閃光號誌路口併入無號誌路口計算，數量更是超越號誌路口的死亡人數，如圖 1.2 所示。非號誌化路口的特性包含車流量相對較低，但死傷人數卻不低、接近甚至超越號誌化路口的事故死傷人數。因此無論從事故件數或死亡人數來看，非號誌化路口是值得被關注的議題。

除了件數與人數之外，肇因也是影響路口安全的重要因素。經查詢交通部道安資訊平台，民國 107 至 111 年發生於非號誌化路口的前三大肇因皆分別為未依規定讓車、未注意車前狀況、左轉彎未依規定，其比例分別佔 46.2%、13.8%、7.9%；許添本等人(2020)提到非號誌化路口的肇事主因包含：路口視距不足、行車速度較快、交叉口路權不明確、主線與支線路幅差距大、無足夠左轉待轉空間、照明不足等六項，表示影響非號誌化路口事故之肇因與車輛之停讓行為及路口設計有關。然而要分析非號誌化路口的安全，必須要對於非號誌化路口的車流特性與車流行為有一定程度的了解，顯示了車流特性與車流行為的重要性。



資料來源：交通部道安資訊平台

圖 1.1 涉入交叉路口事故之人數圖



資料來源：交通部道安資訊平台

圖 1.2 涉入交叉路口事故之死亡人數圖

非號誌化路口的車流特性與車流行為是重要議題，然而相關研究並不多，國內的本土研究更是相當缺乏，可能原因之一為非號誌化路口之車流量低但車流行為複雜，不容易透過現場資料蒐集探討其車流特性及行為並進行量化分析。近年來，因為科技的革新，無人機以及影像辨識技術出現重大突破，延伸許多創新的應用；透過於無人機上搭載鏡頭，可於路口上方懸停並垂直拍攝路口而取得空拍

影像，並透過影像分析技術，蒐集車輛於畫面中的移動軌跡資訊。有別於過去現場調查資料以蒐集車流量、點車速，軌跡資料所包含的微觀車流資訊提供了連續型態之資料，增加了進一步探討非號誌化路口車流特性及行為的可能性。因此本研究將利用無人機對非號誌化路口進行拍攝而蒐集到之軌跡資料，針對臺灣非號誌化路口的車流特性與車流行為進行探討。

1.2 研究目的

過去受限於資料蒐集的限制，本研究欲透過運用無人機進行非號誌化路口空拍所蒐集的軌跡資料進行關於非號誌化路口的研究，並達成以下三項研究目的。

1. 探索軌跡資料的可用性

本研究運用透過無人空拍機作為拍攝來源的軌跡資料，整理並歸納軌跡資料中可以得到的資訊，探索軌跡資料可能的應用情境與應用範圍，並比較與過去傳統資料收集方式之差異。

2. 分析非號誌化路口的車流特性

本研究使用軌跡資料進行車流特性分析。軌跡資料具有車輛的詳細資訊，包含時間尺度與位置尺度之資訊，將這些資訊依照車流特性各項目之定義，經由資料計算並整理出非號誌化路口的車流特性，了解國內汽機車混合車流情況下的非號誌化路口的車流運作情形。

3. 探討非號誌化路口的車流行為

非號誌化路口雖然設有標誌標線和速限等相關管制規則，但由於用路人對這些規則的認知和遵守度不盡相同，因此在實際情況中往往存在著理想情況與實際情況之間的差異。這可能是由於用路人對規則的理解不足、個人行為差異、或是其他因素導致的。因此本研究針對非號誌化路口進行車流行為的分析，運用安全中介指標(surrogate safety measures, SSM)之概念為核心，並透過利用衝突指標與非衝突指標等方式探討車流行為。

1.3 研究範圍

本研究所使用的非號誌化路口資料來自交通部運輸研究所計畫案「以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試」之公開資料 (溫基信等人, 2023)，該計畫提供路口的空拍影片及影像辨識之車流軌跡資料。其產生方式為使用無人機針對路口進行拍攝，將蒐集到的影像透過 AI 影像辨識及追蹤，取得車輛軌跡

資料。為了探討非號誌化路口的特性，於公開資料中挑選兩個不同類型之非號誌化路口的資料運用於本研究分析，分別是一個劃分幹線支線道路口與一個未劃分幹線支線道的非號誌化路口。

1.4 研究流程

本研究之研究流程如圖 1.3，主要流程分別說明如下：

1. 研究動機與目的

了解過去關於非號誌化路口研究的發展過程及研究未涵蓋之處，建立清楚的研究動機及研究目的。

2. 文獻回顧

因應本研究的研究目的，將文獻回顧主要分成三部分說明：（1）軌跡資料的來源，及軌跡資料的分析與應用情境；（2）過去非號化路口的相關研究，包含車流特性、車流行為、安全分析的方法與指標；（3）整理與安全有關的中介指標。

3. 軌跡資料前處理

將研究所需的軌跡資料進行資料前處理，以提供方便的資料格式供後續進行分析研究使用。

4. 分析車流特性

運用軌跡資料，進行非號誌化路口的車流特性分析。

5. 探討車流行為與安全性

運用軌跡資料針對發生於非號誌化路口的車流行為進行觀察及分析，並搭配真實道路幾何與過去歷史事故資料，探討車輛行經非號誌化路口的行為與對安全的影響。

6. 結論與建議

將依據本研究的結果進行總結提出結論，並針對不足之處研擬可供後續研究參考的相關建議。

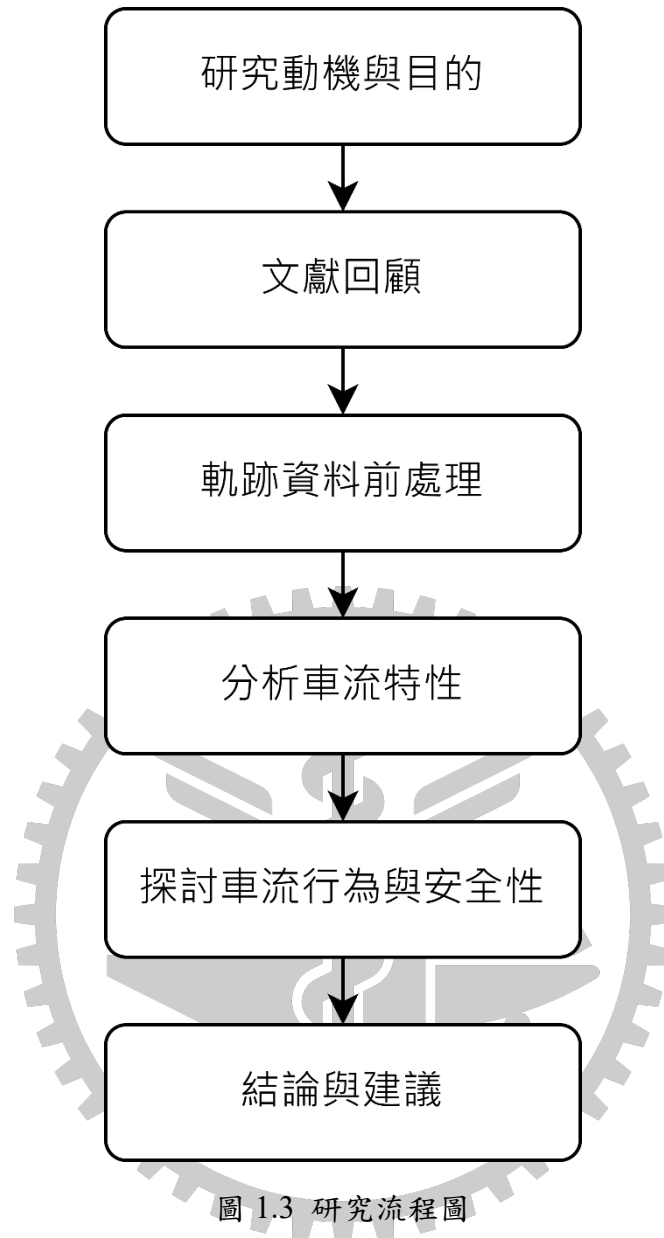


圖 1.3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

為了了解非號誌化路口的性質，以及車流資料的蒐集方式，本章文獻回顧將分成三個主題，第一部分則是針對車流資料蒐集方法及資料處理的研究進行整理，第二部份針對過去有關非號誌化路口的研究進行回顧，第三部分針對取代真實事故資料的中介指標進行歸納。

2.1 微觀車流軌跡資料

進行車流相關研究，必須擁有車流相關資料，得以繼續進行車流特性及行為分析。以下將會分成兩部分進行說明，依照順序分別為：軌跡資料來源、軌跡資料的分析及應用。

2.1.1 軌跡資料來源

收集軌跡資料的方法有許多種，Li et al. (2020)整理過去 15 年關於運用軌跡資料進行的車流研究，這些研究所使用之軌跡資料的收集方式主要包含以下幾類：(1)利用具有 GPS 設備的探針車(probe vehicle)在道路上行駛，並持續回傳車輛的狀態資訊(車速、經緯度、移動方向等)至資料中心。(2)透過在路側安裝攝影機拍攝車流影像。(3)將高畫素的相機安裝在高樓、直升機、無人機，以收集鳥瞰影像。

近年來隨著無人機的技術革新，選擇無人機技術應用於交通管理與分析已成為趨勢(Butilă and Boboc, 2022)，其中一些研究選擇利用無人機搭載鏡頭進行車流軌跡資料收集。Coifman et al. (2006)利用無人飛行載具(UAVs, Unmanned aerial vehicles)並裝上兩顆鏡頭，以 150 公尺高度及 50 km/h 空中飛行速率於長 2.2 公里、寬 2 公里的範圍進行拍攝。並以蒐集回來的資料嘗試衡量服務水準(LOS)、估計平均年度每日交通量(AADT)、檢視路口運作情形、衡量起訖流量(OD flow)、衡量停車場的使用率。黃家耀等人(2014)以無人多軸飛行器，針對臺北三個路段累積六小時的車流資料蒐集，每架次拍攝大約 15 分鐘、拍攝範圍大約 200 公尺，以進行機車與汽車的混合車流情境分析。溫基信等人(2022)運用無人多旋翼機針對臺灣的交叉路口進行拍攝，將無人機懸停於 120 公尺高度並於路口正上方定點垂直正攝，畫面的長邊約為 155 公尺、寬約 88 公尺，拍攝畫面示意圖如圖 2.1 所示，每架次拍攝時長依照無人機電池容量及當天天氣影響而有所不同，每架次可拍攝介於 15 至 25 分鐘不等。



資料來源：溫基信等人 (2023)

圖 2.1 路口正攝空拍示意圖

然而透過路側攝影機或空拍機收集影像，並無法直接取得軌跡資料，需要針對影像畫面進一步處理才能得到車流軌跡資料。本研究所使用之軌跡資料，其取得軌跡資料的方法為參考蘇志文等人(2020)運用 ECC (Enhanced Correlation Coefficient) 影像對齊技術將影像穩態，搭配 Mask R-CNN 深度學習架構進行四輪車輛偵測及 YOLOv3 進行行人與兩輪車輛偵測，再透過特徵點與 SORT 演算法將車輛進行追蹤，得到車輛的軌跡，如圖 2.2 所示。溫基信等人(2022)採用 YOLOv4 進行影像辨識以取代過去使用的 YOLOv3 架構，其具有分析速度較快且較高準確性的優點，並降低系統運行的硬體門檻。



資料來源：蘇志文等人 (2020)

圖 2.2 無人機影像處理流程

除了研究者自行收集的軌跡資料，目前有幾個公開的軌跡資料庫供研究者使用，常見的包含美國的 NGSIM (US Department of Transportation, 2008)、德國為

了高速公路建立的 highD (Krajewski et al., 2018) 資料庫與為了路口建立的 inD (Bock et al., 2020) 資料庫，裡面有非常多的軌跡資料可供研究使用，其中 highD 與 inD 的軌跡資料都是運用無人機收集的影像經由影像辨識而得。

2.1.2 軌跡資料的分析與應用

軌跡資料為連續型的資料，其提供車輛隨時間變化之位置資訊。特別是藉由無人機拍攝而取得之軌跡資料，因為無人機位於離地一段高度進行拍攝，相比於傳統於路側藉由人工收集的資料，可以提供更大範圍、更精確之資料，不易受到障礙物影響。且因軌跡資料可以被用於多種分析目的，收集一次軌跡資料即可依照不同的研究需求被重複使用。Li et al. (2020) 將過去利用軌跡資料所做的車流研究做統整，強調軌跡資料對於車流相關研究的重要性，並整理微觀、中觀及巨觀層級的車流模型演進及現象發現，以及討論未來可以利用軌跡資料研究的可能方向。

有一些研究為使用公開之軌跡資料庫，針對特定議題運用軌跡資料進行資料分析。Zhao and Sartipi (2022) 使用了 inD 資料庫中的公共運輸車輛軌跡，藉由其發展的演算法自動辨識於號誌路口中具有異常軌跡的車輛，可以為交通安全分析提供有效的數據。Yang and Chung (2012) 運用了 NGSIM 公開資料庫中的路口資料，分析排隊等待紅燈車輛駕駛人在號誌轉成綠燈時的反應時間長度，其結果可以精進車流微觀模擬時所需使用之校估參數。Hou and Mahmassani (2014) 也運用 NGSIM 資料庫中的資料，分析與驗證車輛旅行時間的變異性與車輛因壅塞而產生停止時間之關係，其結果顯示車輛旅行時間的變異性與停止時間呈現正相關。國內的部分像是溫基信等人(2022、2023)運用路口拍攝之軌跡資料，建立一交通衝突分析平台，運用交通衝突分析軟體分析在各種不同情境下，評估路口的安全性，情境應用包含機會左轉、穿越衝突、右轉衝突、非號誌化路口停讓衝突等。高群凱(2022)運用台灣的號誌路口的軌跡資料，提出新的軌跡預測指標以改善過去傳統衝突指標的不準確性，較精準衡量機會左轉衝突事件的嚴重程度。林祐慈(2022)則是利用台灣的路口軌跡資料，根據極值理論 POT 方法探討左轉車與對向直行車的 PET 門檻值，受到不同的行駛方向及車種組合影響其門檻值為介於 1.8-2.5 秒之間。李紹輔(2022)同樣是利用台灣路口軌跡資料，運用極值理論探討追尾衝突的 TTC 門檻值，得到之結果包含不分車種的門檻值為 1.1 秒、不同的車種配對組合值為介於 0.7-1.6 秒之間。蘇逸軒(2023)運用無人機於非號誌化路口的空拍軌跡資料篩到 508 個樣本，並透過佔有時間法針對台灣的非號誌化路口的接受間距進行估計，得到的臨界間距結果為 5.005 秒。

另外有一些研究則是透過自行收集軌跡資料並進行後續分析，例如 Khan et al. (2018) 運用空拍機於比利時境內的一個號誌化路口進行資料收集，將影片收集

後進行車流軌跡資料萃取，並運用軌跡資料得到因號誌而產生之衝擊波資訊並收集其交通參數。Kim et al. (2018)指出因為軌跡資料包含車輛的隨著時間變化的路線資料，因此可以協助估算起訖點流量。Wen et al. (2021)針對中國武漢之非號誌化路口分別蒐集設立停止標誌前與設定停止標誌後的軌跡資料，結果發現在設立停止標誌後大約三分之二的車輛在通過路口時會有顯著的減速行為，表示停止標誌對於駕駛人的駕駛行為是有影響的。黃家耀等人(2014)利用自行蒐集臺北市路段之軌跡資料，分析都市中汽車與機車的混合車流行為模式，並嘗試建構與驗證模型。

2.2 非號誌化路口的相關研究

本節將會回顧關於非號誌化路口的文獻，以下會根據非號誌化路口的車流特性及行為、安全相關之分析方法、安全相關之分析指標等三部分討論。

2.2.1 非號誌化路口的車流特性及行為

非號誌化路口並未設有號誌系統將各個衝突方向之車流以不同時間帶的方法區隔，依照非號誌化路口的型態不同，通常僅搭配標誌及標線以達成警示通過車輛前有路口須注意，部分路口甚至沒有設置標誌及標線提醒駕駛人；加上因為無設置號誌，駕駛人是否遵循標誌及標線之規定通過路口也是重要的議題。

早期台灣本土化非號誌化路口之相關研究，郭正成(1982)蒐集台北非號誌化路口資料，針對支線道的機車進入或通過幹線道之接受間距分配及影響進行探討，研究結果發現幹線道中夾雜的機車數量越多，對於支線道的機車接受間距影響是顯著的，但是駕駛人的半間距(Lag)及間距(Gap)並沒有顯著差異。蔡義清(1994)針對非號誌化路口分析方法進行探討，並提出目前的非號誌化路口容量分析方法的隱含假設所存在之問題，包含行車優先權、幹道間距分配、接受間距、服務水準指標選取等四項，其分析方法的假設與實際車流特性並不相符，進而提出四項建議：建立新容量推估模式、重訂服務水準評估指標、調整容量與服務水準分析程序。林良泰、李岳衡(1998)利用統計檢定探討非號誌化路口的臨界間距是否會受到幹道車輛所在位置影響，其研究結果為接受間距並不受到車輛位置影響，但拒絕間距則會受到車輛所在位置影響；另外該研究所調查的臨界間距值與臺灣公路容量手冊及 HCM 的值皆有所差距，作者推測其原因可能為臨界間距值受到駕駛者行為及其調查的路段環境影響。

近年來溫基信等人(2022)利用無人機正攝空拍非號誌化路口，透過人工智慧手法萃取出車輛軌跡資料，加以分析車輛抵達非號誌化路口時所發生之停讓衝突。

該研究將分析項目分成三大類型，包含風險駕駛行為、違規行為、交通衝突，風險行為是指車輛行駛時之潛在風險但並未違反法規，違規行為則是指車輛行駛時明顯違反交通規則，交通衝突則是兩車之間因為有互動而發生之衝突。該研究整理非號誌化路口主要發生的問題包含：設有慢字路口之車輛未慢速通過路口、支線道車輛未停車再開（區分幹支線道之路口）、轉彎車未禮讓直行車（未區分幹支線道之路口）。

關於國外相關的研究，Prasetijo et al. (2011)針對印尼的十個三叉非號誌路口進行容量分析。印尼屬於開發中國家，其交通環境包含多樣性的車種，很難校估出每車道的理想容量值，因為二輪車輛於道路上行駛時具有車道分割的行為。他們嘗試利用統計回歸模型針對路口的六組車流樣態及六組衝突點進平均速率及車流量分析，再進而校估出混合交通條件下的非號誌化路口容量。該研究發現，駕駛人在通過路口時相較於要完全停止再通過路口，更喜歡維持原本的车速通過路口，因此量測車輛通過路口的速度是重要的任務。另外該研究對於不同的衝突組合進行車速及流量的關係分析，得到路口的容量資訊，最後的分析結果為當非號誌路口流量達容量值時，其車速大約介於 11-12kph 之間。

2.2.2 非號誌化路口安全相關之分析方法與指標

非號誌化路口安全相關的分析方法中，可以利用衝突指標、間距、模型等方法進行分析。在衝突分析中，後侵占時間(post-encroachment time, PET) (Allen et al., 1978)與碰撞時間(time to collision, TTC) (Hayward, 1972)是最被常使用的指標。PET 常被利用來衡量兩車交叉方向之衝突，其定義為第一台車離開衝突點至第二台車進入衝突點之時間差；TTC 則是常被用來衡量兩車間之追尾衝突，其定義為在兩車保持當下各自的速度與方向，於 t 秒後兩車會發生碰撞。然而 TTC 因為有速度固定的假設，然而真實情況下車輛駕駛人會於危急情況下採取減速行為，因此 Ozbay et al. (2008)提出修正碰撞時間(modified time to collision, mTTC)指標，將車輛駕駛人採取避讓措施之加減速行為納入考量。Mahmud et al. (2017)回顧了近期發展之 38 項評估安全之近端代理指標(proximity indicators)，整理出各個指標的優缺及適用性，包含隨時間變化的 PET、TTC、Headway 等指標，以及不隨時間變化的指標。

除了基本的評估衝突的指標，為了可以整體性評估非號誌化路口安全性並進行比較，一些整合多項指標的評估方法研究被提出。Montella et al. (2020)提出了安全指標(safety index, SI)，以系統性方式評估非號誌化路口的安全性，SI 主要由曝光度(exposure)與事故的風險指標(risk index)組成，並應用於辨別與排名高風險交叉路口，以及指出路口的安全問題。Paul and Ghosh (2021)則是基於事故風險與預期事故嚴重度發展衝突嚴重度指標(conflict severity index, CSI)，該指標由

PET、Delta t 及預期動量損失所組成，用以衡量印度非號誌化路口的臨界穿越路口衝突及追尾衝突之嚴重度，評估混合車流條件下的非號誌化路口安全性，並檢視路網中哪些路口需要被優先改善，當 CSI 值越大表示路口的安全性越差。其中 Delta t 指標為反映兩台相同行駛方向的車輛彼此發生碰撞的機率，其定義為修正後的碰撞時間(mTTC)減去車輛至完全停止(Time to stop, T_s)所需之時間。

國內則是有研究基於過去的衝突指標進行改善，提出新的指標以預測衝突的嚴重度。高群凱(2022)透過遞歸神經網路(RNN)中，適合處理預測時間序列較長事件的長短期記憶模型(LSTM)，發展出 p-PET 指標及 TTC-L 指標，以及根據角度速度變化法發展出 TTC-SC 指標，利用台灣的號誌路口軌跡資料衡量機會左轉情境中左轉車與對向直行車的衝突。經由回放路口的空拍影片與比較傳統衝突指標及該研究提出的新指標，兩個軌跡預測方法得到的預測指標針對機會左轉情境計算，都可以比起原始 TTC 與 PET 更能精準地衡量風險。

關於利用間距的觀念衡量非號誌化路口安全的研究，Patil and Pawar (2016)以 Raff 法、Ashworth 法、羅吉特法、半間距法、最大概似法，針對印度的非號誌化路口估計臨界時間間距(temporal critical gap, TCG)及臨界空間間距(spatial critical gap, SCG)，TCG 介於 3~3.9 秒、SCG 則介於 29~36 公尺之間，其估計值比已開發國家略低。Mohan and Chandra (2018)提出利用路口佔有時間法，估計非號誌化路口的臨界間距。該研究針對印度四個屬於 TWSC 的路口的進行估計，依照不同轉向而得到之臨界間距值介於 2.65~6.8 秒之間。其方法藉由收集每台車的佔有時間(Occupancy Time, OT)評估非號誌化路口的安全性，該指標不管車輛在路口範圍內發生任何事件，只考慮待在路口範圍內的時間長度，並額外將駕駛人較不遵守交通規則的因素納入評估。張建彥、胡雅芬(2020)針對非號誌化路口的車輛接受間距，利用蒙地卡羅法進行模擬。該研究針對竹北的一個非號誌化路口進行影像拍攝，蒐集支線道直行車的到達車頭距(Headway)及車輛間距(Gap)，進而依照 2010 年臺灣公路容量手冊 (THCM 2010) 推算出臨界接受間距長度為 4 秒，並建立接受間距機率回歸式，接著利用蒙地卡羅法進行靜態模擬，得到平均延誤為 4.5 秒/輛。蘇逸軒(2023)考慮臺灣屬於汽機車混合車流，運用新北市與臺中市共 7 個路口的軌跡資料，藉由佔有時間指標推估臨界間距。

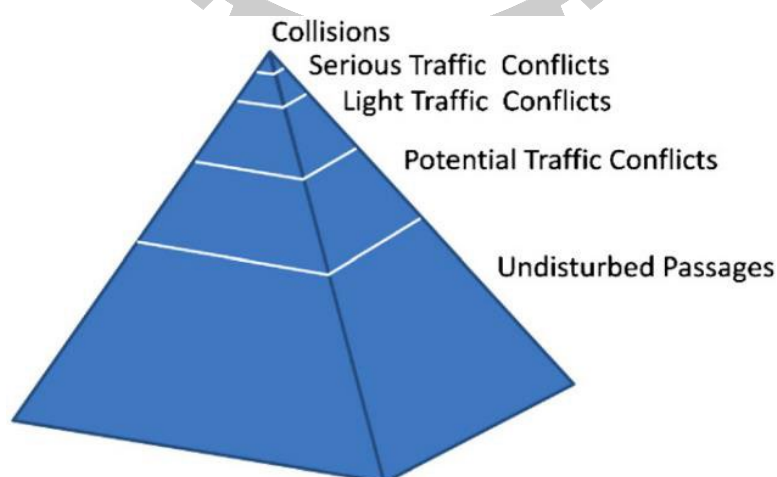
透過模型分析非號誌化路口，包含使用統計模型與利用微觀車流模擬軟體兩種。Kaysi and Abbany (2007)針對有幹道支道區別的非號誌化路口發展預測行為之模型，透過 Binary Probit 模型對駕駛人年紀、車輛性能、幹道平均車速進行回歸分析，發現支道車輛等待適合間距通過的時間長度與駕駛人發生激進行為並沒有直接相關。Ramlan et al. (2021)運用多元羅吉斯回歸與巢式羅吉斯回歸探討印尼非號誌化路口的右轉機車行為，並將機車轉彎行為分成三類分別利用回歸分析，結果發現有載人的機車傾向於選擇正常的右轉方式，而使用不正當的右轉方式之

駕駛人主要目的是想降低停等次數。Vedagiri and Killi (2015)針對印度混合車流之非號誌化路口管制設施，利用 Vissim 模擬軟體進行效益評估，評估的設施包含凸起面（Raised Tables）、圓環（Rotary）、減速丘（Speed Bumps）等三項，研究結果發現這些設施皆對於 PET 值的提升有顯著的效果，最有效的搭配設施組合則為凸起面搭配圓環，可以使得 PET 值提升最多，另外也發現在不同的路口總流量下，對於提升 PET 值有著不同的最佳管理措施。

2.3 安全中介指標與 SSAM 分析方法

衡量道路安全性最直觀、最容易聯想到的方法，即為運用警察紀錄之歷史碰撞資料，當事件數越多表示該位置對於用路人來說越危險。如果針對過去的歷史碰撞資料進行分析，必須要有足夠的資料樣本數，才能夠於統計上證明碰撞資料的代表性(Nicholson, 1985)。然而碰撞事故為相對稀少之事件，為了要收到足夠用以分析的碰撞資料數，其所花費的時間長度會導致社會成本增加，並讓交通安全改善的效率降低，亦有可能面臨道德困境(moral dilemma)之疑慮(Arun et al., 2021)。

Hydén (1987)提出安全階層金字塔模型，將一個交通事件依照不同程度區分成無干擾通過(undisturbed passages)、潛在交通衝突(potential traffic conflicts)、輕微交通衝突(light traffic conflicts)、嚴重交通衝突(serious conflicts)及碰撞(collisions)，如圖 2.3 所示；Laureshyn et al. (2010)則將金字塔模型中的碰撞層級依照嚴重程度再細分成四類：只有財產損失(property damage only)、輕微受傷(minor injury)、重傷(grievous injury)與死傷(fatal)。

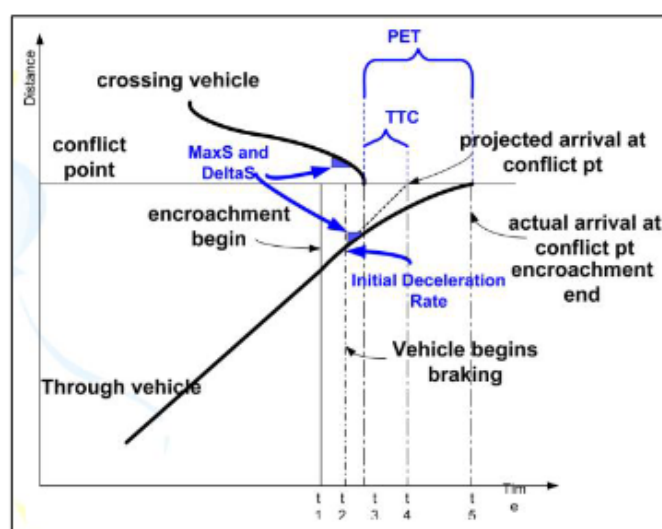


資料來源：Hydén (1987)

圖 2.3 Hydén 安全階層金字塔

為了增加評估道路安全的效率，運用安全中介指標(surrogate safety measures, SSM)針對道路進行安全評估的方式也被廣泛的使用。中介指標中最常被用於分析之指標為衝突(conflict)，其中常見之定義為兩個或以上的用路人在接近的空間與時間，如果他們保持當下的動作不變則會發生碰撞(Amundsen and Hyden, 1977)。Tarko et al. (2009)提到衝突(conflicts)為事故中介指標中的其中一種，還有許多其他的事故中介指標，如：較侵略性的變換車道行為、超速、闖紅燈、加速噪音、後侵占時間、碰撞時間、車流特性(流量、速度、延誤)等。Wu and Jovanis (2012)整理過去文獻中提及選擇事故中介指標的原則，包含：(1)較短的觀測時長、(2)應該與事故有關聯性、(3)應該與事故在統計上及因果關係上相關、(4)應該如同安全手段對於事故的影響一樣，會受到安全手段影響、(5)應該是具有時間尺度的指標並能標記出事故。

中介指標安全分析模型(Surrogate Safety Analysis Model, SSAM)被發展而成，並由美國聯邦公路局出版其分析軟體，其為運用軌跡資料計算交通衝突情況，取代過去運用事故資料評估道路安全之方法。SSAM 被後續研究進一步證實可以適用於交通事故風險的評估(Gettman et al., 2008)。Bared (2016)提到該軟體所採用之中介指標包含：碰撞時間 (Minimum time-to-collision, TTC)、後侵占時間 (Minimum post-encroachment time, PET)、起始減速度 (Initial deceleration rate, DR)、最大速度 (Maximum speed, MaxS)、最大速度差 (Maximum relative speed difference, DeltaS)、衝突事件位置 (Location of the conflict event, CLEP)、最大事後速度差 (Maximum “post collision” DeltaV, MaxDeltaV)，各項中介指標的示意圖如圖 2.4 所示。



Source: FHWA

資料來源：Bared (2016)

圖 2.4 SSAM 採用之中介指標計算定義

2.4 小結

綜合以上三個小節的文獻回顧，可以得知過去為了取代事故資料所使用的中介指標的特性及種類，並如何運用在道路安全的分析上，以及其他國家針對非號誌化路口的安全分析方法、所採用的指標與軌跡資料的特性和應用情境。然而國內的道路環境因為包含大量的機車，導致整體車流特性及車流行為與國外並不相同。而近年來因為新興科技的發展，無人機的出現及影像辨識技術的革新，可以收集到較精確的軌跡資料。因此本研究透過運用由無人機影像辨識之軌跡資料，運用無人機收集車流軌跡的特性優勢，針對臺灣的非號誌化路口車流特性蒐集，取得一定範圍內的車輛流動資訊，並運用多個中介指標對於車流行為與安全進行探討分析。



第三章 研究方法

本研究欲探討非號誌化路口之車流特性，因此將研究方法分成三個部分：第一部分說明運用於本研究的軌跡資料，內容包含軌跡資料的來源與軌跡資料的格式，第二部分為針對非號誌化路口的車流特性進行分析，第三部分則為運用不同的手法探討非號誌化路口內車流行為，為一窺探非號誌化路口車流樣態之程序。

3.1 軌跡資料來源與處理

軌跡資料將運用於本研究以進行非號誌化路口的車流特性與行為分析，以下會針對本研究所使用的軌跡資料，說明軌跡資料的取得來源及取得之軌跡資料格式型態。

3.1.1 資料來源

本研究將對於臺灣的非號誌化路口進行車流特性進行探索分析，而非號誌化路口種類繁多，可依照不同的車道數、道路類型、有無閃光號誌、有無幹道支道區別、車道寬、視距、標線標誌等形成不同的組合。為了進行分析，本研究所使用的軌跡資料來源為運研所計畫案「以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試（2/3）」(溫基信等人，2023)，該計畫透過無人機蒐集多個新北市及台中市的路口空拍影像，每個路口拍攝 3 至 4 架次、每架次約 15 至 25 分鐘不等，蒐集之影像經由 Oriented YOLOv4 偵測架構與 SORT 物體追蹤技術組合而成的影像辨識技術，將車輛移動資訊萃取出得到軌跡資料，利用軌跡資料進行分析右轉衝突及非號誌化路口停讓衝突。另外該計畫案亦提供停止線、比例尺、車道數等項目資訊。

3.1.2 資料格式

本研究使用之軌跡資料是透由無人機拍攝收集影像，並透過影像辨識與軌跡追蹤技術而得，取得的軌跡資料格式如表 3.1 所示，軌跡資料提供的變數包含：影片時間 (Timestep)、車輛識別碼 (Vehicle ID)、車輛前緣中心點座標 (Front X、Front Y)、車輛後緣中心點座標 (Rear X、Rear Y)、車長 (Length)、車寬 (Width)、速度 (Speed)、加速度 (Acceleration)、進入路口方向 (intersection in)、離開路口方向 (intersection out)、車種 (class)。其中，方向的定義為拍

攝畫面的左方為 A 方向，順時針依序編號 B、C 與 D 方向；軌跡資料中的最小單位時間為 0.1 秒。

表 3.1 軌跡資料表

Timestep	Vehicle ID	Link ID	Lane ID	Front X	Front Y	Rear X	Rear Y	Length	Width	Speed	Acceleration	intersection in	intersection out	class
0.1001														
0.1001	1	1	1	87.819	55.2979	82.6862	55.2177	5.1253	2.37996	8.02	-0.1	AI	BO	c
0.1001	2	1	1	45.1927	57.744	39.8995	57.8242	5.11523	2.37593	4.03	3.9	X	X	c
0.1001	3	1	1	27.4685	56.4207	22.4159	56.6613	4.99646	2.28404	6.42	-4.1	AI	CO	c
0.1001	4	1	1	107.989	48.922	112.24	46.3556	5.16406	2.34626	4.31	-0.7	BI	AO	c
0.1001	5	1	1	125.112	36.892	126.074	32.2003	4.89903	2.23613	0.4	-2	BI	DO	c
0.1001	6	1	1	23.6991	60.8718	18.2856	60.952	5.39031	2.39745	0.4	-1.2	AI	CO	c
0.1001	7	1	1	59.1074	58.5861	54.0548	58.3455	5.00096	2.3353	3.63	1.8	AI	CO	c
0.1001	8	1	1	127.678	16.2405	128.16	11.1879	4.96492	2.29468	0.4	-2	BI	DO	c
0.1001	9	1	1	70.6562	55.4984	65.4432	55.5786	5.38636	2.3928	6.82	3.9	AI	CO	c

資料來源：溫基信等人（2023）

3.1.3 資料預處理方法

受限於影像辨識技術限制，其軌跡資料會有抖動之情形，必須將軌跡資料中的雜訊去除，以及軌跡資料只有車頭與車尾之座標，需推算出車輛四角座標。因此本研究參考溫雲晨(2020)與高群凱(2022)所使用的軌跡資料處理方法，透過自行撰寫 Python 程式將軌跡資料中每一台車進行四角座標計算、速度平滑、加速度計算及平滑，其中速度與加速度採用前後各 0.5 秒的資料進行滾動平均，成為可供分析使用的資訊，進而可以利用處理後的軌跡資料進行車流特性及車流行為的探討。

除了因為軌跡辨識與追蹤技術的限制造成資料的微幅抖動，而將軌跡資料中特定項目平滑化之外，將資料視覺化亦為本研究分析問題的重要手法之一，因此本研究將軌跡資料進行多種轉換並視覺化，可以產生多種不同目的與功能的關係圖。軌跡資料為透過對路口影片進行影像辨識與追蹤，得到每個時間點當下每一台車輛的所在位置，因而可以得到位置與時間的關係，進而繪製位置時間關係圖（X-T 圖），了解車輛位置隨時間之變化。為了了解車流的特性，車輛的移動快慢是個重要的議題，將位置時間關係對時間微分即可得到每個時間點每台車的瞬時速度，進而繪製出速度時間關係圖（V-T 圖）。當車輛發生較急的減速時，通常伴隨著較高風險的事件，為了找出較急的減速度，將速度時間關係對時間微分即可得到每個時間點每台車的瞬時加（減）速度，進而繪製加速度時間關係圖（A-T 圖）。

然而以時間為基礎的關係圖，包含位置時間關係圖（X-T 圖）、速度時間關係圖（V-T 圖）、加速度時間關係圖（A-T 圖），都是觀察時間與其他項目之間的關係，導致有些分析目的無法藉由其達成，例如欲探討停止線對速度的影響、

標線標誌對於駕駛人減速的影響，即是探討空間與速度、空間與加速度的關係。然而在非號誌化路口的分析中，有許多內容是與位置有相關聯性，必須運用到包含位置的資料進行分析，因此本研究利用原是以時間為基礎的軌跡資料，依據車輛通過停止線之位置為參考點，停止線上游為負值、下游為正值之座標設定，將位置時間關係圖（X-T 圖）與速度時間關係圖（V-T 圖）轉換成速度位置關係圖（V-X 圖），亦可藉由位置時間關係圖（X-T 圖）與加速度時間關係圖（A-T 圖）轉換成加速度位置關係圖（A-X 圖），並應用於分析非號誌化路口相關議題。圖 3.1 為以一台車的軌跡資料為例，經由轉換呈現出該車的位置時間關係圖（X-T 圖）、速度時間關係圖（V-T 圖）、加速度時間關係圖（A-T 圖）、速度位置關係圖（V-X 圖）與加速度位置關係圖（A-X 圖），並標示其之間的轉換順序。

以位置為基礎之資料是過去研究與較傳統的資料收集方式較難以收集的，受到過去設備與人工的因素，大多只能收集單一位置的資料，或是較小覆蓋範圍的資訊；本研究所使用的軌跡資料因為是透過無人機於高空拍攝，可取得一定範圍內車輛流動資訊，其資料同時具有時間維度與空間維度的特性，可以進行許多過去受限於資料收集的困難而無法進行分析之項目，包含隨著空間不同的速度與加速度變化、車輛軌跡分布、更精確的速度與流量分析等。

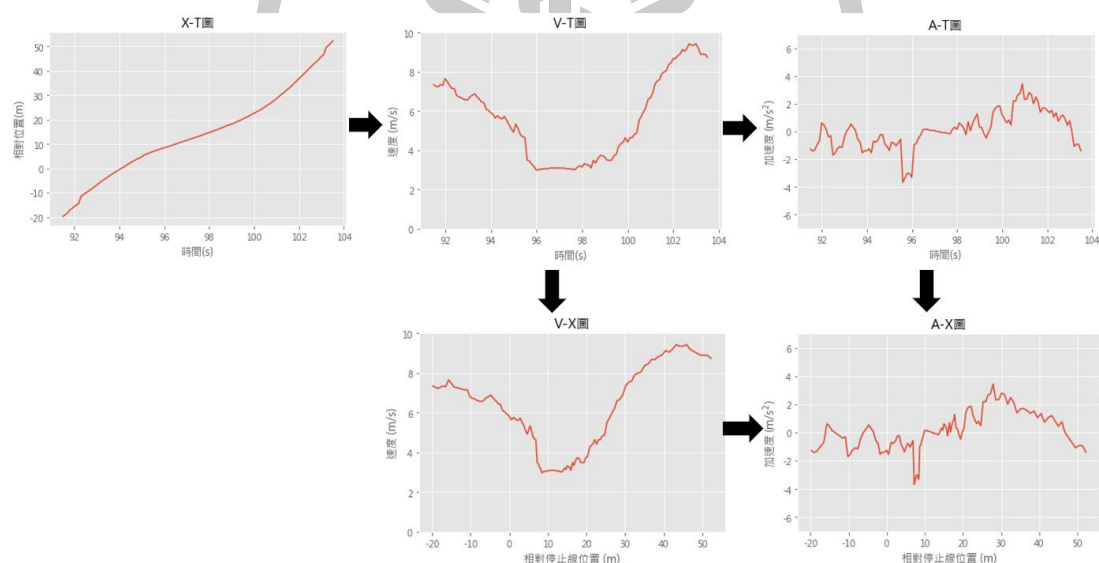


圖 3.1 運用軌跡資料呈現多種關係圖之轉換過程

3.1.4 車流軌跡資料內容

軌跡資料包含車輛得基本資料與每個時間點的位置資訊，基本資料包含車種、車長、車寬、車輛進入與離開方向等，位置資訊則是車輛在畫面內的座標位置。有了每個時間點各車輛的位置資料，可以依照不同的進入路口、離開路口方向、

車種組合，繪製出各組合的車輛軌跡圖，如圖 3.2 所示，其中紅色、綠色、藍色分別為機車之左轉、直行、右轉軌跡圖，橘色、紫色、黃色則分別為汽車的左轉、直行、右轉軌跡圖。將軌跡圖產出後，可以有許多應用，例如可以看出一群車輛於道路上軌跡位置分佈、視覺化車輛是否有跨越分向限制線、機車相對於汽車是否有靠道路右側的傾向等，許多資訊與應用是可以運用軌跡資料進一步處理與計算而得，如隨位置變化的各項資訊。相較於過去運用傳統資料收集方法如路側攝影機或人工調查方案，只能收集到單一地點或小範圍的隨時間變化之資訊（如隨時間變化之速度），皆較難達到相同程度的資料精確度與資料應用性。



資料來源：溫基信等人（2023）

圖 3.2 車輛軌跡示意圖

3.2 車流特性

軌跡資料屬於微觀之資料，其具有每台車在各個時間當下所在的座標位置，與經過計算得到之速度、加速度等資訊，因此可以依照車輛 ID 作為基礎，將每台車的速度與加速度變化利用速度時間關係圖(V-T 圖)及加速度時間關係圖(A-T 圖)呈現，可以看到每台車速度與加速度變化的樣態。有了 V-T 圖與 A-T 圖，可以應用於判斷車輛是否有超速、急加速與急減速的行為。以圖 3.3 為例，將 ID 為 21500059 的車輛，依照時間順序繪製 V-T 圖與 A-T 圖，可以同時對照速度與加速度隨著時間變化的情形，理解車輛在路口區域的速度與加速度變化形態。

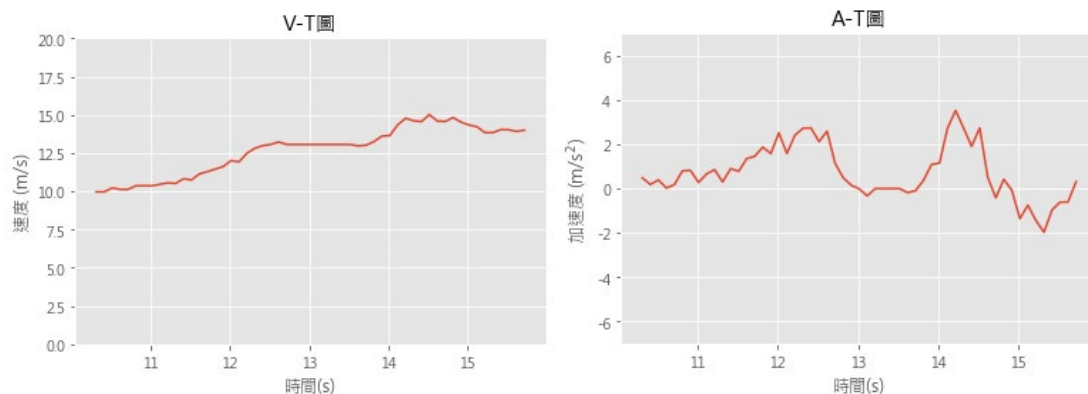


圖 3.3 單一車輛之速度與加速度時間關係圖

除了可以分析單一車輛之微觀車流特性，另外可以依照不同的分析目的，藉由針對不同的行駛方向、轉向、車種進行分類組合，並搭配適合的資料選取範圍，可以得到該組合下的每一分鐘一筆的車輛速度變化與流量變化趨勢，得到巨觀車流之特性。

跟車時距 (Headway) 也是重要的車流特性之一，亦可由軌跡資料推出，其定義為給定一地點，前車車頭(尾)通過該地點與後車車頭 (尾) 通過某一地點的時間差，示意圖如圖 3.4 所示。其計算公式如式(3-1)：

$$Headway = t_2 - t_1 \quad (3-1)$$

其中 t_1 為前車進入觀測點的時間、 t_2 為後車進入觀測點的時間，本研究將觀測點定於停止線上。其詳細計算步驟如下：

1. 挑選欲計算跟車時距的入口方向
2. 篩選出該入口方向的所有車輛
3. 計算每台車通過該入口方向之停止線的時間
4. 依照車輛通過停止線的時間點將車輛進行升冪排序，計算後車與前車通過停止線的時間差，並為後車記錄前車之車種
5. 當時間差大於門檻值時，後車將視為沒有跟車情形；否則，該時間差即視為後車之跟車時距。

由於跟車時距的長短主要是受到後車的跟車行為影響，因此跟車時距的計算結果應歸屬於後車，其結果可以應用於推估路口的容量。當某一車輛之跟車時距的數字大到一定程度時，該車輛即不屬於跟隨著前車駕駛，應加以排除之，因此參考 Vogel (2002) 的研究指出區分受到前車影響駕駛 (under some influence of the

vehicle ahead) 與自由駕駛 (driving freely) 的跟車時距臨界值長度，將跟車時距門檻值訂為 6 秒。當跟車時距的值越小，代表後車與前車保持的距離越短，發生碰撞的風險相對越高、其他衝突方向之車輛要使用該間距的機率越低。

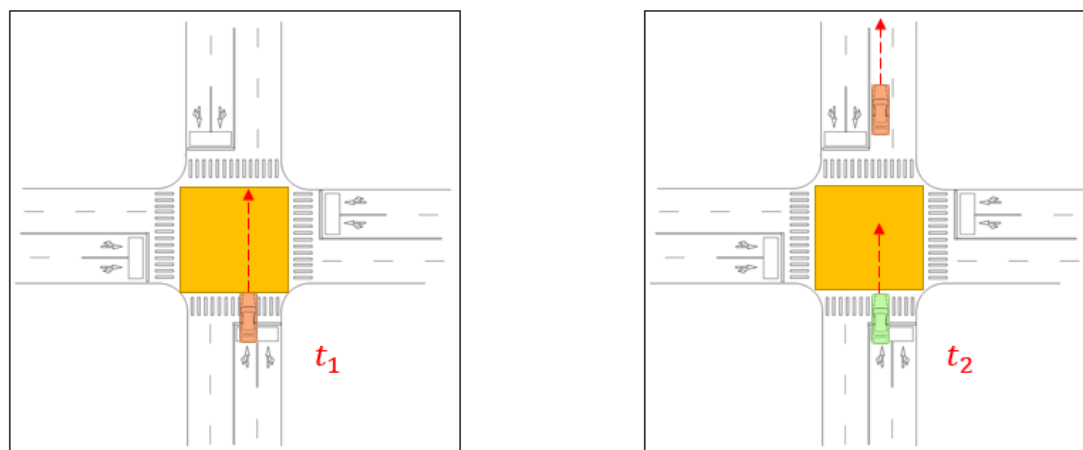


圖 3.4 跟車時距計算方法示意圖

3.3 車流行為

車流行為有許多項目，本節將說明本研究基於中介指標的概念，挑選以下之車流行為分析項目，可以衡量路口非號誌化路口安全性之行為，主要包含：空間速度變化、超速行駛、跨越雙黃線、急減速、兩車衝突，以及如何運用本研究所使用的軌跡資料，取得各項車流行為的分析內容。

3.3.1 分析前置作業

為了利用軌跡資料進行車流行為的分析，必須在路口的參考底圖上，利用小畫家找出參考物件（包含停止線、雙黃線）於底圖上的座標（單位為 pixel），再搭配該軌跡資料提供之比例尺，推得各項參考物件於軌跡資料中的座標（單位為公尺），如圖 3.5 所示，將游標移至黑色箭頭位置，即可得到該停止線一端於底圖上的座標。有了這些物件的座標位置，即可與車輛的軌跡資料去重疊比對，判斷與分析各個項目之車流行為。其中，停止線會運用於空間速度變化分析，雙黃線則是會運用於跨越雙黃線的分析中。

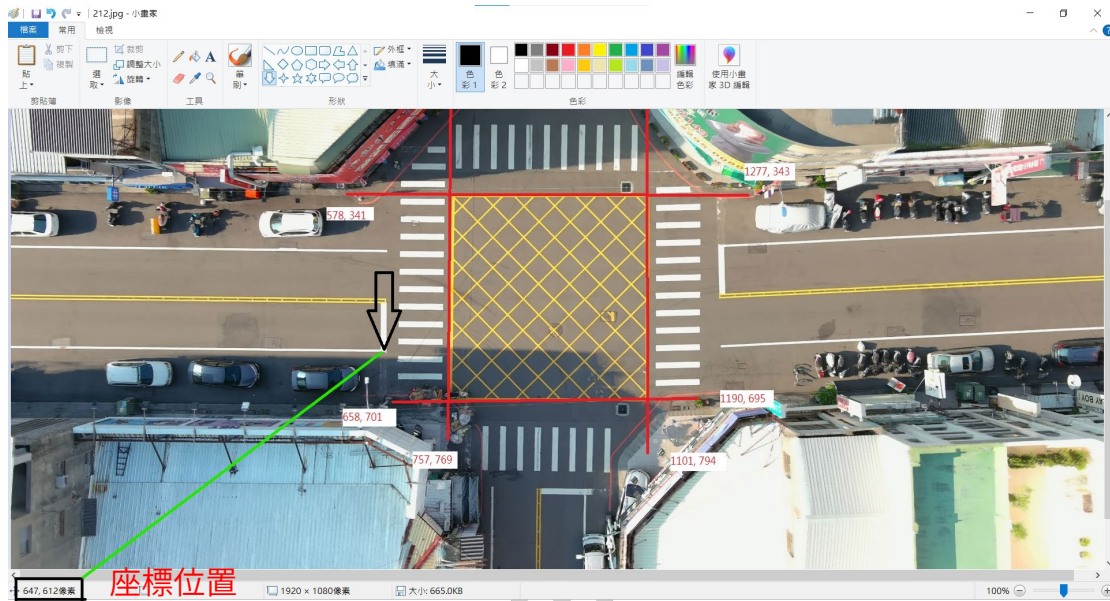


圖 3.5 運用小畫家取得參考物件之座標位置（停止線為例）

3.3.2 空間速度變化

非號誌化路口並無號誌將不同衝突方向之車流隔絕，因此車輛駕駛人於接近路口時應注意是否有其他方向來車並依照該方向的路權規定之速度慢行通過或停車再開。過去受限於資料收集方式，不易收集車輛在不同位置下的瞬時速度，因此較難分析車輛於接近路口時之速度變化行為。本研究透過將軌跡資料從原始為時間與速度的關係，經由計算轉換成位置與速度的關係，運用速度位置關係圖（V-X 圖）視覺化分析：（1）分析車輛通過停止線速度分布；（2）車輛在路口附近的的速度變化以判斷車輛是否有減速行為。另外亦可以利用速度位置關係圖分析每台車於路口前停等或慢行的位置，探討該路口停止線設置位置的合理性。

車輛駕駛人行經非號誌化路口時，必須依照標誌標線規定減速慢行或是停車再開，如果必須停車再開的情境，駕駛人必須將車輛停在停止線上游，確認安全始可通過路口，然而停止線的畫設位置是影響駕駛人視距多寡的關鍵因素，因此本研究將利用軌跡資料繪製車輛的速度位置關係圖（V-X 圖），示意圖如圖 3.6，並將實際道路上停止線位置標於圖上（負值表停止線上游、正值表停止線下游），得到該路口方向車輛行駛過程及是否依規定減速慢行或停讓，分析車輛於停止線附近的的速度變化。另外可以依照停止線上的位置，繪製車輛通過停止線截面的累積速度分佈圖，以檢視該入口方向車輛是否有未慢速通過路口的違規行為。車輛行經非號誌化路口時，應依照標誌與標線之規定，進行停讓行為或慢速通過路口。然而目前國內法規，「道路交通安全規則」第 102 條第一項第二款只有說明經過非號誌化路口時須停讓或慢速通過，並未明定停、讓與慢應遵循之速度數值，因

此參考溫基信等人(2023)針對不同的標誌標線管制所訂定之速度門檻值，「停」標誌或標線為 10 km/h、「讓」標誌或標線為 20 km/h、「慢」標誌或標線為 30 km/h。將針對進入路口方向之管制條件下，判斷車輛是否於停止線上游進行停讓，或是車速降到一定程度的數值。因此以停止線位置為參考基準，從軌跡資料中撈出車輛資料，判斷車輛是否依照該方向的路權規定進行停車再開或慢速通過，了解車輛通過停止線的速度是否有過快之情形。



圖 3.6 速度位置關係 (V-X) 示意圖

另外，停止線是標記車輛通過路口前應該停下來的位置，該位置理應可以提供駕駛人觀察衝突方向是否有車輛，使得駕駛人可以安全的通過路口。綜觀世界各國，停止線繪設的位置不盡相同，有些非常貼齊路口區域、有些則是遠離路口一段距離，民眾對於台灣的停止線繪設位置也有不同看法。在台灣依據「道路交通標誌標線號誌設置規則」之規定，停止線應繪製於路口行穿線上游若 1 至 3 公尺處，然而駕駛人將車輛停在停止線前通常都看不到是否有橫向車輛即將抵達路口，需將車輛越過停止線後才可看到是否有橫向來車。針對停止線位置議題，本研究運用軌跡資料將撈出每台車於路口處附近的的速度變化，另可以依照目前真實停止線繪設位置與貼齊路口處的位置，比對兩位置所有通過車輛的速度分佈，並比較車輛通過兩位置之差異。

3.3.3 超速行駛

超速行駛亦屬於違規行為之一，當車輛速度過快時，會增加與其他車輛碰撞之風險，可能造成同向、對向或橫向車輛之安全疑慮。軌跡資料中具有車輛在每 0.1 秒之位置資訊，因為速度等於距離差除以時間差，透過將位置對時間微分就

可以推得瞬時速度，即可從軌跡資料中篩選出有超速之車輛，進而得到車輛超速之比例及嚴重度，並可以運用速度熱區圖呈現超速行為常發生在哪些位置，了解車輛超速之位置分布。

3.3.4 跨越雙黃線

跨越雙黃線屬於違規行為之一，其車輛超越其合法行駛之路權範圍，該行為容易與對向車輛發生事故。透過於底圖上量測雙黃線兩端之座標，即可於 Python 程式中建立雙黃線物件，再來將針對所有車輛的軌跡分別各自與雙黃線判斷，如果該車輛之軌跡線與雙黃線產生交點，表示該車輛具有跨越雙黃線之行為產生，即可紀錄該車輛的編號資訊，了解所有車輛中有多少比例之車輛具有跨越雙黃線之違規行為，亦可以透過軌跡圖呈現這些車輛是從哪個位置跨越雙黃線、其跨越知可能目的為何。

3.3.5 急減速

除了速度以外，可將速度資料依照時間進行微分得到加速度隨時間變化之資料，亦可以推得加速度與位置的關係，並運用加速度位置關係圖（A-X 圖）視覺化分析車輛在路口附近的加速度變化行為，透過訂定急減速之門檻值，即可透過軌跡資料並篩選以檢視車輛在特定位置上是否有急減速之行為，反應其在該位置遭遇事件之可能性。以圖 3.7 為例，可以發現該車輛大部分之時間之加速度值主要介於 $0-2 \text{ m/s}^2$ 之間，然而在接近停止線的過程中，於停止線上游約 10 公尺位置開始有較大之減速度值產生，甚至小於 -4 m/s^2 ，直至通過停止線後 5 公尺後才恢復正的加速度，在此過程中該車產生急減速之行為。然而過去研究針對急減速事件之門檻值並沒有一致的結論，門檻值的數值範圍由 -2.7 m/s^2 至 -7.35 m/s^2 不等（溫基信等人，2023），本研究參酌過去常用的門檻值數值與軌跡資料的特性，採用 -3 m/s^2 作為本研究之急減速之門檻值。

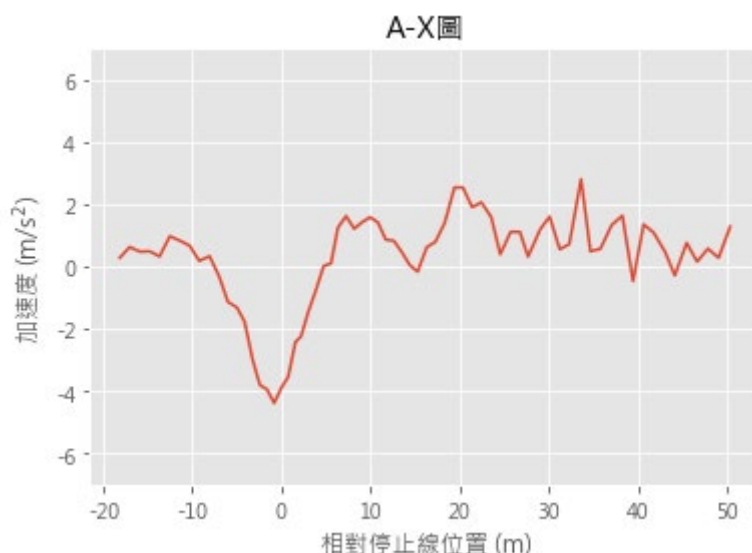


圖 3.7 加速度位置關係 (A-X) 示意圖

3.3.6 衝突行為

運用歷史事故資料分析交通安全是一個最直接的方式，然而事故資料具有罕見性，且會有官方統計數字低估實際真實事故數之情形，為了要有足夠的事故樣本數分析，需要收集更長時間的事故資料，但可能會引發道德隱憂。因此運用安全中介指標 (safety surrogate measures, SSM) 來替代事故資料的分析方法被發展出，而最常見的 SSM 為運用衝突 (conflicts) 來衡量兩車之間或兩車以上彼此的互動可能會危及安全的嚴重程度。道路交通安全規則第 102 條規範了不同方向之車輛通過非號誌化路口的路權大小與禮讓規範，但車輛是否有執行禮讓動作較難以直接判斷，因此本研究使用衝突行為來代替判斷車輛是否有發生未禮讓之行為。

關於兩車衝突行為的部分，本研究主要考慮非號誌化路口最常發生的交叉衝突及追尾衝突兩大類型。交叉衝突為兩車衝突方向為接近垂直，例如相鄰入口方向（如 A 方向與 B 方向）的車輛在相近的時間通過路口所引發的衝突、左轉車與對向直行車（如 B 方向左轉車與 D 方向直行車）之衝突、右轉車與橫向直行車（如 D 方向右轉車與 A 方向直行車）之衝突；追尾衝突則為主要發生在前車減速時，後車因前車減速而與前車所發生之衝突。這兩大衝突類型為常見的衝突，依照其不同的特性運用不同的指標包含進行分析。

為了可以得當到較細緻的分類，考慮各個方向組合之流量多寡，將根據兩車的相對行駛方向進行衝突分類，各個衝突類型及其所對照的示意圖如圖 3.8 所示，並以其中一台車輛的視角（藍色箭頭）將衝突命名。共會分成七種類型，分別為 [C1]交叉衝突（右方來車）、[C2]交叉衝突(左方來車)、[C3]機會左轉衝突、[C4]

左轉匯入衝突、[C5]左轉穿越衝突、[C6]右轉匯入衝突、[C7]追尾衝突。其中[C1]至[C6]屬於交叉衝突、[C7]屬於追尾衝突。

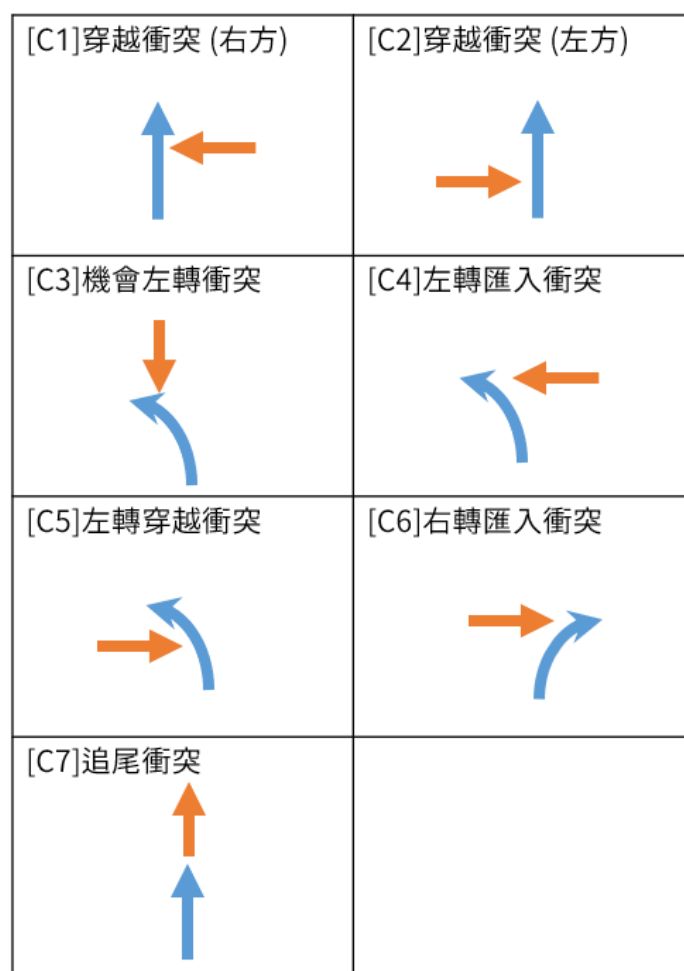


圖 3.8 路口衝突分類型態示意圖

衝突事件為兩車之間彼此可能發生危及彼此安全的事件，其可以透由運用一些指標並訂定其門檻值，加以判斷兩車互動的事件是否屬於衝突事件。而過去發展的衝突指標有非常多種，最常見及被最多人使用的兩個指標分別為後侵占時間（PET）與碰撞時間（TTC）。

後侵占時間（PET）為衡量兩車衝突的常見指標之一，其定義為前車離開衝突區域至後車進入衝突區域的時間差，如圖 3.9 所示。當 PET 值越小時，代表兩車之間發生事故的風險越高、危險程度越大，此指標通常用於衡量交叉衝突類型的衝突。本研究在計算上，會使用軌跡資料萃取出兩台車軌跡，找出兩車軌跡重疊區域作為其衝突區域，並抓出前車離開衝突區域的時間及後車進入衝突區域的時間，將兩時間相減即可得該事件的後侵占時間（PET）之數值大小。

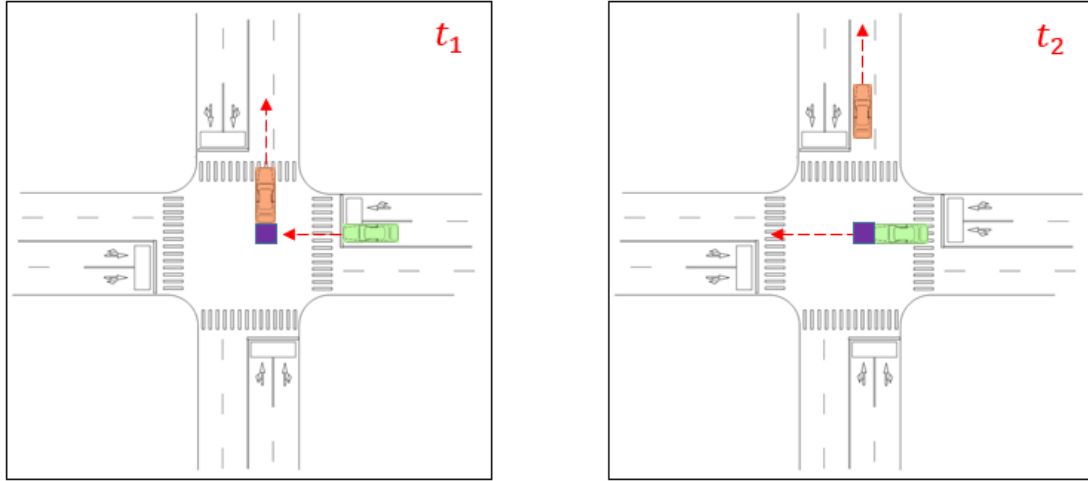


圖 3.9 後侵占時間計算方法示意圖

碰撞時間 (TTC) 亦為常見衡量衝突的指標，其定義為假設當下兩車的速度與方向不變情況下，幾秒後兩車會發生碰撞。當 TTC 值越小時，兩車發生事故碰撞的風險越高、危險程度越大，此指標通常會運用在衡量追尾衝突類型的風險。本研究在計算上，利用軌跡資料萃取出兩台車的軌跡，找出兩車衝突發生衝突的區域，推算兩車在多少秒後會發生碰撞。然而 TTC 有著車輛方向與速度不變的假設，但真實情況下駕駛人遇到前車減速時，駕駛人通常會做出減速或變換車道之行為，使得危急程度可能不如 TTC 數值般嚴重，因此 Ozbay et al. (2008) 提出修正碰撞時間 (modified time to collision, mTTC)，將車輛採取的加(減)速度行為納入考慮，假設車輛當下之加速度不變，而計算得到 mTTC 之數值。mTTC 的計算方法如式(3-2)：

$$mTTC = \frac{-\Delta V \pm \sqrt{V^2 + 2\Delta a D}}{\Delta a} \quad (3-2)$$

其中 ΔV 為兩車之相對速度、 Δa 為兩車之相對加速度、 D 為兩車起始之空間距離 (spacing)。相比於 TTC 的數值，mTTC 可以更貼近真實的風險情境，本研究亦同時使用 mTTC 作為衝突分析指標。

針對衝突指標的門檻值選擇，參考 Johnson et al. (2018) 其整合多篇驗證衝突指標門檻值的研究，將 PET 的門檻值訂為 5 秒、mTTC 值訂為 1.5 秒，作為本研究決策是否為衝突之門檻值。

3.4 小結

本研究的目的為探討軌跡資料的特點與應用性，並如何運用在蒐集與分析台灣非號誌化路口的車流特性、車流行為，因此利用軌跡資料進行資料提取與分析，並透過自行撰寫之 Python 程式萃取非號誌化路口的多個車流特性項目，並分析各種不同的車流行為，以窺探非號誌化路口的車流樣貌。為了分析車流行為而運用了多種手法，包含運用各種速度位置關係圖分析車輛接近路口的速度變化、利用衝突指標進行衝突分析、加入停止線與雙黃線之物件座標以分析車輛通過停止線速度分布與車輛是否跨越雙黃線、將軌跡資料加值並進行視覺化，提供一分析程序以探討非號誌化路口的車流行為。



第四章 研究結果

4.1 資料選取及軌跡資料處理

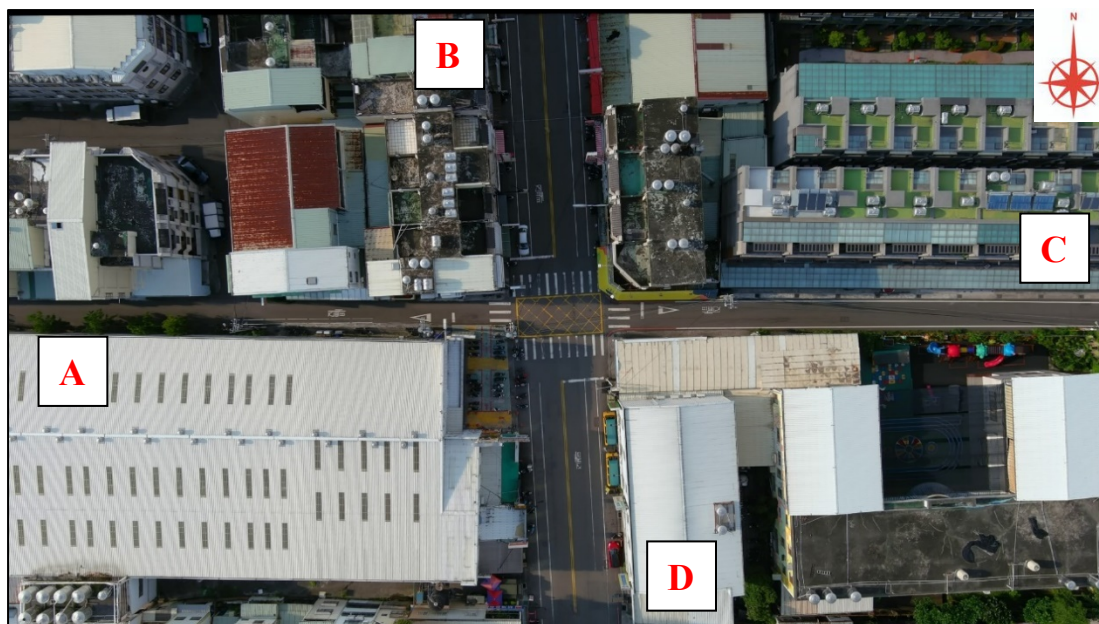
本節將說明軌跡資料的出處、欲挑選幾個路口資料、路口篩選原則與數量、補充路口的資訊、民國 108-110 年之事故資料件數，以及說明得到軌跡資料以後，為了進行後續的分析前，對軌跡資料進行之預處理步驟。

4.1.1 路口挑選

本研究的資料來自運研所的三年期計畫案之第二年期，該計畫為利用無人機拍攝路口，並將影像進行車輛之軌跡辨識，使用軌跡資料進行路口分析初探。該計畫案拍攝多個非號誌化路口，本研究挑選流量相對較大、路型為正交之非號誌化路口。經逐一檢視，發現其中的兩個路口，包含台中市大里區成功二路光明路口（以下稱為路口 1）與台中市大甲區鎮政路蔣公路口（以下稱為路口 2）符合本研究的分析條件，其餘 3 個為斜交路口、1 個因下游號誌化路口回堵等原因，不納入本研究的分析對象。

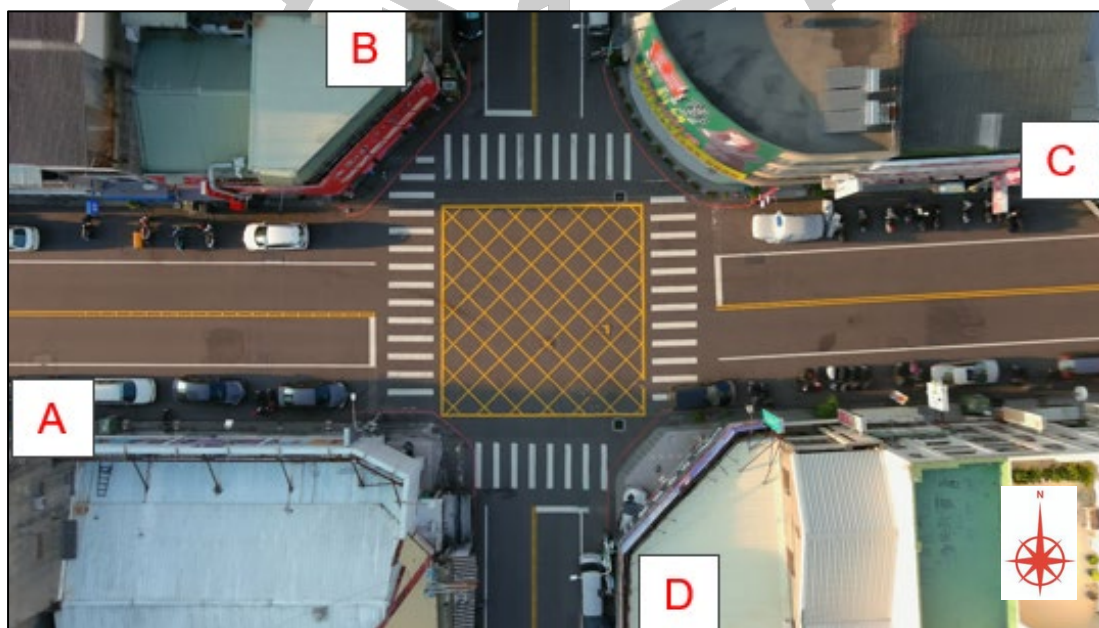
其中路口 1 約 78 分鐘長的影片與軌跡資料、路口 2 約 68 分鐘長的影片與軌跡資料作為分析，路口 1 與路口 2 的空拍底圖如圖 4.1 與圖 4.2 所示。為了後續方便說明，以路口左方編為 A 方向，並依順時針編列 B、C 與 D 方向。表 4.1 為路口 1 之路口資料，其為一劃分幹線道與支線道的路口，成功二路為雙向各一車道及一機慢車道、並畫設分向限制線的幹線道，光明路為未畫設分向線且畫設讓路線之支線道（該讓路線有畫錯），該路口主要的碰撞類型為車與車側撞及車與車交叉撞；表 4.2 則為路口 2 之路口資料，其為一未劃分幹線道與支線道的路口，無論鎮政路或蔣公路皆為向各一車道，主要碰撞類型則為車與車交叉撞及車與車追撞。

因為軌跡資料的取得來源為無人空拍機，以及非號誌化路口自身特性，分析結果會受到一些因素影響，包含路口所在城市、路口於城市中的位置、收集資料時間為白天的尖峰時段、不同區域駕駛人具有不同特性、路口附近的土地使用狀況、天氣皆為無強風的非雨天等，在探討非號誌路口的同時，這些因素必須同時被考量。



資料來源：溫基信等人（2023）

圖 4.1 台中市大里區成功二路光明路口（路口 1）之空拍底圖



資料來源：溫基信等人（2023）

圖 4.2 台中市大甲區鎮政路蔣公路口（路口 2）之空拍底圖

表 4.1 台中市大里區成功二路光明路口之資訊

	成功二路(B、D)	光明路(A、C)
車道數	2 車道(含 1 機車優先道)	1 車道
道路路口寬度	約 12.4 公尺	約 4.2 公尺
拍攝畫面範圍	約 154 公尺×86 公尺	
拍攝時間長度	78 分鐘 (4 架次)	
拍攝時之車流量	機車 2134 輛、小型車 712 輛、大型車 65 輛	
管制類型	劃分幹支線道 (有讓路線)	
交通事故件數*	0 件 A1、14 件 A2	
主要碰撞類型*	車與車側撞、車與車路口交叉撞	

*資料來源：交通部道安資訊網

*統計期間為 108 年 1 月至 110 年 12 月

表 4.2 台中市大甲區鎮政路蔣公路口之資訊

	鎮政路(B、D)	蔣公路(A、C)
車道數	1 車道	1 車道
道路路口寬度	約 9.5 公尺	約 12 公尺
拍攝畫面範圍	約 77 公尺×44 公尺	
拍攝時間長度	68 分鐘 (3 架次)	
拍攝時之車流量	機車 768 輛、小型車 182 輛、大型車 25 輛	
管制類型	未劃分幹支線道	
交通事故件數*	0 件 A1、13 件 A2	
主要碰撞類型*	車與車路口交叉撞、車與車追撞	

*資料來源：交通部道安資訊網

*統計期間為 108 年 1 月至 110 年 12 月

4.1.2 軌跡資料預處理

軌跡資料本身具有許多資訊，包含每台車每單位時間的在拍攝畫面內的位置資訊、車種、車長、車寬、進出方向、速度與加速度，但由於軌跡追蹤技術的限制，使得速度與加速度資訊會有些微框格誤差之情形，因此需進行速度與加速度資料之平滑。參考溫基信等人(2022)與高群凱(2022)對於軌跡平滑的作法，使用滾動平均濾波器取前後各 0.5 秒的資訊進行滾動平均，以保留重要資訊並防止資訊被過度平滑。速度與加速度平滑後的效果，如圖 4.3 所示。

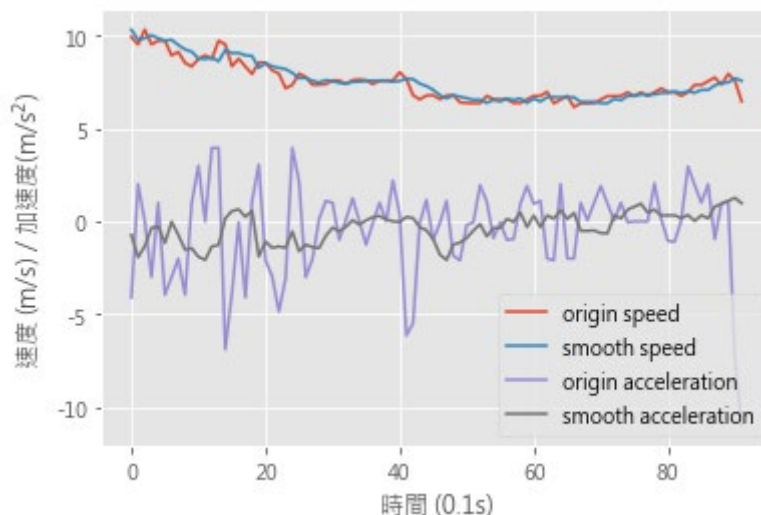


圖 4.3 速度與加速度平滑前與平滑後之比較圖

另外為了要運用軌跡資料進行衝突事件分析，必須取得車輛的四點座標用以推算兩車軌跡是否有重疊到，然而原始軌跡資料中只有車輛前緣中點及車輛後緣中點座標，因此本研究參考溫雲晨(2020)的車輛四角座標計算方法，將原始軌跡資料的前緣座標與後緣座標，藉由其四點座標計算方法運用於計算衝突事件時所需的車輛四點座標。

原始軌跡資料是以每 0.1 秒為最小時間單位，因此可以得到各個資訊隨著時間變化的關係，如速度、加速度等。然而，針對非號誌化路口分析時，運用到許多以位置為基礎的方法進行探討，且許多行為皆與路口區域及停止線有關係，為了有共同的比較基準，本研究選擇將車輛通過該進入路口方向之停止線下緣為位置 0，往車輛行駛方向（停止線下游）之座標為正值、往車輛行駛反方向（停止線上游）之座標為負值（如圖 4.4 所示），運用車輛之位置資訊回推其於每個單位時間（0.1 秒）相對於停止線之座標，即可應用於後續與位置有關的分析。

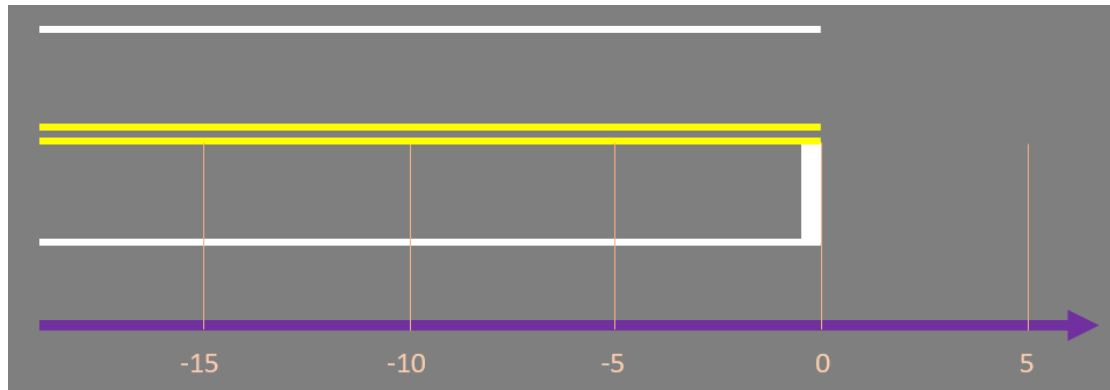


圖 4.4 以停止線為基準之位置示意圖

4.2 非號誌化路口之車流特性分析

本研究之目標之一為分析非號誌化路口的車流特性，特別是微觀資料的部分。車流特性包含了許多項目，以下將會分別運用軌跡資料產生並分析路口 1 與路口 2 之各項車流特性資料。單一車輛的速度與加速度變化有非常多種變化樣態，可以用 V-T 圖與 A-T 圖呈現，亦可以運用轉成位置為基礎的 V-X 圖與 A-X 圖說明單一車輛之微觀車流特性。

4.2.1 流量與流率

軌跡資料中記錄了所有車輛各自的進入路口與離開路口的方向、每台車的車種，因此可以根據車輛的進出口方向判斷其轉向為左轉、直行、右轉，推算出每個轉向的每個車種流量資料。表 4.3 為路口 1、表 4.4 為路口 2 的流量統計表，從表中的資訊可以看到路口 1 的總流量較大，且各入口方向的流量差異較大，直行車的比例相對較高；而路口 2 的總流量相對沒那麼大，但四個入口方向之流量差異相對較小，選擇轉向的車輛比例相對較多。另外因為軌跡資料具有車輛的位置資訊，可以將車輛的軌跡視覺化呈現，了解車輛行駛時的分佈與各個轉向數量之大小差異，路口 1 與路口 2 的軌跡圖如圖 4.5 及圖 4.6 所示。

表 4.3 路口 1 各轉向車種之流量統計表

進入方向	離去方向	轉向	機車	小型車	大型車	小計	入口方向小計
AI	BO	左轉	0	1	0	1	2
	CO	直行	0	1	0	1	
	DO	右轉	0	0	0	0	
BI	CO	左轉	2	36	1	39	1587
	DO	直行	1194	326	27	1547	
	AO	右轉	0	1	0	1	
CI	DO	左轉	0	7	0	7	37
	AO	直行	0	0	0	0	
	BO	右轉	0	29	1	30	
DI	AO	左轉	0	3	0	3	1285
	BO	直行	938	300	36	1274	
	CO	右轉	0	8	0	8	
車種小計			2134	712	65	2911	



資料來源：溫基信等人（2023）

圖 4.5 路口 1 之軌跡圖（左圖為機車、右圖為小型車）

表 4.4 路口 2 各轉向車種之流量統計表

進入方向	離去方向	轉向	機車	小型車	大型車	小計	入口方向小計
AI	BO	左轉	70	25	3	98	469
	CO	直行	142	45	5	192	
	DO	右轉	150	22	7	179	
BI	CO	左轉	6	1	1	8	111
	DO	直行	32	7	1	40	
	AO	右轉	61	2	0	63	
CI	DO	左轉	13	7	0	20	218
	AO	直行	107	38	3	148	
	BO	右轉	33	16	1	50	
DI	AO	左轉	42	8	0	50	177
	BO	直行	96	5	3	104	
	CO	右轉	16	6	1	23	
車種小計			768	182	25	975	



資料來源：溫基信等人（2023）

圖 4.6 路口 2 之軌跡圖（左圖為機車、右圖為小型車）

除了流量資料，還可以運用軌跡資料計算得到流率變化。以一分鐘為時間切分長度，可以得到多筆一分鐘長度的流率資料，進而利用折線圖呈現路口各方向之流率變化，可以觀察抵達之車流為平均穩定到達還是隨機分布。圖 4.7 與圖 4.8 分別為路口 1 與路口 2 的流率變化圖，縱軸為車輛數、橫軸為時間，由左至右為依照時間順序排列，由上至下分別為 A、B、C 和 D 入口方向，不同顏色代表為不同車種資料，紅色為機車（m）、藍色為小型車（c）、灰色為大型車（t）。

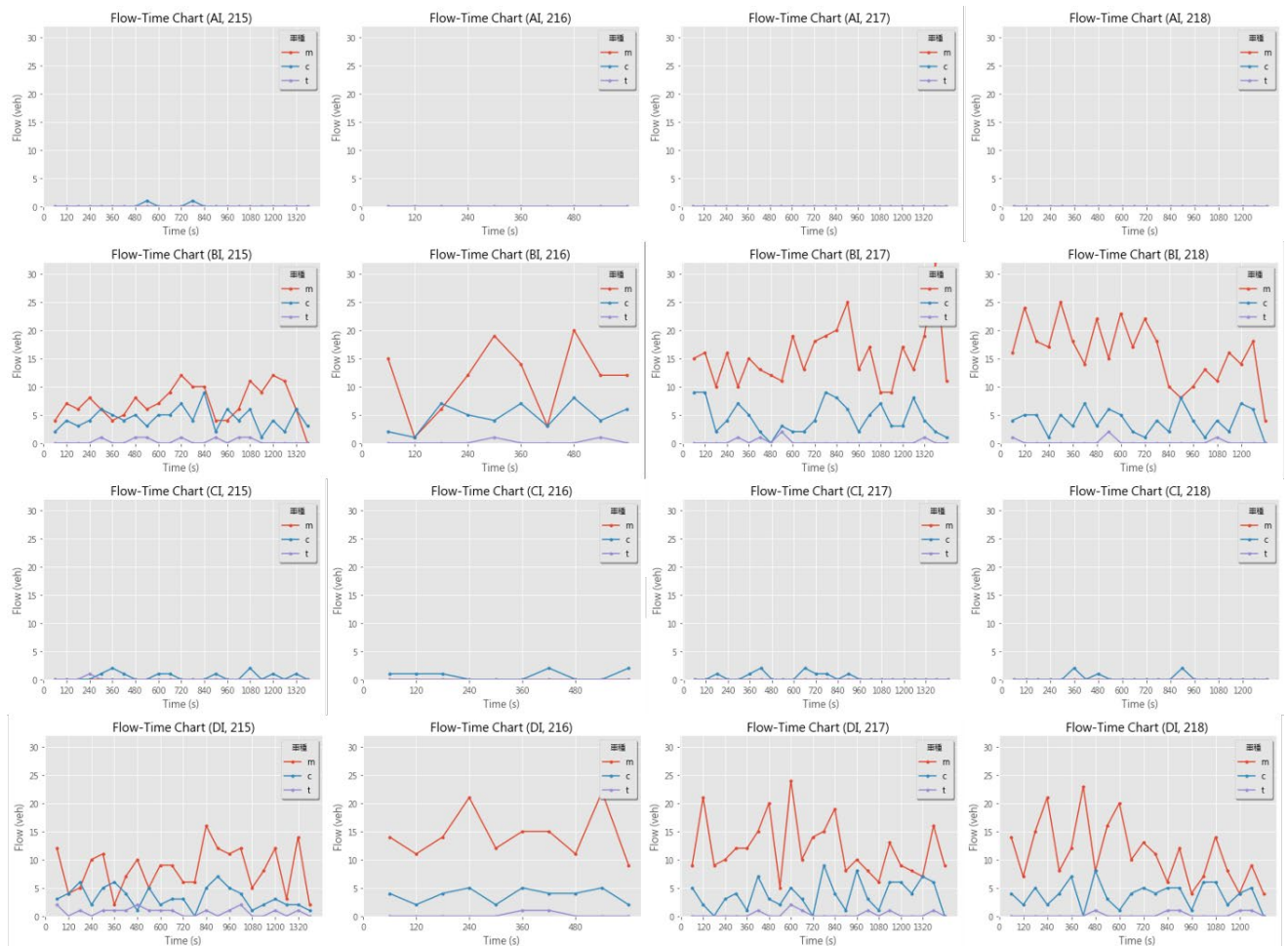


圖 4.7 路口 1 之流率變化圖（每分鐘一筆資料）

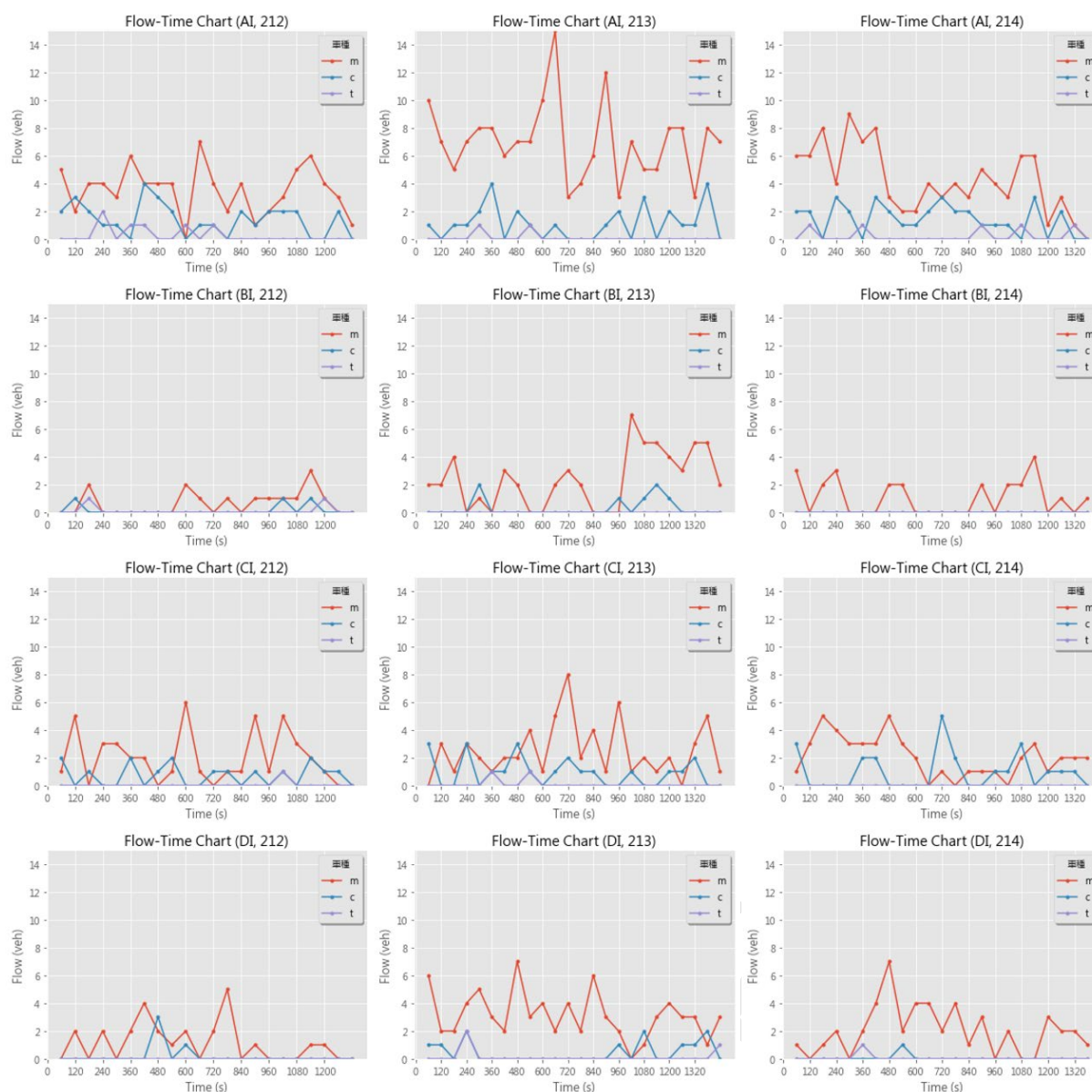


圖 4.8 路口 2 之流率變化圖（每分鐘一筆資料）

4.2.2 速度

速度的定義為物體單位時間所移動之距離，因此車輛的速度可以透過軌跡資料中的位置變化推得其速度。然而軌跡資料中因為偵測問題導致的抖動是需要被處理的，藉由 4.1.2 小節說明之方法推算出平滑後之車速，即可用於後續有關速度的分析項目及內容，包含單一車輛速度變化、不同進入路口方向之車速分布、不同位置之車速分布。

首先，針對單一車輛的速度變化，可以運用 V-T 圖呈現單一車輛隨著時間所發生之速度變化，可以得知該車輛在拍攝畫面中出現了多長時間、速度的變化幅度。圖 4.9 為兩台車之速度時間關係圖（V-T 圖），左圖之車輛其車速約在 7.5

m/s (27 km/h) 左右，其在畫面出現的時間長度約為 10 秒左右，整體沒有太大的速度變化；右圖之車輛其車速則約介於 2.5 至 10 m/s (9 至 36 km/h) 左右，在畫面出現的時間長度則約 12 秒，速度具有明顯的變化。

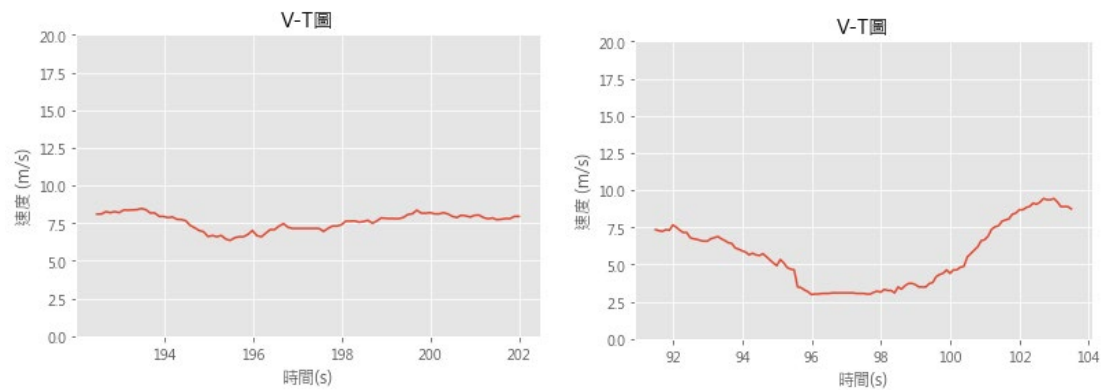


圖 4.9 兩車之速度時間關係圖 (V-T 圖)

除了可以得到單一車輛的速度資訊，可以透過軌跡資料蒐集通過路口區域的車速。例如為了要理解該路口車輛通過路口之速度，將路口區域以各個方向的停止線作為邊界，篩出每個方向之直行車進入路口與離開路口的時間差，即可得到每台直行車通過路口的平均速度，再以直方圖找出車輛通過路口的車速分布。圖 4.10 與圖 4.11 分別為路口 1 與路口 2 直行車通過路口時的速度分布圖，紅色為機車、藍色為小型車，可以觀察到機車與汽車通過路口時的速度分布是不同的，而兩路口之通過路口平均車速比較如表 4.5 所示。

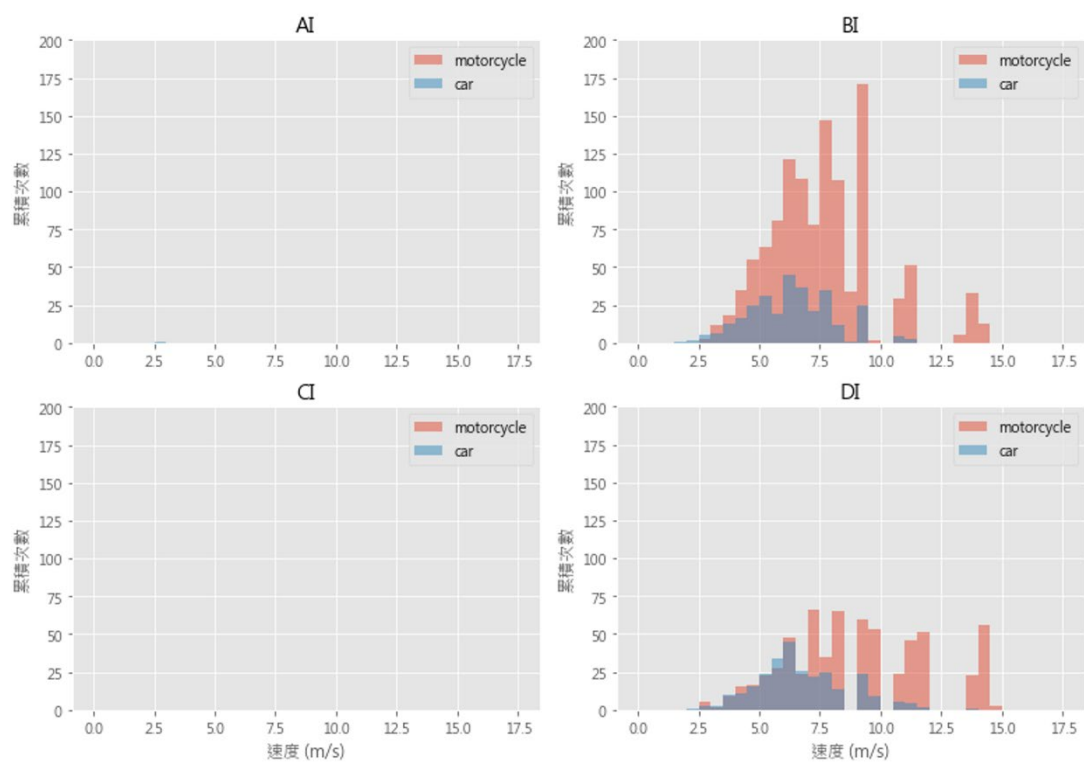


圖 4.10 路口 1 通過路口之速度分布

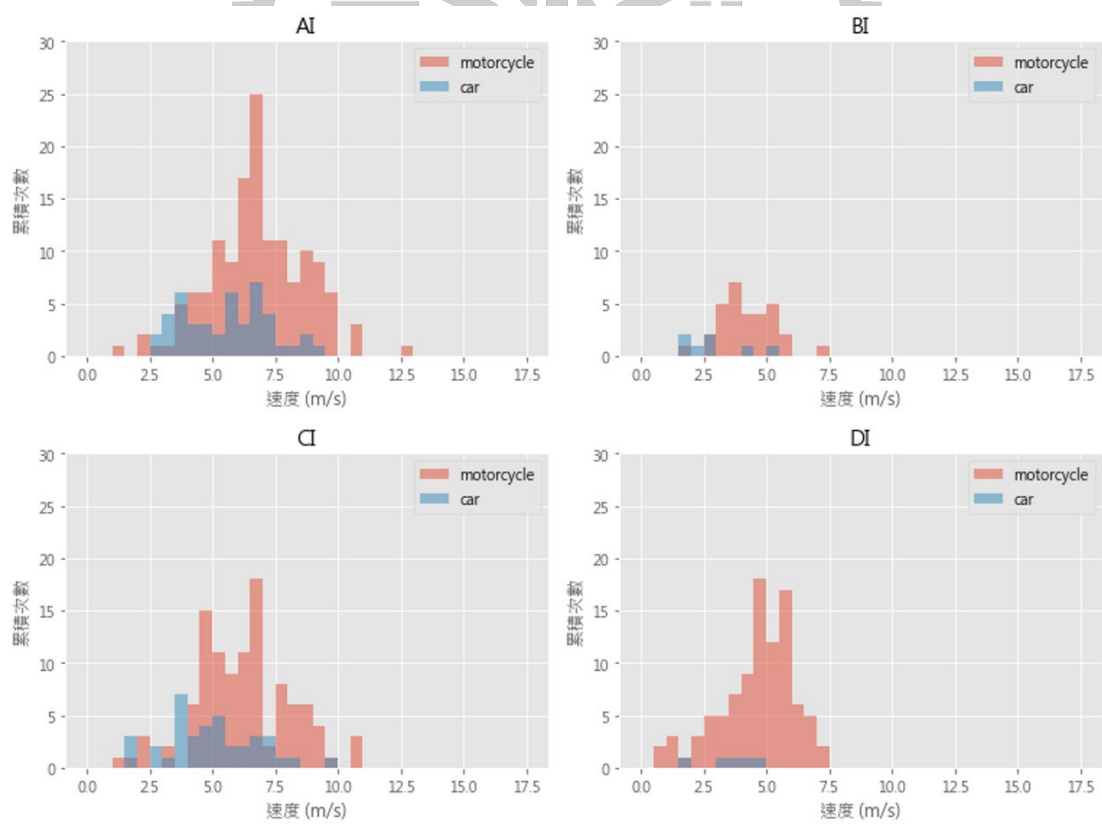


圖 4.11 路口 2 通過路口之速度分布

表 4.5 直行車通過路口之平均速度比較表

路口	車種	速度 (m/s)			
		A 方向	B 方向	C 方向	D 方向
路口 1	機車	-	7.7	-	9.3
	小型車	2.6	6.4	-	6.9
路口 2	機車	6.8	4.3	6.2	4.6
	小型車	5.5	2.9	5.0	3.6

另外可以呈現車輛在不同位置之車速變化，及車速是否與其所在位置有關聯，將依照車輛所在位置之車速，利用顏色代表其速度之快慢並繪製於路口底圖上，可以呈現空間上車速之分布，路口 1 的空間速度分布圖如圖 4.12、而路口 2 的空間速度分度圖則如圖 4.13 所示。可以發現路口 1 的 B、D 方向因為屬於幹線道且具有許多直行車使得車輛通常以不減速之方式通過路口，但路口 2 並未劃分幹線道與支線道使得四個方向之車輛到路口處有較明顯的減速行為，轉彎車的減速程度又更加明顯。



圖 4.12 路口 1 之空間車速分布圖（速度單位：m/s）

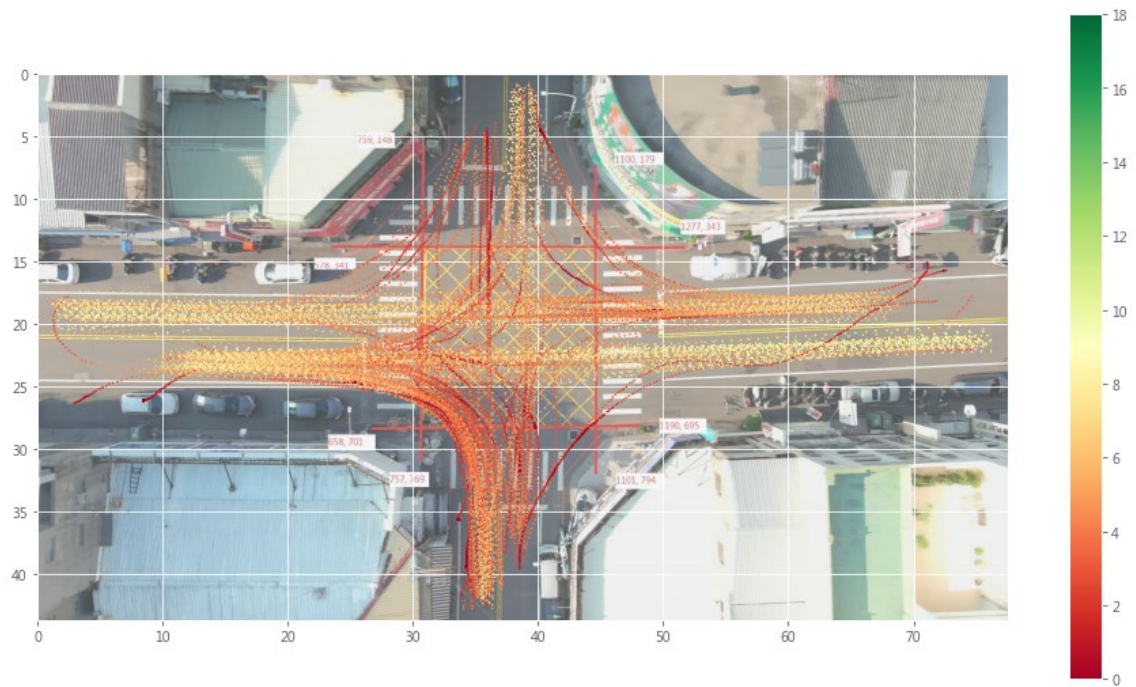


圖 4.13 路口 2 之空間車速分布圖（速度單位：m/s）



4.2.3 加速度

加速度為衡量車輛在單位時間內速度的變化情形，當加速度值為正時代表車輛正在加速情形、而加速度值為負時則表示車輛正在減速。軌跡資料中可以取出單一車輛的加速度變化，在此情況中通常會搭配車速一起看，當車速較高時又出現數值較小之負加速度，為發生急減速之情形。為了更好的解讀減速度值與其發生位置之意義，可以將車輛加速度所發生之位置對上繪製於路口底圖上，可以看到車輛發生加減速程度的空間位置分布，如圖 4.14 與圖 4.15 所示。圖 4.14 與圖 4.15 分別為路口 1 與路口 2 的加速度在空間上之分布圖，可以發現路口 1 中負值之加速度分布較為隨機、路口 2 的負值加速度主要是出現在進入路口前之範圍，表示路口 2 之車輛進入路口前較有減速行為之傾向。



圖 4.14 路口 1 之空間加速度分布圖（速度單位： m/s^2 ）

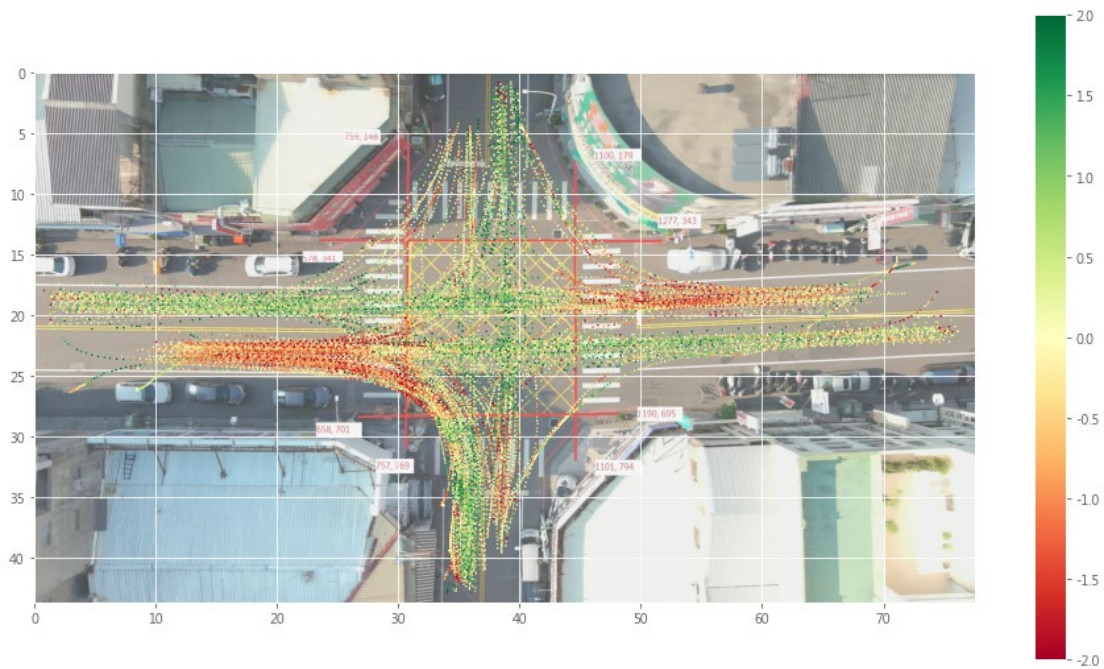


圖 4.15 路口 2 之空間加速度分布圖（速度單位： m/s^2 ）

4.2.4 跟車時距

跟車時距 (headway) 的定義為前車車頭 (尾) 至後車車頭 (尾) 通過同一地點之時間差，其結果可以應用於推估容量與推估不同車種之小客車當量 (passenger car equivalent, PCE)。本研究在計算跟車時距時，挑選四個入口方向之停止線為計算基準點，並以車道為基礎依照前後兩車之車種組合進行分類，推算各前後車組合的跟車時距分布。計算時，只會採用有完整軌跡的資料，若有車輛軌跡斷軌或是無法判斷其進入路口方向者，會將該車輛的軌跡資料排除。另外大型車資料較少，及路口 1 之 AC 方向車流量較低，因此不納入分析結果。

同個路口之四個入口方向完成計算以後，將對向的入口資料合併，並依照不同的前後車車種組合：機車-機車（m-m）、機車-小型車（c-m）、小型車-機車（m-c）、小型車-小型車（c-c），繪製出各車種組合之跟車時距分佈圖，路口 1 之 BD 方向如圖 4.16、路口 2 之 AC 方向與 BD 方向分別如圖 4.17 與圖 4.18，可以看到不同前後車組合之跟車時距分布型態；然而不同的速度會影響後車跟隨前車的跟車時距長短，因此依照各車種組合後車通過停止線速度繪製跟車時距的盒狀圖。圖 4.19 為路口 1 之 BD 方向依照後車通過停止線速度所產生之跟車時距盒狀圖，圖 4.20 與圖 4.21 分別為路口 2 之 AC 方向與 BD 方向依照後車通過停止線速度所產生之跟車時距盒狀圖，綜合觀察這些圖中可以發現：在路口 1 中，後車為機車的跟車時距分布普遍小於後車為汽車的跟車時距分布，機車-機車之前後車組合的跟車時距是偏短的；大部分的機車其跟車時距小於 2 至 3 秒，大部

分的汽車其跟車時距則是小於 3 至 4 秒；然而計算時是以車道為基礎，因此當前後車組合中包含機車時，因為機車非常有機會與其他車輛併行，導致計算之跟車時距非常接近於 0。對於路口 2 的 AC 方向來說，也是有機車的跟車時距普遍小於汽車的現象；路口 2 的 BD 方向可能受限於樣本數較少，導致各個前後車組合差異相對較不明顯。整體來說，在同樣的路口中相比，後車為機車的跟車時距普遍小於汽車的跟車時距。

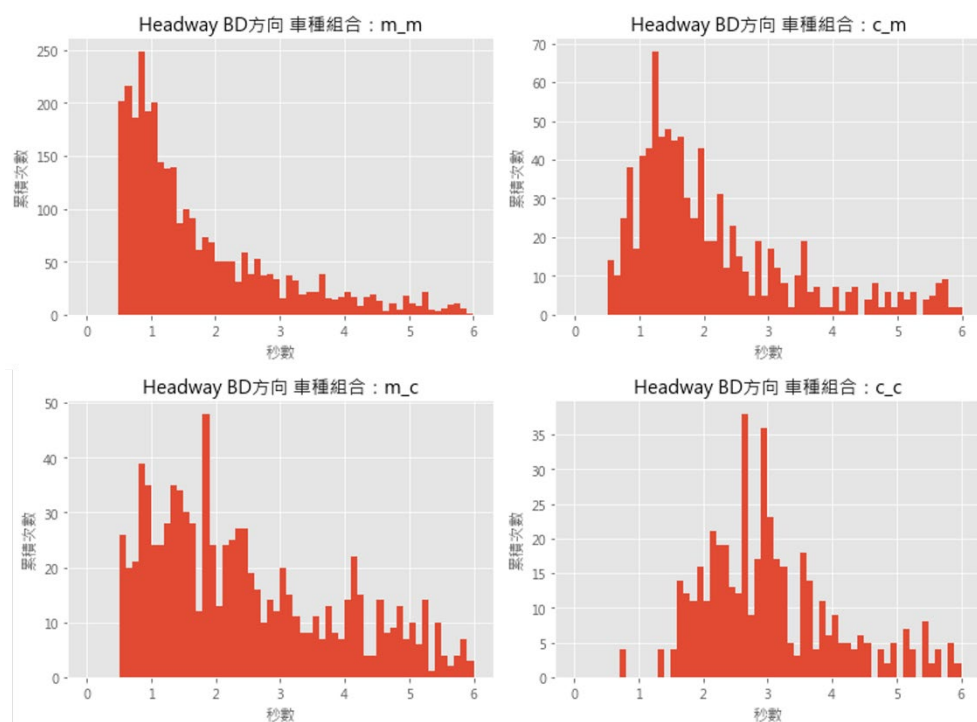


圖 4.16 路口 1 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距分佈圖

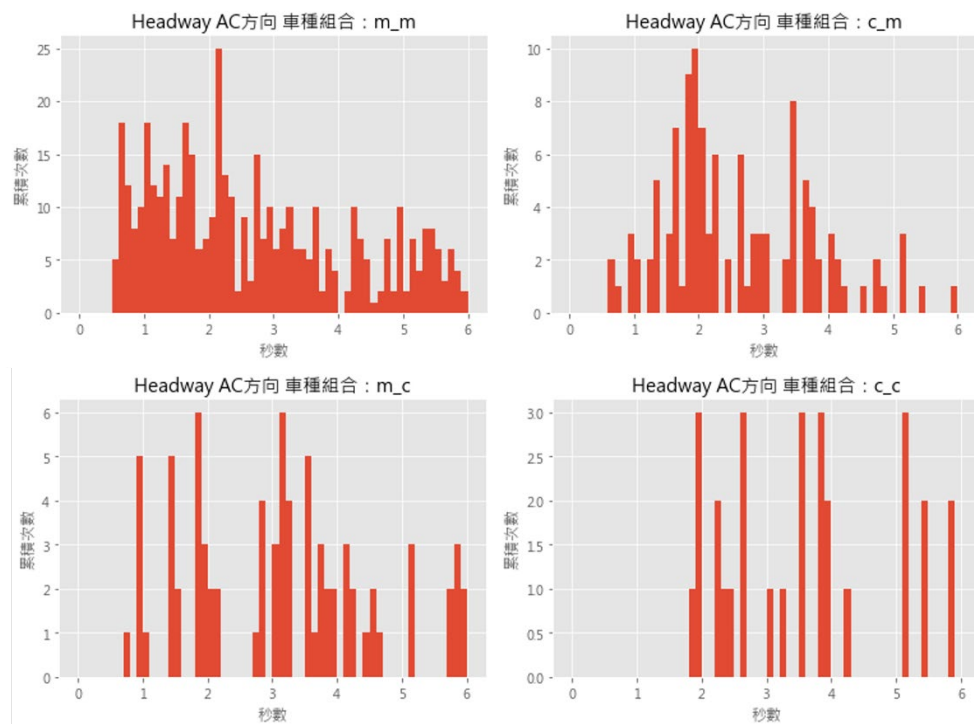


圖 4.17 路口 2 之 A、C 方向不同前後車組合之跟車時距分佈圖

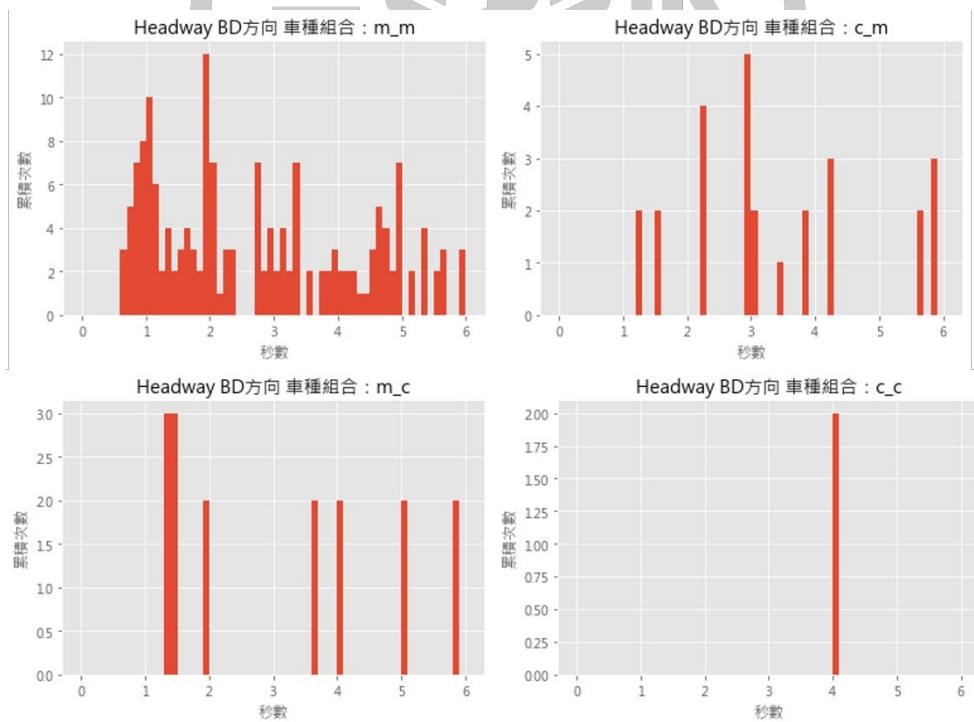


圖 4.18 路口 2 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距分佈圖

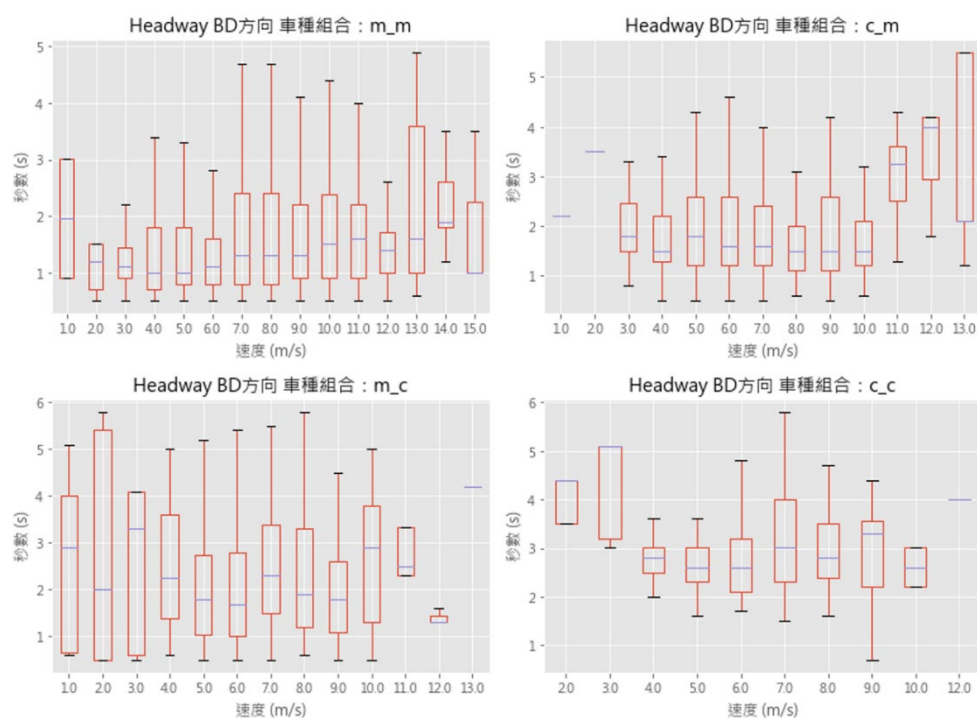


圖 4.19 路口 1 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距與速度分佈圖

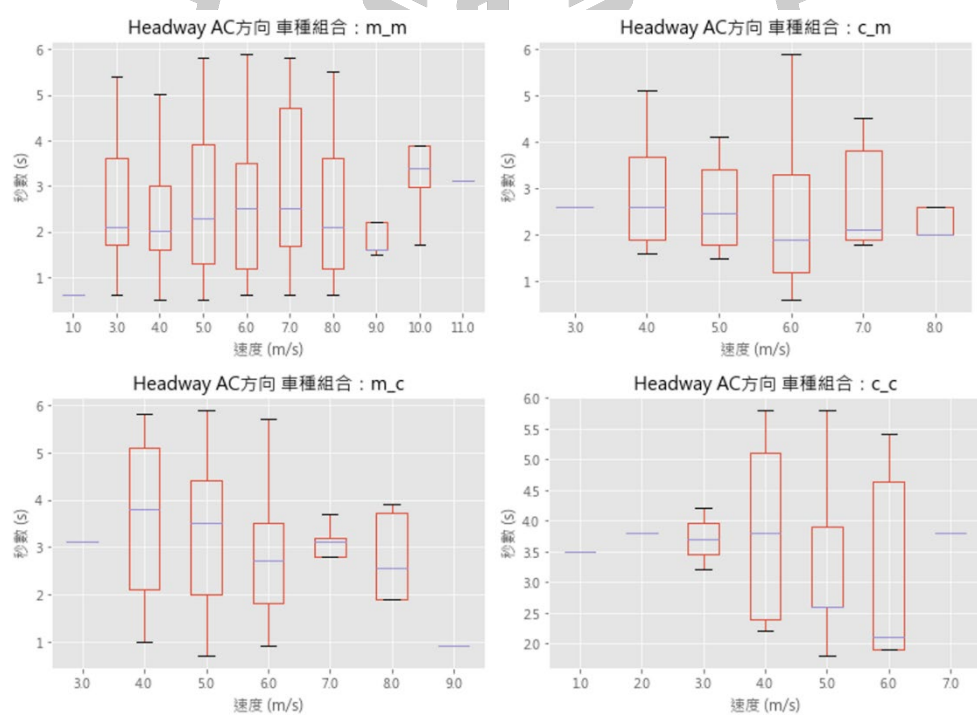


圖 4.20 路口 2 之 A、C 方向不同前後車組合之跟車時距與速度分佈圖

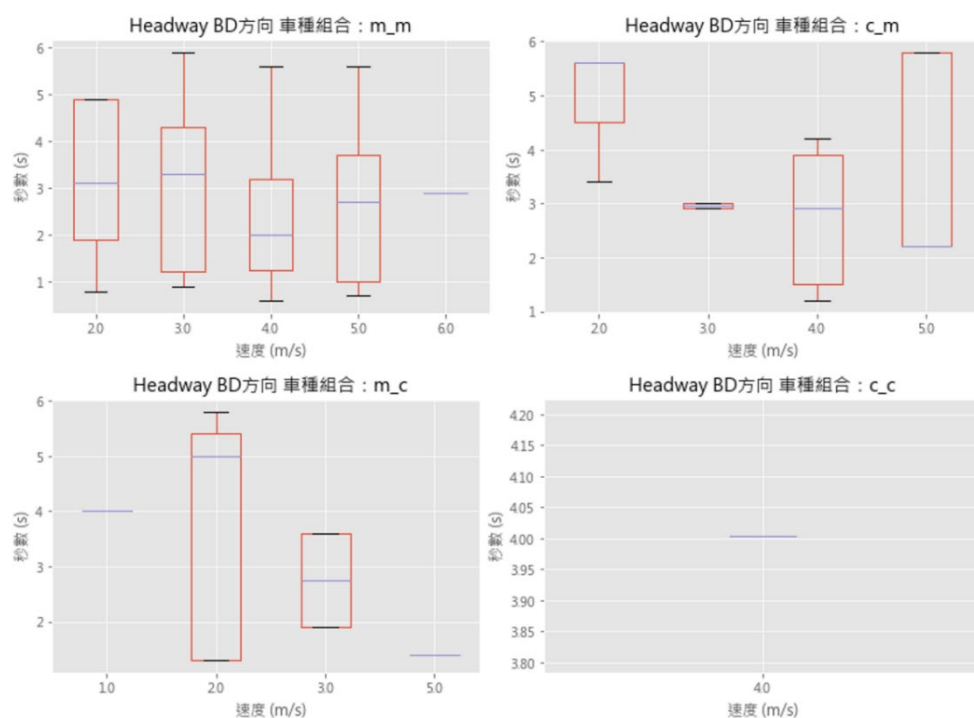


圖 4.21 路口 2 之 B、D 方向不同前後車組合之跟車時距與速度分佈圖

根據圖 4.19、圖 4.20 及圖 4.21 各種不同前後車組合之跟車時距結果，依照各個方向不同前後車組合，找出各組合中之最低跟車時距及其所對應之車速，並整理出表 4.6 之結果，作為可供交通工程參考之具體數字。

表 4.6 路口不同方向不同前後車組合之最低跟車時距組合

路口	車流方向	前車-後車	樣本數	最低跟車時距 (秒)	對應車速 (m/s)
1	B-D	機車-機車	1399	1.0	4, 5
		汽車-機車	378	1.5	4, 8, 9, 10
		機車-汽車	388	1.7	6
		汽車-汽車	170	2.6	5, 6, 10
2	A-C	機車-機車	435	1.6	9
		汽車-機車	115	1.9	6
		機車-汽車	77	2.5	8
		汽車-汽車	29	2.1	6
	B-D	機車-機車	165	2.0	4
		汽車-機車	26	2.2	5
		機車-汽車	16	2.7	3
		汽車-汽車	2	4.0	4

4.3 非號誌化路口之車流行為分析

本節將會針對兩個非號誌化路口進行車流行為分析，主要的車流行為分析項目包含：空間速度變化、兩車衝突、超速行駛、跨越雙黃線、急減速。以下將針對各項車流行為進行結果描述與說明。

4.3.1 空間速度變化

車輛通過路口時，車速為影響安全的因素之一。依照道路交通安全規則第 102 條規定，車輛行經無號誌路口時應依照路權優先性，禮讓優先權較大的車輛先行通過路口，而第 103 條則規定車輛經過設有行人穿越線的無號誌路口前應減速慢行。因此，衡量車流抵達路口前的速度變化有其必要性，目的在於檢視車輛於通過非號誌路口前是否有充分減速或慢速之行為，因為該行為是影響路口安全的因素。

透過 V-X 圖可以檢視車輛在停止線附近的的速度變化，路口 1 和路口 2 的 V-X 圖分別如圖 4.22 與圖 4.23 所示。從圖中可以發現，路口 1 的直行車通過路口時較無明顯之減速行為，路口 2 的直行車相對有較多車輛有減速行為。利用 V-X 圖可以看出車輛隨著位置變化的速度趨勢，但無法直接得到明確的數字。以下將分成兩部分說明車輛的空間速度變化，第一部分為分析停止線上的速率，第二部分則為分析車輛從上游接近停止線的速度變化。

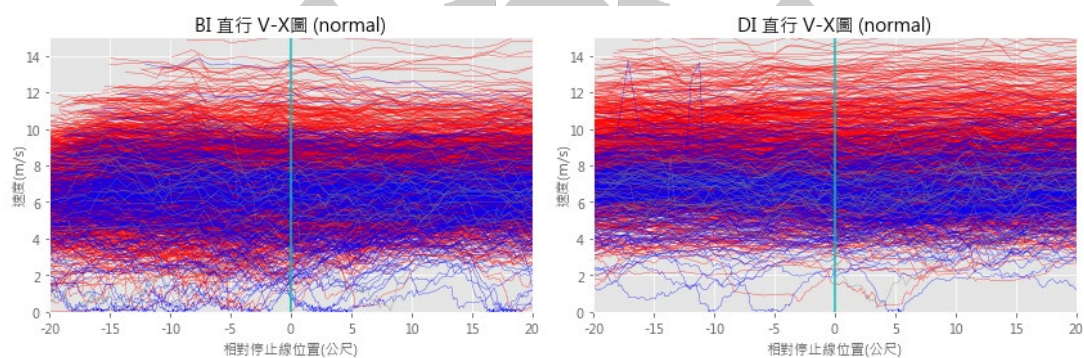


圖 4.22 路口 1 之 B、D 方向直行車速度位置關係圖

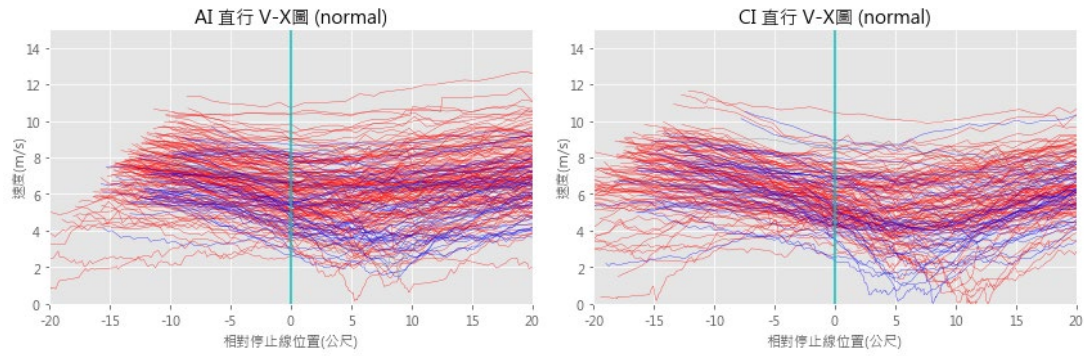


圖 4.23 路口 2 之 A、C 方向直行車速度位置關係圖

1. 車輛通過停止線之速度分布

觀察停止線截面上，車輛通過停止線的速率分佈，圖 4.24 至圖 4.25 分別為路口 1 的 B 方向與 D 方向停止線上速度分佈圖，表 4.7 為車輛通過停止線時速率的統計表。觀察圖表可以得知，機車通過停止線的平均速度約 7 至 8 公尺/秒，而汽車通過速度則約為 6.1 至 6.6 公尺/秒。非號誌路口未受到號誌控制將兩衝突方向之車流分開，車輛必須慢速通過過口，如果以速度為 30 公里/小時為基準，機車通過路口速度超過 30 公里/小時的比例約三至四成，汽車通過路口速度超過 30 公里/小時的比例約一成二至一成五；如果將速度基準訂為 20 公里/小時，其超過速度的比例皆超過六成，D 方向的機車甚至將近九成，如表 4.8 數據所示。整體來說，機車通過停止線的速度較汽車大，且機車通過停止線速度的變異也比汽車通過停止線速度的變異還大，且機車以超過時速每小時 30 公里的比例又相對較高，具有較大之風險。從速度的第 25 百分位數來看，B 方向機車、B 方向汽車、D 方向機車、D 方向汽車分別為 5.81、4.77、6.50、5.52 公尺/秒，相當於 20.9、17.1、23.4、19.9 公里/小時，表示各個方向車種組合各自有 75% 比例的車使用超過該數值的速度通過路口，顯示路口 1 大部分車輛沒有以慢速方式通過停止線。

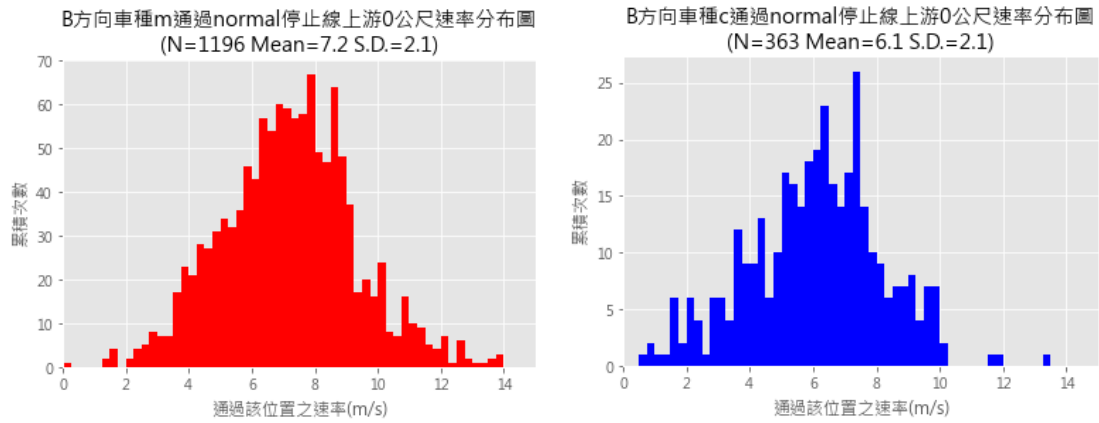


圖 4.24 路口 1 之 B 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖

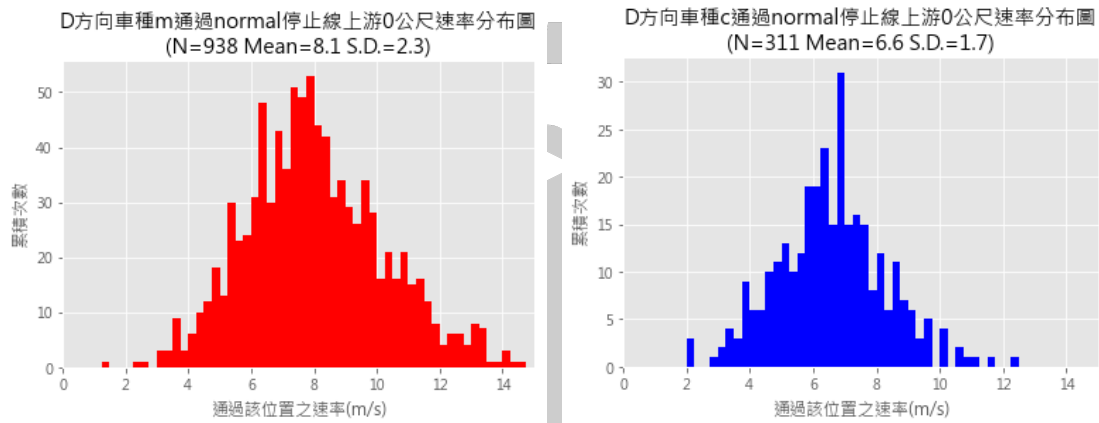


圖 4.25 路口 1 之 D 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖

表 4.7 路口 1 車輛通過停止線時速率敘述統計表（單位：m/s）

	B 方向機車	B 方向汽車	D 方向機車	D 方向汽車
總數	1196	363	938	311
最小值	0.08	0.57	1.47	2.01
25 百分位數	5.81	4.77	6.50	5.52
中位數	7.23	6.20	7.89	6.57
75 百分位數	8.53	7.43	9.47	7.57
平均值	7.19	6.10	8.08	6.58
最大值	19.16	13.48	20.93	12.29
樣本標準差	2.14	2.10	2.27	1.70
偏度	0.28	-0.10	0.58	0.18
峰度	0.96	0.10	1.18	0.33

表 4.8 路口 1 車輛通過停止線時超過特定速度之比例

	B 方向機車	B 方向汽車	D 方向機車	D 方向汽車
總數	1196	363	938	311
超過 30km/h	28.34%	12.67%	39.98%	14.79%
超過 20km/h	78.34%	63.36%	87.95%	74.92%
超過 15km/h	92.06%	81.82%	97.23%	91.64%

除了路口 1 的資料分析，另外進行路口 2 的資料整理與分析。圖 4.26 與圖 4.27 為路口 2 的 A、C 方向停止線上的機車與汽車的速率分佈圖，機車通過停止線的均速為 5.5 公尺/秒、汽車約為 5 公尺/秒，兩車種之間的速度分佈相差不大。

再觀察詳細統計數字，表 4.9 則為路口 2 兩個方向的車輛通過停止線的速度敘述統計表，可以發現機車與汽車在各個四分位數的數字相差不大，而機車中的最高速比汽車的最高速還大。表 4.10 則是呈現路口 2 的兩方向車輛通過停止線時超過特定速度之比例，如果以速度超過 30 公里/小時為基準，每個方向車種組合僅不到 4% 的車輛超過 30 公里/小時，比例相當低；如果將速度標準降至 20 公里/小時，A 方向的機車有將近一半的比例超過 20 公里/小時，C 方向的汽車則大約只有四分之一超過 20 公里/小時。整體來說，相比於路口 1，路口 2 的未慢速及未減速的車輛比例相對較低，另外將圖 4.22 與圖 4.23 進行比較，亦可發現路口 2 有較明顯的速度變化趨勢，較高比例之車輛到達停止線附近有減速之行為。

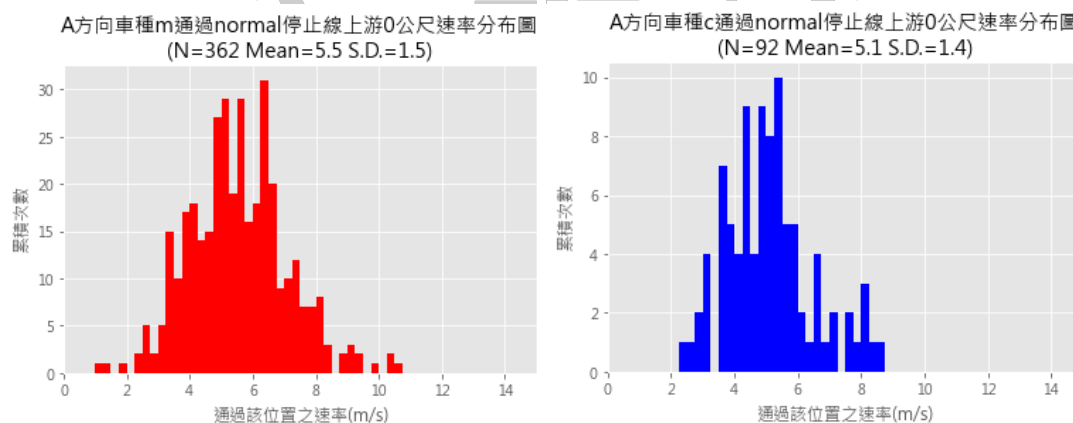


圖 4.26 路口 2 之 A 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖

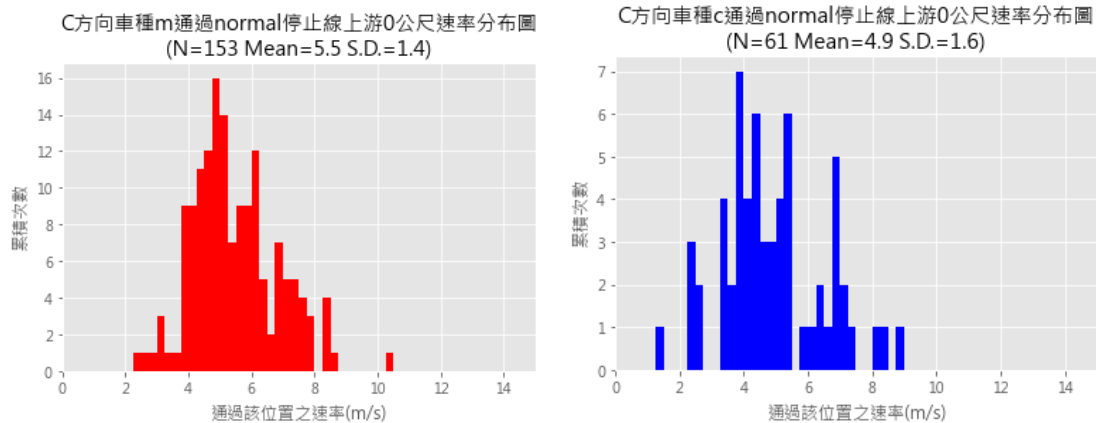


圖 4.27 路口 2 之 C 方向機車與汽車通過停止線速度分佈圖

表 4.9 路口 2 車輛通過停止線時速率敘述統計表（單位：m/s）

	A 方向機車	A 方向汽車	C 方向機車	C 方向汽車
總數	362	92	153	61
最小值	1.02	2.37	2.39	1.46
25 百分位數	4.50	4.22	4.52	3.89
中位數	5.50	5.01	5.18	4.66
75 百分位數	6.45	5.68	6.20	5.96
平均值	5.55	5.10	5.47	4.90
最大值	10.71	8.68	10.43	8.93
樣本標準差	1.54	1.38	1.36	1.59
偏度	0.31	0.57	0.60	0.39
峰度	0.40	0.14	0.49	-0.10

表 4.10 路口 2 車輛通過停止線時超過特定速度之比例

	A 方向機車	A 方向汽車	C 方向機車	C 方向汽車
總數	362	92	153	61
超過 30km/h	3.59%	1.09%	3.27%	3.28%
超過 20km/h	48.07%	30.43%	43.14%	26.23%
超過 15km/h	80.11%	75.00%	86.27%	63.93%

2. 車輛於停止線附近之速度變化

車輛在通過非號誌化路口時，因為沒有號誌的管制，車輛必須減速並注意其他方向來車，因此車輛是否減速或是慢速通過路口即為重點。然而目前並沒有一個量化的方法用以衡量車輛通過路口時是否慢速或減速，為了可以以量化方式衡

量車輛於路口區域是否有充分的減速行為或以慢速通過路口，本研究提出指標 $\tilde{v}_i$ 用以衡量單一車輛的速度變化行為，並將分析範圍限縮於停止線上游 20 公尺至停止線下游 10 公尺，如(式 4-1)：

$$\tilde{v}_i = \frac{v_i^{85} - v_i^{min}}{\bar{v}_i} \quad (4-1)$$

其中， v_i^{85} 為第*i*輛車之第 85 百分位數車速(m/s)， v_i^{min} 為第*i*輛車之最低速(m/s)， $\bar{v}_i$ 為第*i*輛車的平均車速(m/s)， $\tilde{v}_i$ 為一無單位之指標。預期當 $\tilde{v}_i$ 數值越大時，表示該車在分析範圍內的速度變化量越大，可能有較明顯的減速行為；反之當 $\tilde{v}_i$ 數值越小時，表示該車保持較穩定的速度，無太大的速度變化量。另外，在第 85 百分位數之速度扣除最低車速之數值($v_i^{85} - v_i^{min}$)固定不變的情況下，當該車的平均車速越高，會對應到越小的 $\tilde{v}_i$ 數值，即表示車輛減速的幅度越不明顯。

因此本研究從軌跡資料中撈取四台速度變化樣態不太相同的車輛軌跡資料，確認 $\tilde{v}_i$ 數值大小與車輛速度變化的關係是否如同預期一致，其結果如圖 4.28 所示。從這四台車的速度位置關係圖中可以觀察到：當車輛有較大的速度變化，會得到較大之 $\tilde{v}_i$ 數值（id 為 21212004 與 21216289）；當速度變化較小時，得到較低的 $\tilde{v}_i$ 數值，如果再搭配更高之平均車速，會得到更低的 $\tilde{v}_i$ 數值（id 為 21212212 與 21310931）。

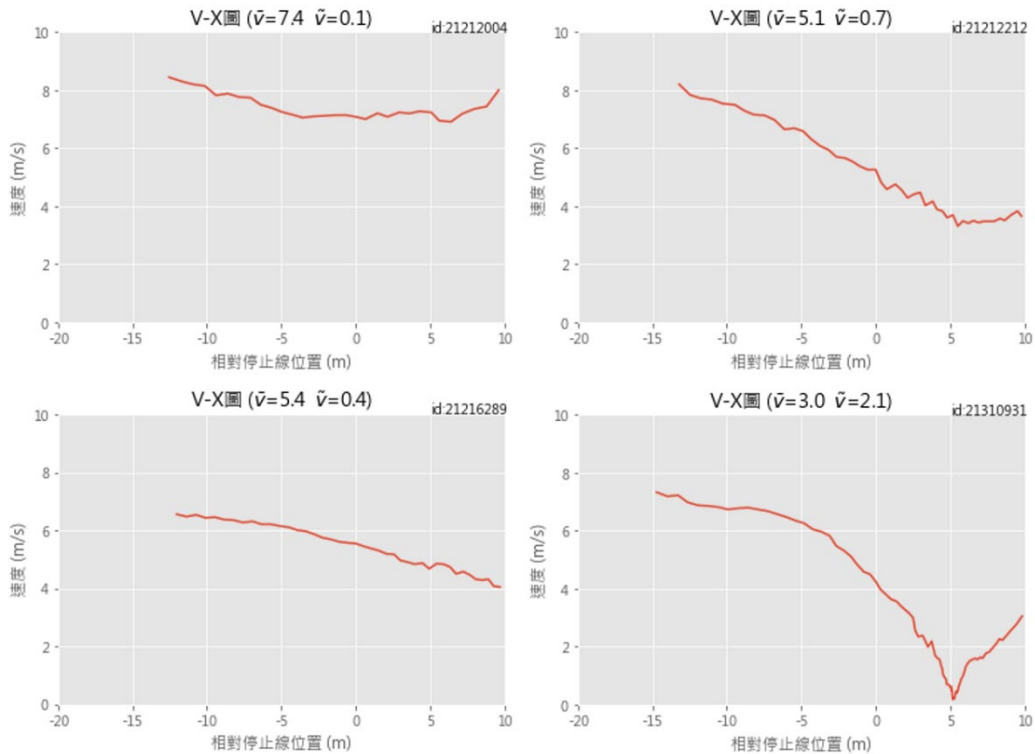


圖 4.28 車輛之速度位置關係圖（V-X 圖）與 $\tilde{v}_i$ 數值之關係

接著，本研究依照（式 4-1）分別計算每台車之 $\tilde{v}_i$ 數值，並將結果依照不同的路口與進入方向分類，運用散佈圖呈現每台車在分析範圍內的平均車速（ $\bar{v}_i$ ）與 $\tilde{v}_i$ 之間的關係，路口 1 其中的兩個直行方向之結果如圖 4.29 所示、路口 2 其中的兩個直行方向之結果則如圖 4.30 所示，紅點表示為機車（m）樣本、藍點為小車（c）樣本。從點的分佈結果來看，主要呈現左上一右下的趨勢；比較路口 1 與路口 2 各兩方向之直行車結果，相比於路口 2，路口 1 有較大的比例落在 $\tilde{v}_i$ 小於 0.5 之位置，推測路口 1 兩方向的直行車其減速幅度相對較小。

為了可以比較不同路口之間，車輛欲通過路口前是否有進行充分減速，或是以較低的車速通過路口，本研究針對此議題將資料分析範圍定在停止線上游 20 公尺至下游 10 公尺的區域，並運用試誤法得到以下兩個篩選條件以判斷出未充分減速或未慢速之車輛：（1） $\tilde{v}_i$ 小於 0.5，且（2） $\bar{v}_i$ 大於 6 m/s。此篩選條件是了抓取高速通過路口且無明顯減速行為的車輛，因此即使車輛有較高的初始車速，靠近路口時如有明顯之減速行為，會導致該車之平均車速下降，亦使其 $\tilde{v}_i$ 增加，就不會被納入為未充分減速或未慢速之車輛；另外當車輛的車速夠低時，亦無再減速的必要性，因此當平均車速小於 6 m/s 亦不會被納入為未充分減速或未慢速之車輛。

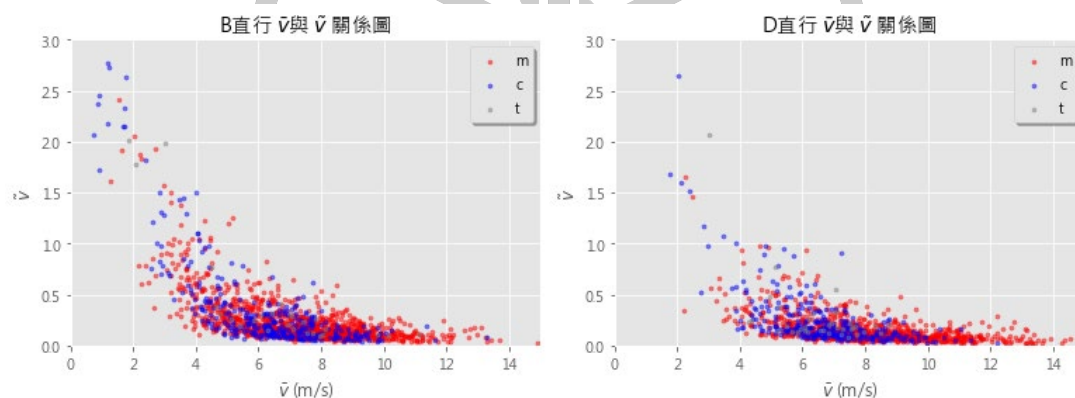


圖 4.29 路口 1 之 B、D 方向直行車 $\bar{v}_i$ 與 $\tilde{v}_i$ 關係圖

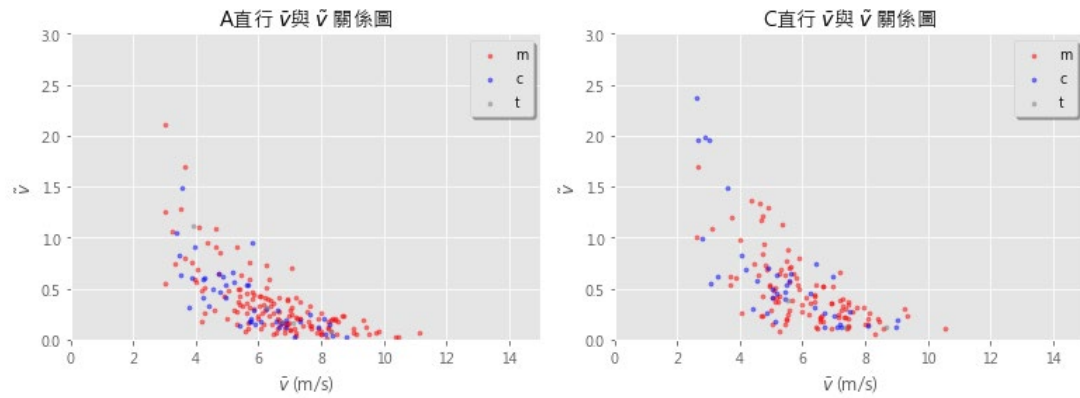


圖 4.30 路口 2 之 A、C 方向直行車 $\bar{v}_i$ 與 $\bar{v}_f$ 關係圖

根據前段提及之篩選未充分減速或未慢速車輛之條件，將路口 1 與路口 2 的資料依照條件分類可以得到以下的結果，如表 4.11 所示。從表中可以發現，針對同一個路口的同一個方向，機車未充分減速或未慢速之比例皆大於汽車之比例，且機車的 $\bar{v}_f$ 平均值也相對較小，表示機車的減速幅度相對於汽車為較不明顯，機車面臨的風險可能相對較大。另外同時比較路口 1 與路口 2 的相同車種，除了大車以外，不論是機車還是汽車，路口 2 的未充分減速或未慢速之比例都比路口 1 之比例還低，路口 2 的 $\bar{v}_f$ 之平均值則是比路口 1 的數值還高，顯示行經路口 2 的車輛相比於行經路口 1 的車輛，有較明顯的減速行為、與面臨較低的風險；而路口 1 與路口 2 的大車樣本數相對少，但未充分減速之比例卻相當高，比例至少三分之二，大車可能帶給所有用路人較大的風險影響。

表 4.11 路口 1 與路口 2 未充分減速或未慢速之車輛比例

路口	入口方向	車種	樣本數	未充分減速或未慢速之比例	$\bar{v}_i$ 之平均值	$\bar{v}_i$ 之標準差
1	B	機車	1194	71.6%	0.238	0.238
		汽車	326	58.9%	0.355	0.468
		大車	27	66.7%	0.427	0.558
	D	機車	938	84.0%	0.157	0.141
		汽車	300	68.7%	0.238	0.275
		大車	36	66.7%	0.270	0.336
2	A	機車	142	60.6%	0.343	0.324
		汽車	45	37.8%	0.396	0.311
		大車	5	80.0%	0.367	0.427
	C	機車	107	42.1%	0.467	0.331
		汽車	38	31.6%	0.630	0.575
		大車	3	66.7%	0.211	0.152

4.3.2 超速行駛

超速行駛為一違規行為，在有限的道路空間中，如果車輛以過快的速度行駛，容易造成自身與其他用路人之安全，發生事故時造成的危害相對較大。本研究所選的兩個路口皆為非號誌化路口，由於現場並未設置速限標誌或標線，依照法規除了路口 1 的 A、C 方向因為沒有分向限制線（雙黃線）而速限應為每小時 40 公里（11.1 m/s）之外，路口 1 的 B、D 方向與路口 2 因都具有分向限制線而速限應為每小時 50 公里（13.9 m/s）。圖 4.31 與圖 4.32 分別為路口 1 與路口 2 其中一架次的超速熱區圖，可以發現路口 1 在 B 方向與 D 方向有較多超速行駛的車輛，路口 2 則是較少車輛有超速之行為。



圖 4.31 路口 1 之超速熱區圖



圖 4.32 路口 2 之超速熱區圖

4.3.3 跨越雙黃線

雙黃線在法規上之正式名稱為分向限制線，該線的功能為區分不同方向的車輛於道路上可行駛之空間，車輛是禁止跨越雙黃線，因此跨越即屬違規，違反該規定容易與反方向之車輛發生意外事故，增加其安全風險，該行為通常會發生於轉彎處、切西瓜或逆向行駛而造成。該行為可以藉由軌跡資料中判斷而得，透過比對每台車輛行駛軌跡是否與雙黃線產生交點，如果產生交點即表示該車有跨越

雙黃線之行為，並可以將結果視覺化，路口 1 與路口 2 跨越雙黃線的結果如圖 4.33 與圖 4.34 所示，該結果為兩路口其中各一架次跨越雙黃線車輛之軌跡圖。路口 1 較多直行車有跨域雙黃線的行為，可能與附近的土地使用有關；路口 2 則是有許多轉彎車跨越雙黃線，通常是伴隨著切西瓜行為產生，可能是為了得到較大的轉彎半徑或避開對向來車而發生。

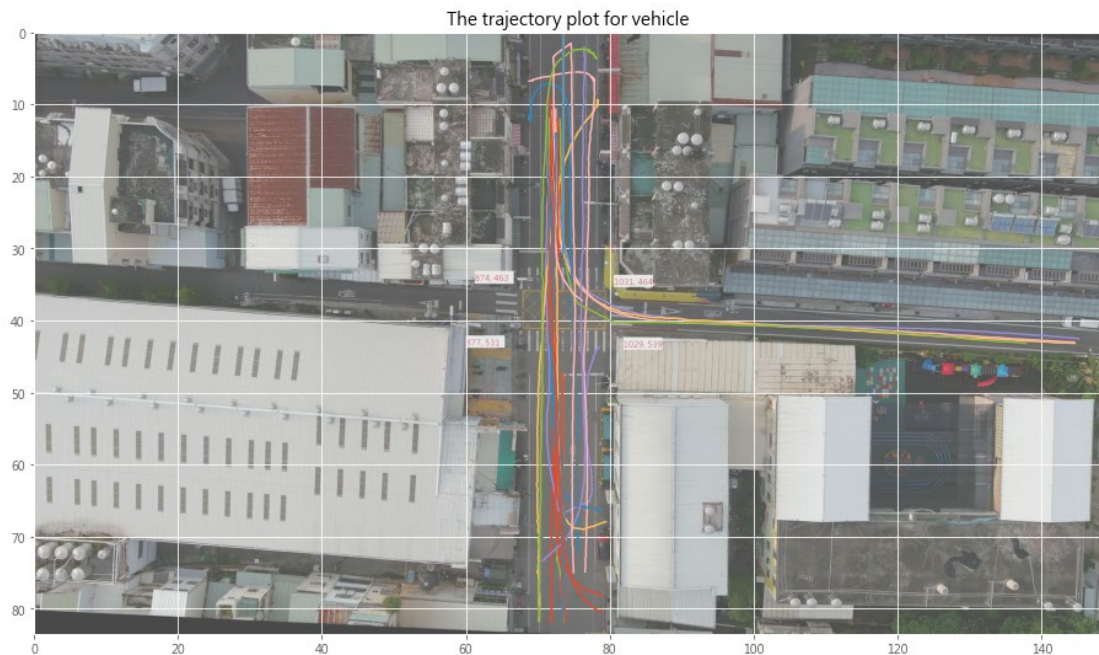


圖 4.33 路口 1 之跨越雙黃線車輛軌跡圖

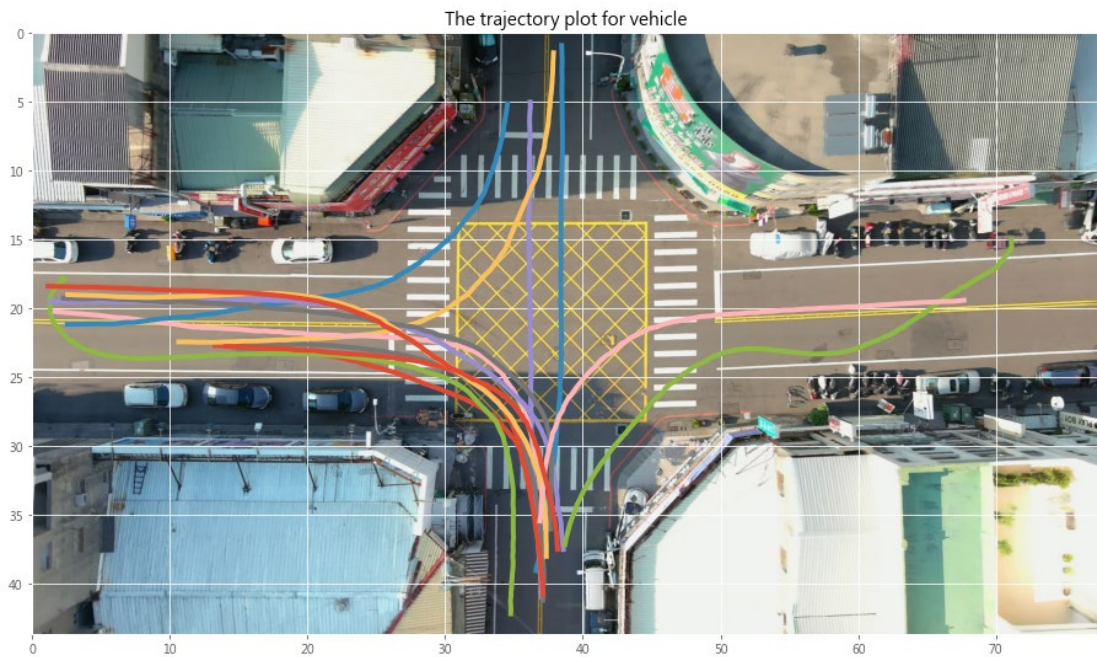


圖 4.34 路口 2 之跨越雙黃線車輛軌跡圖

4.3.4 急減速行為與加速度變化

除了速度以外，加速度也是眾多中介指標中之常見項目，除了可以看到車輛在不同時間與位置的加減速變化，當車輛發生急減速行為時，可能是車輛當時遭遇了緊急事件而採用之反應手段，必須即刻減速以避免發生事故或意外，因此如果可以找出路口中容易發生急減速的熱區，可以提供政府機關進行交通改善之參考。

為了找出何處為急減速熱區，首先必須先訂定急減速之門檻值。參考溫基信等人(2022)對於急減速門檻值回顧，大家對於減速度之門檻值並沒有共識，可能會因為不同研究方法與不同資料而有不同之結果，而本研究考慮了所使用的路口軌跡資料與過去研究對於減速度之門檻值，設定當加速度小於 -3 m/s^2 時為急減速事件。圖 4.35 與圖 4.36 分別為路口 1 與路口 2 其中各一架次之急減速熱區圖，可以觀察到大部分的急減速行為都是發生在接近路口處、停止線之附近區域，路口 1 的熱點大部分是在停止線上游處、而路口 2 的熱點則是主要發生在停止線下游更靠近路口中心之區域。



圖 4.35 路口 1 之急減速熱區圖

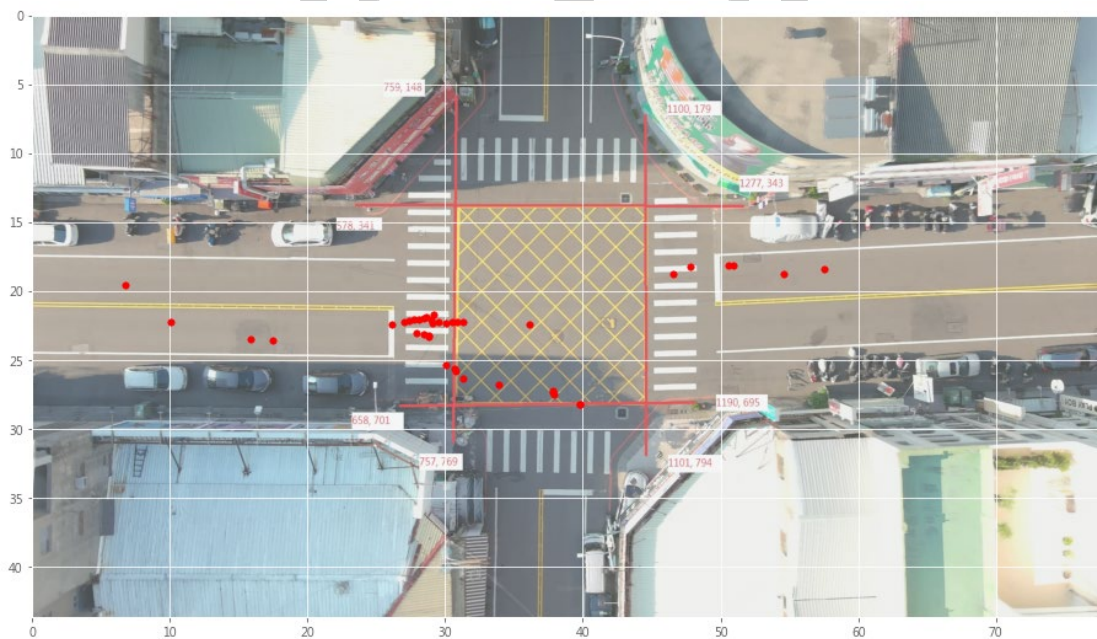


圖 4.36 路口 2 之急減速熱區圖

另外可以觀察於停止線附近之車輛加速度變化，了解車輛在停止線附近之加速度變化，探討車輛於停止線附近的加減速行為。為了看車輛在通過路口時的加速度行為變化，本研究將依照不同路口的進入方向繪製每一公尺橫斷面的各車種加速度數值的比例，觀察車輛在停止線上游 20 公尺 (-20) 至下游 10 公尺 (10) 範圍內加速度的分佈變化。如圖 4.37 與圖 4.38 所示，分別為路口 1 的 B 方向與 D 方向機車與汽車的加速度變化圖，可以觀察到如果以車種來區分，汽車通過停

止線前或通過路口前有較明顯的減速度趨勢，機車則是從上游至下游加速度分佈較沒有明顯的變化。

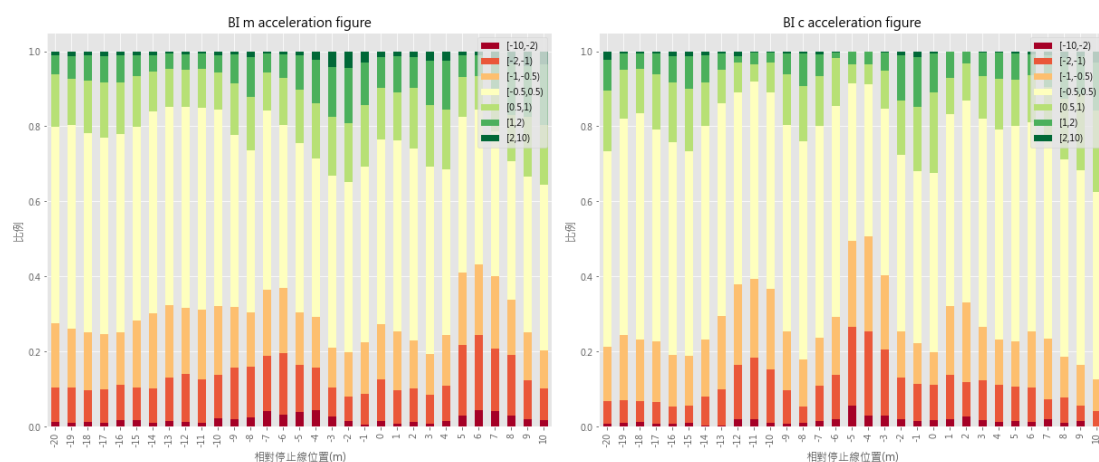


圖 4.37 路口 1 之 B 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)

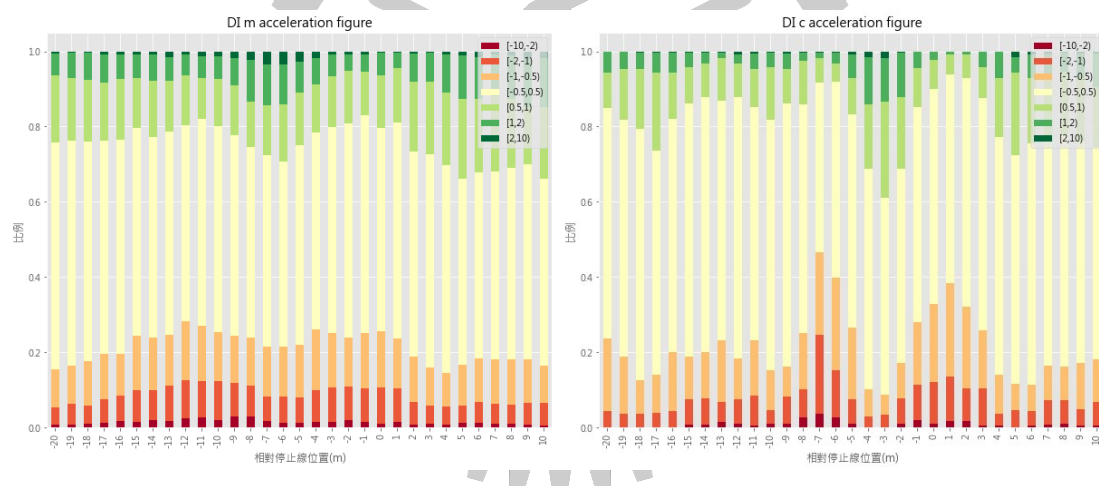


圖 4.38 路口 1 之 D 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)

路口 2 的加速度關係圖則是如圖 4.39 與圖 4.40 所示，可以發現路口 2 的各方向各車種在不同橫斷面位置皆有明顯的減速度變化，停止線上游處紅色系區塊佔比較大，過了停止線以後之下游後紅區系區塊比例逐漸降低、綠黃色系區塊比例逐漸增加，符合車輛在通過路口前應充分減速、通過路口後加速的預期行為。如果以車種來看，在相同位置來看，機車的深紅色比例通常都比汽車的深紅色比例還大，顯示機車可能會採取較大的減速度值進行減速，可能與機車在路段上之平均速度較大有相關。

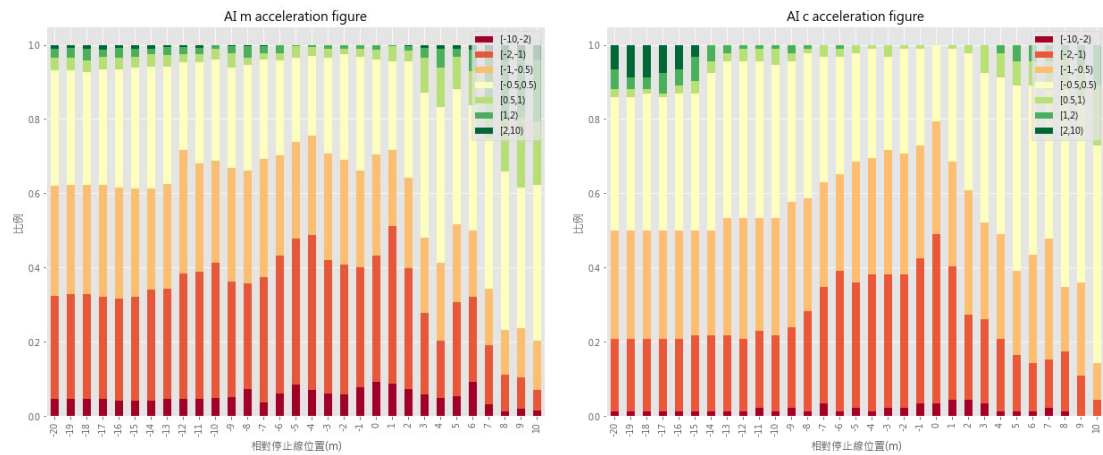


圖 4.39 路口 2 之 A 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)

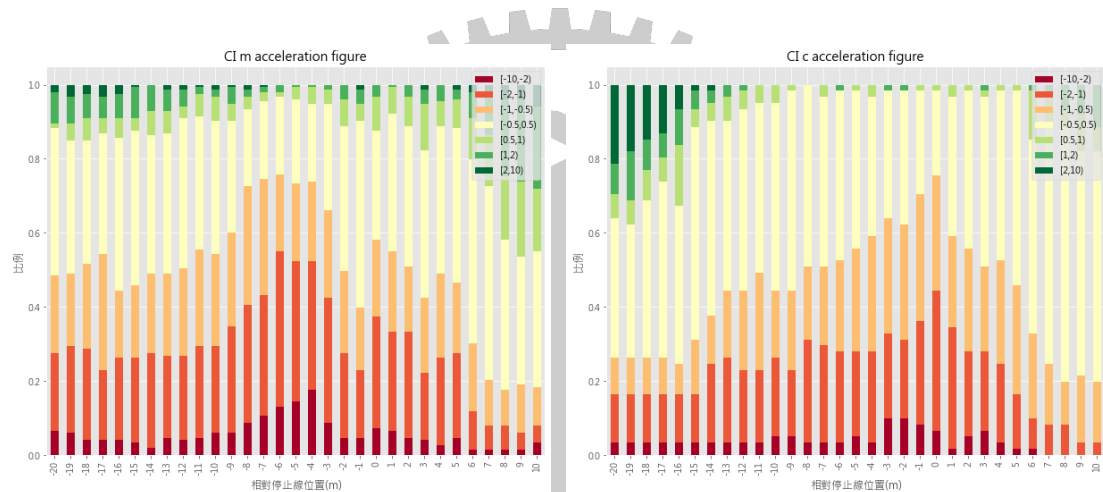


圖 4.40 路口 2 之 C 方向車輛於各橫斷面加速度變化圖(左為機車、右為汽車)

4.3.5 兩車衝突

本小節主要使用衝突分析方法並運用兩個衝突指標：後侵占時間（PET）與修正碰撞時間（mTTC），針對兩個非號誌化路口進行衝突分析，並整理說明分析結果。後侵占時間（PET）常用於衡量交叉衝突之指標，其定義為前車離開衝突點與後車進入衝突點的時間差；修正碰撞時間（mTTC）則常用於衡量追尾衝突之指標，其改善碰撞時間（TTC）未考慮駕駛人的加減速行為反應，為一考慮兩車相對的位置、速度與加速度的指標，以衡量兩車於多少秒後會相撞。

無論使用 PET 與 mTTC 指標，當指標的數值越大時，兩台車之間的互動關係越疏遠，風險值越低，當指標值大到一定程度時，其數值沒有意義，因此本研究經過程式計算後，篩選出 PET 值為小於 5 的事件與 mTTC 值小於 1.5 的事件

進行討論整理。得到衝突事件後，依照不同的衝突類型進行分類，並分別將路口 1 與路口 2 之結果統整於表 4.12 與表 4.13。其中衝突的分類，本研究依照兩車的相對行進方向，分成以下七種類型：[C1]穿越衝突(右方來車)、[C2]穿越衝突(左方來車)、[C3]機會左轉衝突、[C4]左轉匯入衝突、[C5]左轉穿越衝突、[C6]右轉匯入衝突、[C7]追尾衝突。[C1]至[C6]屬於交叉衝突，採用 PET 指標計算；[C7]屬於追尾衝突，則採用 mTTC 指標計算。



表 4.12 路口 1 之衝突計算結果（依照衝突類型劃分）

方向		A		B		C		D		整體	
類型	指標	數量	指標值	數量	指標值	數量	指標值	數量	指標值	數量	指標值
C1*	PET	-	-	3	3.74	-	-	-	-	3	3.74
C2*	PET	3	3.74	-	-	-	-	-	-	3	3.74
C3	PET	-	-	50	3.83	-	-	2	3.75	52	3.83
C4	PET	-	-	-	-	2	4.25	-	-	2	4.25
C5	PET	-	-	-	-	1	4.80	-	-	1	4.80
C6	PET	1	3.60	-	-	29	3.65	-	-	30	3.65
C7	mTTC	-	-	426	0.81	-	-	405	0.76	831	0.79

*本表以衝突類別劃分，因為入口方向之相對位置，使得 B 方向的[C1]結果會與 A 方向的[C2]結果相同，其他方向依此類推。

表 4.13 路口 2 之衝突計算結果（依照衝突類型劃分）

方向		A		B		C		D		整體	
類型	指標	數量	指標值	數量	指標值	數量	指標值	數量	指標值	數量	指標值
C1*	PET	62	3.10	56	3.37	56	3.52	53	3.19	227	3.29
C2*	PET	56	3.37	56	3.52	53	3.19	62	3.10	227	3.29
C3	PET	35	3.54	15	3.37	6	2.97	29	3.18	85	3.35
C4	PET	9	3.23	5	4.02	4	3.63	18	3.30	36	3.42
C5	PET	19	3.43	10	3.60	4	3.68	24	3.54	57	3.52
C6	PET	32	3.50	24	3.44	2	3.75	1	4.20	59	3.50
C7	mTTC	3	0.93	12	0.78	1	1.40	5	1.00	21	0.88

*本表以衝突類別劃分，因為入口方向之相對位置，使得 B 方向的[C1]結果會與 A 方向的[C2]結果相同，其他方向依此類推。

透過程式計算之後，將衝突計算結果回到影片發生時間檢查，確認計算結果的正確性，路口 1 的衝突計算結果如表 4.12，發生最多衝突事件的類型為 D 方向與 B 方向的[C7]追尾衝突，後續透過檢視空拍影片確認衝突數量的真實性，推測可能與機車流量相對較大，且其跟車距離相對較近而導致較多之衝突數，影片截圖如圖 4.41；次之為 B 方向的[C3]機會左轉衝突，其可能原因為 B 方向與 D 方向皆屬於流量較大之幹線道，當 B 方向之左轉車欲進行左轉行為時，易受到 D 方向直行車的數量與跟車時距影響，容易發生機會左轉類型之衝突；另外 C 方向之[C6]右轉匯入衝突數量不低，C 方向為較小流量的支線道，因為受到 D 方向直行車的影響，導致 C 方向右轉車容易發生右轉匯入衝突。路口 2 的衝突計算結果如表 4.13，此路口中衝突數最多的是[C1]與[C2]穿越衝突，可能與該路口四個

方向流量相差較小有關；次之則為[C3]機會左轉衝突，特別是發生在 A 方向與 D 方向居多，可能與 A 方向與 D 方向有較多左轉流量有關，易與對向直行車產生衝突。

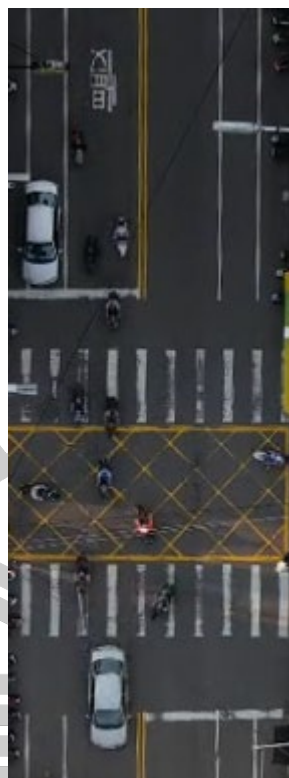


圖 4.41 路口 1 之 B 方向檢查追尾衝突影片截圖

4.4 車輛不安全行為比較

於 4.2 與 4.3 節中，本研究運用軌跡資料針對非號誌化路口進行車流特性與車流行為的分析。本節將針對 4.3 節中提到有關不安全行為之項目，依照非號誌化路口的不同管制類型進行比較。

首先說明本節納入不安全行為的項目，包含以下六項：跨越雙黃線、急減速、超速、未慢速通過路口、涉入交叉衝突、涉入追尾衝突。表 4.14 為不安全行為的列表與判斷方式說明。將路口 1 與路口 2 依照表 4.14 各項目的判斷方式進行分析，並依照幹線道、支線道、不分幹線道支線道方向進行統計比較，表 4.15 為路口 1 幹線道不安全行為比例，在六個不安全行為中，前兩名分別為：有 44% 的車涉入追尾衝突、36% 的車未涉入未慢速通過路口，這可能與路口 1 主要的車流量都集中在幹線道且大部分都為直行車，支線道車比較少，導致這兩個項目比較多。

涉入追尾衝突中的車輛或是未慢速通過路口的車輛中，直行機車是佔最大宗、直行汽車次之；路口 1 幹線道的所有 2872 台車中，高達 72% 的車都有涉入至少一項不安全行為事件中。表 4.16 為路口 1 的支線道不安全行為比例，前兩名則分別為：41% 的車涉入交叉衝突、38% 的車未慢速通過路口，這兩項較高可能與路口 1 支線道車輛會受到幹線道的車流量大所影響，而未慢速通過路口的車輛中幾乎都是右轉汽車沒有充分減速至 10 km/h 以下通過停止線，路口 1 的支線道車輛數相對較少只有 39 輛車，同樣大約 72% 的車輛涉入至少一項不安全行為事件中。表 4.17 為路口 2 不分方向的不安全行為的表格，前兩名分別為 49% 未慢速通過路口、42% 涉入交叉衝突，推測可能與路口 2 的四個方向車流量差異相對沒那麼大，因此交叉衝突的數量相對較多。而在未慢速通過路口事件中，直行車與右轉車的比例相對較大；涉入交通衝突的事件中，則是左轉車與直行車的比例相對較大；路口 2 至少涉入一個不安全行為比例同樣也高達 74%。



表 4.14 不安全行為之判斷方式列表

類型	不安全行為	敘述
違規	跨越雙黃線	當一車輛中點軌跡連線與道路上之雙黃線有交點，即視為該車輛跨越雙黃線
風險	急減速	當一車輛某一瞬間平滑後之減速度小於 -3 m/s^2 ，即視為該車輛發生急減速行為
違規	超速	當一車輛某一瞬間平滑後之速度大於該位置之道路速限，即視為該車輛發生超速行為（該方向有速限牌即依照該速限規定，如未標示速限且具有雙黃線則速限為 50 km/h 、沒有雙黃線則速限為 40 km/h ）
風險	未慢速通過路口	當一車輛通過停止線時其平滑後的瞬間速度大於臨界值時，即視為該車輛未慢速通過路口（該方向屬於幹線道時臨界值設為 30 km/h ，該方向屬於支線道時臨界值設為 20 km/h 、在無法區分幹線道與支線道的方向時臨界值為 20 km/h ）
衝突	涉入交叉衝突	依照 4.3.5 的說明，如果該車涉入[C1]至[C6]這六種類型的交叉衝突，該車即具有涉入交叉衝突行為
衝突	涉入追尾衝突	依照 4.3.5 的說明，如果該車涉入[C7]的追尾衝突，該車即具有涉入追尾衝突

表 4.15 路口 1 幹線道各項不安全行為之數量

轉向	車種	流量	跨越雙黃線	急減速	超速	未慢速通過路口	涉入交叉衝突	涉入追尾衝突	至少涉入一事件
左轉	機車	2	2 (100%)	1 (50%)	1 (50%)	1 (50%)	2 (100%)	0 (0%)	2 (100%)
	小車	39	3 (8%)	2 (5%)	1 (3%)	0 (0%)	27 (69%)	0 (0%)	29 (74%)
	大車	1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	1 (100%)
直行	機車	2132	57 (3%)	121 (6%)	37 (2%)	904 (42%)	62 (3%)	1056 (50%)	1684 (79%)
	小車	626	6 (1%)	44 (7%)	0 (0%)	119 (19%)	4 (1%)	183 (29%)	311 (50%)
	大車	63	1 (2%)	26 (41%)	0 (0%)	12 (19%)	1 (2%)	17 (27%)	46 (73%)
右轉	機車	0	-	-	-	-	-	-	-
	小車	9	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (44%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (44%)
	大車	0	-	-	-	-	-	-	-
小計		2872	69 (2%)	194 (7%)	39 (1%)	1040 (36%)	97 (3%)	1256 (44%)	2077 (72%)

表 4.16 路口 1 支線道各項不安全行為之數量

轉向	車種	流量	跨 越 雙 黃 線	急減速	超速	未 慢 速 通 過 路 口	涉入交 叉衝突	涉 入 追 尾 衝突	至少涉 入一事 件
左轉	機車	0	-	-	-	-	-	-	-
	小車	8	2 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (13%)	2 (25%)	0 (0%)	5 (63%)
	大車	0	-	-	-	-	-	-	-
直行	機車	0	-	-	-	-	-	-	-
	小車	1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	1 (100%)
	大車	0	-	-	-	-	-	-	-
右轉	機車	0	-	-	-	-	-	-	-
	小車	29	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	14 (48%)	12 (41%)	0 (0%)	21 (72%)
	大車	1	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	1 (100%)
小計		39	2 (5%)	1 (3%)	0 (0%)	15 (38%)	16 (41%)	0 (0%)	28 (72%)

表 4.17 路口 2 各項不安全行為之數量

轉向	車種	流量	跨 越 雙 黃 線	急 減 速	超速	未 慢 速 通 過 路 口	涉 入 交 叉 衝突	涉 入 追 尾 衝突	至 少 涉 入 一 事 件
左 轉	機車	131	20 (15%)	11 (8%)	0 (0%)	46 (35%)	70 (53%)	0 (0%)	104 (79%)
	小車	41	3 (7%)	0 (0%)	0 (0%)	16 (39%)	15 (37%)	0 (0%)	28 (68%)
	大車	4	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	2 (50%)	1 (25%)	0 (0%)	3 (75%)
直行	機車	377	13 (3%)	9 (2%)	6 (2%)	199 (53%)	224 (59%)	13 (3%)	321 (85%)
	小車	95	2 (2%)	2 (2%)	1 (1%)	59 (62%)	50 (53%)	2 (2%)	83 (87%)
	大車	12	1 (8%)	2 (17%)	0 (0%)	7 (58%)	7 (58%)	0 (0%)	11 (92%)
右 轉	機車	260	10 (4%)	9 (3%)	0 (0%)	120 (46%)	33 (13%)	0 (0%)	139 (53%)
	小車	46	5 (11%)	1 (2%)	0 (0%)	19 (41%)	5 (11%)	0 (0%)	25 (54%)
	大車	9	2 (22%)	2 (22%)	0 (0%)	6 (67%)	3 (33%)	0 (0%)	7 (78%)
小 計		975	56 (6%)	37 (4%)	7 (1%)	474 (49%)	408 (42%)	15 (2%)	721 (74%)

4.5 停止線設置位置探討

車輛行經非號誌化路口，應依規定停讓或是減速慢行並注意其他車輛小心通過，而車輛需要依照停止線的繪設位置決定車輛需在哪裡減速停讓或慢速通過，且該位置應要有足夠的視距讓駕駛人可以判斷衝突方向車輛。然而各國的停止線繪製位置不盡相同，目前台灣的路口停止線繪製位置為在行穿線上游 1 至 3 公尺，但該位置常因受到建築物或路口幾何等因素導致視距不足，部分民眾對於停止線繪製位置有不同的意見，因此本研究將利用軌跡資料繪製車輛的速度位置關係圖(V-X 圖)，及利用道路橫斷面之速率分佈圖來比較停止線繪製位置影響。

參考圖 4.22 與圖 4.23 分別為路口 1 與路口 2 的速度位置關係圖，圖中淺藍色之垂直線為停止線位置，可以觀察到路口 1 的車輛在通過停止線前後並沒有很明顯的速度變化，線形趨勢主要是水平的；而路口 2 的車輛具有速度變化趨勢，速度變化線形趨勢大致呈現 V 字形，然而 V 字形的轉折點並不是在停止線位置，而是再往停止線下游一小段距離，推測停止線的位置不是非常恰當。

歐洲常見的停止線繪製位置為貼齊橫向道路之邊緣，與台灣常見的停止線繪製位置並不相同，因此本研究將貼齊路邊的位置或是以網狀線邊緣作為虛擬停止線，並與真實停止線進行比較，路口 1 與路口 2 的真實停止線與虛擬停止線位置如圖 4.42 所示。依照真實停止線位置與虛擬停止線位置，分別產生路口 1 與路口 2 於停止線位置的速度分佈圖，如圖 4.43 與圖 4.44 所示；兩路口之平均速度與標準差數值表格如表 4.18 所示。圖 4.43 中可以發現，路口 1 不論是 B 方向與 D 方向，在真實停止線與虛擬停止線橫斷面的速度分佈沒有太大差異，速度平均值也幾乎無差異；但是在圖 4.44 中可以觀察到，路口 2 不論是 A 方向或是 C 方向，於虛擬停止線橫斷面的速度分佈與真實停止線分佈不太相同，且觀察到虛擬停止線上的速度呈現略低於真實停止線速度的現象，由表 4.18 也顯示車輛通過虛擬停止線的平均速度是小於車輛通過真實停止線之平均速度。因此，假設其他條件不變的情況下，將路口 2 的真實停止線位置移到虛擬停止線之位置可能提升路口的安全，有助於車輛駕駛人慢速查看有無與自己行駛方向衝突之車輛。

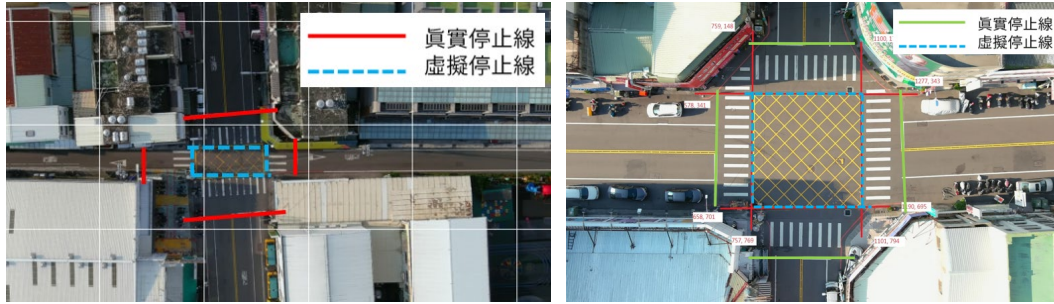


圖 4.42 路口 1 與路口 2 的真實停止線與虛擬停止線位置示意圖

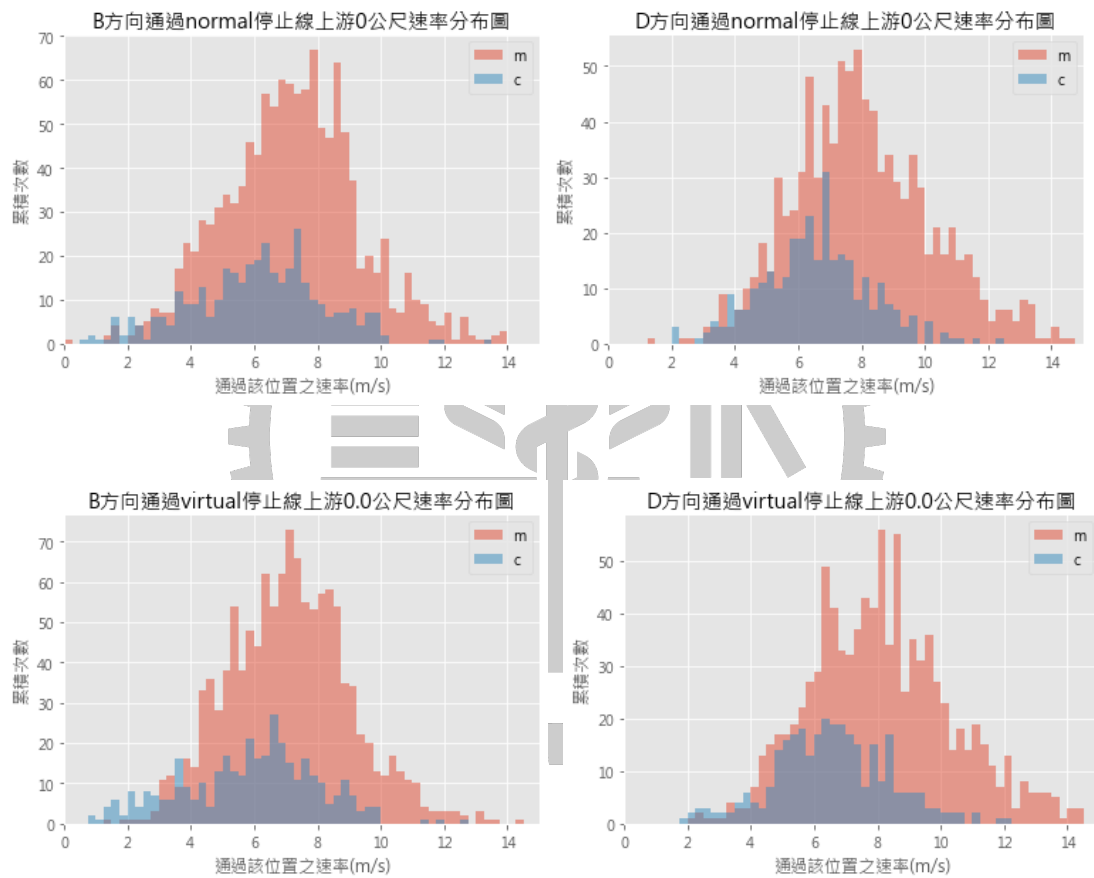


圖 4.43 路口 1 的實際停止線與虛擬停止線橫截面之速率分佈圖

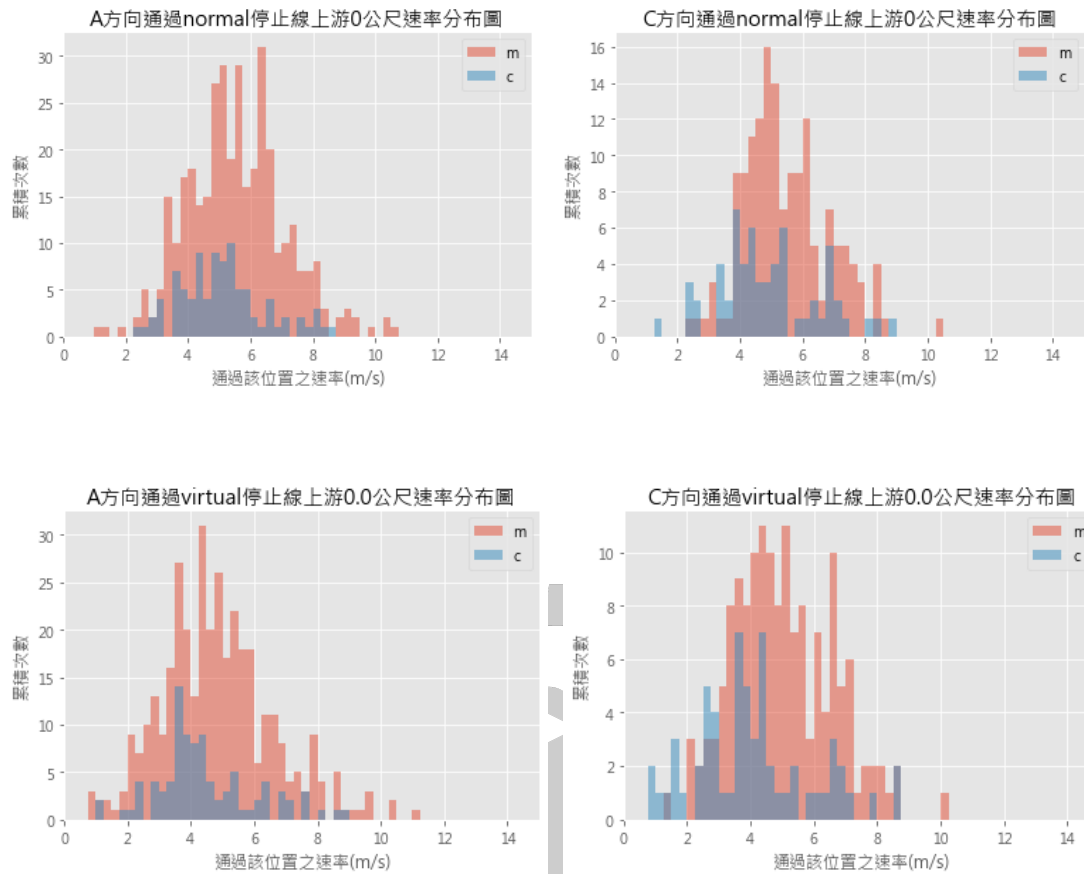


圖 4.44 路口 2 的實際停止線與虛擬停止線橫截面之速率分佈圖

表 4.18 車輛通過真實停止線與虛擬停止線之速度比較表（單位：m/s）

路口	方向	車種	樣本數	真實停止線		虛擬停止線	
				平均	標準差	平均	標準差
路口 1	B	機車	1196	7.2	2.1	7.1	2.0
		小型車	363	6.1	2.1	5.9	2.1
	D	機車	938	8.1	2.3	8.2	2.3
		小型車	311	6.6	1.7	6.6	1.8
路口 2	A	機車	362	5.5	1.5	4.8	1.8
		小型車	92	5.1	1.4	4.5	1.6
	C	機車	153	5.5	1.4	5.0	1.6
		小型車	61	4.9	1.6	4.1	1.8

4.6 小結

綜合第四章之研究結果，從最初之資料篩選與軌跡處理，再來進行車流特性與車流行為之討論，可以得到非號誌化路口的基本特性與樣態，本研究以一個劃分幹支線道的路口與一個未劃分幹支線道的路口進行初探分析。軌跡資料經過車輛四角座標計算、速度與加速度平滑，輔以停止線與雙黃線的座標，即可透過計算處理得到車流特性與車流行為。車流行為中，影響車輛通過非號誌化路口安全性的因素之一是車輛是否停讓，而車輛停讓位置的依據則為停止線，因此停止線的位置相當關鍵，並嘗試發掘停止線附近的車流速度變化與加速度變化，這些變化可以展現出車輛通過該路口的行為模式。劃分幹支線道的路口中幹線道車速相對較高、超速的車輛比例也較高，而未劃分幹支線道的路口中四個方向的車速都相對較低；整體而言，機車的車速分布較汽車的車速分布較高。另外運用過去研究常用的衝突（conflicts）當作衡量安全的中介指標，用以代替判斷路口中路權較低的車輛是否有禮讓路權較高的車輛，並依照衝突類型分別運用 PET 與 mTTC 指標衡量衝突，可以得到路口的常發生的碰撞類型頻率與嚴重度。再來將本研究進行之車流行為分析項目，篩出 6 個不安全行為，依照劃分幹支線道路口的幹線道、劃分幹支線道路口的支線道、未劃分幹支線道的路口三種分類組合，比較不安全行為的車輛涉入比例，結果發現幹線道較高比例的不安全行為是涉入追尾衝突與未慢速通過路口，支線道較高比例的不安全行為是涉入交叉衝突與未慢速通過路口，未劃分幹支線道路口較高比例的不安全行為則是未慢速通過路口與涉入交叉衝突；這三個分類組合中，至少涉入一項不安全行為的車輛比例都超過七成。最後可以綜合車流特性與車流行為資料，探討現況停止線劃設位置之合理性，說明目前停止線劃設位置現況可能產生之問題。

第五章 結論與建議

本研究為利用無人機於路口處上方蒐集的影像並經由電腦影像辨識及追蹤技術取得之車輛軌跡資料，該資料為屬於非號誌化路口之場域。將軌跡資料進行處理及運算分析，並進行非號誌化路口的車流特性與車流行為探討分析。以下兩節將針對本研究之成果提出結論與後續研究之建議。

5.1 結論

1. 軌跡資料具有隨著時間變化的車輛位置資訊，根據文獻回顧過去有許多研究使用軌跡資料進行多種加值應用，以及本研究所進行的分析項目，包含收集車流特性、分析車流行為、萃取校估模擬所需之車流參數、評估安全性、推算衝突指標之門檻值等應用。
2. 運用無人機空拍影像並透過電腦視覺方法萃取而得之軌跡資料，可以得到過去運用人工或是路側攝影機無法得到之車流資訊。軌跡資料提供每單位時間之所有車輛的位置與方向資訊，並且可以透過位置資訊經由計算推得每台車當下的速度、加速度、移動方向等訊息，進而利用其分析各種車流特性及車流行為。
3. 將軌跡資料進行加值應用，可將原始軌跡資料具有的位置與時間關係（X-T 圖），推得速度與時間關係（V-T 圖）及加速度與時間關係（A-T 圖）；為了探討非號誌路口不同位置之間分析項目的變化，再將軌跡資料依照車輛通過停止線之位置為參考點，轉成以位置為基礎的速度與位置關係（V-X 圖）及加速度與位置關係（A-X 圖）資訊，這些與位置相關的資訊是過去使用傳統資料收集方式（如路側定點攝影機、人工測量）無法取得的，這些與位置相關之資訊可以探討不同位置對於車流行為的影響變化，並具有可重複檢驗的特性。
4. 本研究選擇兩個非號誌化路口，路口 1 為劃分幹線道支線道分別的路口、不同方向之車流量有明顯差異，流量分別為 2、1587、37、1285 輛；路口 2 則為未劃分幹線道支線道支路口、各方向的車流量差異較小，流量則分別為 469、111、218、177 輛。運用這兩種不同類型的路口，針對每一項目進行分析探討，比較這兩個路口在同樣的分析項目下有明顯不同的結果。路口 1 幹線道的機車直行車與小型車直行車通過路口時依照不同方向其平均速度分

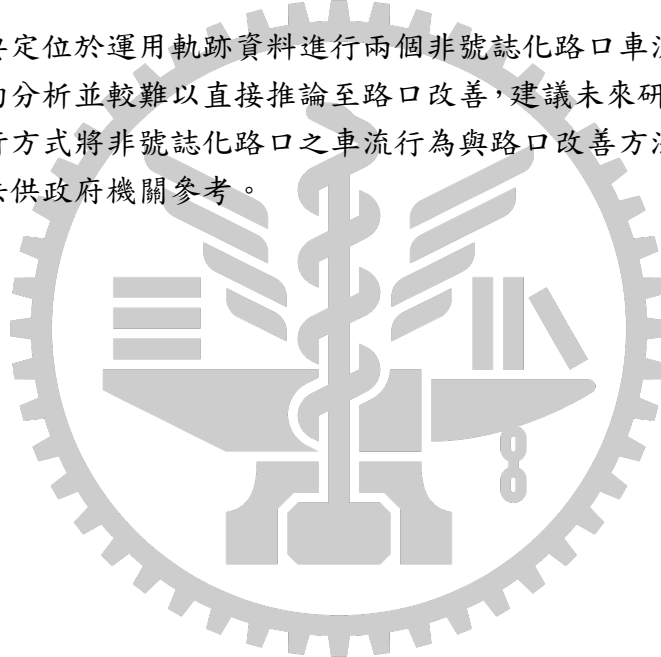
別介於 7.7 ~ 9.3 m/s 與 6.4 ~ 6.9 m/s、支線道則是因樣本數較少而無法推算其平均車速，路口 2 的機車直行車與小型車直行車通過路口時依照不同方向其平均速度則分別介於 4.3 ~ 6.8 m/s 與 2.9 ~ 5.5 m/s，路口 2 的速度分布較路口 1 之速度分布低。路口 1 之後車為機車的跟車時距大部分小於 2 至 3 秒、後車為小型車的跟車時距大部分小於 3 至 4 秒；路口 2 的 AC 方向後車為機車之跟車時距亦是普遍小於後車為小型車的跟車時距，BD 方向則可能受限於樣本數較少因此兩車種之差異較不明顯。

5. 本研究進行非號誌化路口有關安全之車流行為分析，為利用軌跡資料進行後續運算，得到過去因受到資料收集限制而無法探討的結果，如停止線附近不同位置的速度與加速度變化、各車種的結果是否有數值上與視覺上的不同，為本研究的貢獻之一。
6. 針對路口的安全分析，除了使用過去研究常用的衝突指標 PET、mTTC 進行評估外，本研究另外藉由安全中介指標之概念，選取空間速度變化、急減速、超速與跨越雙黃線作為不安全行為之指標，並使用軌跡資料分析非號誌化路口之車流特性與車流行為，並依照分析結果針對停止線繪設位置議題進行比較。此為過去研究與過去資料收集方法因較難收集不同位置各變數之變化，而較難達成之研究成果。
7. 綜合本研究之車流行為項目與車輛不安全行為分析中，不論路口 1 與路口 2，被納入至少有一項不安全行為的車輛比例都超過七成；比較兩個衝突類型型態，路口 1 涉入追尾衝突的車輛比例較高、而路口 2 涉入交叉衝突的車輛比例較高；未慢速通過路口為依照該方向的管制措施決定門檻值，路口 1 幹線道與支線道的比例分別為 36%與 38%、路口 2 不分方向之未慢速通過比例則為 42%；而跨越雙黃線、急減速、超速這三個不安全行為項目，不論路口 1 與路口 2 車輛的涉入比例都相對其他項目較低。

5.2 後續研究之建議

1. 本研究提出的非號誌化路口分析方法，除了使用過去研究常使用的衝突當作中介指標進行分析以外，運用其他中介指標如速度、加速度及其他具風險行為等進行安全議題分析，然而受限於取得之路口資料筆數，本研究只針對兩個路口進行探討。建議後續可以針對其他不同類型的非號誌化路口（如非正交路口、斜交路口）進行分析並比較不同類型間之異同。

2. 本研究探討之車流行為運用兩個路口資料，劃分幹支線道與未劃分幹支線道的非號誌化路口各取一個進行探討分析，建議未來研究可以增加同樣類型的路口資料以發掘在同樣類型的路口之中是否有共通之特性，以改善部分分析組合之項目樣本較低導致分析結果較不精確的限制。
3. 本研究所採用的軌跡資料中，受限於只有車輛之資料，無法針對行人與車輛之間的衝突及安全議題進行分析，建議後續可以收集具有包含行人與車輛的軌跡資料，研究非號誌化路口中車輛與行人之間之議題。
4. 本研究取得之路口軌跡資料，時間長度約各一小時左右，建議後續可以取得更長時間、更多的時段之軌跡資料，以使用數量較為充足的樣本資料使得樣本數較少的分析項目能有更精確之結果，使得在統計上具有足夠代表性。
5. 本研究主要定位於運用軌跡資料進行兩個非號誌化路口車流行為的初探，屬於嘗試性的分析並較難以直接推論至路口改善，建議未來研究可以考慮不同的路權通行方式將非號誌化路口之車流行為與路口改善方法進行連結，並提供建議方法供政府機關參考。



參考文獻

- 林良泰、李岳衡（1998）。非號誌化路口幹道車輛位置對於臨界間距特性之影響分析。都市交通，101/102，頁 90-104。
- 林祐慈（2022）。都市路口交通衝突可能成因之探討：以機會左轉為例。國立陽明交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- 李紹輔（2022）。混合車流下號誌化路口潛在追尾衝突之影響因素。國立陽明交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- 高群凱（2022）。基於軌跡預測方法下之交通衝突指標探討：以機會左轉為例。國立陽明交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- 張建彥、胡雅芬（2020）。非號誌化路口接受間距模擬模式之建立。危機管理學刊，17（2），頁 1-10。
- 郭正成（1982）。機車在交叉路口接受間距特性之研究。國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文。
- 許添本，溫谷琳，蔡牧融，李忻哲，程楷祐，張名鈞，楊皓宇，張開國，葉祖宏，孔垂昌，黃明正（2020），「混合車流路口道路與交通工程設計範例(3/4)-非號誌化路口」，交通部運輸研究所。
- 黃家耀、李子璋、謝旭昇、羅峻庭、黃郁傑、李威（2014）。機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立。交通部科技顧問室。
- 溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、葉祖宏、賴靜慧、黃明正（2022）。以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(1/3)：建立分年測試計畫。交通部運輸研究所。
- 溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、葉祖宏、賴靜慧、黃明正（2023）。以無人機探勘人車流動資訊之應用情境規劃與先導測試(2/3)。交通部運輸研究所。
- 溫雲晨（2020）。空拍影像車流軌跡之重建與應用。國立交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- 蔡義清（1994）。都市非號誌化交叉路口分析方法之探討。都市交通，78，頁 17-23。
- 蘇志文、黃家耀、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正等人（2020）。基於空拍影像之人車軌跡抽取技術。運輸計劃季刊，49（3），頁 235-257。

- 蘇逸軒 (2023)。混合車流下非號誌路口之交通衝突分析-以接受間距做為替代安全指標。國立陽明交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
- Alexiadis, V., Colyar, J., Halkias, J., Hranac, R., & McHale, G. (2004). The next generation simulation program. Institute of Transportation Engineers. *ITE Journal*, 74(8), 22.
- Allen, B. L., Shin, B. T., & Cooper, P. J. (1978). *Analysis of traffic conflicts and collisions* (0361-1981).
- Amundsen, F. H., & Hyden, C. (1977). Proceedings of first workshop on traffic conflicts. *Oslo, TTI, Oslo, Norway and LTH Lund, Sweden*, 78.
- Arun, A., Haque, M. M., Bhaskar, A., Washington, S., & Sayed, T. (2021). A systematic mapping review of surrogate safety assessment using traffic conflict techniques. *Accident Analysis & Prevention*, 153, 106016.
- Bared, J. (2016). Open Source Surrogate Safety Assessment Model, 2017 Enhancement and Update: SSAM Version 3.0 [Tech Brief] (No. FHWA-HRT-17-027). United States. *Federal Highway Administration*.
- Bock, J., Krajewski, R., Moers, T., Runde, S., Vater, L., & Eckstein, L. (2020, October). The ind dataset: A drone dataset of naturalistic road user trajectories at german intersections. In *2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 1929-1934). IEEE.
- Butilă, E. V., & Boboc, R. G. (2022). Urban traffic monitoring and analysis using unmanned aerial vehicles (uavs): A systematic literature review. *Remote Sensing*, 14(3), 620.
- Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., Iswalt, M., & Ji, Y. (2006). Roadway traffic monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEE Proceedings: Intelligent Transport Systems*, 153(1), 11-20.
- Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., Shelby, S. G., & Energy, S. (2008). Surrogate safety assessment model and validation (No. FHWA-HRT-08-051). *Turner-Fairbank Highway Research Center*.
- Hayward, J. C. (1972). Near miss determination through use of a scale of danger.
- Hydén, C. (1987). The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. *Bulletin Lund Institute of Technology, Department*, (70).

- Hou, T., & Mahmassani, H. S. (2014). The Influence of Stop Time on Arterial Travel Time Variability Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington DC.
- Johnsson, C., Laureshyn, A., & De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport reviews*, 38(6), 765-785.
- Kaysi, I. A., & Abbany, A. S. (2007). Modeling aggressive driver behavior at unsignalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 39(4), 671-678.
- Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2018). Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: A case study for shockwave identification and flow parameters estimation at signalized intersections. *Remote Sensing*, 10(3), 458.
- Kim, H., Nam, D., Suh, W., & Cheon, S. H. (2018). Origin-destination trip table estimation based on subarea network OD flow and vehicle trajectory data. *Transportation Planning and Technology*, 41(3), 265-285.
- Krajewski, R., Bock, J., Kloeker, L., & Eckstein, L. (2018, November). The highd dataset: A drone dataset of naturalistic vehicle trajectories on german highways for validation of highly automated driving systems. *In 2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC)* (pp. 2118-2125). IEEE.
- Laureshyn, A., Svensson, Å., & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1637-1646.
- Li, L., Jiang, R., He, Z., Chen, X., & Zhou, X. (2020). Trajectory data-based traffic flow studies: A revisit. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 225-240.
- Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 41(4), 153-163.
- Mohan, M., & Chandra, S. (2018). Critical gap estimation at two-way stop-controlled intersections based on occupancy time data. *Transportmetrica A: transport science*, 14(4), 316-329.
- Montella, A., Guida, C., Mosca, J., Lee, J., & Abdel-Aty, M. (2020). Systemic approach to improve safety of urban unsignalized intersections: Development and validation of a Safety Index. *Accident Analysis & Prevention*, 141, 105523.

- Nicholson, A. (1985). The variability of accident counts. *Accident Analysis & Prevention*, 17(1), 47-56.
- Ozbay, K., Yang, H., Bartin, B., & Mudigonda, S. (2008). Derivation and validation of new simulation-based surrogate safety measure. *Transportation research record*, 2083(1), 105-113.
- Patil, G. R., & Pawar, D. S. (2016). Microscopic analysis of traffic behavior at unsignalized intersections in developing world. *Transportation Letters*, 8(3), 158-166.
- Paul, M., & Ghosh, I. (2021). Development of conflict severity index for safety evaluation of severe crash types at unsignalized intersections under mixed traffic. *Safety Science*, 144, 105432.
- Prasetijo, J., Pour, M. H., & Ghadiri, S. M. R. (2011). Capacity of unsignalized intersections under mixed traffic conditions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, 676-685.
- Ramlan, R., Irawan, M. Z., & Munawar, A. (2021). Behavioral factors of motorcyclists in right-turn movements at unsignalized intersections: An insight from Yogyakarta, Indonesia. *IATSS Research*, 45(1), 116-122.
- Tarko, A., Davis, G., Saunier, N., Sayed, T., & Washington, S. (2009). Surrogate measures of safety. *White paper*. Transportation Research Board, Washington, DC.
- US Department of Transportation. (2008). NGSIM—Next Generation Simulation.
- Vedagiri, P., & Killi, D. V. (2015). Traffic safety evaluation of uncontrolled intersections using surrogate safety measures under mixed traffic conditions. *Transportation Research Record*, 2512, 81-89.
- Vogel, K. (2002). What characterizes a “free vehicle” in an urban area?. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 5(1), 15-29.
- Wen, X., Fu, L., Fu, T., Pan, X., & Zhong, M. (2021). Driver Behavior Analysis at Unsignalized Intersections with or without Stop Sign Using Trajectory Data. 2021 6th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS).
- Wu, K. F., & Jovanis, P. P. (2012). Crashes and crash-surrogate events: Exploratory modeling with naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 507-516.
- Yang, S., & Chung, E. (2012). Driver response time of queuing vehicles at urban

signalized intersections. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 43, 169-177.

Zhao, J., & Sartipi, M. (2022). Automatic Identification of Anomalous Driving Events from Trajectory Data. In *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 851-856). IEEE.

