

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

圓環的混合車流特性及行為分析

Traffic Characteristics and Behavior of Mixed Traffic
Flow for Roundabout

研究生：羅湘盈

指導教授：黃家耀 副教授

中華民國 一百零六 年 一 月

圓環的混合車流特性及行為分析

Traffic Characteristics and Behavior of Mixed Traffic Flow for
Roundabout

研 究 生：羅湘盈

Student：Hsiang-Ying Lo

指導教授：黃家耀

Advisor：Ka-Lo Wong

國立交通大學
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 Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

January 2017

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 106 年 1 月

圓環的混合車流特性及行為分析

學生：羅湘盈

指導教授：黃家耀 副教授

國立交通大學運輸與物流管理學系

摘要

臺灣的機車持有率相當高，機車的機動性較高，容易進行超車、鑽車等行為，使得台灣市區道路上有複雜的混合車流現象。圓環路型漸漸受到歡迎，因圓環較一般交叉路口來得安全，且在臨界交通量下，能提供連續不斷的交通流動，又圓環對路口中央的古蹟而言有其存在的必要。一般圓環績效評估的指標可分成兩大面向，分別為容量與安全，這兩個面向底下都有一些特性需要被分析。又過去研究指出直線道路上，混合車流中機車的車流特性與汽車是有差異的，因此推測圓環上的混合車流與純汽車車流的特性也存在差異，但過去的圓環研究大部分都是針對純汽車車流，這些研究結果可能就不適用於機車持有率很高的地方。

為此，本研究的目的為提供一套以微觀車流軌跡資料分析混合車流於圓環上的特性與行為的流程，微觀車流軌跡資料的蒐集方式為先以無人飛機空拍圓環車流影片，將影片經過後製處理後，藉由軌跡擷取軟體以半自動方式蒐集車流軌跡資料，透過軌跡資料分析以下特性與行為：車道使用、速度、加減速度、橫向位置、變換車道次數、接受餘間距。分析上述特性與行為之前，以極座標判斷車輛於每個時間點的所在車道、以及建立一元二次曲線方程式估算車輛每秒行駛距離，有了上述基本資訊後，即可做後續分析，透過視覺化展現各個特性在圓環上的分布情形，另外也使用了圖表以及敘述性統計的方式呈現上述車流特性與行為的結果。

從研究結果發現機車、汽車行駛於圓環上的特性與行為存在差異，而車輛的行駛特性與行為會受到道路彎曲程度、所在車道，以及當下為準備進圓環、在圓環內、準備出圓環的狀態影響。另外，從橫向位置的分析發現汽車在圓環上並無行駛在車道中央，推斷是因為車輛在圓環上經常變換車道所導致的，而變換車道的次數也會受到車輛繞行的距離(角度)以及行經多少個進出口所影響。接受餘間距的分析結果顯示各車種組合下的臨界餘間距存在差異。未來研究可將透過此流程分析圓環上的車流特性與行為，並更進一步建構混合車流在圓環上的微觀車流模式，最後再將上述結果應用於評估圓環績效或車流模擬軟體中。

關鍵詞：圓環、微觀車流、混合車流、機車、車流特性與行為

Traffic Characteristics and Behavior of Mixed Traffic Flow for Roundabout

Student : Hsiang-Ying Lo

Advisor : Ka-Lo Wong

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

Abstract

The motorcycle ownership rate in Taiwan is high. Motorcycles are small in size, lighter weight and high mobility, and the characteristics are significantly different from those of passenger cars. Motorcyclists are more easily to do overtaking and filtering than cars. Roundabouts are widely used in urban areas. That could increase safety and operational performance, and is sometimes used in urban city to preserve a heritage. Generally, there are two indexes, safety and capacity, to evaluate the roundabout performance. Some traffic characteristics need to be analyzed before the study evaluates the roundabout performance. Previous study point out that the characteristics of mixed traffic and passenger car traffic on the urban arterials are different. This study infer that they are also different on roundabout. However, previous study relative to roundabout only focus on the passenger car traffic, the result may not be appropriate to apply to the high motorcycle ownership rate region.

The objective of this study is to propose a process about how to use the microscopic traffic dataset to analyze traffic characteristics and behavior of mixed traffic flow for roundabout. This study adopted an aerial videography approach to collect the video using a drone. Videos are converted into microscopic traffic data in the form of vehicle trajectories, in which the characteristics and parameters of interested can be extracted from the dataset. The mixed traffic characteristics and behavior, such as lane usages, speed, acceleration, deceleration, lateral position, lane changing and lag acceptance are analyzed. The data extracted from the trajectory extraction software is in Cartesian coordinate system. In order to determine which lane the vehicle used at each data point, the computation is more convenient if the positions and trajectories of vehicles are in Polar coordinate system. The vehicles move along a curve in a roundabout, and it is not appropriate to use the straight line distance between two consecutive data points to represent the distance travelled. A quadratic function is used to fit in the coordinates of the data points before and after the time instances, and the distance travelled in a time interval is estimated by integrating the function over the time interval.

The preliminary results show that there are significant differences in terms of lane choices, speed distribution and frequency of lane changing times between motorcycles and passenger cars at different locations of a roundabout. This study also found that the car drivers didn't abide by the lane discipline on roundabout because the drivers change the lane frequently. The number of lane changing times would affect by the travel distance and how many entrance or exit the vehicle passed, and are different from cars and motorcycles. The result of critical lag show that there are differences under different combination of objective vehicle mode and conflict vehicle mode. Future research could follow this process to study the characteristics and behavior of mixed traffic for other roundabout. The next step is to investigate the interactions between vehicles, such as overtaking and filtering behavior of motorcycles (Wong and Lee,

2015). The derived characteristics and interactions can be further used for the development, calibration and validation of behavioral models of vehicles in a roundabout. The results can also be applied to the evaluation of roundabout performances for capacity and safety.

Keywords: Roundabout, Microscopic traffic flow, Mixed traffic, Motorcycle, Traffic characteristics and behavior

誌謝

時光飛逝，不知不覺在交大待了六年，這六年來有好多值得回憶的片刻，特別是碩士班這兩年充實的生活。這幾年來，很感謝黃家耀老師一路上的指導，從大學畢業專題、交控雲、澳門 OD、香港研討會論文、機車計畫到碩士論文，從咪聽中可以感受到老師做事很有條理、很嚴謹，也很願意聆聽學生的想法，是很值得學習的對象。另外也要特別感謝我的碩士論文口試委員，許添本老師以及李子璋老師，在百忙之中撥空來幫我口試以及給予建議，從中獲得許多寶貴的回饋以及經驗。

這兩年一路走來有笑有淚，碩一剛進 KILAB 時，實驗室充滿著歡樂的氛圍，多虧胖子、李威時常在實驗室打嘴砲，雖然很吵、很鬧、很幼稚，但讓我的碩一生活在歡樂中渡過。感謝 JT、李威、胖子在我剛接觸圓環點車時有耐心的幫我解決問題，讓我快速的進入狀況，也要感謝彥佑學長協助我完成香港研討會論文，以及在我碩士論文卡關時給予幫助。也謝謝阿哲學長熱心的幫忙很多事情。回想起澳門 OD 計畫案，很感謝 Jessica 學姊在澳門時當地陪，帶我們吃喝玩樂。與學弟妹們家瑜、維皓、聖學、科廷、易聖一起完成機車計畫案的日子也都歷歷在目，有妳們這群學長姐、學弟妹的相伴，讓我這兩年的生活變得更有色彩。

碩士班這兩年來為了上專題研討課，每週都必須新竹、台北來回奔波，當初時常抱怨，但也因為這樣讓我認識了台北校區的同學們，雖然相處的時間不多，但每次見面都覺得很溫暖、很好相處，真懷念大夥一起到宜蘭玩耍以及一起搬椅子到北門拍畢業照的日子。碩二的生活感謝有家慧、品均、臧芊、舒雯、海齊、簪羽、汎榆、欣蓉、子榕、阿緯、碩彥、智涵、維峻、伯叡相伴，一起去露營跨年、青島、唱歌、香山濕地、內灣、吃飯、大聊八卦，論文卡關時也都會互相打氣加油，好多共同的回憶，希望未來 10 年、20 年，甚至更老以後，我們能有機會再聚在一塊，聊著、回憶著淚水與歡笑交織出來的研究生生活。

如今，苦盡甘來，終於順利的完成碩士論文，這都要謝謝老師、家人、朋友們這一路上的指導、扶持以及互相加油打氣，沒有你/妳們，這兩年的碩士生活可能會走得更加艱辛，感謝你/妳們☺。

羅湘盈 謹誌
2016 年 7 月
於 新竹交大

目錄

摘要	i
Abstract.....	ii
誌謝	iv
目錄	v
圖目錄	vii
表目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍與方法	2
1.4 研究流程	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 圓環績效評估	4
2.1.1 圓環容量評估	4
2.1.2 圓環安全評估	6
2.2 車輛於圓環的特性與行為	7
2.3 小結	9
第三章 資料蒐集	11
3.1 調查地點特性	11
3.2 車流影像蒐集與後製	15
3.3 軌跡資料擷取與資料庫建立	16
3.4 車流資料整理與檢查	18
第四章 研究方法	23
4.1 以極座標判斷車輛所在車道	23
4.1.1 橢圓極座標	23
4.1.2 判斷車輛所在車道	24

4.2	曲線距離	25
4.3	加減速度	27
4.4	軌跡重疊判斷	27
4.5	臨界間距	29
4.6	視覺化	29
第五章	圓環車流特性與行為分析	30
5.1	車輛於圓環路段上的特性與行為	30
5.1.1	車道使用	30
5.1.2	速度	31
5.1.3	加減速度	33
5.1.4	橫向位置	38
5.1.5	變換車道次數	41
5.2	車輛於圓環路口上的特性與行為	43
5.2.1	接受餘間距	43
5.2.1.1	判斷衝突車	44
5.2.1.2	計算餘間距值	45
5.2.1.3	判斷是否接受餘間距	46
5.2.1.4	臨界餘間距	47
5.3	小結	50
第六章	結論與建議	52
6.1	結論	52
6.2	建議	53
	參考文獻	54

圖目錄

圖 1.1 研究流程	3
圖 3.1 新竹東門圓環	11
圖 3.2 進出口、車道、橢圓標線編號以及橫切面之示意圖	12
圖 3.3 橢圓參數	12
圖 3.4 新竹東門圓環橢圓大小示意圖	13
圖 3.5 新竹東門圓環車流量	14
圖 3.6 影像後製前後	16
圖 3.7 實際畫面與擷取之車流資料套繪	17
圖 3.8 車輛軌跡	20
圖 3.9 車輛角度軌跡	21
圖 3.10 車輛 X 座標軌跡	21
圖 3.11 車輛 Y 座標軌跡	22
圖 4.1 橢圓迪卡兒座標與極座標	24
圖 4.2 圓與橢圓之圓周至中心距離	24
圖 4.3 極座標判斷車輛所在車道	25
圖 4.4 兩點直線與曲線距離	26
圖 4.5 本車與候選衝突車輛軌跡	28
圖 4.6 車輛安全範圍	28
圖 5.1 機車由 7 號進出口進入圓環之軌跡	30
圖 5.2 汽車由 7 號進出口進入圓環之軌跡	30
圖 5.3 機車/汽車速度散布圖	32
圖 5.4 機車/汽車速度軌跡圖	33
圖 5.5 機車加減速度直方圖	34
圖 5.6 汽車加減速度直方圖	34
圖 5.7 機車/汽車加/減速度散布圖	35

圖 5.8 機車加/減速度散布圖(車輛以入口/出口區分)	37
圖 5.9 橫切面示意圖	39
圖 5.10 機車橫向位置分布	40
圖 5.11 汽車橫向位置分布	40
圖 5.12 各出入口之車輛軌跡圖	44
圖 5.13 機車 _本 —機車 _街 接受與拒絕餘間距累積機率圖	48
圖 5.14 機車 _本 —汽車 _街 接受與拒絕餘間距累積機率圖	48
圖 5.15 汽車 _本 —機車 _街 接受與拒絕餘間距累積機率圖	49
圖 5.16 汽車 _本 —汽車 _街 接受與拒絕餘間距累積機率圖	49

表目錄

表 3.1 新竹東門圓環橢圓標線估計值	13
表 3.2 新竹東門圓環橢圓標線估計值與實際值比較	14
表 3.3 軌跡資料庫變數表	18
表 3.4 各車種車輛數與資料筆數統計	18
表 3.5 機車起訖點車流量百分比	19
表 3.6 汽車起訖點車流量百分比	19
表 4.1 對稱 x 軸之一元二次方程式	26
表 4.2 對稱 y 軸之二元二次方程式	27
表 5.1 汽機車行駛於內側車道的比例	31
表 5.2 車輛於曲度小(上下)區塊之平均速度與標準差	32
表 5.3 車輛於曲度大(左右)區塊之平均速度與標準差	33
表 5.4 汽機車行經各區塊加減速幅度大於 1.4m/s^2 的比例	36
表 5.5 汽機車行駛於車道中央的比例	41
表 5.6 機車平均變換車道次數	42
表 5.7 汽車平均變換車道次數	43
表 5.8 車輛軌跡重疊紀錄表	45
表 5.9 本車於各決策時間點下之衝突車編號	45
表 5.10 本車於各決策時間點下之餘間距大小	46
表 5.11 本車於各決策時間點下之餘間距接受與否	47
表 5.12 各車種衝突組合資料數量與比例	47
表 5.13 臨界餘間距值	49
表 5.14 各車種組合臨界餘間距值比較	50

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

臺灣的機車持有率相當高，每千人中約有 582 人擁有機車，是國人的主要交通工具。相較於汽車，機車的特性是機動性較高、體積較小、停車容易、價格較低，也不需要遵守車道規範，上述部分特性使得機車行駛於車流密度高的路段上時，仍可進行鑽車、超車等行為，而汽車就無法像機車一樣靈活的穿梭在車陣當中，因此當道路上機車所佔比例相當高時，就會形成複雜的混合車流現象，臺灣市區道路上的車流即為一典型的混合車流。

圓環路型於美國已漸漸受到歡迎(Xu and Tian, 2008)，因為圓環與一般交叉路口相較之下，它能使所有車輛依循同一方向行駛，減少各個轉向之間的衝突，且圓環的道路設計會迫使駕駛人降低行駛速度，藉此減少事故發生，提供較安全的道路駕駛環境，尤其是多岔路口以及左轉(靠右行駛地區)車流量高的路口更適合使用圓環。圓環除了安全性較高之外，在臨界交通量下，能提供連續不斷的交通流動，減少路口的延滯時間，以提高路口績效。另外，路口中央若有古蹟等值得存留的設施，透過設置圓環路型即可保存物件，免於遭受到移除或破壞的危機，亦可美化道路景觀，成為城市的重要地標。NCHRP Report 672 (2010)將圓環分成現代(新)圓環、傳統(舊)圓環兩類，但台灣仍有些特殊的圓環無法被歸類在傳統圓環或現代圓環，因為有些圓環的形狀或設計等不符合現代圓環或傳統圓環的定義，例如：新竹的東門圓環的形狀為橢圓形，高達七個進出口，且無號誌；台南大部分的圓環有特別設置分隔島區分機慢車道，另外台南的火車站前圓環以及東門城圓環形狀也很特殊，是由兩個半圓形及一個方形所組成，類似操場形狀，而台南的大西門圓環甚至將圓環改良成中央為十字路口可讓車輛通行，而外圍仍保持圓環狀。

一般評估圓環績效可分成以下兩類：容量、安全，在評估圓環績效之前，必須取得重要參數，例如：評估容量之前，需取得車輛的臨界間距值，而過去研究大部分都只討論純汽車車流的臨界間距，混合車流的部分較少被討論。又過去研究指出在一般直線道路上，混合車流中機車的車流特性與純汽車車流是有差異的(Wong and Lee, 2015)，由此推測混合車流於圓環上的特性可能會與純汽車車流不同。綜合上述，過去純汽車車流於圓環上的特性研究結果，可能不適用於機車持有率高的地區。

1.2 研究目的

研究圓環車流的最終目的通常是要評估圓環的績效，而這中間的過程必須要先蒐集資料，蒐集完後進行分析，分析完後再應用於評估圓環的容量、安全等。

本研究的目的為提供一套以微觀車流軌跡資料分析混合車流於圓環上的特性與行為的流程。未來研究可透過此流程分析車流特性與行為，並更進一步建構混合車流在圓環上的微觀車流模式，包括車輛進入圓環的接受間距模式、車輛進入圓環的跟上間距模式、小汽車/機車車道變換模式、跟車模式等，最後再將上述結果應用於圓環的績效評估上，例如：現有混合車流圓環的安全性評估、混合車流於圓環上的容量估計等。

1.3 研究範圍與方法

本研究著重於使用微觀車流軌跡資料分析臺灣圓環路段上的混合車流特性與行為，包含車道使用、速度、加減速度、橫向位置、變換車道次數，另外也多加分析了車輛於圓環路口，準備進入圓環時所面臨的接受餘間距。臺灣混合車流大致上由汽車、機車、公車三者所構成，本研究針對汽車、機車兩車種進行分析。

本研究挑選車流量較高之時段，並使用微觀資料進行分析，如此一來才能觀察到車流特性，以及車與車之間的互動關係。影像取得的方式為使用無人飛機進行空拍，空拍為垂直俯視的畫面，可以涵蓋的範圍較廣並且減少因三維空間所導致的誤差。蒐集完車流影像後，晃動的畫面會經過校正，並再配合車流軌跡擷取軟體(Lee et al., 2008)建立車輛軌跡資料庫，包含車種、每秒的車輛位置座標、車輛編號等，接著將軌跡資料庫匯入MATLAB後，進行車流特性與行為的分析。

1.4 研究流程



圖 1.1 研究流程

第二章 文獻回顧

此章節將文獻回顧分成兩部分，第一部分為圓環績效評估的相關文獻，第二部分為車輛行駛於圓環上的特性與行為分析的相關文獻。首先了解過去在評估圓環績效時，需要考慮哪些參數與研究缺口，第二部分則是了解過去分析圓環車流特性與行為的相關研究中，資料蒐集方法、分析了哪些特性、行為，以及如何分析與分析結果。

2.1 圓環績效評估

本小節將介紹評估圓環績效的相關研究，回顧過去的圓環績效評估指標，大致上可將其分為兩大類，分別為圓環容量評估以及圓環安全評估，以下分別對此兩大類做文獻回顧。

2.1.1 圓環容量評估

容量是評估圓環績效的重要指標之一，圓環的容量評估方法可以分成三種，第一類為加總各交織段的容量來評估整個圓環的容量，第二類為以接受間距的概念評估圓環的進入容量(entry capacity)、第三類為使用迴歸模型估計圓環的進入容量。

陳武正等(1975)為研究臺灣圓環的先驅，當時的八德圓環與南京東路圓環時常有壅塞狀況發生，使得圓環在高交通量的情況下，績效有下降的情形，該研究提出三種解決方案，並利用固定時間模擬法評估三種解決圓環交通壅塞方案的成效。其資料蒐集方法為指派 32 位調查員至圓環各個出入口記錄不同車種的到達數及離去數。利用模擬方式探討交通問題時，需要先建構模式取得重要參數，例如：圓環各入口之車輛到達率、流向比率等，前者可以直接由調查資料得到數據，後者作者採用多元聯立方程式計算而得。重要參數取得後經電腦程式模擬各個方案在不同交通量下車輛通過圓環平均所需之時間，觀察圓環在不同情境下保持交通流暢的交通量臨界值，並評估方案的優劣。

美國最早的公路容量手冊中(TRB, 1965)評估傳統圓環容量的方法為將圓環切割成數個交織段，依照各個交織段的車流特性分別計算各交織段的容量，將所有交織段的容量整合後，即可計算出整個圓環的容量。台灣 2011 年公路容量手冊(交通部運輸研究所, 2011)即是根據美國 1965 年美國公路容量手冊的方法來估計傳統圓環的容量，並以車當量與車輛組成比例當作混合車流下車種的調整參數。

Ashworth and Field (1973)最早提出以接受間距的概念估算現代圓環的進入容量(entry capacity)，他是根據 Tanner (1962) 提出的無號誌化路口容量估計式建立圓環的單車道進入容量估計式。Wu(1997)則根據 Tanner (1962)提出的無號誌化路口容量估計式以

及使用了接受間距的概念提出多車道的現代圓環容量估計式。

萬家豪(2014)則是以 Wu(1997)的現代圓環進入容量估計式為基礎，建立混合車流於多車道傳統圓環與現代圓環的進入容量估計式，他以臨界半間距取代臨界間距，並多考量了半徑影響跟上間距的因子，以及利用車種混合比計算平均混合車間距，又傳統圓環進出口的幾何設計為垂直交角與圓環相連接，此幾何設計使駕駛容易誤判衝突車輛，因此，相較於現代圓環，在計算傳統圓環容量時，有多考量此一影響，將被準備進入圓環的駕駛人所認定之衝突車流量取代實際衝突車流量，用以計算傳統圓環的容量。

除了上述使用交織段以及接受間距的概念評估圓環容量外，另外也有學者以迴歸模型的方式評估傳統圓環容量，最早提出以迴歸模型評估單車道傳統圓環容量的是 Kimber(1980)，而 Hossain(1999)套用 Kimber (1980)的模型發展的一套微觀模擬模型“MIXNETSIM”模擬圓環的混合車流，概念是將圓環切分成幾個連續的 T 型路口，將車流分成兩部分，包含圓環上的車流及進入圓環車流，其模擬考量以下特性：車種、車寬、車長、位置、速度、加減速度、期望速度、轉向、反應時間、橫向位置、是否停等、旅行時間，最後透過模擬結果將進入圓環的容量對圓環車流量、進入車道寬度、圓環大小、大車與小車比例做迴歸，得到容量估計式，如公式(2.1)。

$$Q_e = -0.82Q_c + 300W_d + 4.7D_i + 3.8P_{nmv} - 19.6P_{hv} \quad (2.1)$$

- Q_e ：圓環混車流進入容量
- Q_c ：圓環上的車流量
- W_d ：進入車道寬
- D_i ：圓環直徑大小
- P_{nmv} ：非機動車佔總車流量比例
- P_{hv} ：大車佔總車流量比例

除了圓環上的車流量、臨界間距、車道寬等會影響圓環的容量外，行人流量也是影響進入圓環容量的重要因素，雖然過去圓環容量的研究中，行人因素有被考量，但並未考量到以下幾點：駕駛意識到穿越斑馬線的雙向行人數量，以及各進出口的實體分隔島，Kang et al. (2014)將行人、進入車道有無實體分隔兩因素加入到 VISSIM 5.4 中模擬圓環車流，並估計圓環容量，發現無實體分隔的情況下，越多行人穿越斑馬線時，圓環容量顯著的下降，若加上實體分隔時，圓環容量明顯提升。比較美國公路容量手冊 2010 (TRB, 2010)行人調整因素 f_{ped} 模型與 VISSIM 5.4 模擬出來的行人調整因素 f_{ped} ，發現不管是在有無實體分隔或不同行人流量下，由 TRB(2010) f_{ped} 模型所估計的 f_{ped} 皆高於 VISSIM 5.4 模擬出來的結果，且當行人流量越大時，兩者所估計的容量差異越大。因此如果需要考量更多行人相關的影響因素與情境條件對容量的影響，美國公路容量手冊 2010 的

行人調整因素可能不適用。

2.1.2 圓環安全評估

圓環的安全性也是重要的圓環績效評估指標之一，早期 Flannery and Elefteriadou (1999)評估圓環安全的方式是以歷史事故資料進行分析，該研究想知道當交叉路口改建為圓環後是否變得更安全，其研究方法為使用事故發生率計算公式，如公式(2.2)，評估路口改建為圓環後事故發生率是否有降低，其蒐集八個路口改建為圓環前與圓環後的事件數、死傷件數以及平均每日交通量(ADT)，套入事故發生率計算式後，觀察此八個路口的安全績效是否有提升，研究結果顯示改建為圓環後事故發生率有明顯下降。

$$R_{sp} = \frac{(\text{Number of accidents for the study period}) \times 1,000,000}{365 \times (\text{Period of study}) \times (\text{Average Daily Traffic})} \quad (2.2)$$

然而，事故是稀少事件且事故資料為警方透過他人描述而得的二手資料，也難以從筆錄中觀察到事故發生的過程。近幾年來許多學者以事故指標法(crash surrogate method)來評估圓環績效，事故指標為事故發生前，有極大機會發生的一個事件，若事件達到事故門檻後，可能演變為事故或接近事故。

Saccomanno et al. (2008)以 VISSIM 4.2 模擬圓環與一般號誌化路口，並設定不同情境，例如：乾、濕鋪面以及流量大小，比較兩路型的安全績效，其評估安全績效的方式是為採事故指標法，根據 TTC (time to crash)、DRAC (deceleration rate to avoid the crash)、CPI(crash potential index)三個事故指標法計算車輛衝突數、衝突發生率、平均車輛衝突曝光時間，研究結果發現：1.圓環的衝突發生率顯著小於一般號誌化路口、2.濕的鋪面容易使車輛發生衝突、3.不管是圓環或一般號誌化路口，當流量越大衝突發生率會越高、4.圓環的衝突曝光時間較一般路口還要小。

Guido et al. (2011)則是利用實際的圓環車流軌跡資料計算事故指標(crash surrogate)，用以評估圓環的安全績效。其軌跡資料蒐集方法為先以錄影方式蒐集車流影像，並將影片以 Adobe Premiere 軟體處理成每 1/30 秒一個畫面，將處理後的影片放入影像辨識軟體中即可取得車輛每 0.1 秒的軌跡資料，包含每個時間點的车辆位置、速度等，將蒐集到的資料以不同的事故指標法(crash surrogate method)來分析追撞的事故，事故指標法如下：TTC (time to crash)、DRAC (deceleration rate to avoid the crash)、PSD (proportion of stopping distance)、TIT (time integrated time-to-collision)以及 CPI (crash potential index)，此研究結果指出圓環的安全績效對於其衡量方法非常的敏感，不同的衡量方法可以突顯不同地點、不同幾何型態的圓環的安全問題。

St-Aubin et al. (2015)則是想了解與圓環相關的哪些因素會影響到事故指標(crash

surrogate)，作者是利用影像辨識的方法，蒐集位於魁北克 20 個圓環中的 37 個交織段的車流軌跡資料，分別將速度與 TTC (time to crash)對幾何型態因子、環境因子以及流率對進行迴歸，其速度的計算方式為以連續兩時間點的距離除以時間差，TTC 的計算方式則是以車輛每個時間點的移動樣態推測車輛間的碰撞時間點，而流率計算公式如(2.3)，其意涵與一般提及的流率有差異，該意涵為由入口進入交織段的流量與由環內進入交織段的流量，兩者的均勻程度，若越均勻則越趨近於 0。結果顯示圓環離開方向的車道數以及餘域寬度(Apron Width)與速度有顯著負相關，但圓環半徑與流率對速度影響不大；而流率對 TTC 的影響很大，若兩股車流量越均勻時，也就是交織段車流越複雜時，TTC 會越低，越容易有交通衝突。

$$Q_r = \frac{\text{由入口進入交織段的車輛數} - \text{由環內進入交織段的車輛數}}{\text{由入口進入交織段的車輛數} + \text{由環內進入交織段的車輛數}} \quad (2.3)$$

2.2 車輛於圓環的特性與行為

本小節是介紹過去車輛於圓環上的特性與行為的相關研究，分析方法大致分成兩種，其中一種為使用演算法分析，另一種為以實際資料進行分析，是較多研究採用的，詳細的文獻回顧如下：

Wang and Ruskin(2002)利用細胞自動機建構車流模型，細胞自動機可視為模擬生物細胞自我複製的模型，是由多個格子所組成，將每個細胞佔用一個格子，每個格子皆有一個狀態，作者將其狀態分成兩類，狀態為零代表為空格子，也就是該格子上無車輛，若狀態大於零，代表該格子被車輛佔據，而數值代表的是車輛還需要跨越多少格子才能離開，而格子每個時間點的狀態是由上一時間點相鄰格子的狀態所決定的。該研究透過細胞自動機模型分析圓環大小、幾何型態、到達率、轉向比及駕駛行為與通過量之間的關係，以及分析車隊長度、車流密度。此篇研究只針對一車道圓環進行分析，且利用細胞自動機演算法建構車流模型的規則較不接近現實。

車輛進入圓環的臨界間距是評估圓環容量的重要指標，臨界間距計算的方式有很多，最早期的臨界間距計算方法為 Raff's method，Raff and Hart (1950)將臨界間距定義為「當臨界間距為 L 時，間距小於臨界間距 L 且被接受的數量等於間距大於臨界間距 L 且被拒絕的數量」。萬家豪(2014)即是利用 Raff's method 計算混合車流之臨界間距，作者利用高樓架設攝影機的方式拍攝圓環的車流影像，並透過軌跡蒐集程式以半自動的方式取得軌跡資料，再以軌跡資料判斷衝突車輛以及進入圓環車輛的接受間距與拒絕間距，將每輛車之接受間距與拒絕間距套用於 Raff's method 後即可得到各車種組合下的臨界間距值。

臨界間距的計算方法除了 Raff's method 外，還有 Troutbeck(1992)所提出的最大概似估計法，其概念為使用最大概似估計法在最大拒絕間距以及接受間距之間找到臨界間距。Xu and Tian (2008)即是利用最大概似估計法來算臨界間距，作者先利用錄影方式蒐集了加州地區六個單車道圓環以及三個多車道圓環的尖峰時段車流影像資料，另外也蒐集了幾何型態資料以及利用雷達槍取得圓環上車輛的速度資料。蒐集而來的影片透過 Traffic Data Input Program (TDIP)軟體擷取三個事件發生的時間點，包括進入圓環的車輛停於停止線的時間點、圓環上的車輛通過衝突點的時間點，以及進入圓環的車輛離開停止線的時間點，有了上述這三個事件時間點的資料後，再配合巨集程式計算出臨界間距、跟上間距，臨界間距是以最大概似估計法計算而得，將結果與美國其他州以及其他國家做比較，以信賴區間覆蓋程度觀察加州地區的圓環特性是否與其他地方有差異。除了計算與比較臨界間距以及跟上間距外，還分析了圓環上的車輛速度、車流量此兩個因素如何影響臨界間距與跟上間距，其透過計算與臨界間距、跟上間距之間的相關係數，觀察它們之間的關係。此篇研究提供了分析特性的方法，但只侷限於分析純汽車車流以及單一車輛的行為特性。

Abishai et al. (2005)採用二元羅吉特模型探討等待時間對接受間距的影響，臨界間距模型中的變數資料蒐集是先於路邊拍攝車流，將錄製好的影片切割成每 1/10 秒一張的畫面，在實驗室內以人工方式記錄每台受觀測車輛的等待時間、接受或拒絕間距的時間長度，共取得 743 個觀測資料，其中有 483 筆選擇接受，260 筆選擇拒絕，而過長間距的定義為大於繞行圓環四分之一圈的時間，過長的間距資料則不採用，因為過長的間距並不是駕駛考慮是否通過的因素。接受間距與拒絕間距的效用函數如公式(2.4a)、(2.4b)， t_w 為車輛在停止線等待的時間， t_g 為時間間距，效用即為間距被接受程度，越大代表越能接受，將拒絕間距的效用設定為零，因此接受間距的效用值也就等同於與拒絕間距效用的效用差，參數則是透過最大概似估計法求得。研究結果指出間距長短與該間距被接受的程度成正相關，而等待時間長短與接受間距的程度成正相關，作者推論駕駛者若等待時間越久，可能越沒有耐心，因而願意冒險通過較小的間距以減少延滯時間，作者也繪製了不同間距下，等待時間與接受機率的分佈圖，發現間距 2 秒至 6 秒被接受的機率受等待時間的長短影響較大。

$$v_a = f(t_w, t_g) = -10.34 + 0.03742 * t_w + 2.509 * t_g \quad (2.4a)$$

$$v_r = 0 \quad (2.4b)$$

除了圓環上的車流以及車輛進入圓環的接受間距外，跟上間距也是影響進入圓環容量的指標，Qu et al. (2014)建構單車道圓環的跟上間距模型，作者以錄影方式蒐集車流資料，透過影像以人工方式取得以下資訊：車種、於車隊中等待的位置、後方是否有等待車輛、車流量以及駕駛性別，再使用變異數分析，發現大車的跟上間距明顯的比小車大，

可能的原因是大車的啟動時間較慢，加速也較慢；若後方有等待車輛者，其跟上間距較小，可能是基於心理壓力因素；車流量較大的狀況下，跟上間距較大，可能是因為車流量越大時駕駛會越小心，因此會保持較大的間距；女性駕駛的跟上間距較男性大，作者解釋原因是女性開車通常較男性保守；而是否為車隊中第一個等待位置對跟上時間而言並沒有顯著差異。最後將跟上間距對車種、後方是否有等待車輛、車流量以及駕駛性別以上四個變數進行迴歸，為了取得最適跟上間距機率分佈，於迴歸分析前，作者利用 Kolmogorov-Smirnov 檢定七種連續機率分佈模型，其中以逆高斯機率分佈最符合跟上間距的樣本機率分佈，因此最後以逆高斯模型進行迴歸分析，迴歸結果顯示車流量以及車種對跟上間距有顯著的影響。此結果提供了與跟上間距相關的重要參數，可以更準確的估計進入圓環容量。

上述文獻所提到的圓環車流特性與行為包含車流密度、通過量、臨界間距、跟上間距、速度、車隊長度等，而研究混合車流常被提到的車道規範在目前圓環的相關文獻中並無特別提及，因此參考一般直線道路上的車道規範研究。黃家耀等(2014)、Wong et al. (2015)以空拍的方式蒐集了市區道路的車流影像，並以 Lee et al.(2008)所開發的車流軌跡擷取軟體，以半自動化的方式截取車流軌跡資料，其探討車道規範的方法為分別繪製汽車、機車通過各縱向位置的橫向位置分布；黃家耀等(2015)則進一步使用微觀車流模擬器(VISSIM)的模擬結果繪製橫向位置分布圖，並與實際的軌跡資料結果做比較，發現 VISSIM 模擬結果為機車大多行駛於標線上，與實際結果是有差異的，此發現能建議模擬軟體針對機車的橫向移動相關模式做改善。

在車流分析之前都會有軌跡資料蒐集的過程，前述文獻大多是使用人工方式或以半自動的軌跡擷取軟體蒐集軌跡資料，然而隨著科技進步，車流軌跡的蒐集方式邁向自動化，St-Aubin et al. (2013)利用影像辨識軟體蒐集圓環的車流軌跡資料，此方法大大降低人力成本。該研究的目的為提供一套以影像辨識軟體所蒐集到的微觀車流軌跡資料進行分析的方法，其分析的車流特性與行為包括：車道變換、速度、遵守圓環行駛規則的比例等，而圓環衝突車流的衡量方法則是根據車輛的軌跡，以及各事故指標法的統計分析來探討車輛互動頻繁、可能發生碰撞的地方，建構車輛衝突的分析流程。

2.3 小結

根據上述所整理的圓環績效評估相關文獻，圓環績效評估的指標以容量與安全為主，而圓環的容量評估方法可以分成三類，第一類為加總各交織段的容量來評估整個圓環的容量，第二類為以接受間距的概念評估圓環的進入容量(entry capacity)、第三類為使用迴歸模型估計圓環進入容量。容量估計式皆是由最單純的單車道純汽車車流的圓環發展起，後續延伸出多車道、混合車流的圓環容量估計式，從混合車流的容量估計式中發現，過去的學者對於混合車流情境下的參數調整方式，大多僅以混合車流的車種比例做加權平

均，或以車當量的方式進行換算，並未實際探討各車種的行駛特性或行為差異對圓環績效評估的影響。

圓環安全評估的部分，以往是以事故資料進行分析，隨著科技的進步以及事故指標法在純汽車流的應用上趨近於成熟，近幾年來許多圓環的安全相關研究大多是使用半自動或自動化的方式取得微觀的車流軌跡資料後，再以事故指標法來評估圓環的安全，但大部分的研究範圍都是針對純汽車車流，較少討論到如何使用事故指標法來評估混合車流的安全性。

由車輛於圓環上的特性與行為文獻回顧中，明顯發現軌跡資料的蒐集方法越來越純熟，然而過去文獻大部分都是針對純汽車車流在圓環上的特性與行為做分析，且過去的研究很少討論分析車輛間的互動行為，僅探討車輛微觀下的運動學特性，因此本研究盼能參考過去的研究方法，並加以調整後，用來分析混合車流在圓環上的特性與行為。

第三章 資料蒐集

此章節將介紹本研究之圓環混合車流資料庫的建立過程。本研究之資料是藉由空拍的方式拍攝圓環上之車流影片，影片經過後製處理後，使用半自動化的車流軌跡擷取軟體，擷取影片中所有車輛每秒一系列的座標位置、角度，並紀錄車種、車長、車寬、車輛編號...等，建置微觀的車流軌跡資料庫以供分析。而本研究調查地點為新竹東門圓環。

3.1 調查地點特性

新竹東門圓環的路型以及車流符合本研究的研究範圍條件，因此挑選新竹東門圓環為研究對象，如圖 3.1 所示，此東門圓環畫面為本研究後製處理後的空拍影像畫面，詳細的車流影像與後製過程將於 3.2 小節做介紹。新竹東門圓環位於新竹市中心，其中央的東門城建造於西元 1829 年，是目前新竹唯一存留的城門，後人將東門城前廣場打造城新竹之心，成為露天的市民廣場，政府並且將其列為二級古蹟，而新竹圓環的設置目的就是為了要維護這值得保存的古蹟。

新竹東門圓環為非號誌化的圓環，其形狀為橢圓形，並非正規的圓形，半長軸約 53 公尺，半短軸約 30 公尺，屬於大圓環。該圓環上的混合車流主要是由機車、汽車、公車三者組合而成，環內車輛擁有優先權，圓環上共五個車道，其中內側三個車道皆為禁行機車車道，共有九個進出口，其中五個為雙向車道，四個為單向車道。進出口、車道、橢圓標線編號以及各個橫切面之示意圖如圖 3.2。



圖 3.1 新竹東門圓環

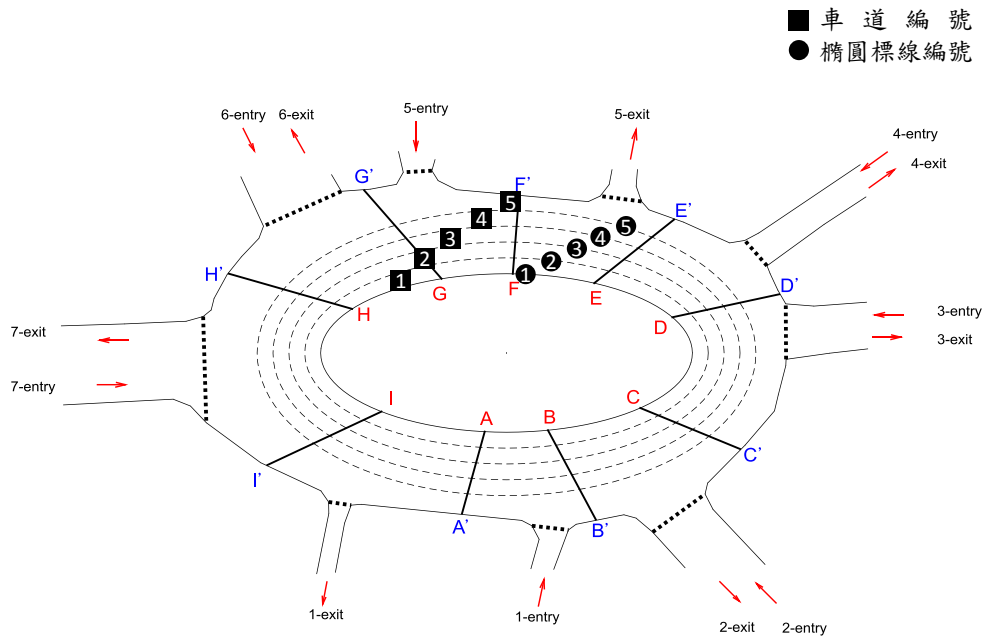


圖 3.2 進出口、車道、橢圓標線編號以及橫切面之示意圖

由於新竹東門圓環的形狀為橢圓形，而非正規的圓形，應先了解橢圓的基本定義，如下：

橢圓上有兩個定點 F 與 F' ， L 為大於 $\overline{FF'}$ 之固定數，平面上與此兩點距離和等於 L 的點集合即為橢圓。其中半長軸為 $\overline{OA} = \overline{OA'} = \overline{BF} = a$ ，半短軸為 $\overline{OB} = \overline{OB'} = b$ ，焦半徑為 $\overline{OF} = \overline{OF'} = c$ ，離心率為 $\frac{\overline{FF'}}{\overline{AA'}} = \frac{2c}{2a} = \frac{c}{a}$ ，如圖 3.3 所示。半長軸能做為橢圓大小的參考值，而離心率能顯示橢圓扁的程度，當離心率越大，橢圓越扁。

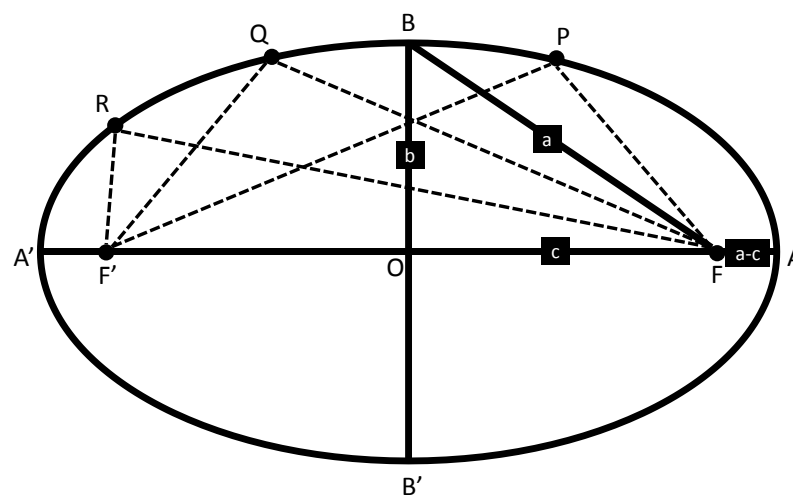


圖 3.3 橢圓參數

為了瞭解新竹東門圓環的大小，本研究以空拍畫面之比例尺大小進行估計，比例尺的計算方式為，首先使用測距輪實地測量三個地標物的長度，每個地標物分別量測四次，將量測結果取平均後即得地標物之實際長度，接著量測後製後之空拍畫面(車流影像後製流程將於 3.2 小節做詳細介紹)上的三個地標物長度，取得實際與空拍畫面上的地標物長度後即可計算空拍畫面之比例尺大小。

透過此比例尺估計新竹東門圓環各個橢圓標線的半長軸 a 、半短軸 b 、焦半徑 c 、離心率 ε 大小，如下表與下圖所示。相鄰橢圓標線之半長軸與半短軸相差約 3.37 公尺，也就是橢圓標線的半長軸與半短軸由內而外以每單位 3.37 公尺成長，使得越外圍之橢圓標線之離心率越來越小，也就是橢圓的形狀越來越不扁平。

表 3.1 新竹東門圓環橢圓標線估計值

橢圓標線編號	1	2	3	4	5
半長軸 a 估計值	39.46	42.83	46.20	49.58	52.95
半短軸 b 估計值	16.86	20.24	23.61	26.98	30.35
焦半徑 c 估計值	35.67	37.75	39.72	41.59	43.39
離心率 ε 估計值	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82

單位：公尺

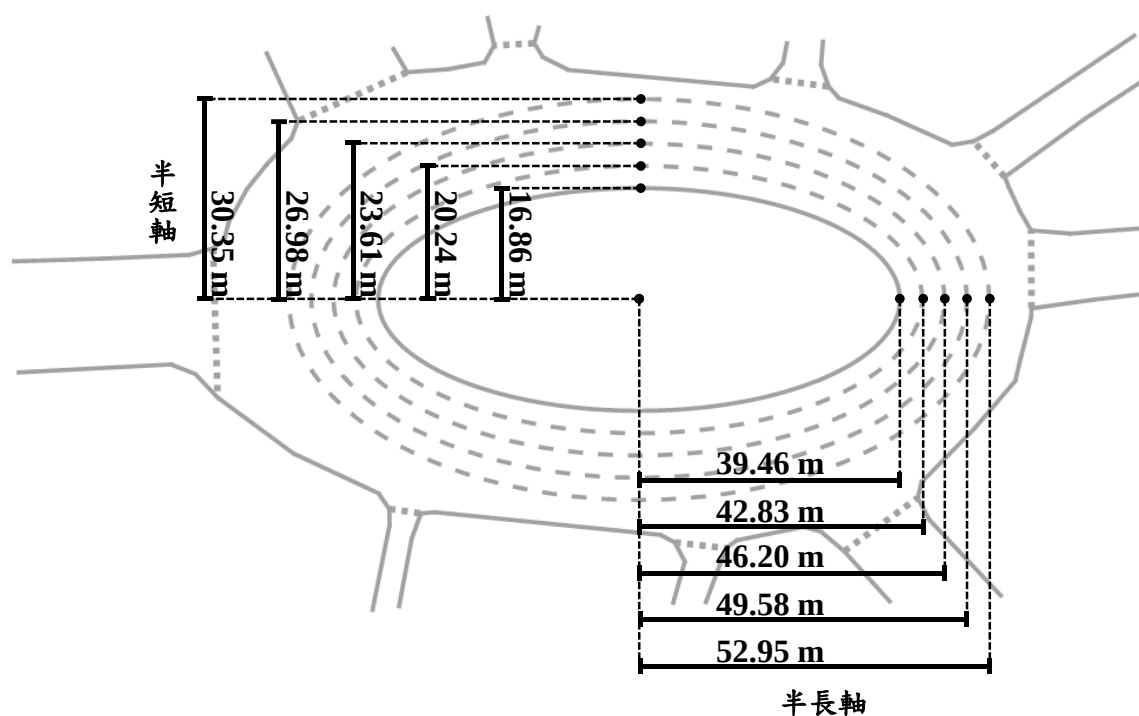


圖 3.4 新竹東門圓環橢圓大小示意圖

由於原始空拍畫面有魚眼效果以及晃動情形，因此多了幾道影片後製手續(車流影像蒐集與後製流程將於 3.2 小節做詳細介紹)，為了確認後製過後之空拍畫面之圓環大小是否與實際相符，本研究利用內政部提供之國土測繪圖資網路地圖，取得圓環實際大小，並且與由空拍畫面估計之圓環大小進行比較，如下表，誤差皆在 1.5% 以內。

表 3.2 新竹東門圓環橢圓標線估計值與實際值比較

橢圓標線編號		1	2	3	4	5
半長軸 a (單位：公尺)	後製空拍畫面之估計值	39.46	42.83	46.20	49.58	52.95
	國土測繪圖資網路地圖之實際值	38.97	42.41	45.86	49.31	52.76
誤差(單位：百分比)		1.3%	1.0%	0.7%	0.5%	0.4%
半短軸 b (單位：公尺)	後製空拍畫面之估計值	16.86	20.24	23.61	26.98	30.35
	國土測繪圖資網路地圖之實際值	16.90	20.34	23.79	27.24	30.69
誤差(單位：百分比)		0.2%	0.5%	0.8%	1.0%	1.1%

流量高與低之車流所表現出來的車流特性可能不同，且流量過低的情況下可能較難觀察到車與車之間的互動行為，因此必須先了解新竹東門圓環哪些時段的車流適合用來分析。方法為蒐集平日某幾個時段之車流量並進行比較，而流量計算方式為計算車輛通過 $\overline{BB'}$ 橫切面的車流量，示意圖如圖 3.2，由於車輛大部分由 7 號路口進入，從 2、3、4 號路口離開，使得通過 $\overline{BB'}$ 橫切面的流量相對較高，因此選擇 $\overline{BB'}$ 橫切面，才能捕捉較多車流，蒐集完畢後，繪製曲線圖如下圖 3.5。結果發現 D 與 E 時段之車流量較其他時段還要高，因此本研究採 D、E 兩時段之間的車流進行分析。

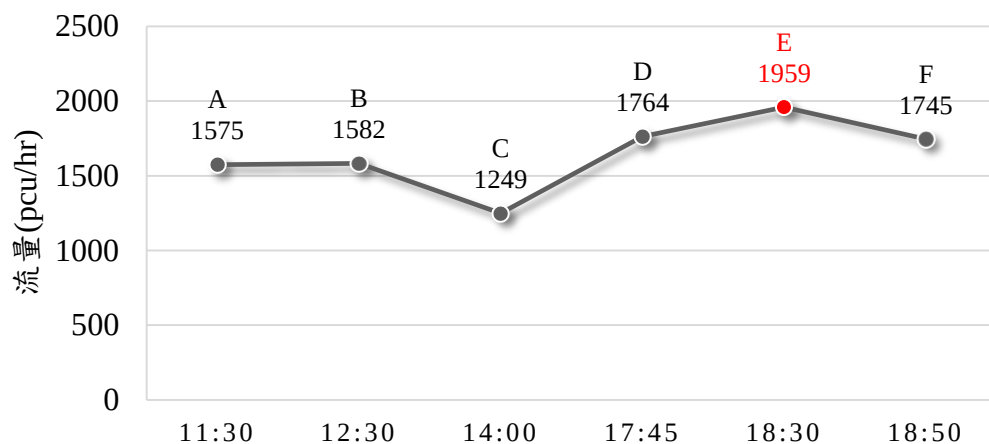


圖 3.5 新竹東門圓環車流量

3.2 車流影像蒐集與後製

早期的圓環車流資料蒐集方式大多為指派數個調查人員於路邊記錄車流資料 (陳武正等人, 1975)，或者在路邊架設攝影機拍攝車流影像，這些傳統的蒐集方式大多只能取得單一進出口或圓環某一部分的流量等巨觀資料，無法通盤了解整個圓環的交通狀況，過去有些研究甚至使用載人直升機由高空往下拍攝，此方法除了花費較大成本外，也有安全上的顧慮。

微觀車流特性分析需要蒐集足夠的車流軌跡資料，近幾年來，這類研究大部分是將多台攝影機架設在高樓大廈由上往下拍攝，此方法與早期相比，較能夠以較低的成本蒐集到更大範圍的車流影像資料，但仍然存在一些限制，例如：

1. 必須在欲調查之範圍周遭找尋約十層樓高以上的建築物，但住宅大樓、辦公大樓或醫院都很難取得用戶的同意，且調查人員進出大樓時也存在隱私權的問題。
2. 攝影機在大樓上並非以垂直俯視的方式拍攝，而是以傾斜俯視的方式，且車輛為立體的，如此一來會造成車輛位置的誤判。
3. 若拍攝範圍超出一台攝影機能涵蓋的範圍，則必須要接合多部影片，接合處的影像與時間軸必須相符，否則判定車輛位置時會造成誤差。

科技日新月異，飛行器與高空攝影的科技更為進步，許多領域皆受惠於此，例如：土石流監測、大眾傳播相關攝影、國防...等。為了取得更準確的車流資料，本研究使用了四螺旋槳遙控飛機(Drone)，在高空中錄製車流影像，其優點為：

1. 調查範圍內不需要一定有高樓大廈供拍攝車流影像。
2. 可以錄製垂直俯視的車流影像畫面，能較準確判斷車輛位置。
3. 拍攝範圍較廣，不必使用多台攝影機，也免去處理接合多部影片的問題。
4. 機動性高，能隨時調整拍攝角度與高度。

但其缺點為續航力不足，飛行 15 分鐘左右就必須下降更換電池。另外使用四螺旋槳遙控飛機時，需注意空拍法規，交通部規定機場周圍、博愛特區(總統府周圍)、陽明山等地方禁止飛行器進入，而本研究所調查之新竹東門圓環不在限制範圍內，符合法律規定。

由於原始影片存在魚眼效果，且拍攝過程中多少會有晃動的情形，扭曲與晃動的畫面都會影響後續車輛軌跡擷取的效果，為了解決上述問題，本研究利用 After Effects 軟體將影片消除魚眼效果以及進行穩定性的調整，如圖 3.6。



(a)原始影像



(b)消除魚眼效果後之影像

圖 3.6 影像後製前後

3.3 軌跡資料擷取與資料庫建立

早期的車輛軌跡擷取方式通常是將影片切割成好幾張圖片，再將畫有座標格線的透明投影片貼在電腦螢幕上，以人工方式將每張圖片的車輛軌跡座標點記錄下來，此方法相當的耗時與費工。

本研究使用 Lee et al.(2008)所開發的車流軌跡擷取軟體，將車流影像以數位化轉換的方式將影像資料轉化為實際可分析的原始資料數值，建立分析時所需的資料庫。車輛軌跡擷取方式為將欲搜集的車流影片檔案匯入該車流軌跡擷取軟體中，以人工方式點擊畫面中每一秒的車頭中點座標，蒐集每秒一筆的車輛原始相關數據資料，每當點擊一下即會自動跳至下一秒畫面，讓使用者繼續追蹤目標車輛的車頭中點位置，直到該車輛離開畫面為止，如此一來就能夠完整紀錄車輛在調查範圍內的移動軌跡，儲存該車輛的軌跡座標後，畫面即會返回到使用者所設置的時間點，繼續蒐集其他車輛之軌跡，直到畫面中所有車輛之軌跡都蒐集完畢為止，透過該車流軌跡擷取軟體蒐集完車流軌跡後，其原始軌跡資料庫以.txt 的檔案類型儲存起來。

由於該車流軌跡擷取軟體所記錄之座標為畫面上的座標點，且影像經 After Effect 穩定後，仍然會有些許晃動，因此軌跡擷取作業完畢後，會再蒐集四個參考點在畫面上的座標與實際座標，參考點為調查範圍內被選定的地標物位置，將這些參考點與軌跡點以 Lee et al.(2008)所附加之 IsPointInRect 程式一同進行軌跡校正作業，最後將校正後之軌跡資料透過 MATLAB 以動畫方式呈現，並與實際影像做比較如圖 3.7。

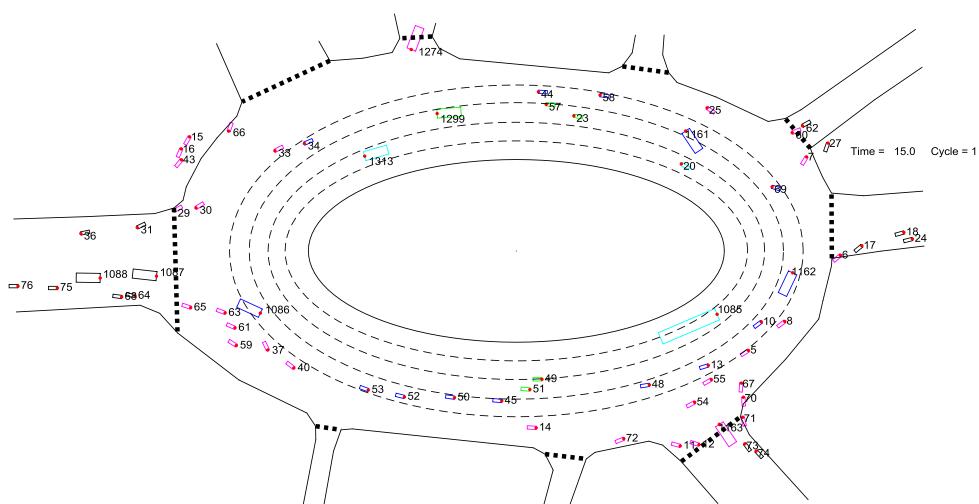


圖 3.7 實際畫面與擷取之車流資料套繪

校正後的軌跡資料庫可以透過 excel 呈現，軌跡資料庫中每筆資料皆有其時點及車輛編號，分別記錄每台車輛在圓環上行駛的時間段內的軌跡座標與相關車輛資料，供本研究做後續的資料篩選、資料分析以及相關變數擷取，資料庫中的變數如下表 3.3 所示，車種主要分為機車、汽車、公車三類，依每次點擊車輛時所選取之車種，給定相對應之車長與車寬，畫面編號代表每一輛車於每秒之時點，並同時記錄畫面與實際的 X、Y 座標。

表 3.3 軌跡資料庫變數表

Veh_NO	車輛編號
Veh_type	車種
Veh_len	車長(m)
Veh_wth	車寬(m)
Frame	畫面編號
Imgx、Imgy	畫面車頭中點 X、Y 座標
Realx、Realy	實際車頭中點 X、Y 座標
Realflx、Realfly	實際車輛左前 X、Y 座標
Realfrx、Realfry	實際車輛右前 X、Y 座標
Realrlx、Realrly	實際車輛左後 X、Y 座標
Realrrx、Realrry	實際車輛右後 X、Y 座標

3.4 車流資料整理與檢查

本研究於 2015/06/08 拍攝新竹東門圓環車流影像，拍攝時段為 18:16:54 至 18:28:02，影片長度為 11 分 8 秒，車流統計資料如下表 3.4、表 3.5 與表 3.6。

車種以機車佔多數，佔了 80.4%；而起訖點的部分，機車大部分是由 7 號進出口進入與離開圓環，汽車大多是由 7 號進出口進入圓環，由 2 號進出口離開圓環。

表 3.4 各車種車輛數與資料筆數統計

資料種類 \ 車種	機車	汽車	公車	總計
車輛數	1077 (80.4%)	243 (18.1%)	20 (1.5%)	1340 (100%)
車輛軌跡資料筆數	28134 (79.6%)	6582 (18.6%)	627 (1.8%)	35343 (100%)

表 3.5 機車起訖點車流量百分比

起 \ 訖	1	2	3	4	5	6	7	總計
1	-	1.5%	2.8%	2.9%	1.3%	1.1%	0.3%	9.8%
2	0.5%	0.4%	1.1%	4.8%	2.1%	2.1%	6.6%	17.7%
3	1.0%	0.3%	0.3%	0.3%	0.6%	0.8%	6.6%	9.8%
4	2.8%	1.1%	0.3%	0.4%	0.5%	1.4%	8.4%	14.8%
5	0.3%	0.1%	0.1%	-	-	0.3%	0.3%	1.0%
6	0.8%	2.9%	2.1%	1.3%	0.4%	-	1.5%	8.9%
7	2.8%	9.2%	14.4%	7.7%	1.8%	1.1%	1.1%	38.0%
總計	8.0%	15.4%	21.1%	17.2%	6.6%	6.8%	24.8%	100%

表 3.6 汽車起訖點車流量百分比

起 \ 訖	1	2	3	4	5	6	7	總計
1	-	3.0%	-	1.5%	2.5%	2.0%	2.0%	11.1%
2	-	1.0%	1.0%	3.5%	2.5%	3.5%	6.6%	18.2%
3	3.5%	1.0%	-	-	-	0.5%	5.6%	10.6%
4	3.0%	0.5%	-	0.5%	-	0.5%	5.1%	9.6%
5	-	0.5%	-	-	-	-	-	0.5%
6	5.6%	8.1%	1.5%	0.5%	1.0%	-	1.0%	17.7%
7	1.5%	11.1%	8.6%	5.6%	3.5%	2.0%	-	32.3%
總計	13.6%	25.3%	11.1%	11.6%	9.6%	8.6%	20.2%	100%

為了檢查車輛軌跡是否正常，取 10%車輛的軌跡，分別描繪車輛軌跡圖、車輛角度軌跡圖、車輛 X 座標軌跡圖、車輛 Y 座標軌跡圖。

車輛軌跡圖如圖 3.8，該軌跡圖是以車輛連續的座標點相連後所繪製而成的，發現車輛的軌跡大部分都屬於平滑狀，也明顯發現車輛大部分是由 2、3、7 號進出口進入圓環。

車輛角度軌跡圖如圖 3.9，該軌跡圖是以每台車所在的時間段中，每一秒的所在角度值相連後所繪製出來的，角度指的是車頭中點與圓環 x 軸正向，以逆時針方向旋轉所夾的度數，此軌跡圖可用以觀察車輛每一秒的所在角度變化，發現除了由 360 度轉換 0 度時軌跡會有轉折外，其於大部分都呈平滑狀。

車輛 X 座標與 Y 座標軌跡圖如圖 3.10 與圖 3.11，兩跡圖是以每台車所在的時間段中，每一秒的 X、Y 座標值相連後所繪製的軌跡圖，從這兩張軌跡圖可以發現除了車輛進入與離開圓環以及行經左右與上下兩區塊時，X、Y 座標會有忽大忽小之情形外，其於大部分都呈現平滑狀。

1. 車輛軌跡

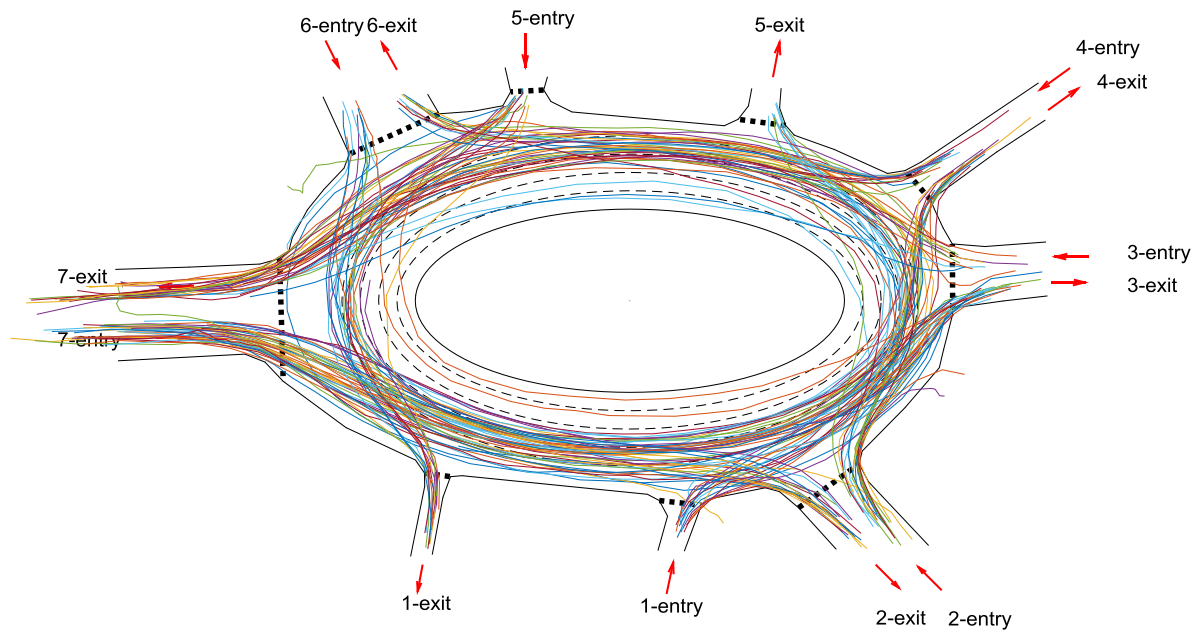


圖 3.8 車輛軌跡

2. 車輛角度變化軌跡

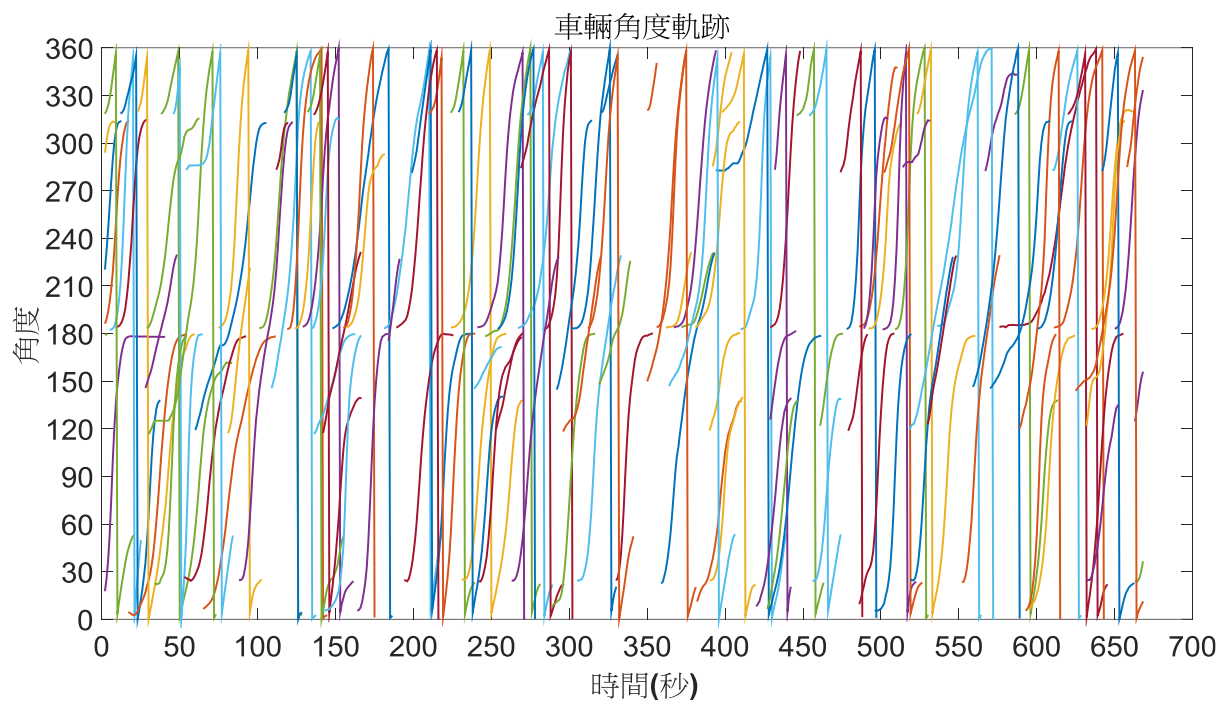


圖 3.9 車輛角度軌跡

3. 車輛 X 座標軌跡

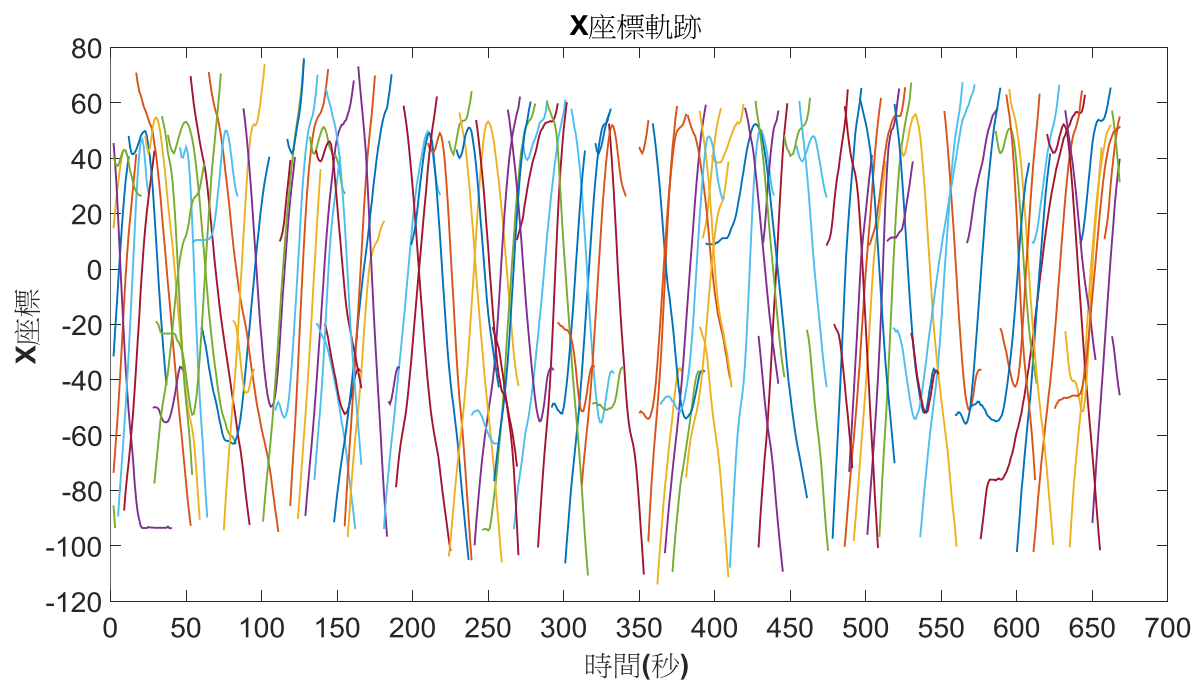


圖 3.10 車輛 X 座標軌跡

4. 車輛 Y 座標軌跡

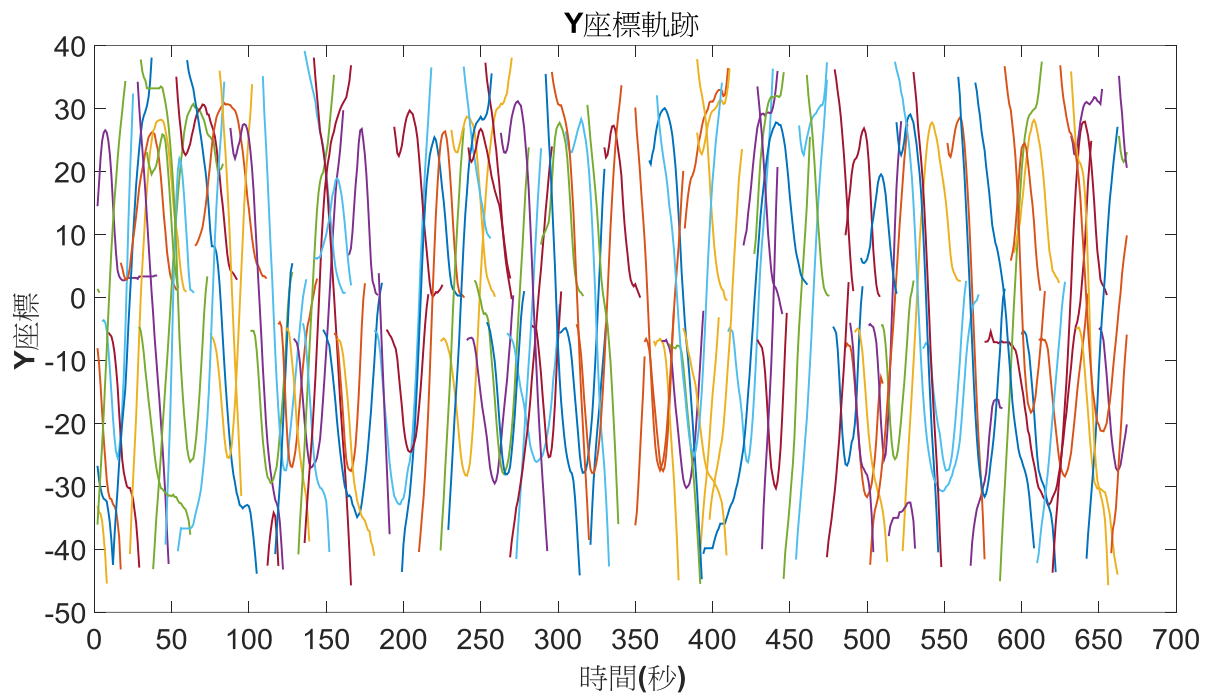


圖 3.11 車輛 Y 座標軌跡

第四章 研究方法

本章節將介紹如何利用軌跡資料庫分析混合車流於圓環上的特性與行為。本研究分析的車流特性與行為包括：車道使用、速度、加減速度、橫向位置、變換車道次數、接受餘間距，在分析上述特性與行為之前，須取得以下資訊：車輛於每個時間點的所在車道、車輛每秒行駛距離、車輛於每個時間點的加減速度、哪些車輛的軌跡有重疊、車輛進入圓環時之接受餘間距等，有了上述基本資訊後，即可進行後續的分析，而車道使用、速度、加減速度的結果會以視覺化呈現，詳細呈現方式會於底下小節做介紹。

4.1 以極座標判斷車輛所在車道

極座標為二維座標系統，位置是透過「距離圓心多遠， r 」以及「與 X 軸正向夾幾度角， θ 」來表示。一般直線道路的車流分析，能夠以迪卡兒座標系統 (x,y) 直接判斷車輛之間的相對位置以及所在車道，但圓環的路型是彎曲的，無法直覺地透過 (x,y) 座標判斷，使用極座標來表示曲線上的位置反而較迪卡兒座標來得直接、易懂，因此，為了能夠較直覺地判斷圓環上車輛所在車道以及車與車之間的相對位置，本研究以極座標系統取代迪卡兒座標系統來判斷車輛所在車道。

過去圓環車流相關研究中（周義華與許鉅秉, 1992）、(Hossain, 1999)都曾提及利用極座標來分析。由於新竹東門圓環並非正規的圓形，其形狀為橢圓形，因此以極座標判斷車輛所在車道時，與過去的研究方法有些差異，將在底下小節做介紹。

4.1.1 橢圓極座標

迪卡兒座標系統 (x,y) 座標轉換為極座標 (r,θ) 的公式如公式(4.1)、(4.2)，其中 r 為車頭中點與圓心的距離， θ 為車頭中點與圓環 x 軸正向所夾的度數，如示意圖 4.1。

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4.1)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (4.2)$$

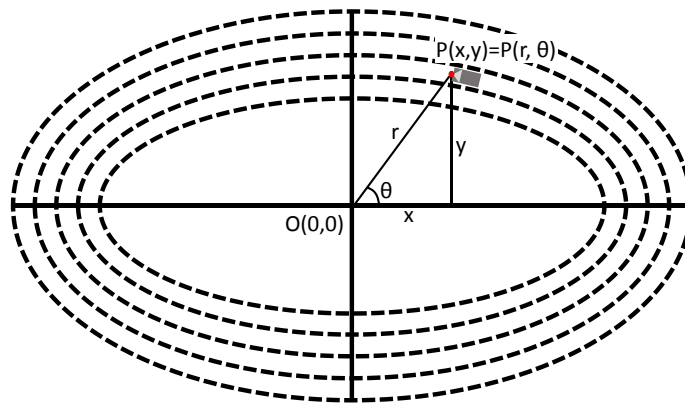


圖 4.1 橢圓迪卡兒座標與極座標

4.1.2 判斷車輛所在車道

一般而言，圓環路型通常為圓形，圓形標線(圓周)上所有的點至中心距離為固定值，因此可直接以車頭中點至圓心距離”r”來判斷車輛所在車道，但新竹東門圓環的形狀並非正規圓形，它是一個橢圓形的圓環，同一橢圓標線(圓周)上所有的點至中心距離會隨著角度而有所不同，所以不能直接以”r”來判斷車輛所在車道，如圖 4.2 所示。

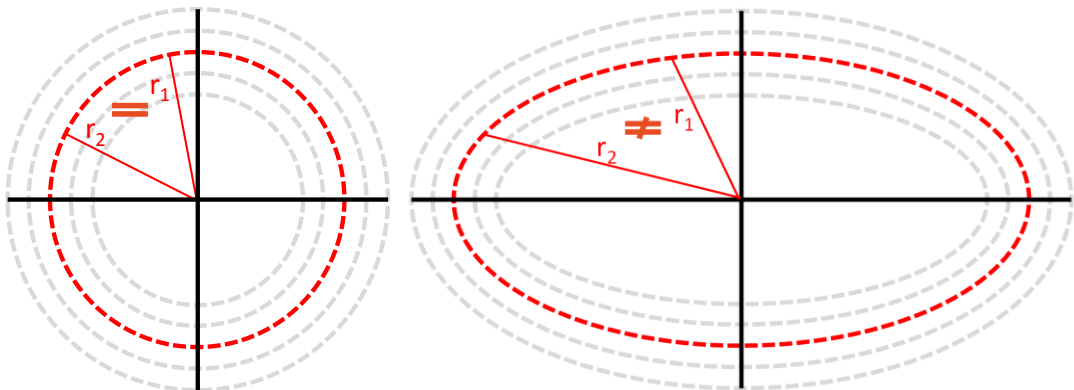


圖 4.2 圓與橢圓之圓周至中心距離

圓形大小、形狀是由半徑決定，橢圓形則是由半長軸、半短軸決定橢圓大小，以離心率決定橢圓扁的程度，可透過上述橢圓基本概念來判斷車輛行駛於圓環上時的所在車道，判斷步驟與示意圖如下：

- Step 1. 計算車頭中點 $P(x,y)$ 所在角度 θ ， $\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$
- Step 2. 計算車頭中點 $P(x,y)$ 與橢圓圓心距離 r_{OP} ， $r_{OP} = \sqrt{x^2 + y^2}$
- Step 3. 計算角度 θ 下，橢圓圓周至中心距離 r_{Oi} ， $r_{Oi} = \frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}}$ ， $i = A \sim E$
- Step 4. 比較 r_{OP} 與 r_{Oi} ， $i = A \sim E$ ，即可判斷車輛所在車道。

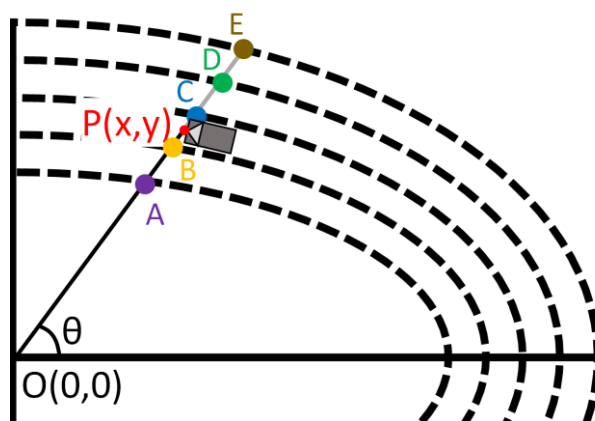


圖 4.3 極座標判斷車輛所在車道

4.2 曲線距離

車輛於圓環上行駛時路徑通常為曲線，因此計算圓環車輛行駛距離時，不適合以車輛兩點直線估計距離，若以兩點直線距離來估計距離會有低估的現象，例如：如圖 4.4，欲計算該車由時間點 $t-1$ 至 t 所行經的距離，實際行經的距離為時間點 $t-1$ 與 t 的車頭中點連線所形成的曲線(點虛線)距離，而車頭中點所連成的直線(虛線)距離明顯小於曲線距離；亦不適合以橢圓曲線長度來估計，因車輛會有變換車道的行為，車輛行駛過程中不一定都沿著橢圓曲線前行。

本研究利用曲線距離來估算車輛的行駛距離，將曲線距離除以時間差後即可得到速度估計值。本研究曲線距離的計算方式為，取車輛於時間點 t 與前後時間點，共 3 個時間點之車輛軌跡座標點 (x_{t-1}, y_{t-1}) 、 (x_t, y_t) 、 (x_{t+1}, y_{t+1}) ，建立符合此 3 個軌跡座標點的對稱 x 軸或對稱 y 軸的一元二次曲線方程式，如公式(4.3)與(4.8)，建立完軌跡方程式後，對該曲線方程式進行線積分，如公式(4.7)、公式(4.12)，即可得到兩時間點間之曲線距離。

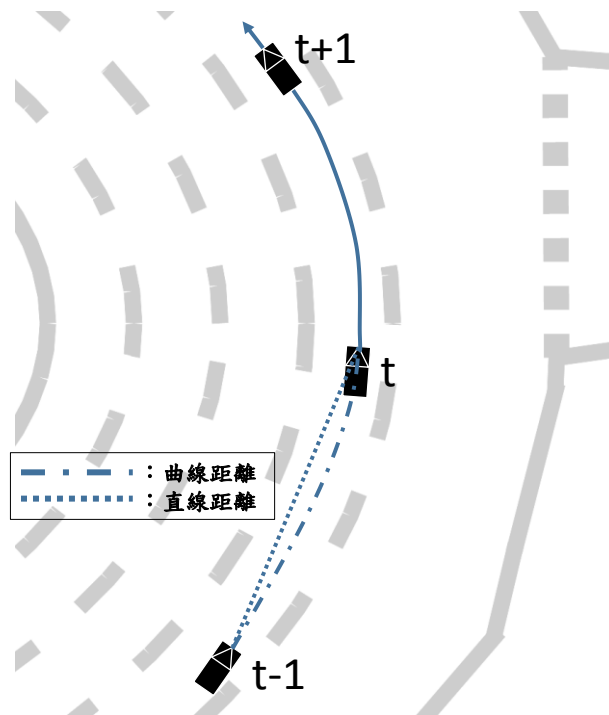


圖 4.4 兩點直線與曲線距離

表 4.1 對稱 x 軸之一元二次方程式

方程式	$x = ay^2 + by + c$	(4.3)
平方項係數 a	$a = \frac{[(x_t - x_{t-1})(y_{t-1} - y_{t+1}) + (x_{t+1} - x_{t-1})(y_t - y_{t-1})]}{[(y_{t-1} - y_{t+1})(y_t^2 - y_{t-1}^2) + (y_{t+1}^2 - y_{t-1}^2)]}$	(4.4)
一次項係數 b	$b = \frac{[(x_t - x_{t-1}) - a(y_t^2 - y_{t-1}^2)]}{(y_t - y_{t-1})}$	(4.5)
常數項 c	$c = x_{t-1} - ay_{t-1}^2 - by_{t-1}$	(4.6)
距離 d	$d = \int_{y_{t-1}}^{y_t} \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} dy$	(4.7)

表 4.2 對稱 y 軸之二元二次方程式

方程式	$y = ax^2 + bx + c$	(4.8)
平方項係數 a	$a = \frac{[(y_t - y_{t-1})(x_{t-1} - x_{t+1}) + (y_{t+1} - y_{t-1})(x_t - x_{t-1})]}{[(x_{t-1} - x_{t+1})(x_t^2 - x_{t-1}^2) + (x_{t+1}^2 - x_{t-1}^2)]}$	(4.9)
一次項係數 b	$b = \frac{[(y_t - y_{t-1}) - a(x_t^2 - x_{t-1}^2)]}{(x_t - x_{t-1})}$	(4.10)
常數項 c	$c = y_{t-1} - ax_{t-1}^2 - bx_{t-1}$	(4.11)
距離 d	$d = \int_{x_{t-1}}^{x_t} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$	(4.12)

4.3 加減速度

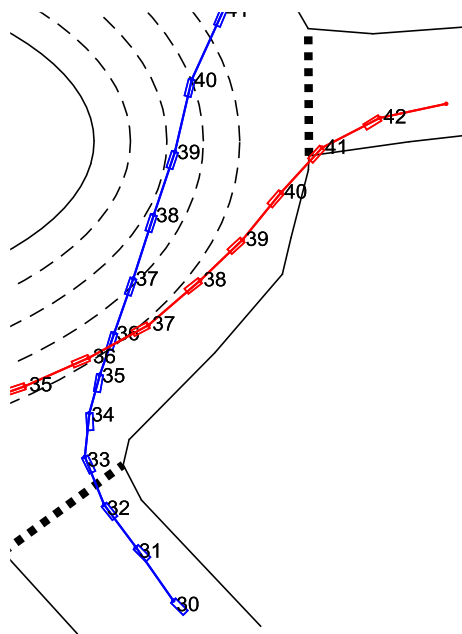
一般計算加減速度的方式為連續兩單位時間之速度差除以時間差，如公式(4.13)，而在蒐集軌跡資料點時，多少會產生些許誤差，為了降低此誤差對加減減速度計算結果的影響，本研究的加減速度計算方式為計算時間點 $t + 0.5$ 與 $t - 0.5$ 的速度差除以時間差，以時間點 t 與 $t + 1$ 之平均速度估算 $v_{t+0.5}$ ，以時間點 t 與 $t - 1$ 之平均速度估算 $v_{t-0.5}$ ，如公式(4.14)，此計算公式中分子有除以二的效果，能將誤差平均掉。

$$a_t = \frac{v_t - v_{t-1}}{t - (t-1)} = \frac{v_t - v_{t-1}}{1(s)} \quad (4.13)$$

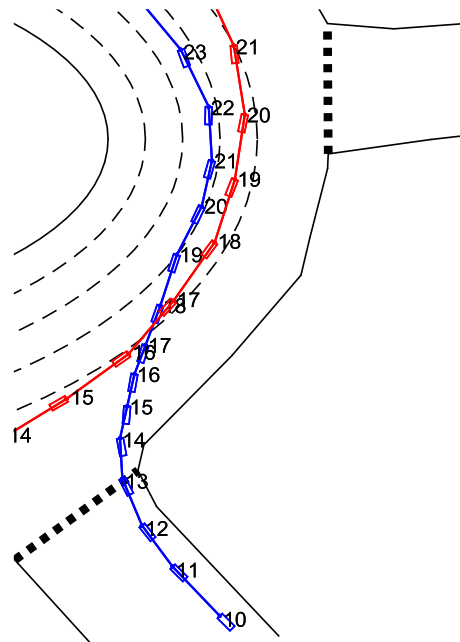
$$a_t = \frac{v_{t+0.5} - v_{t-0.5}}{(t + 0.5) - (t - 0.5)} = \frac{\frac{v_{t+1} + v_t}{2} - \frac{v_t + v_{t-1}}{2}}{1(s)} = \frac{v_{t+1} - v_{t-1}}{2} \quad (4.14)$$

4.4 軌跡重疊判斷

在計算接受餘間距之前必須要判斷準備進入圓環的車輛的衝突車(後續內文將使用”本車”來代表準備進入圓環的車輛)，而本研究判斷衝突車的方式為利用 MATLAB 判斷兩台車的左前、右前、左後、右後之四點座標所圍起來的區塊是否有部分重疊，由於資料點為每一秒一筆，導致有些資料點的軌跡連線有重疊，但兩車四點座標所圍起來的區塊卻無重疊的現象，如圖 4.5，為了解決此一問題，將車輛的安全範圍納入考量，安全範圍為車輛四周各一台車的距離，如圖 4.6，若兩車的安全範圍有部分重疊，則判定兩車有重疊。



(a) 資料點無重疊(接受餘間距)



(b) 資料點有重疊(拒絕餘間距)

圖 4.5 本車與候選衝突車輛軌跡

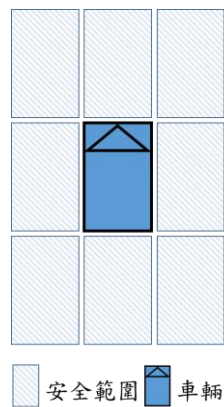


圖 4.6 車輛安全範圍

4.5 臨界間距

臨界間距為評估圓環容量的重要參數之一，臨界間距計算的方式有很多，最早的臨界間距計算方法為 Raff's method，Raff and Hart (1950)將臨界間距定義為「當臨界間距為 L 時，間距小於臨界間距 L 且被接受的數量等於間距大於臨界間距 L 且被拒絕的數量」，Brilon et al. (1999)將此定義轉換成以方程式表達，如以下兩方程式之交點，此方法淺顯易懂，目前仍被廣泛使用，而本研究亦採用此方法計算臨界間距。

$$\begin{cases} 1 - F_r(t) \\ F_a(t) \end{cases} \quad (4.15)$$

$F_r(t)$ ：拒絕間距 t 的累積機率
 $F_a(t)$ ：接受間距 t 的累積機率

4.6 視覺化

由於資料點為每一秒一筆，因此在分析車道使用、速度、加減速度這些特性時，可將每個資料點的特徵值以視覺化方式呈現，並套疊於圓環底圖上，即可瞭解所有資料點的特徵值在圓環上的分布狀況。

本研究是以 MATLAB 繪製圓環底圖以及視覺化各資料點之特徵值，圓環底圖的繪製分三個部分，第一部分為橢圓標線，將橢圓標線之圓心座標設為(0,0)依照各個橢圓標線的大小繪製橢圓形，第二部分為斑馬線，依照各個進出口的斑馬線端點座標連線繪製斑馬線，第三部分為最外圍之邊界線，將邊界線切成數個線段，每個線段有其端點座標，將相鄰線段之端點相連繪製邊界線，把上述三個部分套疊後起即可完成圓環底圖的繪製。

分析車道使用時，可將同一車輛之每一秒座標點相連繪製出軌跡圖；分析速度與加減速度時，可針對車輛每一秒資料點的特徵值以散布圖呈現，每個資料點特徵值的大小可透過顏色深淺加以區分；而在分析速度時，亦可將同一車輛之每一秒資料點相連繪製出軌跡圖，每條軌跡線段的速度大小透過顏色深淺表示，並將上述繪製好的散布圖或軌跡圖套疊於圓環底圖上，即可以視覺化的方式觀察各個特徵的分布或變化情形。

第五章 圓環車流特性與行為分析

本章節利用微觀車流軌跡資料分析車輛於圓環路段上的特性，包含車道使用、速度、加減速度、橫向位置、變換車道次數，另外也多加分析了車輛在圓環路口，準備進入圓環時的接受餘間距，這些分析結果可應用在建構混合車流於圓環上的模式，以及更進一步套用在模擬軟體的參數校估、評估圓環績效。

5.1 車輛於圓環路段上的特性與行為

本研究與車輛於圓環路段上相關的特性與行為包括車道使用、速度、加減速度、橫向位置與變換車道次數，以下將描述此五項的分析目的、分析方法，以及分析結果。

5.1.1 車道使用

為了瞭解車輛從進入圓環到離開圓環的車道使用狀況，本研究將汽車與機車之車輛軌跡分別描繪出來，取進入流量最大之 7 號進出口為例，繪製由 7 號進出口進入圓環之車輛軌跡，並區分訖點出口，如下圖 5.1 與圖 5.2，由此兩張圖所觀察到的特性如下：

1. 不論汽車或機車，當車輛行駛距離越遠時，越會選擇使用內側車道。

推測其目的是為了縮短旅行距離。同時是否也是為了希望能提高行駛速度而選擇行駛於內側車道，而有關於速度的分析將於下一小節做詳細的介紹。

2. 雖然內側三車道為禁行機車道，但仍有機車違規行駛。

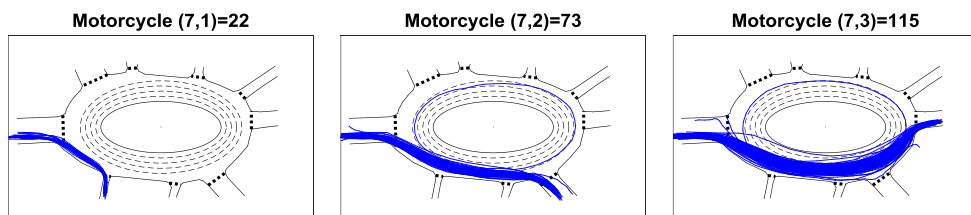


圖 5.1 機車由 7 號進出口進入圓環之軌跡

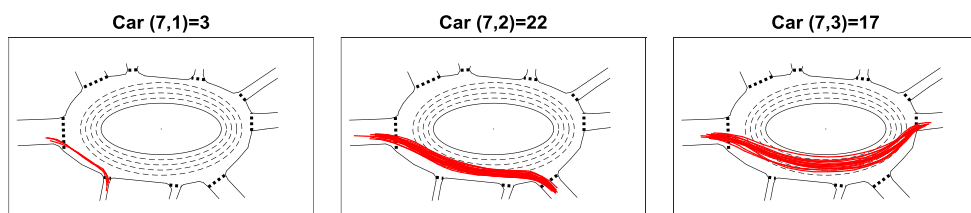


圖 5.2 汽車由 7 號進出口進入圓環之軌跡

另由實際資料分別計算車輛由 7 號入口進入，並從 1、2、3 號出口離開圓環的車輛，曾行駛至內側三個車道的比例，如下表，用以證實上述由軌跡圖所發現的特性，數據結果顯示車輛行駛距離越遠時，使用內側車道的比例越高，且汽車使用內側車道的比例大於機車。

由觀察到的結果提出以下論述，當車輛行駛的距離越遠時，為了加快速度以減少旅行時間，越會想要切入內側車道，又內側三個車道為禁行機車道，因此機車切入內側車道的可能性會比汽車還要低。

表 5.1 汽機車行駛於內側車道的比例

起訖對 車種	(7,1)	(7,2)	(7,3)
機車	0.0%	4.1%	33.9%
汽車	0.0%	40.9%	88.2%

5.1.2 速度

由於圓環的路型是曲線並非直線，當駕駛行駛在彎曲的道路時，速度自然而然會放慢以提升安全，而新竹東門圓環的路型為橢圓形，車輛轉彎的曲度會隨著在圓環不同位置而有所差異，曲度的不同有可能會影響駕駛行車速度，又臺灣無號誌之圓環路口之相關法律條文包含：

1. 道路交通安全規則第一〇二條第一項第八款規定「直線道路車輛進入圓環車道，必須遵行環內車道之調節功能，因此行駛於圓環內之車輛具有優先通行權」
2. 道路交通安全規則，第一〇二條第一項第九款規定「在同一個圓環內繞行，行駛內側車輛具有優先通行權，否則內環車輛可能圓環內一直繞，無法發揮疏解調節作用，造成交通不便」

上述條款也可能是影響駕駛行車速度的原因之一。

為了瞭解車輛在圓環上的速度分布，本研究將機車與汽車每個軌跡點的速度依照顏色區分，並分別套繪於圓環底圖上，如圖 5.3，觀察兩散布圖後，發現以下特性：

1. 車輛行駛於曲度小(上下)區塊的速度大於行駛於曲度大(左右)區塊的速度

因駕駛行駛在彎曲道路時，通常會將速度放慢以降低事故發生，而曲度越大的地方越是需要放慢速度。

2. 車輛行駛於內側車道的速度大於行駛於外側車道速度

推斷其原因除了內側車道屬於快車道所導致外，也有可能是內側車輛擁有通行優先權，因此行駛於外側之車輛必須放慢速度禮讓而產生的現象。

3. 機車速度大於汽車速度

機車機動性較高，能穿梭在車陣當中，因此速度相對的會比汽車還要高。

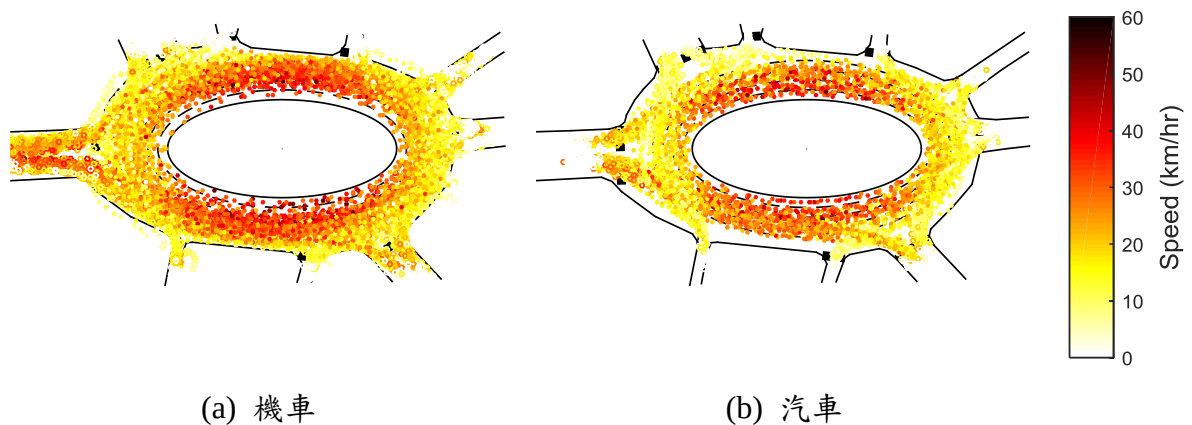


圖 5.3 機車/汽車速度散布圖

為了證實上述由散布圖所發現到的特性，另外計算了兩區塊(曲度小與曲度大)中各車道汽機車之平均速度，如下表 5.2、表 5.3，結果顯示大至與上述相符，除了車輛行駛於第 5 車道時，行駛於曲度小的區塊速度比曲度大區塊還要慢，但差異並不大。另外發現兩區塊之速度差異隨著車道越外側越小，可能原因為越外側橢圓曲度差異越小所導致的。

表 5.2 車輛於曲度小(上下)區塊之平均速度與標準差

車道 車種	1	2	3	4	5
機車	35.8 (7.4)	32.5 (7.0)	31.1 (7.1)	26.5 (6.7)	17.2 (8.4)
汽車	31.1 (6.5)	28.5 (7.0)	25.7 (7.3)	20.7 (7.3)	12.4 (6.4)

單位：km/hr

表 5.3 車輛於曲度大(左右)區塊之平均速度與標準差

車道 車種	1	2	3	4	5
機車	24.9 (5.4)	22.7 (4.8)	21.3 (5.4)	19.2 (5.8)	18.0 (6.7)
汽車	21.4 (4.8)	19.7 (4.1)	18.4 (5.6)	16.4 (5.6)	14.8 (6.5)
單位：km/hr					

除了瞭解車輛在圓環上不同區塊以及不同車道之速度外，車輛從準備進入圓環、圓環內、準備出圓環這三個過程的速度變化也值得探討，因車輛準備駛進或駛出圓環時會經過交織段，行駛速度可能受其影響，圖 5.4(a)、(b)分別描繪機、汽車由 7 號進出口進入圓環之車輛軌跡圖，顏色的變化帶表速度的變化，從圖中可以觀察到車輛準備進入圓環、圓環內、準備出圓環這三個過程的速度變化為慢至快至更慢。

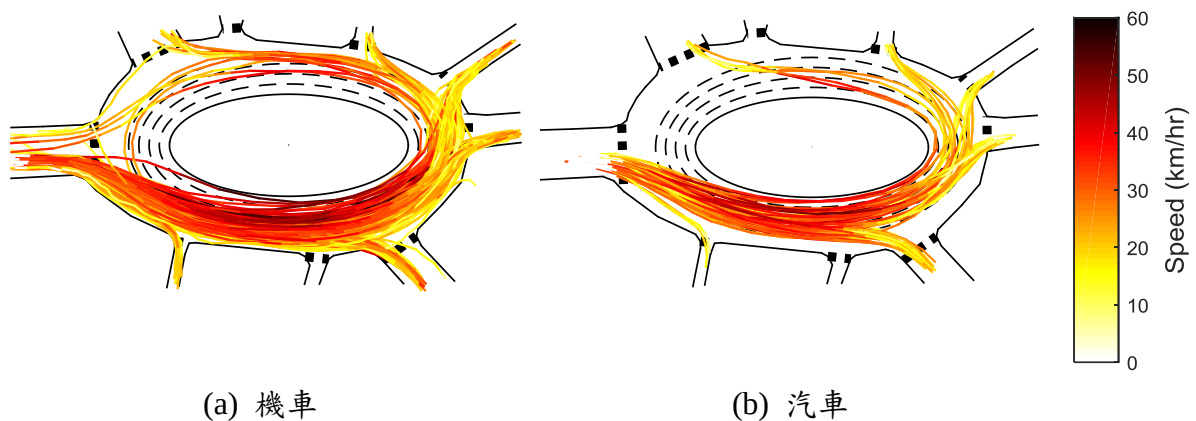


圖 5.4 機車/汽車速度軌跡圖

由觀察到的結果提出以下論述，當行駛的道路曲度越大時，駕駛會將速度放慢，以降低行駛的危險性；圓環的內側車輛擁有通行優先權，且內側車道屬於快車道，因此行駛於外側之車輛必須放慢速度禮讓，導致內側車道的平均速度大於外側車道；另外，機車的機動性來得比汽車高，以致於機車的平均速度會比汽車還要高。

5.1.3 加減速度

機車與汽車的速度變化幅度大小可能因車種的車重、馬力、輪胎與地面的摩擦力等而有所差異，又當車輛速度變化的幅度越大時，危險程度越高，駕駛或乘客也會感到不適，本小節欲探討汽機車加減速度大小的差異，以及探討車輛加、減速發生時，大部分位於哪些區塊，並在後續研究中進一步探討汽機會有加減速行為的車輛主要來自於哪裡。

為了觀察汽機車的加減速度大小分布，分別繪製了機車與汽車的加減速度直方圖如圖 5.5、圖 5.6，並觀察最大加減速度變化量以及標準差，有以下發現：

1. 機車與汽車的加減速度直方圖分布相似
2. 機車的最大加速幅度較汽車大($2.9 \text{ m/s}^2 > 2.5 \text{ m/s}^2$)
3. 機車的最大減速幅度較汽車大($|-4.0| \text{ m/s}^2 > |-2.5| \text{ m/s}^2$)

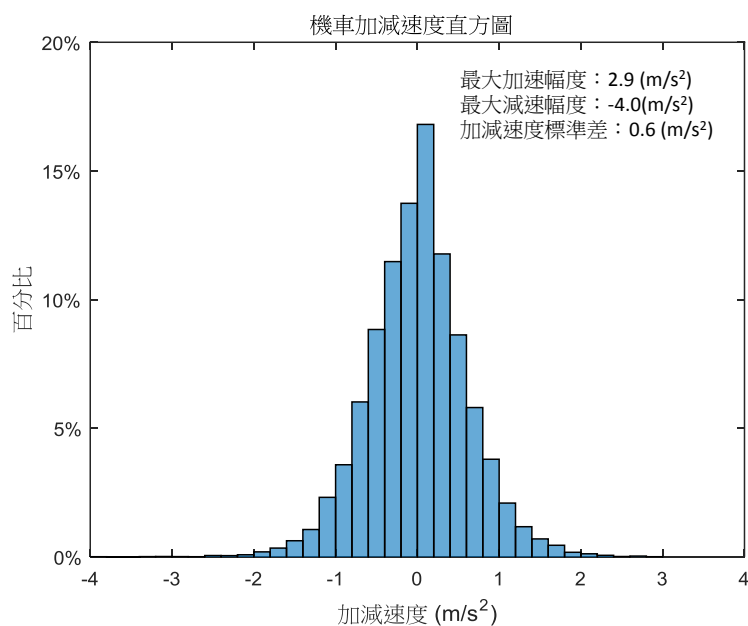


圖 5.5 機車加減速度直方圖

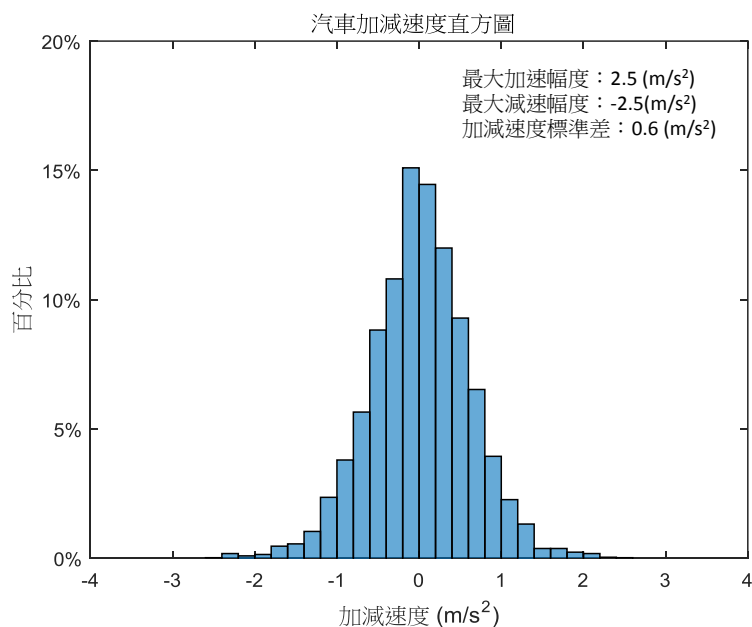


圖 5.6 汽車加減速度直方圖

為了瞭解車輛在圓環上的加、減速度分布，本研究將機車與汽車每個軌跡點的加、減速度依照顏色區分，並分別套繪於圓環底圖上，如圖 5.7 (a)至圖 5.7 (d)，觀察四張散布圖後，發現以下特性：

1. 加速幅度較大的區塊位於圓環的右上與左下區域
2. 減速幅度較大的區塊位於圓環的左上與右下區域

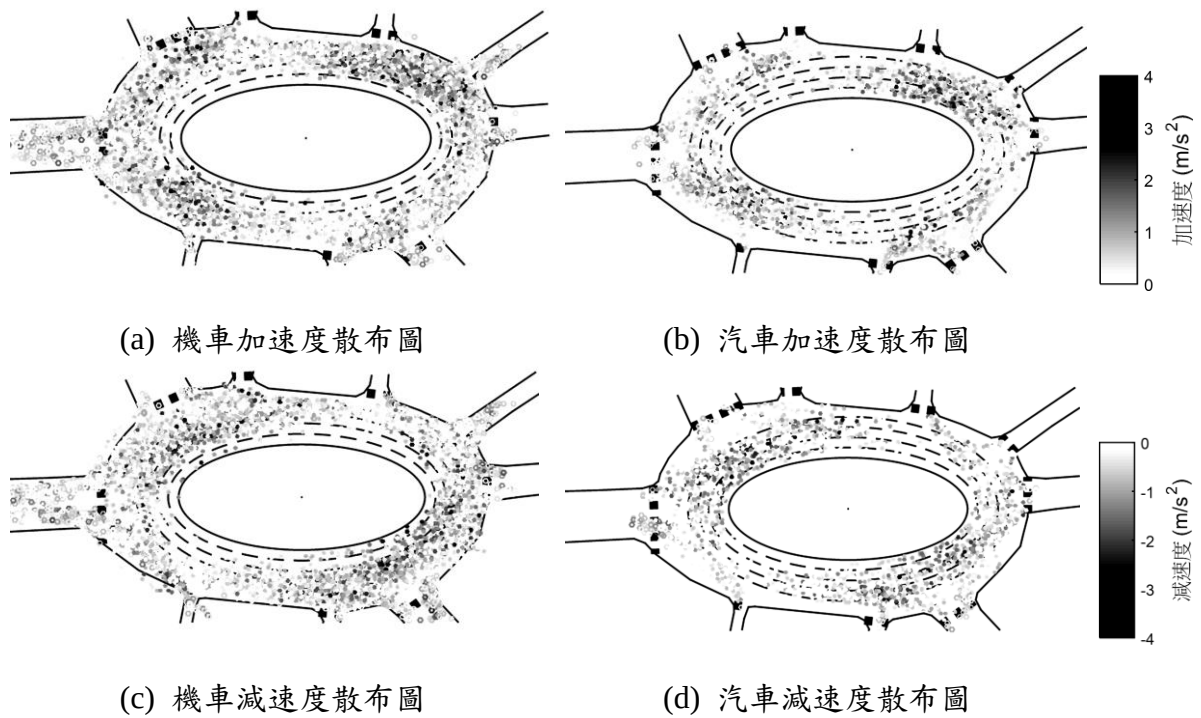


圖 5.7 機車/汽車加/減速度散布圖

Fouladvand et al. (2004) 假設使駕駛或乘客感到舒適的情境為每兩秒速度增加或減少的幅度小於 10km/hr，等同於加/減速度 1.4m/s^2 ，本研究引用該假設，認為行駛在圓環上若加減速度幅度大於 1.4m/s^2 ，會使得駕駛或乘客感到不適。藉由實際資料計算汽機車行經加減速區的車輛中，汽機車加減速幅度大於 1.4m/s^2 的比例，如下表，加速幅度較大的區塊中，除了行經左下區塊的汽車外，其餘加速度大於 1.4m/s^2 的比例介於 10% 至 16% 之間；而減速幅度較大的區塊中，減速度大於 1.4m/s^2 的比例介於 10% 至 14% 之間。

表 5.4 汽機車行經各區塊加減速幅度大於 1.4m/s^2 的比例

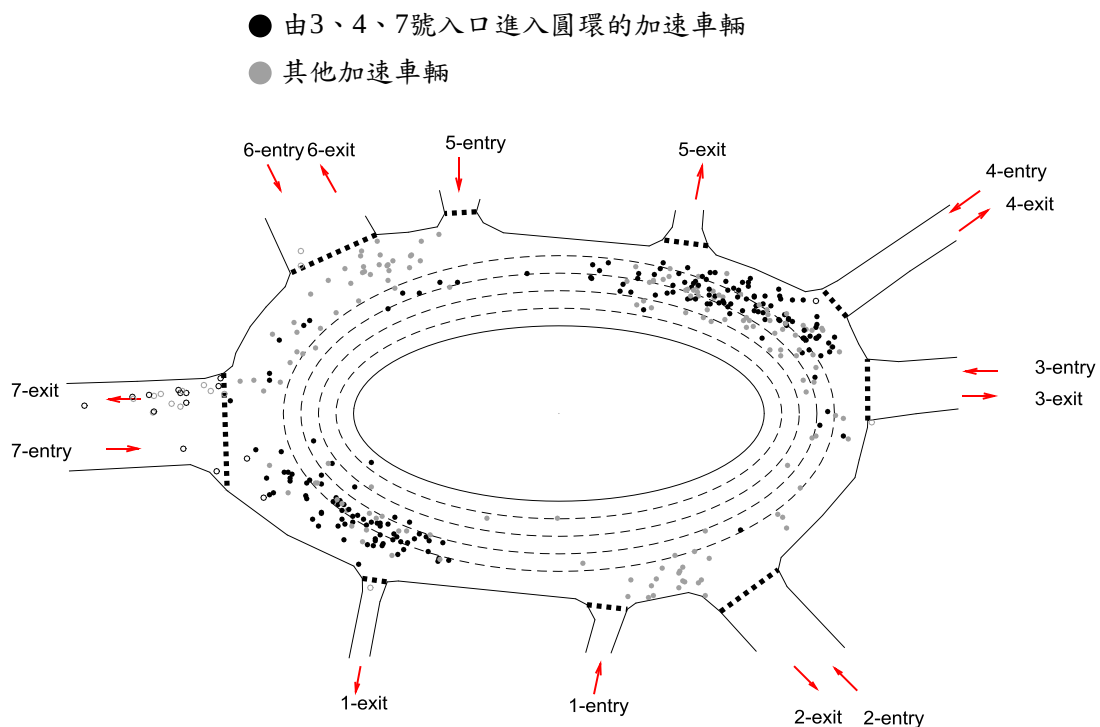
車種	加/減速區塊		加/減速度大於 1.4m/s ² 的比例
機車	加速區	右上	15.4%
		左下	10.6%
	減速區	右下	11.3%
		左上	10.1%
汽車	加速區	右上	14.8%
		左下	5.1%
	減速區	右下	12.8%
		左上	13.9%

欲瞭解這些在加、減速幅度較大的區塊之車輛為何會有較大的速度變化讓駕駛或乘客感到不適，是否受圓環曲度變化影響，或者是否因這些車輛欲由加速區塊上游之入口進入圓環而有加速行為，又或者是否因這些車輛欲由減速區塊下游之出口離開圓環而有減速行為。

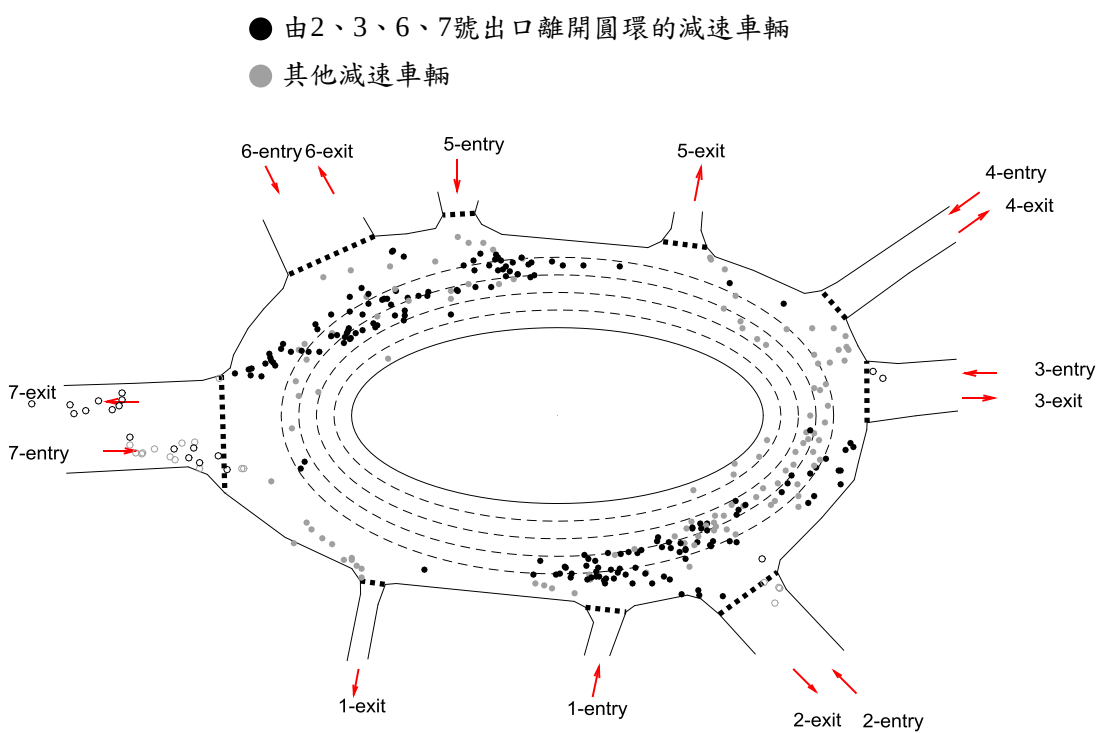
本研究將加、減速度區隔開來做討論，又汽車樣本數過少，因此不列入討論。首先，圖 5.8(a)為機車加速度的散布圖，結果顯示加速度較大的區塊中，加速幅度大於 1.4m/s^2 的機車大部分來自於由加速區塊上游入口 3、4、7 進入圓環的機車，而來自圓環上其他地方的比例較低。而圖 5.8(b)為機車減速度的散布圖，結果顯示減速度較大的區塊中，減速幅度大於 1.4m/s^2 的機車大部分來自於準備由下游出口 2、3、6、7 離開圓環的機車。

由這兩張散布圖歸納以下特性：

1. 加速度較大的區塊中，加速機車大部分來自於由加速區塊上游入口進入圓環的機車
2. 減速度較大的區塊中，減速機車大部分來自於準備由減速區塊下游出口離開圓環的機車



(a) 機車加速度散布圖



(b) 機車減速度散布圖

圖 5.8 機車加/減速度散布圖(車輛以入口/出口區分)

由觀察到的結果提出以下論述，加、減速幅度越大會使駕駛或乘客感到不適，而有較高比例加速或減速大於門檻值的區域稱之為加速熱區或減速熱區，行經加速熱區的加速車輛大部分都是由熱區上游入口進入圓環的車輛，行經減速熱區的減速車輛大部分是準備由熱區下游離開圓環的車輛。

5.1.4 橫向位置

橫向位置的分析是想要了解車輛行駛於圓環上的車道分布以及是否行駛於車道中央。根據過去研究指出，當汽車進入一般直線路段時，基本上都會行駛於車道兩側車道線的中央，符合車道規範 (lane-based traffic)，而臺灣法律條文中，與車道規範相關之法律條文如下：

1. 道路交通安全規則第九十八條規定「汽車在同向二車道以上之道路，除準備停車或臨時停車外，不得駛出路面邊線或跨越兩條車道行駛」。
2. 道路交通安全規則第九十九條規定「機器腳踏車行駛之車道，應依標誌或標線之規定行駛；無標誌或標線者，除起駛、準備停車或臨時停車外，不得駛出路面邊線」。

從上述規定中發現汽、機車的車道規範差異在於汽車不得跨越兩條車道行駛，但機車並無此規定，僅規定機車不得駛出路面邊線，也就是機車不受車道規範限制 (non-lane-based traffic)。

本小節所討論的橫向位置，指的是車輛行經圓環上某特定橫切面時，車頭中點之橫向位置分布，橫切面選定的標準為各相鄰出入口之中間點與橢圓圓心之連線，因準備進圓環或出圓環之車輛一定會行經圓環最外側車道，而中間點的位置較不易受由鄰近出入口進出圓環之車輛影響，本研究之橫切面示意圖如圖 5.9。

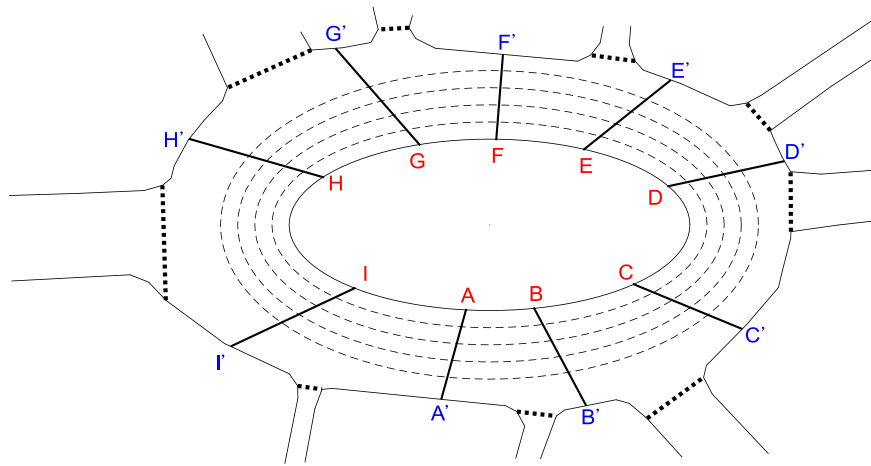


圖 5.9 橫切面示意圖

由於汽、機車之車道規範標準不同，因此分別呈現了機、汽車之橫向位置分布圖，如圖 5.10 與圖 5.11，發現幾項特性：

1. 機車與汽車之車頭橫向位置大部分分布於外側車道
2. 機車於 AA'與 FF'橫切面的橫向位置分布大部分分布於外側第四與第五車道，而其餘橫切面的橫向位置分布大部分分布於外側第五車道

推測機車於 AA'與 FF'橫切面的橫向位置分布有別於其他橫切面的原因，是因為 AA'與 FF'橫切面第五車道的車道寬較其他橫切面窄，礙於空間的關係，欲行駛在外側車道的機車行經此兩橫切面時，會分散在第四與第五車道，而行經其他第五車道較寬的橫切面時，則多半會分布在第五車道。

3. 汽車於 AA'與 FF'橫切面的橫向位置分布大部分分布於外側第三與第四車道以及第二至第四車道，而其餘橫切面的橫向位置分布大部分分布於外側第五車道

推測汽車於 AA'與 FF'橫切面的橫向位置分布有別於其他橫切面的原因，是因為 AA'與 FF'橫切面第五車道的車道寬較其他橫切面窄，礙於空間以及汽車車寬較機車大的關係，欲行駛在外側車道的汽車行經此兩橫切面時，會分散在更內側的第二至第四車道，而行經其他第五車道較寬的橫切面時，則多半會分布在第五車道。

4. 機車之車頭橫向分布無明顯分布在車道中央

由於機車不必遵守車道規範，能夠穿梭在車陣當中，因此車頭分布並無集中於車道中央。

5. 汽車之車頭橫向分布無明顯分布在車道中央

表示汽車在圓環上並無遵守車道規範，由原始影片畫面中也看出汽車並無明顯行駛在車道中央，初步探討其原因，可能是因為車輛行駛於圓環上時會經過數次變換車道的行為，變換車道的過程中會不斷的改變車輛的橫向位置，而導致汽車之橫向位置不集中於車道中央。

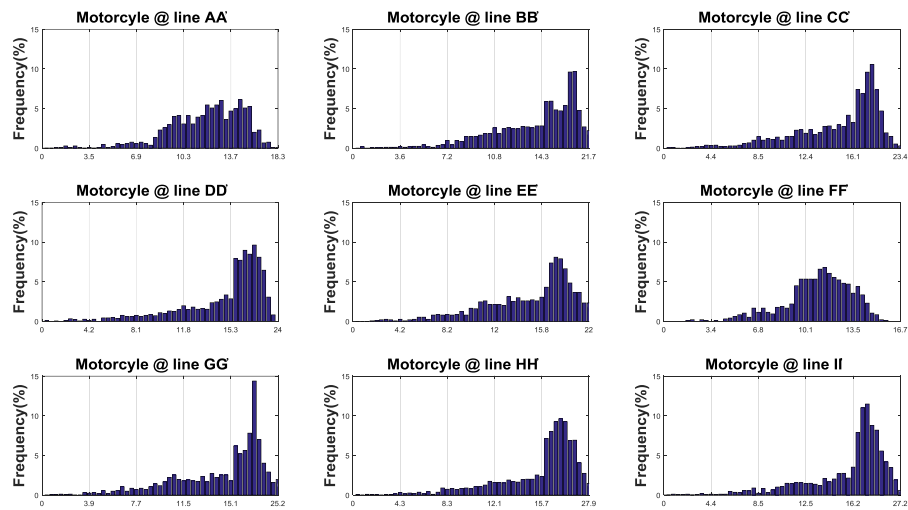


圖 5.10 機車橫向位置分布

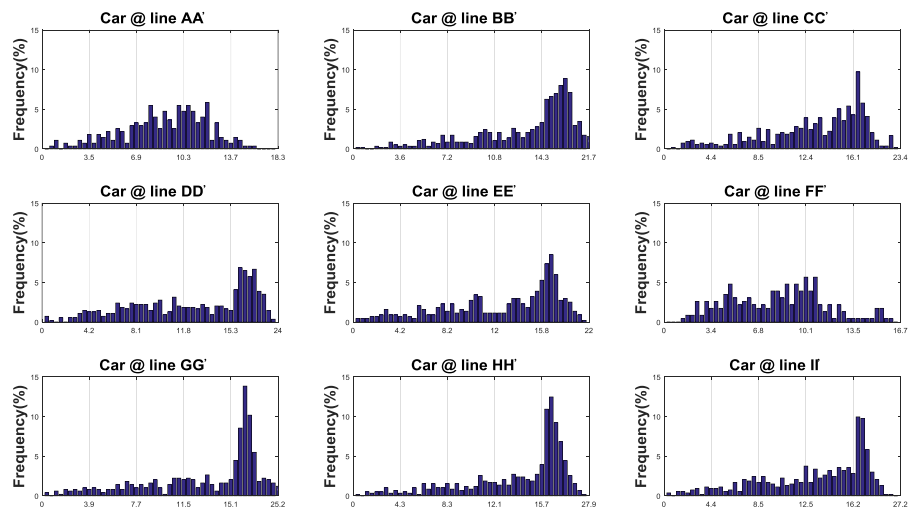


圖 5.11 汽車橫向位置分布

為了證實上述由橫向位置分布圖所發現到的特性，藉由實際資料計算所有行經各橫切面各車道的車輛中，有行駛於車道中央的車輛比例，將每個車道寬分成 10 等分，行駛為位置介於中央兩等分之間的及判定為有行駛在車道中央，結果如下表，每個數值代

表的是該車種行駛於相對應的車道上有行駛在車道中央的比例，結果顯示汽機車行駛於車道中央的比例介於 17.2%至 25.8%之間。

表 5.5 汽機車行駛於車道中央的比例

車道 車種	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 5
機車	21.6%	17.2%	18.6%	20.1%	25.8%
汽車	20.7%	20.3%	18.5%	18.9%	18.6%

由觀察到的結果提出以下論述，機車行駛在圓環上時，大部分會行駛於外側車道，若最外側車道寬較窄，礙於空間的關係，欲行駛在外側車道的車輛會佔用到次外側車道，汽車行駛在圓環上時大部分也是行駛於外側車道，若最外側車道寬較窄，礙於空間以及車身寬較機車寬的關係，汽車就會占用到第二至第四車道；另外，機車行駛於圓環上時無明顯行駛於車道中央，與機車行駛於一般直線道路的結果一致，而汽車行駛於圓環上亦無明顯行駛於車道中央，此結果有別於汽車行駛於一般直線道路上會遵守車道規範的特性，原因可能為車輛行駛圓環上時，會經過數次變換車道的行為，變換車道的過程中會不斷的改變車輛的橫向位置，導致車輛之橫向位置不集中於車道中央。

5.1.5 變換車道次數

由橫向位置的分布結果發現汽、機車之橫向位置並無明顯分布於車道中央，推測其原因為車輛行駛於圓環上較常變換車道，若車輛曾駛入內側車道，其出圓環前必定會再由內側往外側移動，變換車道的過程中車輛之橫向位置會不斷改變，導致汽車之橫向位置分布並無明顯分布在車道中央。

為了驗證上述推論，進一步計算車輛變換車道次數，有完整由進至出圓環軌跡的車輛才納入分析，將結果區分起訖點，每組起訖點皆有相對應之繞行圓環的角度以及行經多少個進出口，如表 5.6 以及表 5.7 (每組起訖點第二列表格中的數字代表角度以及行經的路口數)，有以下發現：

1. 車輛繞行圓環角度越大(越遠)，車道變換次數越多
2. 汽車變換次數較機車多
3. 車輛進入圓環後，若馬上由最近的出口離開圓環，則大多行駛於最外側車道，也就是幾乎不會變換車道
4. 兩表格中有一些結果不符合上述三點，檢查結果發現資料中存在離群值或者是資料不足所導致的

明顯發現車輛變換次數相當頻繁，特別是當車輛繞行圓環的角度越大時，例如：表 5.6 起訖對(1,7)以及(2,1)的平均變換車道次數高達 5.0 次。

表 5.6 機車平均變換車道次數

D \ O	1	2	3	4	5	6	7
1	-	0.2	0.4	2.0	2.8	4.0	5.0
	305.3° (7)	32.5° (0)	78.9° (1)	101.7° (2)	131.8° (3)	223.1° (5)	261.2° (6)
2	5.0	-	0.4	1.4	2.8	3.2	4.7
	272.8° (6)	360° (8)	46.4° (0)	69.1° (1)	99.2° (2)	190.5° (4)	228.7° (5)
3	4.5	4.0	-	0.0	0.0	1.7	3.1
	226.4° (5)	313.6° (7)	360° (8)	22.7° (0)	52.8° (1)	144.1° (3)	182.3° (4)
4	3.0	4.2	2.0	8	0.0	1.6	2.6
	203.6° (4)	290.9° (6)	337.3° (7)	360° (8)	30.1° (0)	121.4° (2)	159.6° (3)
5	0.0	2.0	4.0	-	-	0.0	0.0
	109.9(2)	197.1° (4)	243.5° (5)	266.2° (6)	296.3° (7)	27.6° (0)	65.8° (1)
6	0.7	2.0	3.5	4.0	4.7	-	0.0
	82.2° (1)	169.5° (3)	215.9° (4)	238.6° (5)	268.7° (6)	360° (8)	38.2° (0)
7	0.0	1.1	2.6	3.7	3.4	4.4	3.5
	44.1° (0)	131.3° (2)	177.7° (3)	200.4° (4)	230.5° (5)	321.8° (7)	360° (8)

表 5.7 汽車平均變換車道次數

D O	1	2	3	4	5	6	7
1	-	0.0	-	2.7	4.8	5.0	6.0
	305.3° (7)	32.5° (0)	78.9° (1)	101.7° (2)	131.8° (3)	223.1° (5)	261.2° (6)
2	-	8.0	4.0	2.6	3.6	5.1	6.2
	272.8° (6)	360° (8)	46.4° (0)	69.1° (1)	99.2° (2)	190.5° (4)	228.7° (5)
3	6.3	8.0	-	-	-	4.0	4.9
	226.4° (5)	313.6° (7)	360° (8)	22.7° (0)	52.8° (1)	144.1° (3)	182.3° (4)
4	6.0	6.0	-	8.0	-	2.0	3.0
	203.6° (4)	290.9° (6)	337.3° (7)	360° (8)	30.1° (0)	121.4° (2)	159.6° (3)
5	-	2.0	-	-	-	-	-
	109.9(2)	197.1° (4)	243.5° (5)	266.2° (6)	296.3° (7)	27.6° (0)	65.8° (1)
6	1.5	4.9	5.3	2.0	5.0	-	0.0
	82.2° (1)	169.5° (3)	215.9° (4)	238.6° (5)	268.7° (6)	360° (8)	38.2° (0)
7	0.0	2.7	4.9	4.5	4.9	7.0	-
	44.1° (0)	131.3° (2)	177.7° (3)	200.4° (4)	230.5° (5)	321.8° (7)	360° (8)

由觀察到的結果提出以下論述，車輛繞行圓環的距離越長時，變換車道的次數越會頻繁，其中，因為內側三個車道為禁行機車道，機車能變換車道的範圍有限，使得機車變換車道沒有比汽車來得頻繁。另外，車輛行駛的距離越短，也就是車輛進入圓環後，直接由下游第一個出口離開圓環時，則大多會行駛於最外側車道。

5.2 車輛於圓環路口上的特性與行為

5.2.1 接受餘間距

除了車輛於圓環路段上的特性外，本研究也多加分析了車輛在圓環路口，準備進入圓環時的接受餘間距。

間距的定義為連續兩台車，前車的後保險桿與後車的前保險桿通過某基準點的時間間距，而接受間距的定義為支道車輛欲駛入或穿越主幹道時，車輛可接受的間距。接受間距除了是駕駛準備進圓環時重要的事故指標外，也是評估圓環容量時所需的重要參數之一。一般在計算間距時，是計算連續兩輛位在圓環同一車道上的汽車的車間時距，也就是「衝突車」與「衝突車前車」之間的時間間距，然而，新竹東門圓環的混合車流中，汽機車皆沒有行駛在車道中央，當兩車非行駛在車道中央時，前後兩車所形成的間距則

非本車推斷是否進入圓環的依據，本研究認為混合車流中的車輛是否駛入圓環，是由圓環上的衝突車至衝突點的距離以及衝突車當下的速度而定，將上述概念結合就是所謂的餘間距(Lag)，本研究即是以餘間距取代間距當作車輛是否進入圓環的依據。

後續小節將探討如何判定準備進入圓環的車輛的衝突車輛(後續內文將使用”本車”來代表準備進入圓環的車輛)，接著再計算接受/拒絕餘間距大小，而接受餘間距大小可能會隨著車種而有所不同，因此本研究將汽車與機車之接受餘間距計算結果分開來討論，最後再利用所蒐集到的接受/拒絕餘間距計算臨界餘間距。

5.2.1.1 判斷衝突車

本車準備進入圓環時，會經過一決策過程：

Step 1. 判定圓環上哪輛車為其衝突車

Step 2. 判斷是否接受餘間距，若不接受則回到 Step 1，若接受則駛入圓環

為了判定 Step 1 所述之衝突車輛，本研究預先找出本車可能的衝突車輛，圓環上的車流對本車而言屬於衝突車流，而衝突大致可分為三種，併入、穿越、交織，由下圖 5.12 可以看出衝突路段大部分發生於入口下游與出口上游，因此針對入口下游衝突路段的車流進行判斷，本車可能的衝突車輛判斷條件如下：

1. 本車與哪些車輛的軌跡有重疊
2. 重疊的位置必須位於本車入口之下游衝突路段
3. 本車與可能的衝突車行駛在圓環上的時間段必須部分重疊

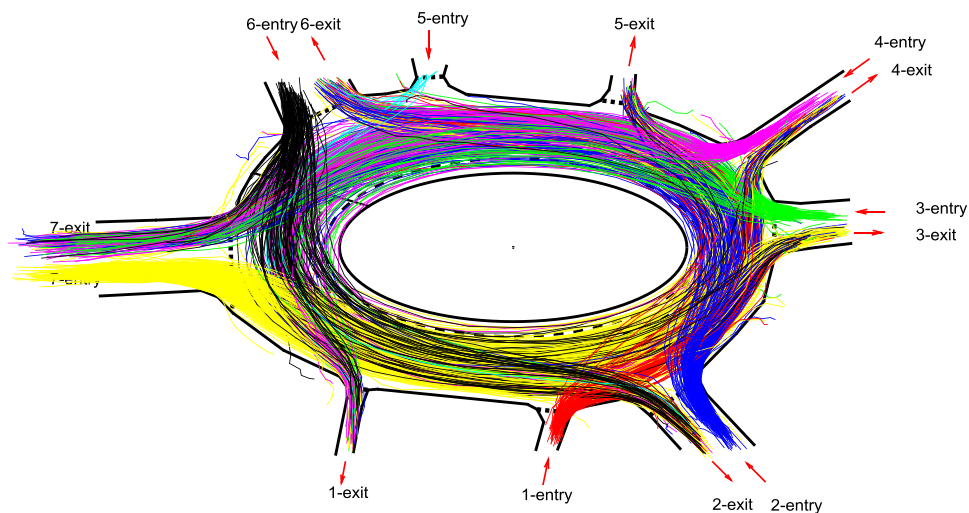


圖 5.12 各出入口之車輛軌跡圖

本車之後選衝突車紀錄表如下：

表 5.8 車輛軌跡重疊紀錄表

本車 編號	候選衝突車 編號	本車到達衝突點 的時間點 $t_a(s)$	衝突車到達衝突 點的時間點 $t_b(s)$
70	10	20	16
70	54	20	21
70	55	20	18
70	65	20	31
70	77	20	35
70	84	20	51
⋮	⋮	⋮	⋮

本車之候選衝突車判斷完畢後，即可從中判斷何者為本車的衝突車輛，判斷條件如下：

1. 決策時間範圍：本車跨越入口斑馬線至離開該入口下游衝突路段為止
2. 空間範圍：於決策時間點時，衝突車必須位於本車上游
3. 由候選衝突車中挑選出決策時間點下，距離本車最近的車輛

紀錄表如下，NaN 代表本車在該時間點下並非位於衝突路段，-999 代表無衝突車，其餘數字代表衝突車輛之編號。

表 5.9 本車於各決策時間點下之衝突車編號

決策時點(s) 本車編號	...	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	...
70	...	55	55	54	54	54	54	1086	-999	NaN	NaN	NaN	...
71	...	NaN	48	48	50	50	50	52	1086	1086	-999	NaN	...
72	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	...
73	...	NaN	NaN	NaN	51	50	52	-999	-999	-999	-999	NaN	...
74	...	NaN	NaN	NaN	NaN	50	50	50	50	52	1086	-999	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

5.2.1.2 計算餘間距值

本車之衝突車判定完畢後，即可計算餘間距值，因本研究所分析的圓環車流為混合

車流，在汽機車皆無行駛在車道中央的情況下，當衝突車的前車非行駛在車道中央時，兩車所形成的間距可能不是本車推斷是否進入圓環的依據，且本車準備進入圓環時，在每個決策時間點下感受到的威脅程度，與衝突車當下的速度、距離有關，為了符合上述情境，本研究將餘間距的計算方式調整為衝突車由本車的決策時間點到衝突車到達衝突點這段時間所經過的距離加上衝突車之車身長，再除以衝突車在本車決策時間點時的速度，計算公式如(5.1)。

$$Lap = \frac{d_{t \sim tb} + vehl_{\text{衝}}}{v_t} \quad (5.1)$$

$d_{t \sim tb}$: 衝突車由時間點 t 至 t_b 距離

t : 本車決策時間點

t_b : 衝突車到達衝突點的時間點

$v_{\text{衝},t}$: 衝突車在時間點 t 時的速度

$vehl_{\text{衝}}$: 衝突車車身長

紀錄表如下，NaN 代表本車在該時間點下並非位於衝突路段，-999 代表無衝突車，其餘數字代表餘間距大小。

表 5.10 本車於各決策時間點下之餘間距大小

決策時點(s) 本車編號	...	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	...
70	...	3.14	2.25	2.21	1.26	1.19	2.83	5.31	-999	NaN	NaN	NaN	...
71	...	NaN	2.93	2.54	5.49	4.48	4.95	4.15	4.81	4.42	-999	NaN	...
72	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	...
73	...	NaN	NaN	NaN	2.53	4.48	4.45	-999	-999	-999	-999	NaN	...
74	...	NaN	NaN	NaN	NaN	5.29	4.95	3.12	3.19	3.86	4.09	-999	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

5.2.1.3 判斷是否接受餘間距

表 5.8 與表 5.9，可知本車在各個決策時間點是否接受餘間距，判斷條件如(5.2)，舉例：70 號本車在時間點第 14 秒時，其衝突車輛編號為 55 號，對照表 5.8 可知 70 號本車與 50 號衝突車兩車到達衝突點的時間，分別為第 20 秒與第 18 秒，若本車到達衝突點的時間點晚於衝突車，代表不接受該餘間距，反之則接受，由此判斷規則可知 70 號本車在時間點第 14 秒時拒絕該餘間距；圖 4.5 (a)、(b)分別為拒絕與接受餘間距之範例。

相關紀錄表如下，NaN 代表本車在該時間點下並非位於衝突路段，-999 代表無衝突車，1 代表接受餘間距，0 代表拒絕餘間距。

$$\text{if } \begin{cases} t_a > t_b, \text{reject the gap} \\ t_a < t_b, \text{accept the gap} \end{cases} \quad (5.2)$$

t_a : 本車到達衝突點的時間點
 t_b : 衝突車到達衝突點的時間點

表 5.11 本車於各決策時間點下之餘間距接受與否

決策時點(s) 本車編號	...	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	...
70	...	0	0	1	1	1	1	1	-999	NaN	NaN	NaN	...
71	...	NaN	0	0	1	1	1	1	1	1	-999	NaN	...
72	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	...
73	...	NaN	NaN	NaN	0	1	1	-999	-999	-999	-999	NaN	...
74	...	NaN	NaN	NaN	NaN	1	1	1	1	1	1	-999	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

各車種的衝突組合樣本資料整理如表 5.12，各車種的衝突組合以機車本—機車衝占多數，應注意本表之統計結果之數據只記錄到車輛第一次接受餘間距或第一次無衝突車輛為止，也就是記錄到車輛成功進入圓環為止，例如：表 5.11 中的 70 號本車，只考慮第 14 秒至第 16 秒的衝突組合，74 號本車只考慮第 18 秒的衝突組合。

表 5.12 各車種衝突組合資料數量與比例

本車 \ 衝突車	無衝突車	機車	汽車	總計
機車	358 (29.5%)	343 (35.8%)	152 (12.5%)	994 (77.9%)
汽車	81 (6.7%)	141 (11.6%)	46 (3.8%)	268 (22.1%)
總計	439 (36.2%)	575 (47.4%)	198 (16.3%)	1212 (100%)

5.2.1.4 臨界餘間距

判斷完接受餘間距與拒絕餘間距後，即可計算臨界餘間距值，臨界餘間距指的是最小可接受的餘間距。

計算臨界餘間距的方式有很多種，本研究採取 Raff's method，Raff's method 將臨界

餘間距 t_c 定義為 $1-F_r(t)$ 與 $F_a(t)$ 的交點，其中 $F_r(t)$ 為拒絕餘間距的累積機率， $F_a(t)$ 為接受餘間距的累積機率，該交點的意涵為餘間距小於 t_c 被接受的數量等於餘間距大於 t_c 被拒絕的數量。由於本研究所分析的車流屬於混合車流，各種車種組合下的臨界餘間距值可能會有差異，因此分別計算了四種車種組合之臨界餘間距值，累積機率圖如圖 5.13 至圖 5.16，臨界餘間距值如表 5.13。

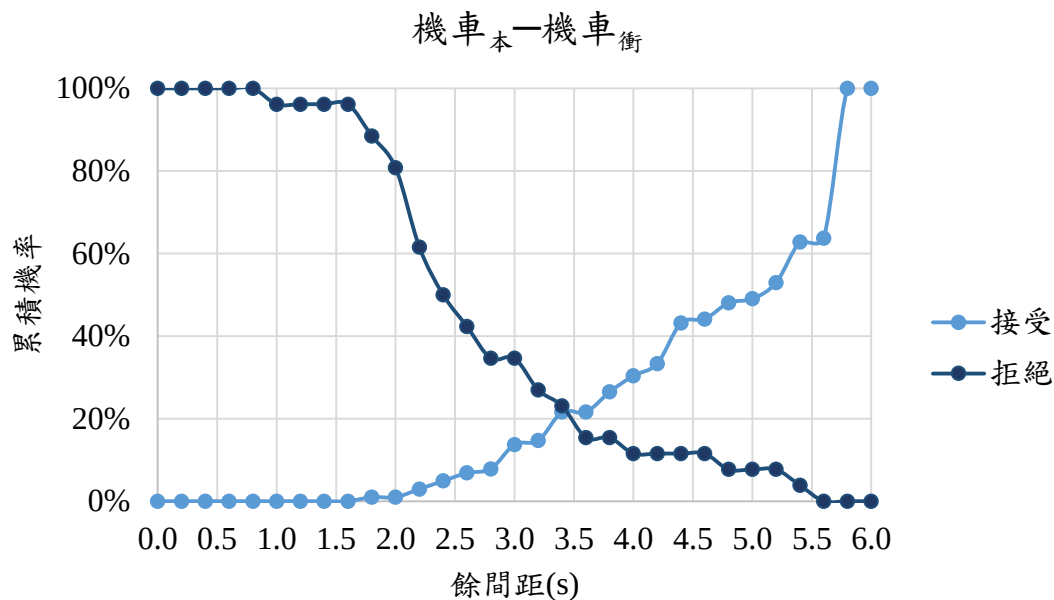


圖 5.13 機車_本—機車_衝接受與拒絕餘間距累積機率圖

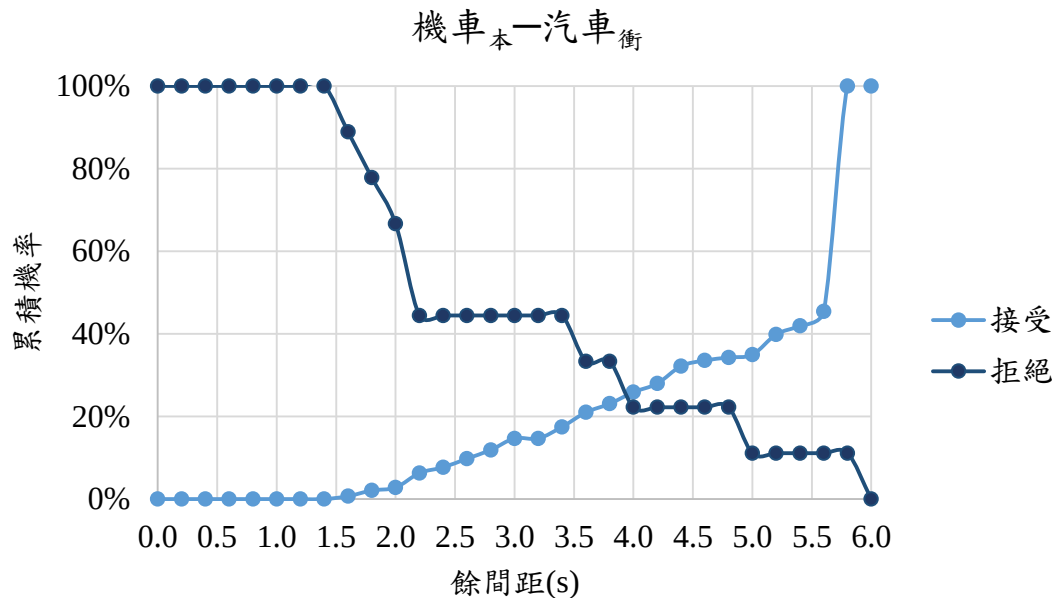


圖 5.14 機車_本—汽車_衝接受與拒絕餘間距累積機率圖

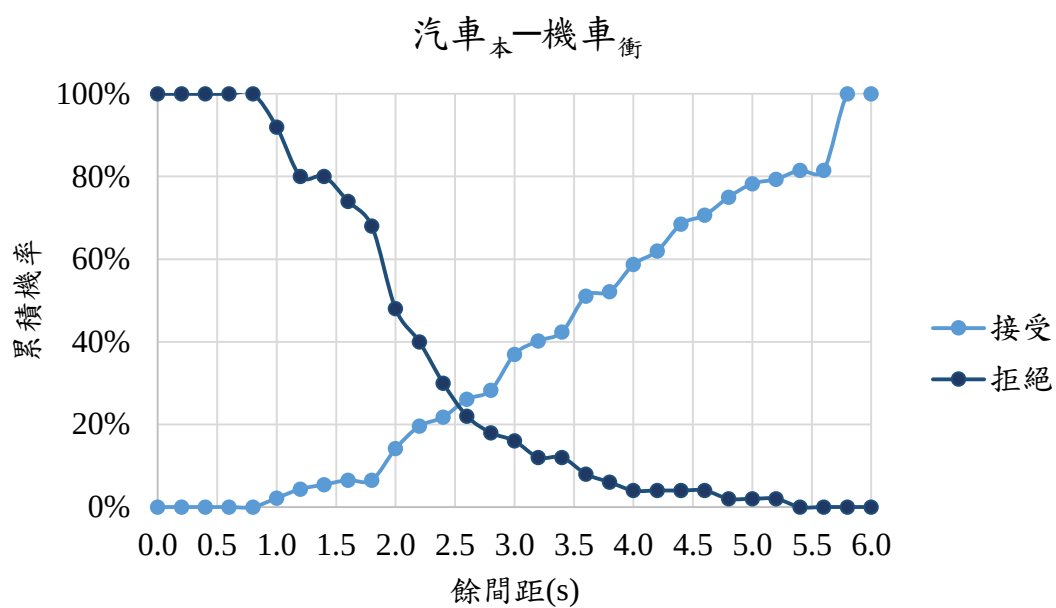


圖 5.15 汽車_本—機車_衝接受與拒絕餘間距累積機率圖

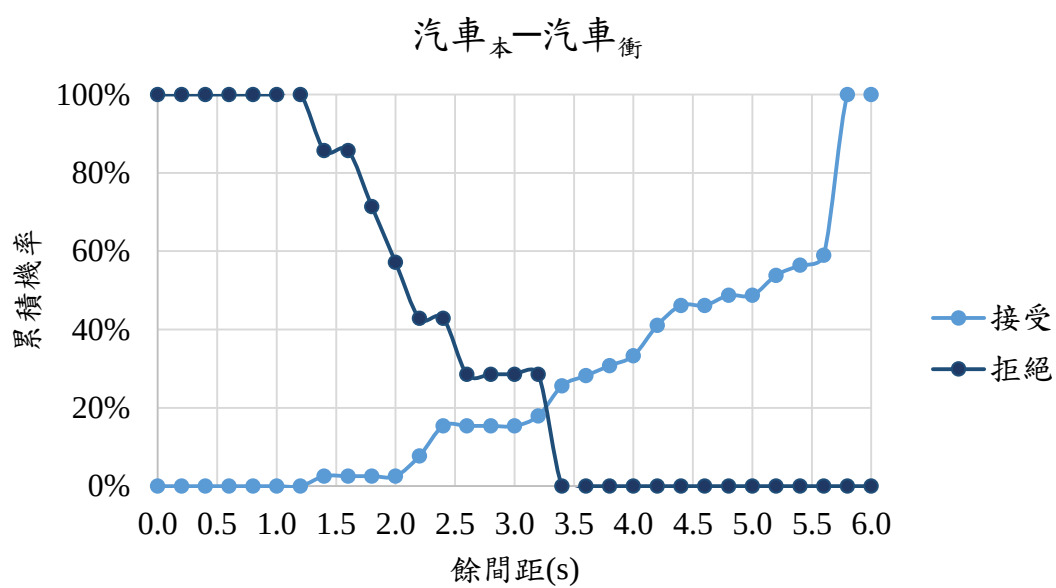


圖 5.16 汽車_本—汽車_衝接受與拒絕餘間距累積機率圖

表 5.13 臨界餘間距值

衝突車 本車	機車	汽車
	機車	汽車
機車	3.4	4.0
汽車	2.6	3.2

各車種組合之臨界餘間距大小比較與說明如下：

表 5.14 各車種組合臨界餘間距值比較

車種組合	餘間距	說明
機車 _本 —機車 _衝	3.4	機車 _本 受汽車 _衝 的威脅較機車 _衝 大，使得機車 _本 遇到汽車 _衝 時，會比機車 _本 遇到機車 _衝 保守，所以相對的機車—汽車的臨界餘間距較機車—汽車大。
機車 _本 —汽車 _衝	4.0	
汽車 _本 —機車 _衝	2.6	汽車 _本 受汽車 _衝 的威脅較機車 _衝 大，使得汽車 _本 遇到汽車 _衝 時，會比汽車 _本 遇到機車 _衝 保守，所以相對的汽車—汽車的臨界餘間距較汽車—機車大。
汽車 _本 —汽車 _衝	3.2	
機車 _本 —機車 _衝	3.4	機車在道路上是屬於弱勢的使用者(Vulnerable user)，為了安全進入圓環，機車 _本 遇到機車 _衝 時會比汽車 _本 遇到機車 _衝 保守，因此機車—機車的臨界餘間距會比汽車—機車大。
汽車 _本 —機車 _衝	2.6	
機車 _本 —汽車 _衝	4.0	機車在道路上是屬於弱勢的使用者(Vulnerable user)，為了安全進入圓環，機車 _本 遇到汽車 _衝 時會比汽車 _本 遇到汽車 _衝 保守，因此機車—汽車的臨界餘間距會比汽車—汽車大。
汽車 _本 —汽車 _衝	3.2	

由觀察到的結果提出以下論述，本車受汽車_衝的威脅較機車_衝大，以至於當不管本車是機車或汽車，當本車遇到的衝突車輛為汽車時，其餘間距會比遇到機車時還要大；又機車在道路上是屬於弱勢的使用者(Vulnerable user)，為了安全進入圓環，機車_本會比汽車_本保守，導致不管衝突為機車或汽車，當本車為機車時，其餘間距會比本車為汽車時還要大。

5.3 小結

此章節分析了與圓環路段以及圓環路口相關的特性與行為分析，包含了車道使用、速度、加減速度、橫向位置、變換車道次數、接受餘間距六項車流特性與行為，大部分都是以圓環為底圖，使用視覺化的方式展現各個特性在圓環上的分布情形，另外也使用了圖表以及敘述性統計的方式呈現上述車流特性。

從研究結果發現機車與汽車行駛於圓環上的特性與行為存在差異，而車輛的行駛特性與行為會受到路型曲度、所在車道、不同橫切面下的外側車道路寬、繞行距離，以及當下為準備進圓環、在圓環內、準備出圓環的狀態影響。從橫向位置的分析發現車輛大

部分行駛於外側車道，另外，汽車在圓環上並無行駛在車道中央，推斷是因為車輛在圓環上經常變換車道所導致的，而變換車道的次數也會受到車輛繞行的距離(角度)影響，且汽車變換車道的次數較機車多。由於圓環上的汽機車無行駛在車道中央，導致圓環上連續兩車的間距可能不是本車推斷是否進入圓環的依據，本研究認為混合車流中的車輛是否駛入圓環，是由圓環上的衝突車至衝突點的距離以及衝突車當下的速度而定，將上述概念結合就是所謂的餘間距(Lag)，本研究利用 Raff's method 計算臨界餘間距，並比較各車種的衝突組合的臨界餘間距大小，結果顯示各車種組合下的臨界餘間距存在差異。

第六章 結論與建議

台灣的市區道路上有複雜的混合車流現象，本研究針對台灣圓環的混合車流進行分析，提供一套以微觀車流軌跡資料分析混合車流於圓環上的特性與行為的流程，未來研究可將透過此流程分析車流特性與行為，並更進一步建構混合車流在圓環上的微觀車流模式，包括接受餘間距模式、跟上餘間距模式、小汽車/機車車道變換模式、跟車模式等，最後再將上述結果應用於評估圓環績效或車流模擬軟體中。本研究的結論與建議如下述。

6.1 結論

本研究針對新竹市東門圓環的混合車流，使用無人飛機進行車流影像的空拍作業，接著透過車流軌跡擷取軟體截取機車、汽車行駛於圓環上的微觀車流軌跡資料，並建立軌跡資料庫，再將軌跡資料庫匯入 MATLAB 進行圓環的微觀車流特性與行為分析。分析車輛在圓環上的特性與行為的過程中，將迪卡兒座標系統轉換為極座標系統，如此一來才能較直覺、容易判斷車輛的所在車道，除此之外，以連續三個軌跡點座標建構一元二次曲線方程式，再將方程式進行線積分後，用以推算車輛在圓環上的行駛距離與速度，另外，也改變了傳統計算加減速度的方式，以降低誤差，最後以視覺化的方式呈現，並藉由敘述性統計的方式觀察視覺化與統計的結果是否相符。若欲分析不同時空下的圓環車流特性，皆可透過上述程序得到相對應的軌跡資料庫，以及達到分析車流特性的目的。

本研究分析了車道使用、速度、加減速度、橫向位置、變換車道次數、接受餘間距六項車流特性與行為，結論如下：

1. 車道使用：當車輛行駛的距離越遠時，為了要加快速度以減少旅行時間，越會想要切入內側車道，又內側三個車道為禁行機車道，因此機車切入內側車道的頻率會比汽車還要低。
2. 速度：當行駛的道路曲度越大時，駕駛會將速度放慢，以降低行駛的危險性；圓環的內側車輛擁有通行優先權，且內側車道屬於快車道，因此行駛於外側之車輛必須放慢速度禮讓而導致內側車道的平均速度大於外側車道；另外，機車的機動性來得比汽車高，以致於機車的平均速度會比汽車還要高。
3. 加減速度：加、減速幅度越大會使駕駛或乘客感到不適，而有較高比例加速或減速大於門檻值的區域稱之為加速熱區或減速熱區，行經加速熱區的加速車輛大部分都是由熱區上游入口進入圓環的車輛，行經減速熱區的減速車輛大部分是準備由熱區下游離開圓環的車輛。
4. 橫向位置：機車行駛在圓環上時，大部分會行駛於外側車道，若最外側車道寬較窄，礙於空間的關係，欲行駛在外側車道的車輛會佔用到次外側車道，汽車

行駛在圓環上時大部分也是行駛於外側車道，若最外側車道寬較窄，礙於空間以及車身寬較機車寬的關係，汽車就會占用到第二至第四車道；另外，機車行駛於圓環上時無明顯行駛於車道中央，與機車行駛於一般直線道路的結果一致，而汽車行駛於圓環上亦無明顯行駛於車道中央，此結果有別於汽車行駛於一般直線道路上會行駛在車道中央的特性，原因可能為車輛行駛圓環上時，會經過數次變換車道的行為，變換車道的過程中會不斷的改變車輛的橫向位置，導致車輛之橫向位置不集中於車道中央。

5. 變換車道次數：車輛繞行圓環的距離越長時，變換車道的次數越會頻繁，其中，因為內側三個車道為禁行機車道，機車能變換車道的範圍有限，使得機車變換車道沒有比汽車來得頻繁。另外，車輛行駛的距離越短，也就是車輛進入圓環後，直接由下游第一個出口離開圓環時，則大多會行駛於最外側車道。
6. 接受餘間距：一般在計算間距時，是計算連續兩輛位在同一車道上的汽車的車間時距，而新竹東門圓環混合車流中的汽機車無行駛在車道中央，導致圓環上連續兩車的間距非本車推斷是否進入圓環的依據，本研究認為混合車流中的車輛是否駛入圓環，是由圓環上的衝突車至衝突點的距離以及衝突車當下的速度而定，將上述概念結合就是所謂的餘間距(Lag)，本研究即是以餘間距取代間距當作車輛是否進入圓環的依據。結果顯示，準備進入圓環的車輛，其受「汽車衝突車」的威脅較「機車衝突車」大，因此當準備進入圓環的車輛碰上「汽車衝突車」時，其臨界餘間距比碰上「機車衝突車」時還要大。另外，機車在道路上是屬於弱勢的使用者，為了安全進入圓環，機車會比汽車保守，因此準備進入圓環的機車，其臨界餘間距會大於準備進入圓環的汽車。

6.2 建議

1. 圓環混合車流的特性與行為相當多元，後續研究可針對不同車種間的互動行為提出分析的方法，例如：超車、鑽車等。
2. 本研究只分析汽車與機車此兩車種於圓環上的特性與行為，然而臺灣市區道路上大車所佔的比例雖然較汽車與機車低，但大車對其他車種的影響卻不容忽視，例如：公車進出圓環時可能會對周遭的機車構成威脅，可進一步探討公車與其他車種間的互動關係。
3. 本研究判斷準備進入圓環的車輛(本車)的衝突車時，僅認定本車在某決策時間點下，只會有一輛衝突車，但駕駛做決策時，可能同時考量到多台鄰近的車輛所組成的衝突車群對他的影響，建議後續研究可嘗試以衝突車群的概念來判斷。
4. 未來研究可使用此一流程分析混合車流於圓環上的特性與行為，並將其結果應用於評估圓環的績效；或者將特性與行為一般化，並套用於車流模擬軟體或各模式的參數校估與驗證上。

參考文獻

- 陳武正等(1975)。都市圓環問題模擬分析之研究。運輸計畫季刊。第四卷，第四期，p.1-19。
- 交通部運輸研究所(2011)。2011 年版台灣地區公路容量手冊。
- 黃家耀等(2014)。機車行為模式在都市混合車流中之實證分析及模式建立。交通部科技顧問室研究報告書。
- 萬家豪(2014)。混合車流下無號誌圓環容量研究。國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
- 黃家耀等(2015)。混合車流模擬技術研發—機車行為研究。交通部科技顧問室研究報告書。
- Abishai, P., Yoram, S. and Sitvanit, S.-L. (2005) Evaluation of the Waiting-Time effect on Critical Gap at Roundabouts by Logit Model. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. Vol.5, No.1, p.1-12.
- Ashworth, R., and Field, J. C. (1973). The capacity of rotary intersections. *Journal of Highway Engineers*, Vol.20, No.3.
- Brilon, W., Koenig, R. and Troutbeck, R. J. (1999) Useful estimation procedures for critical gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 33, No. 3-4, p. 161–186.
- Flannery, A., and Elefteriadou, L. (1999) A review of roundabout safety performance in the United States. *Proceedings of the 69th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers*.
- Fouladvand, M. E., Sadjadi, Z., and Shaebani, M. R. (2004). Characteristics of vehicular traffic flow at a roundabout. *Physical Review E*, Vol.70, No.4.
- Guido, G. P., Saccomanno, F. F., Astarita, V. and Vitale, A. (2009) Measuring safety performance at roundabouts using videotaped vehicle tracking data. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, Washington, D.C. No. 09-1242.
- Hossain, M. (1999) Capacity estimation of traffic circles under mixed traffic conditions using micro-simulation technique. *Transportation Research Part A*. Vol.33, p.47-61.
- Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M. (2014) Estimation of Roundabout Entry Capacity under the Impact of Pedestrians by Applying Microscopic Simulation. *Transportation*

- Research Board 93rd Annual Meeting*, Washington, D.C. p.113-120.
- Kimber, R. M. (1980) The Traffic Capacity of Roundabouts. *TRL Report LR942*, UK. 43 p.
- Lee, T.-C., Polak, J. W. & Bell, M. G. H. (2008) Trajectory Extractor User Manual Version 1.0. Working Paper. *Centre for Transport Studies, Imperial College London, United Kingdom*.
- NCHRP Report 672. (2010) *Roundabouts: An Informational Guide - Second Edition*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Qu, X., Zhang, J., Wang, S., & Liu, Z. (2014). Modelling follow up time at a single-lane roundabout. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Vol.1, No.2, p.97-102.
- Raff, M. S. and Hart, J. W. (1950) A volume warrant for urban stop signs. *The Eno Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuck, Connecticut, USA*.
- Saccomanno, F., Cunto, F., Guido, G., and Vitale, A. (2008). Comparing safety at signalized intersections and roundabouts using simulated rear-end conflicts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2078, p.90-95.
- St-Aubin, P., Saunier, N., Miranda-Moreno, L. F., & Ismail, K. (2013) Use of computer vision data for detailed driver behavior analysis and trajectory interpretation at roundabouts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No.2389, p.65-77.
- St-Aubin, P., Saunier, N., & Miranda-Moreno, L. F. (2015). Large-scale microscopic traffic behaviour and safety analysis of québec roundabout design. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, Washington, D.C.
- Tanner, J. C. (1962). A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection. *Biometrika* 49 (1 and 2), p.163-170.
- Transportation Research Board (1965) *Highway Capacity Manual 1965*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Transportation Research Board (2010) *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Troutbeck, R. J.(1992). Estimating the critical acceptance gap from traffic movements. *Research Report*, 92-5.
- Wang, R. and Ruskin, H. J. (2002) Modeling traffic flow at a single-lane urban roundabout.

Computer Physics Communications. Vol.147, p.570-576.

- Wong, K.I. and Lee, T.-C. (2015) Investigating the Heterogeneity in Driving Behavior of Powered Two-Wheelers under Mixed Traffic Flow. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, Washington, D.C.
- Wong, K.I., Lee, T.-C. and Chen, Y.-Y. (2015) Traffic Characteristics of Mixed Traffic Flow in Urban Arterials. *The 11th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS)*, 11-14 September 2015, Philippines, Cebu. (Accepted for publication in *Asian Transport Studies*)
- Wu, N. (1997). An universal formula for calculating capacity at roundabouts. *Arbeitsblaetter of Institute for Traffic Engineering, Ruhr-University Bochum*. No.13, March 1997.
- Xu, F. and Tian, Z. Z. (2008) Driver Behavior and Gap-Acceptance Characteristics at Roundabouts. *Journal of the Transportation Research Board*. No.2071, p.117-124

個人簡歷



姓 名：羅湘盈

學 歷：國立交通大學運輸與物流管理學系 碩士

國立交通大學運輸與物流管理學系 學士

電子信箱：letitbe523.tt03g@nctu.edu.tw