

國立交通大學

交通運輸研究所

碩 士 論 文

單一車道自動公路系統發生意外事故下
自動車輛跟車邏輯

Automatic Vehicle Control Logic in case of Incidence in
Single-Automated-Lane Highway System



研 究 生：蔡孟釗

指導教授：許鉅秉 教授

中 華 民 國 九 十 四 年 六 月

單一車道自動公路系統發生意外事故下自動車輛跟車邏輯
Automatic Vehicle Control Logic in case of Incidence in
Single-Automated-Lane Highway System

研 究 生：蔡孟釗

Student：Meng-Chao Tsai

指導教授：許鉅秉

Advisor：Jiuh-Biing Sheu

國立交通大學
交通運輸研究所
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Institute of Traffic & Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Institute of Traffic & Transportation

June 2005

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

單一車道自動公路系統發生意外事故下自動車輛跟車邏輯

學生：蔡孟釗

指導教授：許鉅秉

國立交通大學交通運輸研究所碩士班

摘 要

自動車輛發展為未來趨勢，自動車輛的開發以及控制方式，已經有相當多的研究，本文並非研究如何從收集到的資訊，轉換到車輛的內部引擎或是煞車的控制；而是設計一套跟車邏輯，判斷車輛針對前方車流，該做如何的反應。在未來硬體可以配合下，期望自動控制車輛能夠依循此邏輯順暢行駛在最內側為自動車道的高速公路上；即使自動控制車道上發生意外事故，在變換車道後，也可以順暢的以混合車流的方式通過事故點，而不會有追撞的危險。

控制邏輯根據九種不同的相對數據，設計出四種跟車模式，在不同情況下，轉換不同的模式跟車，自動車輛為了避免減速或是加速影響後方車流的不穩定，設計了兩個指標，「Dmax」以及「Dmin」，稱為動態距離設定最大值以及動態距離設定最小值，隨著前方車流不同，此值也會不同。車輛和前車的距離如果大於動態距離設定最大值則加速，車輛和前車的距離如果小於動態距離設定最小值則減速，界於此兩值之間則等速前進；另外加減速度的設計顧及搭乘者的舒適性，採用拋物線加速度模型，使得加減速不會過猛。

利用程式語言 TURBO C，以類似車流模擬軟體的方式，模擬各種跟車情境，將車輛的動態輸出在螢幕上，先藉由三輛車的模擬測試以及調整模式可行性，再模擬一條車道的車流，以機率分配以秒為單位釋放自動車輛以及人為操作車輛在車道上，觀察車流狀況，以 GM 跟車指標判定自動車輛跟車穩定性，嘗試以各種車流理論圖形解釋分析數據。為了求得一般車輛行駛能夠和車流模擬軟體相同，以兩個檢定確定其真實性以及可靠性。

Automatic Vehicle Control Logic under Incidence in Single-Automated-Lane Highway System

student : Meng-Chao Tsai

Advisors : Dr. Jiuh-Biing Sheu

Institute of Traffic & Transportation
College of Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

A trend of the future in development and control methods has been lots of research about Automatic Control Vehicle. The main subject of research topic is to design an automatic car-following logic by the judgment of the front vehicle behavior rather than the conversion of the data collected by the detector at vehicle to set engine power or brake torque. By the hardware developed in the future, the automatic vehicle will be expected to follow by the controlling logic to drive smoothly in single automatic lane highway system.

Four models are created according to the data collected by the detector with respect to two flags “Dmax” and “Dmin” for automatic car-following dynamically. If the distance between the auto-vehicle and the vehicle in front of it is longer than the dynamic value “Dmax”, the automatic one needs to be accelerated. On the other hand, if the distance between the auto-vehicle and the vehicle in front of it is shorter than the dynamic value “Dmin”, the automatic one needs to be decelerated and slowed down. Otherwise when the distance between the two vehicles is between “Dmin” and “Dmax”, the auto-vehicle remains at the same speed and requires no action.

With the simulation software written in TURBO C program language, the dynamic distance of every vehicle will be output on the screen in a way similar to that produced by the micro-traffic flow simulation software. Modifying four models by simulation with three vehicles in one-lane, we validate our system by analyzing figures and tables obtained from the data output.

誌 謝

能夠寫到誌謝，論文也算是完成了；深知完成論文不是什麼偉大事情，也不敢在此大放厥詞，只是剛好有這此機會，能夠在此紓發自己的心聲。在感謝眾人之前，想先反省自己以及道出自己內心的感受。

我深知自己的反應不是很快，談話沒有說服力，甚至語言的組織邏輯也很差，做事不夠聰明，連帶影響效率不彰，得失心又重，事情容易放不下；這些不是在數落自己的缺點，也不是搏取大家的同情，只是希望自己能夠藉由用筆墨來寫，提醒自己能夠慢慢的有在進步。如果到目前為止，能夠有某些作為讓人認同，應該只是自己會在意別人的眼光，不願意服輸，不希望表現的太差而已；說這些，是為了給後面留伏筆，因為自己不良的個性而有犯過的錯誤，要感謝大家的寬容以及幫助甚至指正。

短短的兩年中，吸收到的知識和得到的經歷是整個求學生涯到目前為止最豐富的一段，很無悔自己選擇這裡來就讀，能夠擁有多位和藹可親又學識淵博的教授們，作為研究的榜樣和楷模，是非常興奮的一件事，在這裡，每位教授都能給予學生許多啟發。

感謝指導老師 許老師給予這麼好的論文點子給我想像，並給予極大的發揮空間，讓我能夠在得到結果的過程中非常享受自己付出的辛勞和努力。也感謝 藍武王老師，在畢業前的最後一個學期，帶給我這麼富有哲理以及有趣的車流理論，將一門很實務的科學從理論面精闢的剖析，論文的第六部份完全是仰賴車流理論的功勞。

感謝父母在求學的過程中給予持續的支持和肯定，如果能夠讓你們引以為傲是我感到最大的快樂之一。

感謝彥楨的善解人意和無私的付出，容忍我一次又一次的脾氣，傾聽我的埋怨，陪我完成論文的整各過程。感謝所有的研究所同學，每位都曾經幫助過我度過不同的難關，不論是學業也好，生活上也好，遊戲也好，相處的時光雖然只有短短兩年，卻有許多回味無窮的事情，像作計畫時，和智詠跑了好幾趟鶯歌，謝謝他搜集了這麼多的資料，謝謝小章在運輸實務時的幫忙以及許多課業上的幫助，感謝阿糾提供了兩年的生活娛樂，感謝酷冰俠偉成找我打球…等，不及全部備載，但所有的同學都是我要感謝的。

也要感謝在台南招待我的樊乃榕和河童小葉，陪我到渡過五年也陪我到交大考試的繡文，以及常常跟我喝咖啡打籃球做壞事的猴逸祥；還有人很好的黑龍，臉很黑的少樺，白痴章俊彥；還有曾經一起出去玩的高中同學們，大家都曾帶給我美好的回憶。

也許寫的太長了，但這都是在夜深人靜、有點落寞下的有感而發，應該能夠較無遺漏的表達自己的感覺。要奮鬥的日子還很長，對論文的完成不敢自滿，這只是一個測試自己的開始；希望所有的好朋友們都一起努力，達成自己的目標，也祝福大家。

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
一、緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
1.4 研究方法	4
1.5 研究範圍	4
1.6 研究步驟	5
二、相關文獻回顧	7
2.1 人為跟車理論	7
2.1.1 Pipes 和 Forbes 理論	7
2.1.2 General Motors 模式	7
2.1.3 Collision avoidance models (CA)	8
2.1.5 國內跟車間距相關研究	8
2.2 自動車輛跟車邏輯文獻回顧	8
2.2.1 自動車輛偵測系統	8
2.2.2 混合車流決策樹	10
2.2.3 自動車輛跟車行為模式	11
2.2.4 毫米波變頻雷達	12
2.2.5 乘車舒適度指標	13
2.3 小結	14
三、跟車模式構建	15
3.1 模型假設	15
3.1.1 自動控制車輛和一般人為操作車輛之差別	15
3.1.2 自動控制車輛(AC veh.)之功能假設	15
3.1.3 系統假設	16
3.2 變數定義	16
3.2.1 車輛相關變數	16
3.2.2 事故距離相關變數	17
3.3 跟車型態種類	17
3.4 跟車最適當距離概念	18
3.5 乘客最舒適加速度的概念	20
3.6 偵測前車團求得末速	22
四、模式架構	24
4.1 加減速度的大小	24
4.2 最適距離的判斷與決定	25
五、情境模擬	30

5.1 程式撰寫	30
5.1.1 程式撰寫流程	30
5.1.2 繪圖程式	33
5.1.3 距離判斷	33
5.1.4 程式	35
5.2 情境模擬與分析	35
5.2.1 情境一	35
5.2.2 情境二	37
5.2.3 情境三	39
5.2.4 情境四	41
5.3 模式適用情境.....	43
5.3.1 緊急煞車	43
5.3.2 模式轉換	43
5.4 小結	44
六、模式驗證.....	46
6.1 跟車檢測標準	46
6.1.1 跟車標準的認定	46
6.1.2 制定跟車檢測標準	46
6.2 模擬初始狀態設定及一般車輛之檢定	48
6.2.1 初始流量及密度設定	49
6.2.2 利用車流模擬軟體調整人為操作車輛控制邏輯.....	51
6.3 自動車輛控制邏輯模式驗證	57
6.3.1 調整首車加(減)速大小.....	57
6.3.2 平均車間距計算	63
6.3.3 穩定和不穩定車流平均車間距之比較.....	69
七、結論與建議.....	75
7.1 結論.....	75
7.2 建議.....	76
參考資料.....	78

表 目 錄

表 2.2 衝度異常門檻值表	14
表 3.1 距離判定	19
表 5.1 模擬情境一	36
表 5.2 模擬情境二	37
表 5.3 情境模擬二	38
表 5.4 模擬情境三	40
表 5.7 模擬情境四	42
表 5.8 距離對煞車時間	43
表 5.9 速度對煞車時間	43
表 5.10 改變模式的減速時間	44
表 5.11 改變距離	44
表 6.1 跟車穩定性指標	47
表 6.2 PARAMICS 車流資料	52
表 6.3 Pearson TypeIII 機率表	54
表 6.4 χ -square 檢定表	55
表 6.5 K-S 檢定表	56
表 6.6 實驗設計加(減)速度	57
表 6.7 C-value 值	58
表 6.8 實驗設計	64
表 6.9 平均間距(穩定車流)	64
表 6.10 平均間距(不穩定車流)	65
表 6.11 平均間距(實驗三)	67

圖 目 錄

圖 1.1 自動車道	2
圖 1.2 研究流程圖	6
圖 2.2 跟車反應系統	9
圖 2.3 判斷決策樹	10
圖 2.4 距離示意圖	11
圖 3.1 毫米波變頻雷達	16
圖 3.2 自動跟車示意圖	17
圖 3.3 跟車情境	18
圖 3.4 速度對時間	21
圖 3.5 拋物線加速度與減速度	21
圖 3.6 相對距離示意圖	23
圖 4.1 象限圖	25
圖 5.3 程式流程圖	32
圖 5.1 車道	33
圖 5.2 車輛	33
圖 5.4 情境模擬一	35
圖 5.5 情境模擬二	37
圖 5.6 模擬情境三	39
圖 5.7 模擬情境四	41
圖 6.1 Greenshield 模式下流量對速度示意圖	49
圖 6.2 Greenshield 模式下流量對密度示意圖	50
圖 6.3 x-t 圖，固定 x	50
圖 6.4 x-t 圖，固定 t	50
圖 6.5 x-t 圖	52
圖 6.7 α 對時間圖(a=2)	59
圖 6.8 α 對時間圖(a=3)	59
圖 6.9 α 對時間圖(a=4)	60
圖 6.10 時間對相對距離圖(a=2)	60
圖 6.11 時間對相對距離圖(a=3)	60
圖 6.12 時間對相對距離圖(a=4)	61
圖 6.13 時間對距離圖(a=-2)	61
圖 6.14 時間對距離圖(a=-3)	62
圖 6.15 時間對距離圖(a=-4)	62
圖 6.16 Q-K 圖	63
圖 6.17 不同比例跟車間距圖(穩定車流)	64
圖 6.17 不同比例跟車間距圖(實驗二)	65
圖 6.18 一般車輛	66

圖 6.19 自動車輛占 20%.....	67
圖 6.20 自動車輛占 40%.....	68
圖 6.21 自動車輛占 80%.....	68
圖 6.22 自動車輛占 100%.....	69
圖 6.23 不同比例跟車間距圖(實驗三)	69
圖 6.24 穩定車流下迴歸分析圖	71
圖 6.25 不穩定車流下迴歸分析圖	71
圖 6.26 迴歸分析比較圖	72
圖 6.27 立體跟車間距圖(自動車佔 0%).....	72
圖 6.28 立體跟車間距圖(自動車佔 20%)	73
圖 6.29 立體跟車間距圖(自動車佔 40%)	73
圖 6.30 立體跟車間距圖(自動車佔 63%)	74



一、緒論

1.1 研究背景

近年來，世界各國為解決交通擁擠及其伴隨而至之交通事故、能源消耗、環境污染與運輸安全等課題，與為增進旅客與貨物之流暢與經濟生產力，皆戮力發展智慧型運輸系統（Intelligent Transportation System, ITS）。而在智慧型運輸子系統中，自動公路系統(Automated Highway System, AHS)是指以車輛完全自我控制，或利用路旁的設施，使車輛得以自動駕駛。其目的在藉由先進通訊及自動控制等技術的應用，協助駕駛人行駛車輛，以降低駕駛人開車時精神及體力上的負擔，提昇交通安全與運輸效率。

本研究背景係以在高速公路上，開闢最內側車道為單一自動控制車道的自動公路系統環境，唯有配備自動控制器之車輛能夠進出此車道，一旦進入此車道即為自動控制；出去此車道則轉為人為駕駛。倘若自動控制車道下游發生意外事故，此車道上之自動控制車輛接收到訊號後，距離事故比較近的自動車輛必須緊急煞車；距離事故比較遠之自動車輛即可預先變換車道。本研究期望自動車輛在變換車道之後，在仍為自動控制的情況下，和其他車道上之人為操作車輛混合行駛。對一般車道混合有自動和手動駕駛車流的跟車模式進行模擬與驗證。本研究著重在自動控制車輛的跟車邏輯(圖 1.1)做探討，這個部份不同於以往的傳統跟車行為，需要對前方車輛，不論是自動或是非自動車輛的行為做出適當反應。

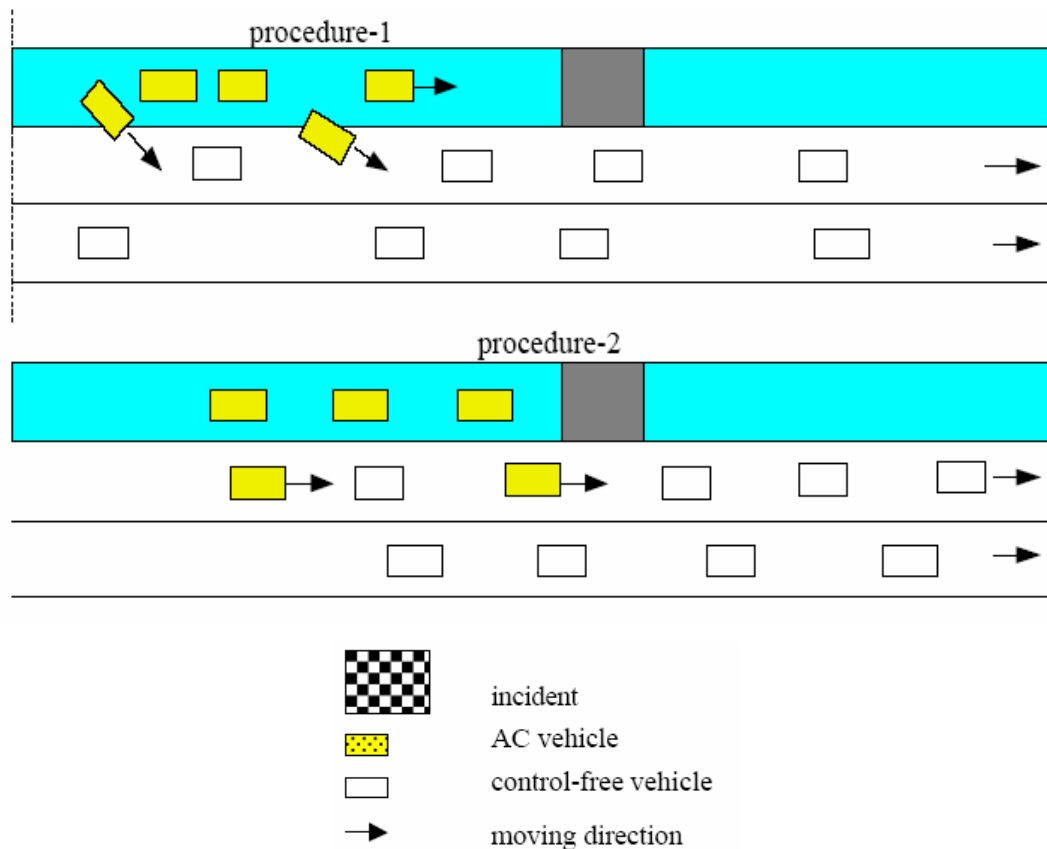


圖 1.1 自動車道

1.2 研究動機

在現行的跟車過程，駕駛人無形耗費了許多的時間及精力在注意與前車的相對速度以保持適當、安全的距離，故自動駕駛系統，是未來 ITS（Intelligent Transport System）發展的方向，而自動控制車輛發展有幾個過程：

- 一、自動定速車輛(Automatic Cruise Control vehicle)，能夠在高速公路上定速高速行駛，目前發展至可以在市區自動定速低速駕駛。
- 二、研發自動車輛在車輛稀少之公路行駛，可依狀況調整加速、減速、或是停止。
- 三、自動車輛能夠相互串連，以車隊為單位並應用在高速公路上，開創一條自動控制車道，將自動車輛和非自動車輛相互隔離，各自行駛各自的車道。
- 四、將自動控制車輛和一般車輛能夠混合行駛，而不去限制車道是否為自動車輛或是非自動車輛行駛之用。

對相關自動控制車輛之文獻，已經有為數不少並且深入的探討，從單

一車輛行駛乃至於車隊串聯，直到自動變換車道；不過，想要達到完全混合自動和手動車輛行駛仍有相當多的問題需要克服；但對於上述第三點高速公路單一自動控制車道，倘若自動控制車道發生事故，期望自動車輛在變換車道之後，也能夠短暫的自動行駛至通過事故點之後在變換回自動控制車道。此種事故下的混合自動控制車輛以及人為操作車輛的車流模式，在發展自動高速公路系統之後，的確會存在此問題，也令人好奇是否有適當的方法，可以將事故衝擊減至最小，並期望推廣至全面的混合車流，因而選定此主題做研究。

1.3 研究目的

由研究背景與動機可得知，最內側自動控制車道上面發生事故，行駛在此道之車輛在轉換至一般車道之後，必須和一般人為操縱車輛混合行駛，如果將車道上的車輛區分成自動車和手動車這兩種，這時候的跟車行為，除了一般傳統的人為跟車方式(後方駕駛者是人，前方則可能是自動車輛或是人為操作車輛)；增加了自動車輛的跟車(自動車輛前方可能是自動車輛或是人為操控車輛)。許多文獻對自動車輛的跟車行為，雖有許多研究，且有別於人為傳統跟車模式的判斷；但似乎沒有單獨研究跟車的文獻(通常跟車會伴隨變換車道一起討論)，因此顯得跟車這個部份並不夠仔細和微觀。本研究從自動控制車輛變換車道之後的跟車加速度，做出：

1. 跟車加速度模型的建立
2. 最適當跟車距離的構建
3. 乘客的舒適度

上述三點為本研究最主要之目的。即自動車輛在混合車流之中，距離能夠在最安全，坐在車裡的人能夠感覺最舒適下，控制自動車輛的加減速度，使所有車道上的所有車輛，在事故發生時，能有效率且不至於發生第二次事故的情況下通過事故現場。

強制混合兩種不同特性的車輛，高速公路從自動車輛變換車道開始，到通過事故點，在這段距離中要判斷混合車流的績效，判斷模式是否可行；後續研究便可以從中再推廣至高速公路車道全面混合車流。

1.4 研究方法

本研究將傳統人為跟車模式和自動駕駛車輛行為模式相結合，配合事故造成之影響，根據研究目的，研究的方法如下：

1. 最適跟車距離：根據最適加速度，控制跟車的距離不致過遠或是過近，儘可能以等速的跟車方式前進。
2. 最適跟車加速度：判斷前方車輛種類，為自動或為非自動，在不同的安全距離、速度下，且顧及乘客舒適，求出自動車輛對應前方車輛所需要的最適加速度。
3. 乘客舒適度：控制加速度不可太急，將加速度或是減速度控制在一定範圍，以免影響乘客舒適度，加速度過大或過小也會影響最適跟車距離，在這三者間取捨出一個合適的大小。
4. 模擬混合車流情形：將自動車輛特性及找出相關參數，藉由程式語言(C語言)，判斷自動控制車輛之對應前方車輛應有之加速度，模擬自動控制車輛各種行為。
5. 評估混合車流的績效，調整參數，以敏感度分析的方式評估最適化的跟車加速度。

1.5 研究範圍

本研究之範圍主要界定在，當高速公路上的內側車道為一條自動控制車輛專用車道，而其餘車道則為一般手動人為駕駛，當內側自動車輛車道下游發生意外事件，從自動控制車輛開始變換車道，通過事故點，再回到最內側車道，在這段過程中討論：

1. 希望找出自動控制車輛在混合車流下，對於不同情境，處理混合車流下可能發生的狀況。以一輛自動車輛為基礎，考慮後方或是旁邊車道如果變換車道對自動車輛判斷的影響，但不考慮自動車輛本身的變換車道行為。
2. 每一個車道可能皆存在著自動車輛和手動車輛混合行駛。
3. 判斷前方車輛種類，為自動或為非自動，在不同的安全距離、速度下，求出自動車輛對應前方車輛所需要的最適加速度。
4. 最適跟車距離：控制跟車的距離不致過遠或是過近，盡可能以等速的跟車方式前進。
5. 乘客舒適度：控制加速度不可太急，以免影響乘客舒適度，加速度過大或過小也會影響最適跟車距離。

6. 混合自動控制車輛和手動控制車輛之車流，找出自動控制車輛之跟車加速度。
7. 模擬自動車輛在混合車流之下的跟車行為。
8. 變動參數，以敏感度分析求出最適化跟車行為。

1.6 研究步驟

就本研究探討之自動控制車輛跟車模式，擬定研究步驟如下，而相關流程如圖(圖 1.6)所示：

- 研究動機與目的：詳見 1.2 研究動機以及 1.3 研究目的。
- 文獻回顧：分為兩部分文獻回顧 1. 傳統跟車理論的文獻回顧 2. 關於自動控制車輛相關文獻
- 研究方法：詳見 1.4 研究方法。
- 情境模擬：模擬研究動機中混合車流下各個不同模式，就是對不同車輛跟車行為的不同加以模擬。
- 情境分析：延續情境模擬，對不同的情境模擬之後加以討論並且修正，以達到最適化跟車加速度。
- 敏感度分析：調整加速度控制參數，判斷參數的不同對自動車輛跟車的影響是否有關。
- 結論與建議：總結本研究所得之成果做出結論，並對後續研究提出建議。

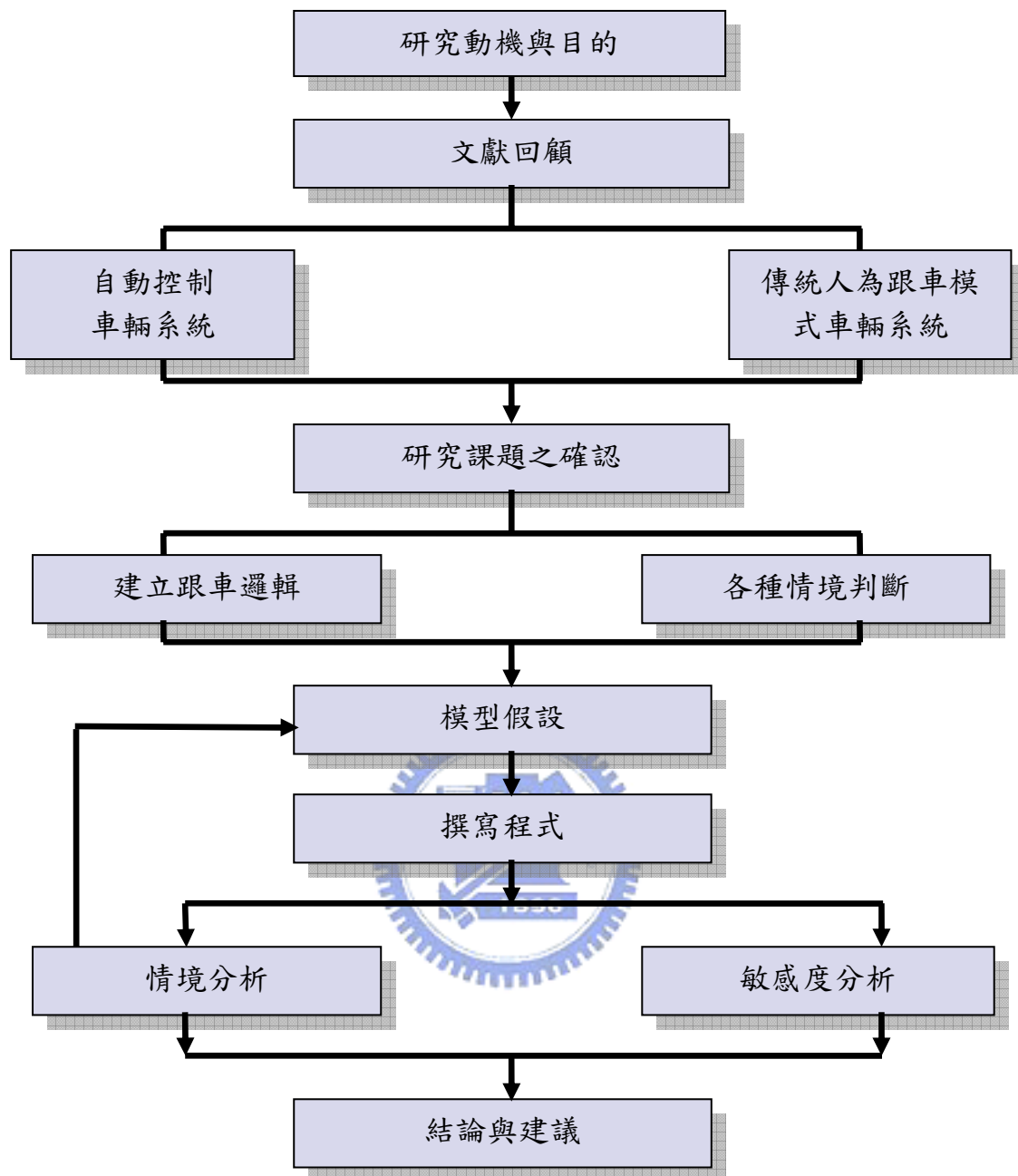


圖 1.2 研究流程圖

二、相關文獻回顧

本章節將對一些國內外有關跟車理論與模擬軟體的文獻來做回顧。依序為有關歷年來跟車理論、自動控制車輛相關文獻與模擬軟體以及程式語言來做回顧。

2.1 人為跟車理論

跟車(car-following)是指後車在非自由的車流狀態下，必須經常調整其行車速度以便與前車保持一安全距離，其間的加減速度行為。跟車理論的主要內容是藉跟車行為發生時，後車與前車間的速度、距離等的互動關係，藉以找出駕駛者在跟車時具有的共同反應，並將這些變數以方程式來加以描述[1]。接下來將以時間順序[2]列出重要跟車模式，並且將可參考之模式詳細列出。

2.1.1 Pipes 和 Forbes 理論

Pipes(1953)首先以安全距離的觀念來表示後車的車速與間離間的關係，假設每一位駕駛者與前行車輛維持的空間與己車的速度成比例且加上一段距離。Pipes 理論的缺點為在低速與高速情況下會出現低估的現象，這與實際不符。

Forbes 在跟車模式行為中加入反應時間(Reaction Time)，使後車用以判斷是否該減速煞車，其認為前車之後緣與後車之前緣間的時間間隙(Time Gap)至少應大於或等於反應時間，所以，最小的時間間距(Time Headway)的數學關係式等於反應時間加上前車車長距離之行駛時間。[3]

2.1.2 General Motors 模式

在1950年末期至1960年初期之間，美國通用汽車研究群(GM group)之中的Chandler, Herman and Montroll (1958)三人[4]，在通用汽車位於底特律的實驗室，使用現場照相調查並統計的方式，加入(m, l)矩陣建立刺激-反應方程式。隨後又有經過許多人的修改，如Herman, Potts (1959)、Helly (1959)、Gazis et al.(1961)、May and Keller (1967)，他們在變數幾乎仍都維持原本不變之下，不斷的校估模式的參數，以求最佳化。這個模式又有人稱之為GHR模式[4]。

2.1.3 Collision avoidance models (CA)

和GM模式發展的時間上同為五零年代末期，CA模式之創始人為日本人，Kometani and Sasaki(1959)，輸出的值則是和Pipes及Forbes理論相同為跟車的安全距離，不同的是，CA模式多考慮了前車的速度變化，速度變數也為非線性為二次方之變數。

2.1.5 國內跟車間距相關研究

論文使用到國內針對跟車間距相關之文獻如表2.1。[3]

表 2.1 跟車相關研究

作者	跟車間距模式
張家祝	$MFG=0.75438 \times V_t+6.4$ MFG：最小跟車間距(公尺) V_t ：後車速度(公尺/秒)
藍武王、王日昌、江勁毅	$DIST_{best}=1.36 \times speed_{n+1}+20/3$ DISTbest：最佳距離(公尺) $speed_{n+1}$ ：後車速度(公尺/秒) [註]以模糊控制求得之最佳跟車距離

2.2 自動車輛跟車邏輯文獻回顧

對於自動車輛有相當多研究，對於自動車輛在混合車流之下跟車行為，也有文獻探討，以下將逐一列出。首先將先對自動車輛對前車偵測系統介紹，再者對自動車跟車行為相關研究做一介紹。

2.2.1 自動車輛偵測系統

對於自動車輛有許多相關研究，下圖(圖2.2)為其中一篇[10]對現行的自動駕駛系統加以改善的文獻，目的要使汽車即使在市區行駛，也能在很短距離內判斷是否應該加速或是減速，亦或是煞車，因而發展的自動駕駛系統，而這套系統在內文中是適用在市區多車輛的情形之下；和本文章了解的發生意外事故時車輛混合跟車，有相當關係，原因在於，在未通過事故前，車速也是相對緩慢，可以拿市區狀況做參考。在圖中，在「加速度/速度/距離控制器」的判斷公式如下：

加(減)速度判斷公式：

$$\frac{d}{dt}v(t) = \frac{1}{\beta} [T_e(t) - T_b(t) - M_{rr} - hF_a(t) - F_g(t)] \quad (2.1)$$

- 其中 - $F_a(t)$ 為受到的風阻
 - $F_g(t)$ 為道路坡度的重力
 - M 為車重

2. 煞車系統判斷公式：

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}P(t) &= -aP(t) + K_b u_b(t - L_b) \\ T_b(t) &= \mu R A P(t) \end{aligned} \quad (2.2)$$

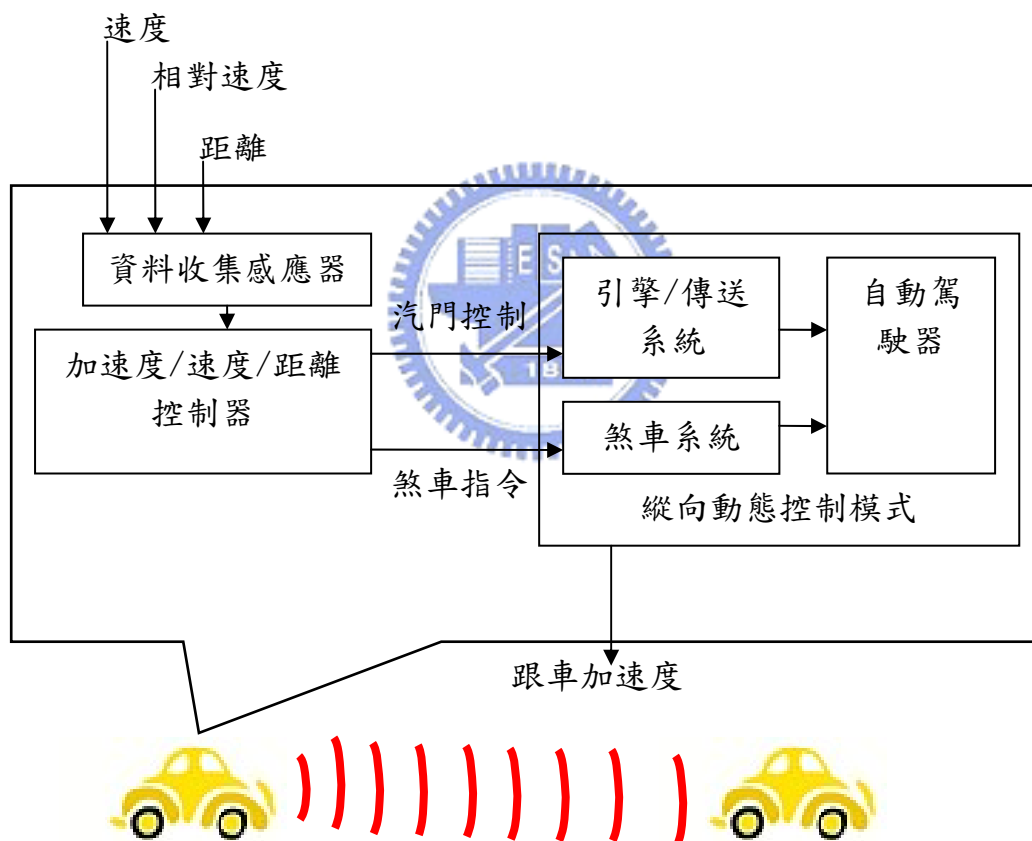


圖 2.2 跟車反應系統

此文獻的優點在於

1. 明確表示車輛上控制車輛加速、減速的裝置、設備。
2. 適用於經常性加速/減速皆可使用。

缺點在於：

1. 並無明確表示偵測前方資料的範圍上限。

2. 雖有判斷法則，但將前方車輛種類(人為駕駛、自動車輛)列入考慮。
3. 只適用於縱向判斷，對於變換車道並無考慮。

2.2.2 混合車流決策樹

藉由和前方車輛的相對速度和相對距離，利用決策樹(圖 2.3)找出十種判斷情境[11]，十種判斷情境適用於三種判斷公式，公式如下：

Law1：前方車輛距離尚遠，本車維持理想速率即可

$$a(k) = \lambda_2 \Delta v_{\text{opt}}(k - \tau, \alpha) \quad (2.3)$$

Law2：前方有車且車間距太短時，需維持安全距離。

$$a(k) = \frac{\lambda_1}{s(k - \tau)} \Delta v(k - \tau) + K \Delta s_{\text{opt}}(k - \tau, \alpha) \quad (2.4)$$

Law3：前方有車且車速較本車快，本車可提高速度

$$a(k) = \frac{\lambda_1}{s(k - \tau)} \Delta v(k - \tau) \quad (2.5)$$

利用決策樹來表示，在何種情況下，要使用哪種模式。模式主要根據 GM 線性模式(文獻中稱之 GHR 模式)修改而成，加入反應時間的考量。

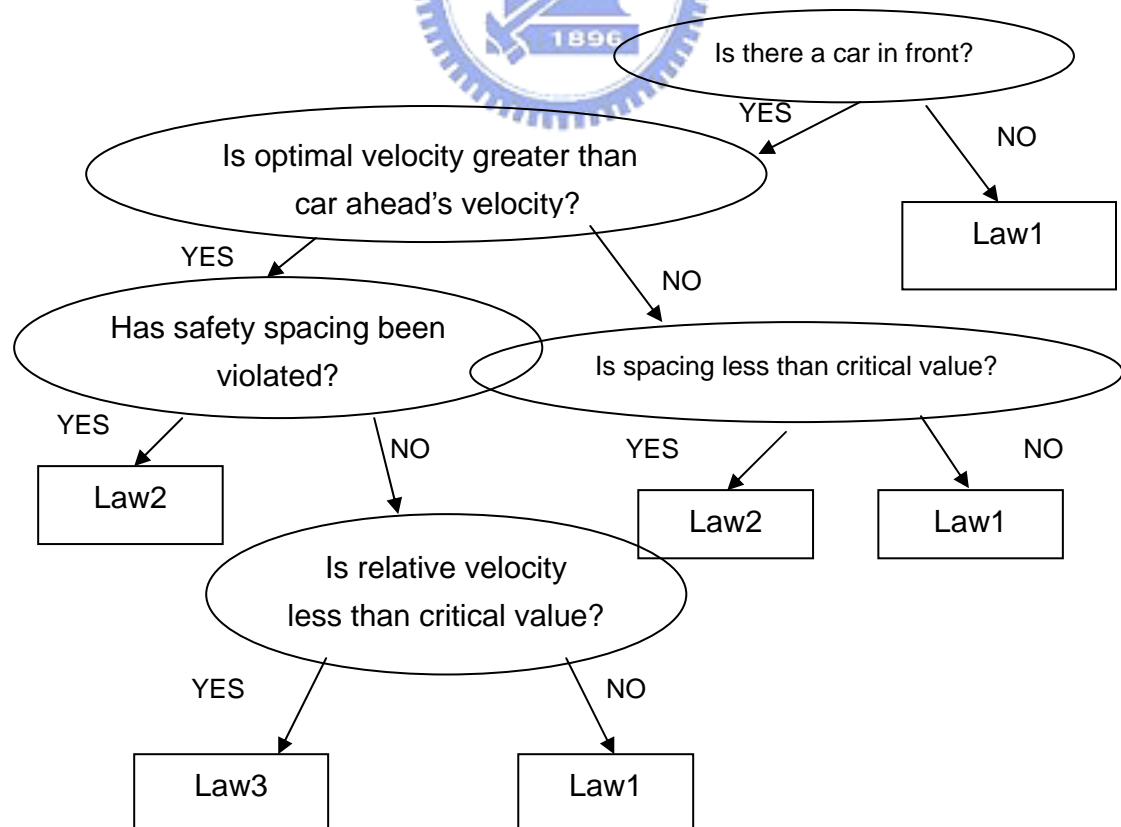


圖 2.3 判斷決策樹

2.2.3 自動車輛跟車行為模式

根據 J.B.Sheu 的自動車跟車加速度模式，簡述如下：

$$\alpha_{i_{\sigma}}^k = W_1^k \times \alpha_1 + W_2^k \times \alpha_2 \quad (2.6)$$

其中 α_1 為前車的瞬間加速度， α_2 是前方車團的瞬間加速度， W_1 、 W_2 是動態比重，分配各應該給多少值，分別如下：

$$W_1^k = \frac{e^{-\left(|X_{j_n}^k|\right)}}{e^{-\left(|X_{j_n}^k|\right)} + e^{-\left(|X_{j_{n-1}}^k| + |X_{j_{n-1} \rightarrow i_{\sigma}}^k|\right)}} \quad (2.7)$$

$$W_2^k = \frac{e^{-\left(|X_{j_{n-1}}^k| + |X_{j_{n-1} \rightarrow i_{\sigma}}^k|\right)}}{e^{-\left(|X_{j_n}^k|\right)} + e^{-\left(|X_{j_{n-1}}^k| + |X_{j_{n-1} \rightarrow i_{\sigma}}^k|\right)}} \quad (2.8)$$

其中 $X_{i_{\sigma}}^k$ ：在第 k 個偵測時間點， i_{σ} 車輛車頭到事故發生點的距離，

同理 $X_{j_{n-1}}^k$ 代表 j_{n-1} 車輛車頭到事故發生點的距離。以此類推 $X_{j_n}^k$ 。

$X_{j_n \rightarrow i_{\sigma}}^k$ ：在第 k 個偵測時間點， j_n 車輛車頭到 i_{σ} 車輛車頭的距離。(圖 2.4)

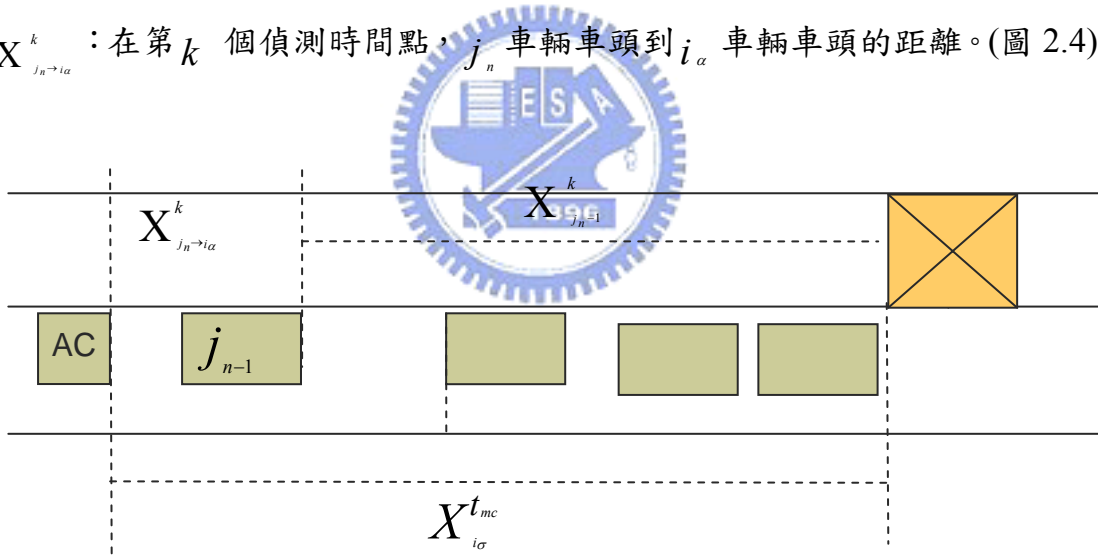


圖 2.4 距離示意圖

W_1^k 、 W_2^k 表示自動控制車輛 i_{σ} 跟隨 j_n ， j_{n-1} 兩車的加速度變化，會依照 j_n ， j_{n-1} 距離事故的遠近改變 i_{σ} 車輛跟車加速度的動態比重，採用羅吉特模式，又 $W_1^k + W_2^k = 1$ ，亦即當 j_n 距離 i_{σ} 比較近， W_1^k 比較大， W_2^k 相對比較小。又因為前車離本車 (i_{σ}) 距離 ($X_{j_n \rightarrow i_{\sigma}}^k$) 必小於前前車和本車距離，因此 W_2^k 必小於 W_1^k ，代表前車對本車的加速度調整影響較大。

2.2.4 毫米波變頻雷達

毫米波技術在通信、雷達、電子對抗和激光光譜學等方面有相當應用。毫米波的工作頻率介於微波和光之間，因此兼有兩者的優點。它具有以下主要特點：

1. 極寬的帶寬：通常認為毫米波頻率範圍為 26.5~300GHz，帶寬高達 273.5GHz。超過從直流到微波全部帶寬的 10 倍。即使考慮大氣吸收，在大氣中傳播時能使用四個主要窗口，但這四個窗口的總帶寬也可達 135GHz，為微波以下各波段帶寬之和的 5 倍。這在頻率資源緊張的今天無疑極具吸引力。
2. 波束窄：在相同天線尺寸下毫米波的波束要比微波的波束窄得多。例如一個 12cm 的天線，在 9.4GHz 時波束寬度為 18 度，而 94GHz 時波束寬度僅 1.8 度。因此可以分辨相距更近的小目標或者更為清晰地觀察目標的細節。
3. 與雷射相比，毫米波的傳播受氣候的影響要小得多，可以認為具有全天候特性。
4. 和微波相比，毫米波元器件的尺寸要小得多。因此毫米波系統更容易小型化。由於毫米波的這些特點，加上在電子對抗中擴展頻段是取得成功的重要手段。毫米波技術和應用得到了迅速的發展。

毫米波技術的應用，表面上看來毫米波系統和微波系統的應用範圍大致是一樣的。但實際上兩者的性能有很大的差異，優缺點正好相反。因此毫米波系統經常和微波系統一起組成性能互補的系統。

毫米波雷達的優點是角度分辨率高、頻帶寬因而有利於採用脈衝壓縮技術、系統的體積小。缺點是由於大氣吸收較大，當需要大作用距離時所需的發射功率及天線增益都比微波系統高。下面是一些典型的應用實例：

1. 空間目標識別雷達：例如一部工作於 35GHz 的空間目標識別雷達其天線直徑達 36m。用行波管提供 10kw 的發射功率，可以拍攝遠在 16000km 處的衛星的照片。一部工作於 94GHz 的空間目標識別雷達的天線直徑為 13.5m。當用 20kw 的發射功率時，可以對 14400km 遠處的目標進行高分辨率攝像。
2. 汽車防撞雷達：因其作用距離不需要很遠，故發射機的輸出功率不需要很高，但要求有很高的距離分辨率（達到米級），同時要能測速，且

雷達的體積要盡可能小。所以採用以固態振盪器作為發射機的毫米波脈衝都普勒雷達。採用脈衝壓縮技術，大大提高了距離分辨率。利用毫米波都普勒雷達得到精確的速度值。

3. 直升飛機防碰雷達：現代直升飛機的空難事故中，飛機與高壓架空電纜相撞造成的事故占了相當高的比率。因此直升飛機防碰雷達必須能發現線徑較細的高壓架空電纜，需要採用分辨率較高的短波長雷達，實際多用 3mm 雷達。
4. 精密跟蹤雷達：實際的精密跟蹤雷達多是雙頻系統，即一部雷達可同時工作於微波頻段（作用距離遠而跟蹤精度較差）和毫米波頻段（跟蹤精度高而作用距離較短），兩者互補取得較好的效果。例如美國海軍研製的雙頻精密跟蹤雷達即有一部 9GHz、300kw 的發射機和一部 35GHz、13kw 的發射機及相應的接收系統，共用 2.4m 拋物面天線，已成功地跟蹤了距水面 30m 高的目標，作用距離可達 27km。附加的好處有：毫米波頻率可作為隱蔽頻率使用，提高雷達的抗干擾能力。

2.2.5 乘車舒適度指標

乘客舒適度指標根據張季倫(2002)[5]，行車舒適乃指因不當駕駛行為導致行車舒適度降低，主要評估指標分兩大類，分別為前後俯仰指標及車速穩定指標：

1. 前後俯仰指標：(1) 指標定義：因急加速或急煞車導致乘客因慣性作用而產生之俯仰程度。(2) 指標內容： $da(t)/dt$ (衝度)。(3) 指標功能：前後俯仰指標是造成乘車不舒適的主因，因此偵測車輛行駛時加速度之程度大小，為指標的主要功能，為了衡量駕駛加減速行為之程度，以加速度對時間的微分量做為判定依據，除了可以偵測駕駛是否有踩油門或煞車之行為外，將該變化量與正常範圍之門檻值比較，則可判定駕駛是否有急加速或急減速之行為產生。(4) 指標原理：通常造成乘客前後俯仰的原因是駕駛發生急加減速行為時，當此種駕駛行為發生時，車輛會因慣性作用而產生突向前傾或後頓之現象，在車內的人也會隨車體前後搖擺。因此以加速度對時間的微分量做為指標，觀察單位時間內加速度之變化量，可有效偵測駕駛是否有急踩油門或煞車之行為導致車體突向前傾或後頓，造成乘客前後俯仰而感到不適或受

傷。(5) 調查結果：如表 2.2。

表 2.2 衝度異常門檻值表

衝度感受	小	中	大
衝 度 範 圍 (m/s^3)	$\pm(1.16\sim1.62)$	$\pm(1.62\sim2.06)$	$>\pm 2.06$

2. 車速穩定指標：(1) 指標定義：車輛行駛速差過大。(2) 指標內容：某時間區間內，加速率標準差與平均速率之比值(速率坡度)。(3) 指標原理：速率坡度指標(velocity gradient)是由於加速度離異指標(acceleration noise) 演變而來的，加速率離異指標的定義是某特定時間內，加速度的標準差大小，標準差越大，表示駕駛人的速率越不穩定。

2.3 小結

對於傳統跟車行為模式已經有相當多的研究成果，對於自動車的研究也是許多人努力在發展的。而總合這兩者，便有混合車流跟車行為的產生；亦因為每個人對車輛特性定義不一，考慮的變數也會有所出入，所以模式的用法上也會有不同，因此藉由參考文獻中的資料，加上上述之決策樹判別方法，加上參考文獻跟車模式[6]，配合傳統跟車模式，模擬混合車流之情況。

三、跟車模式構建

跟車控制邏輯乃期望將自動控制車輛順暢並且安全通過事故地點。混合車流比一般傳統難預測的原因在於 1.自動車輛在變換車道後，其前車的模擬來源可能是人為操作車輛，如何動態又及時做反應？2.所有在自動控制車道鄰近車道之所有車輛(包含已經變換車道完成之自動控制車輛)，皆有可能受到正要從自動控制車道轉換車道之車輛的影響而難以掌握，因此模式也會由此問題衍生出來。

3.1 模型假設

3.1.1 自動控制車輛和一般人為操作車輛之差別

界定自動控制車輛(以下簡稱 AC veh.)和一般人為操作車輛(以下簡稱 MC veh.)之不同，主要在於對資訊掌握的程度以及精確度，AC veh.比 MC veh.佔了較大的優勢，為了方便模式表達，以變數型態列出兩者之間差異：

1. 緩衝時間(τ)：緩衝時間是為了反應前車速度變化，判斷是否加減速度的緩衝時間，簡單來說，即觀察到前車改變狀態至本車做出反應之前的時間。
2. 車輛到事故的距離(x^k)：自動控制車輛可以藉由動態即時偵測到事故的地點(J.B.Sheu [23])，靠資訊傳遞至 AC veh.，使得 AC veh.比 MC veh.可以精確掌握事故發生地點所在。
3. 對前方車輛速度($v_{j_n}^k$)及兩車相對距離($x_{j_n \rightarrow i_a}^k$)掌握：AC veh.利用雷達或是雷射測量前方車輛的車速亦或者是兩車距離，將比 MC veh.利用人為判斷精準。

3.1.2 自動控制車輛(AC veh.)之功能假設

自動控制車輛研發至目前為止有相當多的研究，已經是可行並且漸趨於實用的階段，也是方便於模式的設定，這邊將對自動車輛基本必須具備的功能(大部分自動控制車輛相關文獻皆提到的功能)作假設，如下：

1. 自動控制車輛車頭裝設感應器：由 3.1.1 可知，AV veh.能夠藉由儀器判斷前車速度及 AC veh.和前車距離，為顧及未來科技發展，以及求得廣泛之使用，採用目前逐漸發展之毫米波變頻雷達(FMCW)取代傳統雷達，雷達波發射廣角為正負五度，利用毫米波變頻雷達配合毫米波脈衝都普勒雷達，詳見 2.2.3 節。這邊假設自動車輛和前車距離是連續

偵測，隨時判斷跟車的遠近，而速度並非隨時偵測，而是配合距離的遠近決定是否偵測，偵測的時機將在模式構建的部份中說明。

2. 偵測器能夠感應的有效範圍：根據第一點之假設，毫米波變頻雷達有效偵測範圍是兩百公尺，詳見 2.2.3 節。
3. 車輛控制變數：除第一點所描述之變數之外，AC veh.對於本身速度，以及本身加速度之控制，也是必須知道之變數。
4. 自動控制車隊最佳串聯車輛數：根據 R.Rajamani 和 Shladover[24]，將自動控制車輛最佳串聯數目定在八輛，也就是說最多可以八輛自動車為一個單位，擁有共同的速度、加速度以及固定的車距。

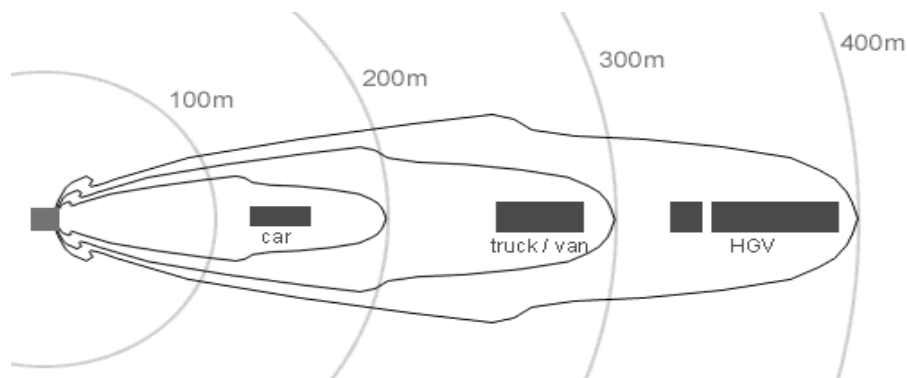


圖 3.1 毫米波變頻雷達

3.1.3 系統假設

1. 假設事故發生在最內側車道，並未波及鄰近車道。
2. 假設事故地點位置可藉由 GPS 系統定位，使得 AC veh.可以確定車輛和事故之距離。
3. 假設在車前兩百公尺直線上車輛，皆可測得速度以及和本車的距離。
4. 距離為動態隨時偵測，速度並非隨時偵測，而是配合距離的遠近決定是否偵測。

3.2 變數定義

構建模式之前先將會使用到之變數以及代號定義。

3.2.1 車輛相關變數

1. i_1 ：轉換車道之後之自動車輛，以此輛車為基準，在它前方一部車為 i_2 ，在它前方兩部車為 i_3 ，可視(圖 3.2)。
2. V_1 ： i_1 目前的瞬時速率。同理 v_2 為 i_2 目前的瞬時速率 V_3 為 i_3 目前的瞬

時速率。如圖 3.2。

3. a_1 : i_1 目前的瞬時加速度。同理 a_2 為 i_2 目前的瞬時加速度， a_3 為 i_3 目前的瞬時加速度。
4. D_{12} : i_1 和 i_2 瞬間測得的動態距離。同理 D_{23} 為 i_2 和 i_3 瞬間測得的動態距離。如(圖 3.2)。

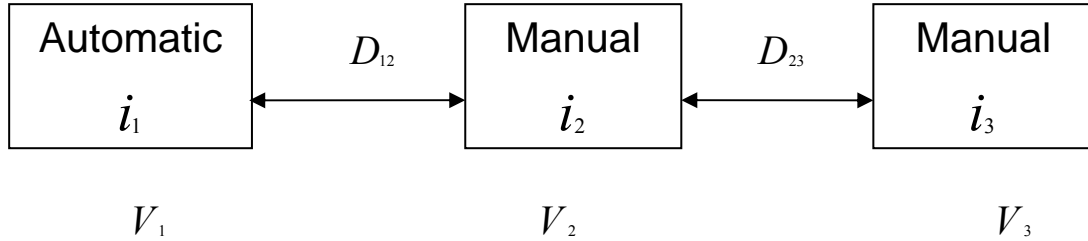


圖 3.2 自動跟車示意圖

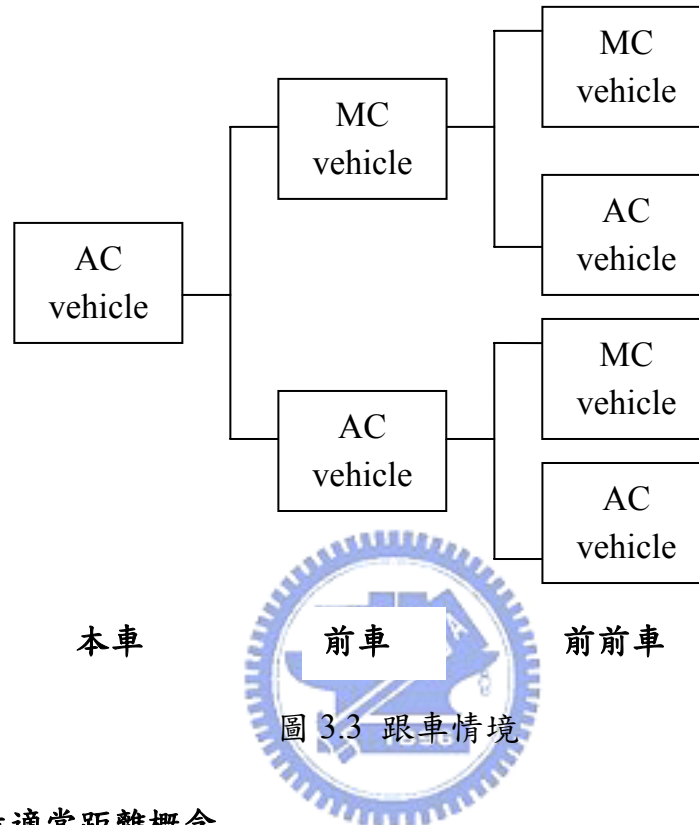
3.2.2 事故距離相關變數

1. X_1 : i_1 車輛車頭到事故發生點的距離，同理 X_2 代表 i_2 車輛車頭到事故發生點的距離，同理 X_3 代表 i_3 車輛車頭到事故發生點的距離。
2. φ : 一個和前車保持安全距離的靜態常數，通常都預設為 0.1。
3. \bar{L} : 平均車長，設定為 5 公尺。
4. \bar{v}_σ : 混合車道上游至事故發生處，偵測器可偵測範圍內的所有車輛平均車速。
5. $[(1 + \varphi) \times \bar{L} + v_1 \times \tau]$: 留有一個平均車長以上加上緩衝時間(τ)會行走的距離。用來設定 i_1 在瞬間時間點和前車應保持之最短安全距離。

3.3 跟車型態種類

在混合車流之中，將車輛區分成人為操作車輛以及自動車輛。許多文獻中有提到，跟車並非只是跟前面一輛車輛，而是必須考慮到更前方的一部車；我們假如可以獲悉前方車陣資料，便可以預先由更前方的車流做預測，會比單看前方一輛車來的精準，假設以一輛自動車輛作為跟車的基準車輛，也就是 i_1 ，則跟車必須考慮到 i_2 及 i_3 ，甚至是更前方之車輛也可做為考慮，而本模式基本上是以三輛車為討論的基準，因此跟車的形態會出現下列四種(圖 3.3):

1. AC→MC→MC： i_2 是人為操作車輛， i_3 也人為操作車輛。
2. AC→MC→AC： i_2 是人為操作車輛， i_3 是自動車輛。
3. AC→AC→MC： i_2 是自動車輛， i_3 是人為操作車輛。
4. AC→AC→AC： i_2 是自動車輛， i_3 也是自動車輛。



3.4 跟車最適當距離概念

以往的跟車文獻當中，對於跟車最適距離只設定一個最小值(critical distance)，小於這個值的話，就必須減速，但是對於自動車而言，必須有更嚴謹的方式判斷；一方面是因為為了整體車流的順暢，另一方面是為了坐在裡面的乘客的舒適，分述如下：

1. 整體車流的順暢：當一輛車突然的煞車，立即影響的是後面的一部車，但會導致在更後面的車輛，每一部車都必須加上反應時間再煞車，使得整各車流產生車流的長鞭效應；可能最初減速的車輛已經加速在前進，但在它後面的車輛卻有還在煞車減速，以 discharge headway 舉例來說，讓所有車輛在紅燈轉綠燈放行之後，為何不能立即達到 saturated headway? 而是在到達 saturated headway 之前，前幾部車的 headway 相當長。是否有辦法控制讓所有車輛在紅燈轉綠燈放行之後立即達到 saturated headway? 這就是自動車輛設計的精神所在：大家一起減速或

加速。如今在混合車流之中，後面的車輛可能是人為操作，並不一定可以存在像自動車輛的特性，而是會有長鞭效應的存在，所以，在設計模型時不會隨便讓自動車輛減速或是加速，以免影響行車道路的效率。

2. 乘客的舒適：如果採用傳統的跟車方式，是否只要還沒到 critical point 就不需要減速，而且減速的標準都是依緊急煞車而定，這樣對於自動車輛的發展是不合理的。下一節會對乘客的舒適配合以往的調查做出合適的模型。

為了顧及此兩個因素，我們設立兩個變數分別是 D_{\min} 以及 D_{\max} 。 D_{\min} 代表跟車最小可接受距離，小於此值，則自動車輛要在顧及乘客舒適度下減速；而 D_{\max} 代表跟車最大可接受距離，大於此距離，車輛就必須開始加速；如果本車和前車的距離這兩各值之間，則是設計讓車輛等速度行駛，不做改變。如表 3.1。

表 3.1 距離判定

$D_{12} < D_{\min}$	$D_{\min} \leq D_{12} \leq D_{\max}$	$D_{12} \geq D_{\max}$
i_1 減速	i_1 等速	i_1 加速

最適當距離的設計考慮的變數有：

1. 前車(i_2)以及前前車(i_3)的車輛種類
2. i_1 和 i_2 的相對速度
3. i_1 和 i_2 的動態距離
4. 前車(i_2)和前前車(i_3)的動態距離

除了上述四點之外，為了要配合乘客的舒適程度，必須考慮在加速度被限定的狀況下，煞車的時間和距離將會被拉長；以往跟車理論都是以緊急煞車的加(減)速度判斷最小距離，固定減速度之後，加上末速度已經決定，因此煞車的時間和距離相對可以求得，而本研究將採取變加速度的車輛加速度模型，加速度是拋物線的情況下，每一秒鐘的最適距離(和拋物線二次積分有關)都會不同，因此和傳統最適模型(最適跟車距離)將會有所不同。我們設定的一般式為：

$$D_{\min} = m_0 V_1 + n_0 \Delta S(t) - l_0 (D_{23})^\eta \quad (3.1)$$

$$D_{\max} = m_1 V_1 + n_1 \Delta S(t) - l_1 (D_{23})^\eta \quad (3.2)$$

其中 m 、 n 、 l 為參數， V_1 為自動車的瞬時車速， $\Delta S(t)$ 是搭配拋物線變加

速度下自動車煞車的距離， D_{23} 是 i_2 、 i_3 的動態距離。

3.5 乘客最舒適加速度的概念

文獻以及車流理論，以衝度(jerk)當做舒適度的指標(見 2.2.4)，jerk 是加速度對時間的微分，依照國道客運的標準，乘客能接受的標準界於正負 $2.06(m/s^3)$ 之間，也就是說，加速度或是減速度的幅度不可超過這個標準，否則會造成乘客的不適。舉例來說，在一般行車時候，需要加速會緩緩的踩油門，讓乘客不會一下子有突兀的加速度感，當繼續踩油門，加速度則會漸增(圖 3.4)，有了速度的模型概念，可推知加速度應是類似拋物線的模型；例如乘坐捷運時，雖然加速度固定，但加速時仍讓人有突兀的感覺；如果可以先微微加速再加速到需要的速度則可讓乘客感到舒適；乘坐電梯，一開始也是緩緩上升，到了中段速度才漸漸再加快。因此，為了將自動車人性化或是乘車舒適，研究將加速度設定為拋物線加速度(圖 3.5)，而非死板的線性定加速度，因此，加速度設定為拋物線曲線；但整條曲線的斜率又不能大於衝度指標 2.06 。以加速度來說，拋物線加速度的斜率最大的地方，是在一開始加速的時候，之後就隨之遞減，也就是說，jerk 最大的地方是在一開始的時候，依照文獻必須將最大設定在正負 2.06 ，之後隨著煞車時間或是加油門的時間加長，jerk 會逐漸降低，加速度的斜率會逐漸變小(圖 3.5)，如此一來，拋物線加速度可以達到如圖(3.4)的效果，這邊將拋物線的一般式分為加速度以及減速度：

$$a(t) = -\alpha t^2 + \alpha\beta t + \gamma = \alpha t(\beta - t) + \gamma \quad (3.3)$$

$$a(t) = \alpha t(t - \beta) - \gamma = \alpha t^2 - \alpha\beta t - \gamma \quad (3.4)$$

其中 α 是拋物線開口大小。 β 是加速度需要加執行的時間。 γ 是截距，設定為 2.06 。

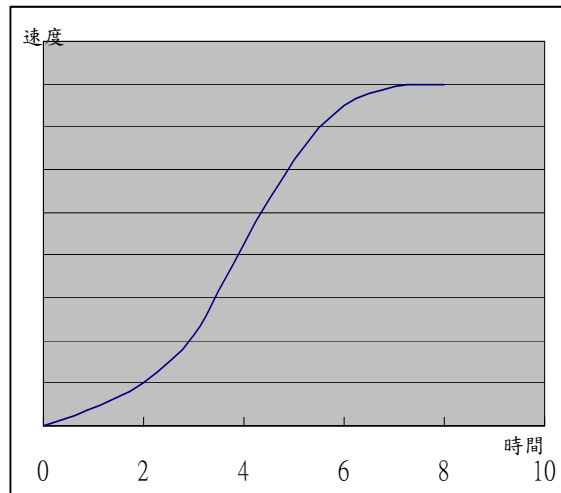


圖 3.4 速度對時間

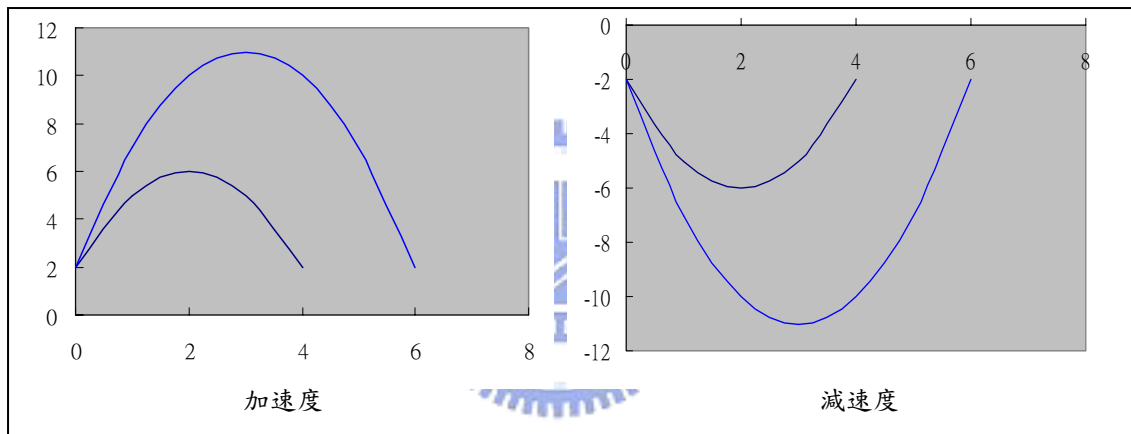


圖 3.5 拋物線加速度與減速度

有了加速度的模型，便可以積分反推出速度，速度再對時間積分求得位移的模型，由(3.3)的加速度一般式反推可以求得如下：

$$\begin{aligned}
 a(t) &= -\alpha t^2 + \alpha\beta t + \gamma \\
 v(t) &= -\frac{\alpha}{3}t^3 + \frac{\alpha\beta}{2}t^2 + \gamma t + v_0 \\
 S(t) &= -\frac{\alpha}{12}t^4 + \frac{\alpha\beta}{6}t^3 + \frac{\gamma}{2}t^2 + v_0 t + S_0
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

由(3.4)的減速度一般式積分則如下：

$$\begin{aligned}
 a(t) &= \alpha t^2 - \alpha\beta t - \gamma \\
 v(t) &= \frac{\alpha}{3}t^3 - \frac{\alpha\beta}{2}t^2 - \gamma t + v_0 \\
 S(t) &= \frac{\alpha}{12}t^4 - \frac{\alpha\beta}{6}t^3 - \frac{\gamma}{2}t^2 + v_0 t + S_0
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

除了用拋物線加速度或是減速度之外，考慮如果有後方車輛插入本車和前車之間，使得本車和插入的車之間的相對距離瞬間縮短，這時會採用定加減速度(7 m/s²)減速，也就是一般討論的緊急煞車來減速，用這個減速度求出煞車的長度。而加減速的大小，以及煞車距離的判斷都和模式(3.5)及(3.6)有關。

3.6 偵測前車團求得末速

自動車在通過事故之前，事故點勢必對自動車造成一定的影響，以往的跟車理論對跟車的末速判斷都是以偵測到前車的速度為末速，然而，前車的速度在自動車輛調整速度的過程中，可能隨時會有變化，這樣會造成加速過度或是減速不足的情況。所以，有兩個解決方法克服這各問題，其一為距離自動偵測，另一個則是，判斷末速是以到事故距離前的車輛速度作考慮。本研究的自動車的末速將是參考 J.B.Sheu[6]的加速度調整模式，文中對加速度的調整公式在 2.2.3 節中，對此公式稍做修改，將加速度的部份改為速度調整，也就是說，原本加速度的變化是將前車的加速度和前方車團的加速度做比重分配，J.B.Sheu 的方法如下(3.7)，在 2.2.3 節已有敘述：

$$\alpha_i = W_1 \alpha_1 + W_2 \alpha_2 \quad (3.7)$$

現今要以速度來取代這邊的加速度，所以以 V_2 (前車的速度)取代 α_1 (前車的加速度)， \bar{V}_σ (在事故範圍之前，偵測器可偵測範圍內的所有車輛平均車速)取代 α_2 (前方車團的平均加速度) 則公式改為

$$v_i = W_1 v_2 + W_2 \bar{V}_\sigma \quad (3.8)$$

而 W_1 以及 W_2 則維持不變，分別為

$$W_1 = \frac{e^{-|X_2|}}{e^{-|X_1|} + e^{-|X_2|}} \quad (3.9)$$

$$W_2 = \frac{e^{-|X_1|}}{e^{-|X_1|} + e^{-|X_2|}}$$

其中 X_1 為 i_1 車輛車頭到事故發生點的距離， X_2 代表 i_2 車輛車頭到事故發生點的距離，而 α_i 則被取代為 v_i ，如(圖 3.6)：

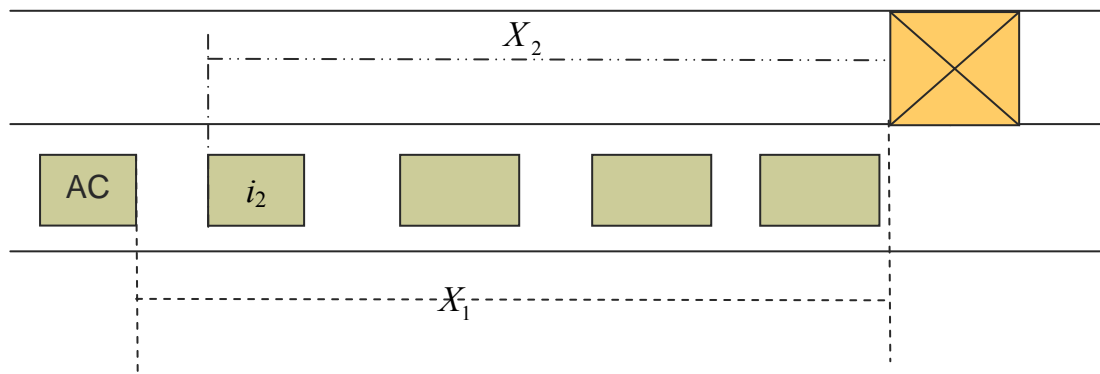


圖 3.6 相對距離示意圖



四、模式架構

第三章已經將模式會用到的概念和模型一般式在各小節中表示出來，在這邊將把這些概念完整的串聯，在配合模擬的過程求得驗證。

4.1 加減速度的大小

自動車行駛時，希望能夠控制在等速行駛，而非時常在加速或是減速，設定等速的範圍在 D_{\min} 和 D_{\max} 之間，非這個情況下就要加速或是減速(見 3.4 節)。因此，要加減速有三個情況，1.本車和前車距離小於 D_{\min} 要減速 2.大於 D_{\max} 則要加速 3.被超車。減速或是加速的多寡依照上述三種情況做判斷如下：

1. D_{12} 小於 D_{\min}

步驟一：利用 $v_i = W_1 v_2 + W_2 \bar{v}_\sigma$ (3.8) 計算求得自動車 i_1 的末速。

步驟二：將步驟一求得的末速 v_i ，代入 $v(t) = \frac{\alpha}{3}t^3 - \frac{\alpha\beta}{2}t^2 - \gamma + v_0$ (3.6)

使 $v_i = \frac{\alpha}{3}t^3 - \frac{\alpha\beta}{2}t^2 - \gamma + v_0$ ，反求出 t 。

步驟三：將 t 代入 $a(t) = \alpha t^2 - \alpha\beta t - \gamma$ 求出減速度 $a(t)$ 。

2. D_{12} 大於 D_{\max}

步驟一：同上，利用 $v_i = W_1 v_2 + W_2 \bar{v}_\sigma$ (3.8) 計算求得自動車 i_1 的末速。

步驟二：將步驟一求得的末速 v_i ，代入 $v(t) = -\frac{\alpha}{3}t^3 + \frac{\alpha\beta}{2}t^2 + \gamma + v_0$ (3.5)

使 $v_i = -\frac{\alpha}{3}t^3 + \frac{\alpha\beta}{2}t^2 + \gamma + v_0$ ，反求出 t 。

步驟三：將 t 代入 $a(t) = -\alpha t^2 + \alpha\beta t + \gamma$ 求出加速度 $a(t)$ 。

3. 被超車

步驟一：以偵測器偵測超車至前方的車輛車速，當做自動車 i_1 的末速。

步驟二：以等加速度公式 $v_i^2 = v_0^2 + 2as$ (初速、末速以及兩車距離為已知)，求出加速度 $a(t)$ 。

上述情況，除了第三點有利用到兩車距離之外，另外兩點是利用拋物線加速度所二次積分出來的位移在煞車，煞車距離是否有可能會有考慮不足，而導致兩車過近的情況，因此，在判斷 D_{\min} 及 D_{\max} 的時候，就應該考慮以拋物線加(減)速時可能行走的距離。下節將有最適距離的判定。

4.2 最適距離的判斷與決定

在跟車過程，以三輛車為基準，偵測出速度，距離之後，判斷不同的情境下，適用的距離最小值 D_{\min} ，以及距離最大值 D_{\max} ，本研究假設了四種情境，分別放在四個象限說明，如(圖 4.1)：

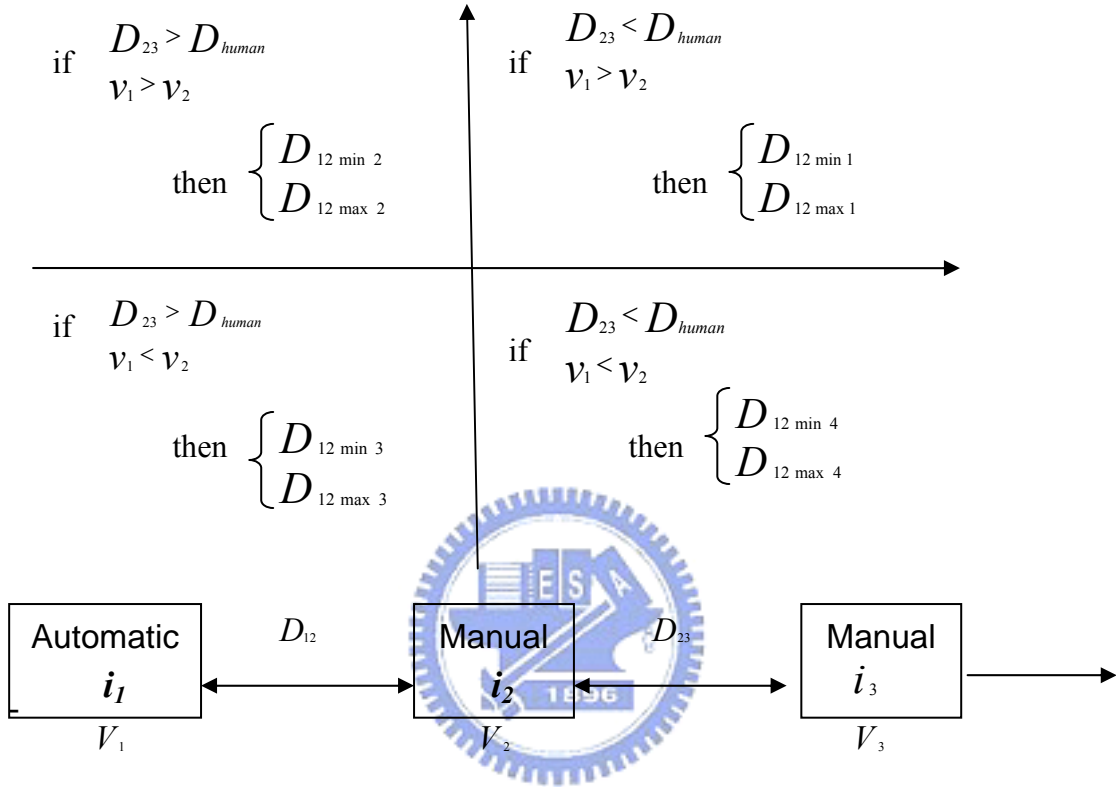


圖 4.1 象限圖

(圖 4.1)說明兩個判斷標準：

1. 前車和前前車之間是否有保持人為的跟車安全距離(D_{human})，如果有，則自動車在跟車的距離可以較接近前車(i_2)，此情況落在圖形的二、三象限。如果落在一、四象限，則跟車距離必須拉長。
2. 其次則是要判斷兩車的相對速度，當前車快過本車，則可安心的保持現有距離或是加速；相反的，如果本車速度大過於前車，則距離就要有所顧忌。

接下來則是計算 D_{\min} 以及 D_{\max} ，分別以四個象限討論：

第一象限：

$$D_{12 \min 1} = mv_1 + \Delta S + \left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right| - nD_{23} + \varepsilon \quad (4.1)$$

其中 mv_1 是自動車在判斷時間(m 秒)，以 v_1 的速度會行走的距離。

ΔS 是依照拋物線加速度積分兩次之後所得到的位移。

nD_{23} 是前方車輛距離對跟車的影響。

$\left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right|$ 是以 7 m/s^2 的減速度，減速到和前方車輛相同時，會行走的距離。

ε 是誤差項。

$$D_{12 \max 1} = \Delta S + m v_1 + \frac{v_2^2}{2 \times 4} + \varepsilon \quad (4.2)$$

其中 mv_1 是自動車在判斷時間(m 秒)，以 v_1 的速度會行走的距離。

ΔS 是依照拋物線加速度積分兩次之後所得到的位移。

$\frac{v_2^2}{2 \times 4}$ 是前車以 4 m/s^2 的減速度，減速到靜止，會行走的距離。

第二象限：

$$D_{12 \min 2} = m v_1 + \left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right| - n D_{23} + \varepsilon \quad (4.3)$$

其中 mv_1 是自動車在判斷時間(m 秒)，以 v_1 的速度會行走的距離。

nD_{23} 是前方車輛距離對跟車的影響。

$\left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right|$ 自動車以 7 m/s^2 的減速度，減速到和前方車輛相同，行走的距離。

ε 是誤差項。

$$D_{12 \max 2} = \Delta S + m v_1 + \varepsilon \quad (4.4)$$

其中 ΔS 是依照拋物線加速度積分兩次之後所得到的位移。

mv_1 是自動車在判斷時間(m 秒)，以 v_1 的速度會行走的距離。

ε 是誤差項。

第三象限：

$$D_{12 \min 3} = m v_1 - n D_{23} + \varepsilon \quad (4.5)$$

mv_1 是自動車在判斷時間(m 秒)，以 v_1 的速度會行走的距離。

nD_{23} 是前方車輛距離對跟車的影響。

ε 是誤差項。

$$D_{12 \max 3} = \Delta S + m v_1 - n D_{23} + \varepsilon \quad (4.6)$$

$m v_1$ 是自動車在判斷時間(m 秒), 以 v_1 的速度會行走的距離。

ΔS 是依照拋物線加速度積分兩次之後所得到的位移。

$n D_{23}$ 是前方車輛距離對跟車的影響。

ε 是誤差項。

第四象限：

$$D_{12 \min 4} = m v_1 + \Delta S - n D_{23} + \varepsilon \quad (4.7)$$

$m v_1$ 是自動車在判斷時間(m 秒), 以 v_1 的速度會行走的距離。

ΔS 是依照拋物線加速度積分兩次之後所得到的位移。

$n D_{23}$ 是前方車輛距離對跟車的影響。

ε 是誤差項。

$$D_{12 \max 4} = \Delta S + m v_1 + \left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right| - n D_{23} + \varepsilon \quad (4.8)$$

$m v_1$ 是自動車在判斷時間(m 秒), 以 v_1 的速度會行走的距離。

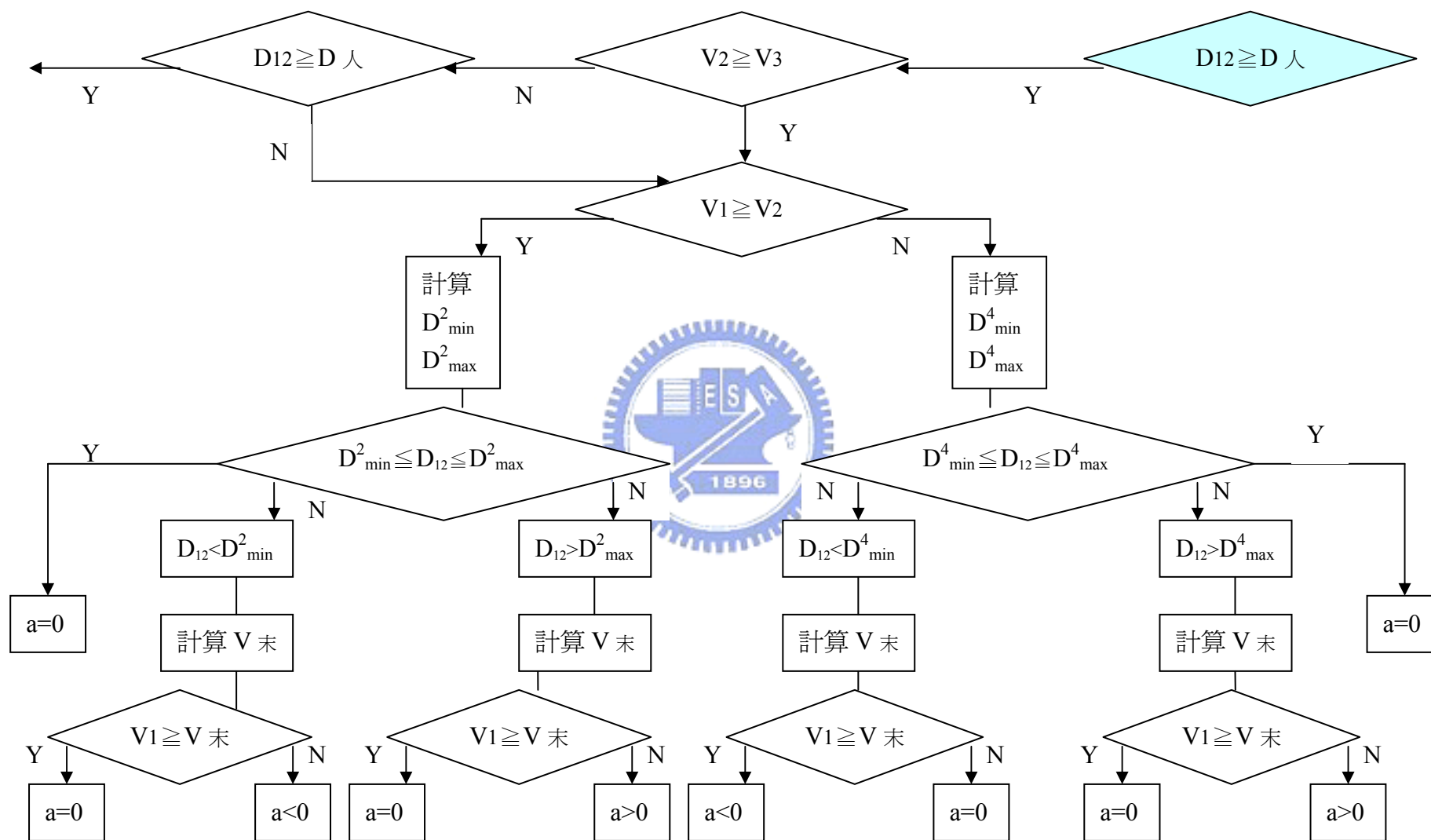
ΔS 是依照拋物線加速度積分兩次之後所得到的位移。

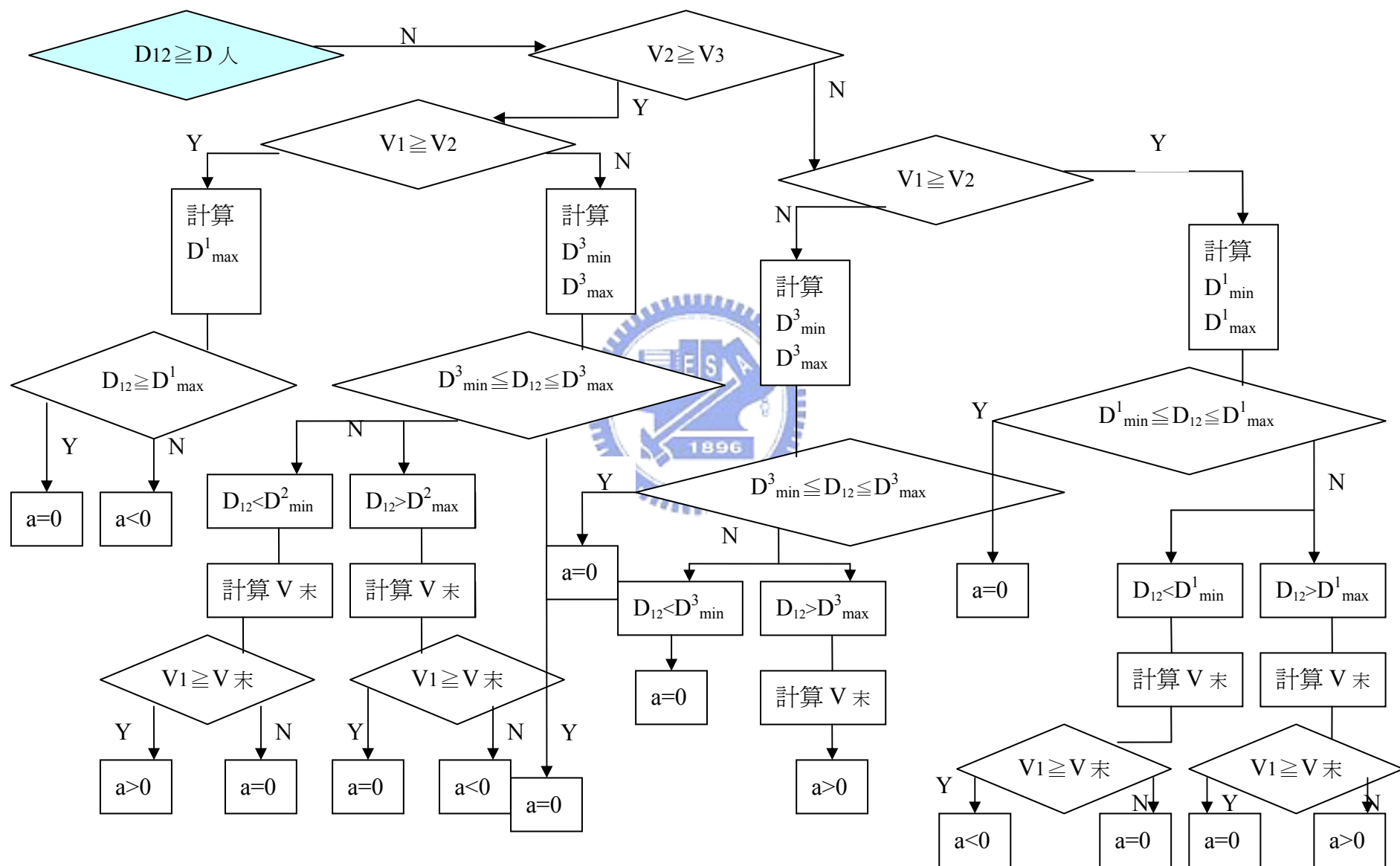
$n D_{23}$ 是前方車輛距離對跟車的影響。

$\left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right|$ 是以 7 m/s^2 的減速度, 減速到和前方車輛相同時, 會行走的距離。

ε 是誤差項。

第一象限的情況最為危險, 在前車已有可能煞車的情況下, 本車的速度又比前車快, 所以需要的最小安全距離也會比其他的狀況來得長, 所以考慮的情況也較為複雜, 在第三種情況, 前方車輛最不可能減速, 所以需要的最小距離也最短。第二象限的情況雖然本車速度大於前車, 但判斷前車不會立即減速, 所以 $D_{12 \min 2}$ 比第四象限的 $D_{12 \min 4}$ 小, 可用較近的距離跟車。(圖 4.2)是整各判斷的流程架構。





29
圖 4.2 架構

五、情境模擬

本章將使用 Turbo C 程式語言模擬第四章所表示的四個象限，也就是在各種情況下，最適當距離的判斷，以及使用到的拋物線加速度減速和加速，驗證模式的可行性，適時的修改模型，討論模式可行性，補足模型缺漏和思慮不周的地方。

5.1 程式撰寫

考慮到模擬的逼真性，原本希望使用車流模擬器模擬，但由於車流模擬器無法針對單一車輛控制，而且在函數被限定以及程式碼有限的狀況下，採用最原始的程式語言 C 語言做動態模擬，期望達到 ITS 需要的動態化、即時化、隨機化的目標。

5.1.1 程式撰寫流程

程式希望藉由自動車之前的手動車輛隨機變動速度或是藉由給定的加速度，讓在後面的自動車輛能夠經由程式，判斷跟車所要使用的模式，以及用給定的拋物線加速度跟車，且要動態表現出車輛的行為，流程圖如(圖 5.3)，解說如下：

1. 建立高速公路及事故系統：撰寫副程式 `road(void)`，繪出高速公路三車道的圖形，詳見 5.1.2。
2. 設定車輛初始位置：藉由 `int vehicle_location()` 函數，分別在不同情境，以顏色區隔自動車和手動車的差別，並且讓車輛由不同位置出發，詳見 5.1.2。
3. 車輛相關資料輸入：已經有車輛的位置，輸入手動車輛的相關數據，車速，加速度，和計算一秒鐘會行走的位移，由副程式 `Vehicle2()` 表示。
4. 模擬時間：藉由迴圈的設計，跑一次程式為間隔一秒鐘，一直到設定的秒數 n 秒才會終止迴圈。
5. 計算自動車輛的末速：計算末速之後，可以決定要加速度，或是減速度，並求出如果執行拋物線加速度或是拋物線減速度的時間，也就是模式加速度的係數 β 。求出 β 後就可以間接求出 α 。(為了滿足衝度要求要小於等於 2， $\alpha * \beta$ 必須等於 2)，計算時間的副程式為 `float beta()`。
6. 模式選擇：由於已經有前方車輛的資訊，判斷距離、相對車速，選擇四種狀況之一種應該使用的模式，確定模式後，計算此模式的 D_{\min} 或

是 D_{\max} 。

7. 再判斷自動車和前車距離是否小於或是大於 D_{\min} 或是 D_{\max} ：如果在範圍內，則選擇等速度前進，如果大於或是小於，則使用拋物線加速度加速或者是減速。
8. 資料蒐集：每一秒鐘執行的兩車速度、兩車距離、位移、 D_{\min} 或是 D_{\max} ，可以回傳到記事本上，加以分析
9. 執行下一秒：跑下一圈迴圈。



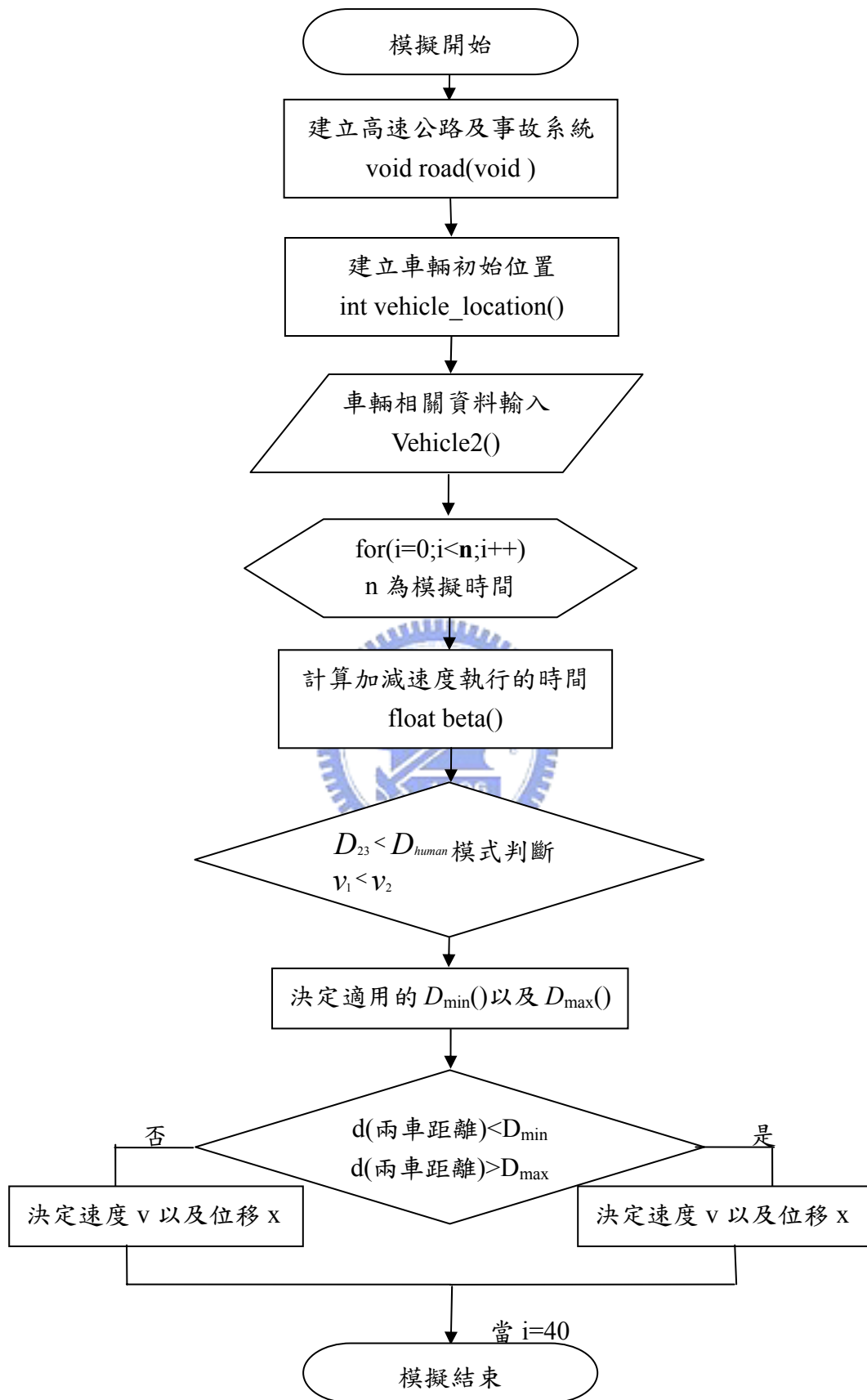


圖 5.3 程式流程圖

5.1.2 繪圖程式

模擬所需要用到的背景在高速公路，使用 C 語言中的<graphics.h>函式庫繪出三車道的高速公路，其中內側車道為自動控制車輛車道，並且此車道上有事故發生，以條紋斜線表示事故，一個像素長度假設為一公尺，螢幕可以放置最大圖形為 640*480，故按比例，整條公路路徑為 640 公尺，事故位置位於左邊數來五百八十公尺至六百公尺處，如(圖 5.1):

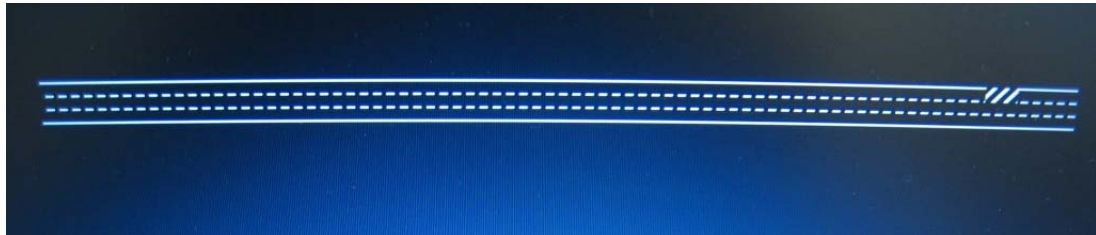


圖 5.1 車道

除此之外，自動車輛我們以黃色作為表示，人為操縱車輛以綠色作為表示，初始以三輛車作為模擬對象，試驗模式在三輛車時的正確性，故三輛車在混合車道上，設定在第二車道，車與車的距離暫時不設定，車長占圖形五個點，為五公尺，寬占兩個點，如圖 5.2 示：

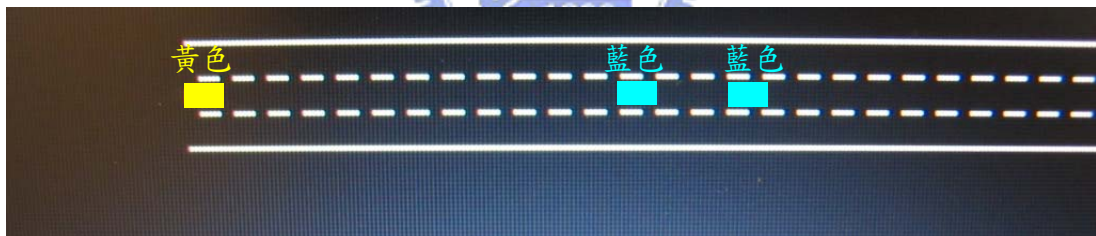


圖 5.2 車輛

5.1.3 距離判斷

要判斷 i_1 和 i_2 之間的距離(D_{12})是否少於 D_{\min} 或是大於 D_{\max} ，要判斷 D_{\min} 或是 D_{\max} 需要計算拋物線加速度位移 S ， S 要有加速的總時間(β)來計算，所以要先求出 β ，求 β 需要知道自動車輛(i_1)的末速，求出末速後，利用公式 $v(t) = \frac{\alpha}{3}t^3 - \frac{\alpha\beta}{2}t^2 - \gamma t + v_0$ ，知道 $v(t)$ 和 v_0 解聯立方程式求出 t ，也就是 β ；如果求出的末速度和初速度相同時，這時求出的 β 會等於 0，此時求不出位移 S ， S 的使用時機主要是針對前車速度較慢，為了使用拋物線減速而設定，減速度最大值是 2m/s^2 (一般緊急煞車減速度是 7m/s^2)，固計算出 S 其實是相當大的(加速度大小和位移多寡成反比)。所以如果前車速度較快， D_{\min} 或是 D_{\max} 則不放入 S 變數。也就是(圖 4.1)中的第三和第四象限。

將四種象限的自動車輛判斷距離使用四個函數在程式中表示：

1. D_min1 :

$$D_{12\min 1} = m v_1 + \Delta S + \left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right| - n D_{23} + \varepsilon \quad (5.1)$$

$$D_{\min} = 0.05 * v_1 + S + ((v_1 + v_2) * (v_1 - v_2)) / 14 - 0.002 * (20 + \text{average-decrease}) \quad (5.2)$$

在(5.1)中，為原先設定之 $D_{\min 1}$ 模式，對照(5.2)之程式， m 假設為 0.05， n 假設為 0.002， D_{23} 是(20+average-decrease)， i_2 車輛車尾所在位置為圖形(105+decrease)處， i_3 車頭所在位置為圖形(125+average)處，其中”decrease”變數初始為零，隨時間而增加，代表 i_2 每一走秒之後的位移，”average”變數初始也為零，隨時間而增加，代表 i_3 每一走秒之後的位移，兩者相減即為兩車距離，也就是 D_{23} 。S 為使用拋物線減速度行走的位移，也就是當 $S(t) = \frac{\alpha}{12} t^4 - \frac{\alpha\beta}{6} t^3 - \frac{\gamma}{2} t^2 + v_0 t + S_0$ 在 $t=\beta$ 的情況下，也就是 $S(\beta)$ ，又 $\alpha*\beta=2$ (見第三章)，程式中寫法為 $S=(-\text{pow}(B,3))/6+v_1*B$ ；其中 B 就是加速度需要加執行的時間，就是在公式(3.4)中， $a(t)=\alpha(t-\beta)-\gamma=\alpha t^2-\alpha\beta t-\gamma$ 的 β 。此為(圖 4.1)的第一象限。

2. D_min2

$$D_{12\min 2} = m v_1 + \left| \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 7} \right| - n D_{23} + \varepsilon \quad (5.3)$$

$$D_{\min 2} = 0.05 * v_1 + S - 0.002 * (20 + \text{average-decrease}); \quad (5.4)$$

(5.3)是原先設定的公式，在程式中(5.4)的函數卻加入了位移 S，因為在此種狀況下前車的速度較慢，在本節前面有提到過，只要前車較慢， D_{\min} 將加入 S。 m 和 n 依然使用 0.05 和 0.002。此為(圖 4.1)的第二象限。

3. D_min3

$$D_{12\min 3} = m v_1 - n D_{23} + \varepsilon \quad (5.5)$$

$$D_{\min 3} = 0.05 * v_1 - 0.002 * (20 + \text{average-decrease}); \quad (5.6)$$

此為(圖 4.1)的第三象限。

4. D_min4

$$D_{12\min 4} = m v_1 + \Delta S - n D_{23} + \varepsilon \quad (5.6)$$

$$D_{min4}=0.05*v_{11}+pow(v_{1,2})-0.002*(20+average-decrease); \quad (5.7)$$

(5.6)是原先設定的公式，在程式中(5.7)的函數則不加入 S ，因為前車的速度較快。 m 和 n 依然使用 0.05 和 0.002。此為(圖 4.1)的第四象限。

5.1.4 程式

程式撰寫如附表一

5.2 情境模擬與分析

針對(圖 4.1)的四個象限，針對每一種象限做個別的情境模擬，判斷每個象限的 D_{min} 或是 D_{max} 是否合理，距離會不會過大，使得後車可以超越或是鄰近車道車輛超車；如果距離過小，前車緊急煞車， D_{min} 是否足夠而不至於撞車。將初始值設定為各象限所假定發生的情況，以下為各情境的模擬過程及數據分析。

5.2.1 情境一

在第一象限中，由於前車(i_2)和前前車(i_3)的距離過近，又本車的速度大於前車，也就是 $D_{23} < D_{human}$ ， $v_1 > v_2$ 。在模擬中，設定開始的位置，(i_1)、(i_2)和(i_3)的 x 座標分別為(i_1)=10、(i_2)=100、(i_3)=125 作為起始，初始速度(v_1)為 20m/s，(v_2)=18m/s、(v_3)=18m/s=65km/h，如(圖 5.4)：

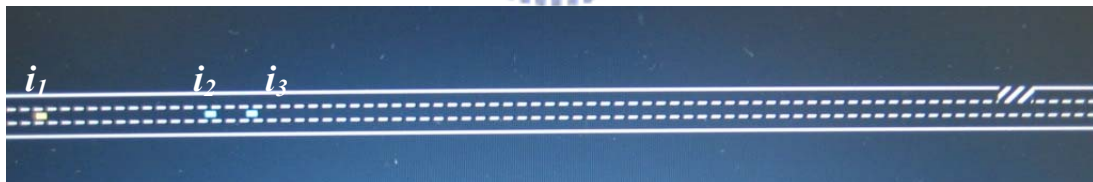


圖 5.4 情境模擬一

設定跑三十秒，如果程式在某一秒有使用到模式 1(D_{min1})，則會隨著數據回傳到文件，因此便可以判斷在使用模式 1 時是否有錯誤。結果如表 5.1：

表 5.1 模擬情境一

秒	v_1	v_2	i_1 每秒 x 座標 位置	i_2 每秒 x 座標位 置	兩車在 前一秒 位置差 距(d)	D_{\min}		
1	20	15	25	119	95	81.23721		
2	20	14	45	134	94	87.658325 here use model1		
3	19.13608	12	63	149	89	97.62539		
4	19.13608	13	82	161	86	83.45139		
5	19.13608	17	101	172	79	50.832508 here use model1		
6	18.29322	13	118	191	71	83.42539		
7	18.29322	14	136	204	73	67.18501		
8	18.29322	15	154	218	68	59.04187		
9	18.29322	16	172	233	64	48.799500 here use model1		
10	17.48567	14	189	250	61	67.16101		
11	17.48567	16	206	263	61	33.747795 here use model1		
12	16.67812	13	222	280	57	64.17597		
13	17	17	233	291	58	20.58845		
14	17	15	250	309	58	44.487267 here use model1		
15	16.19245	13	265	325	59	61.25695		
16	16	16	277	337	60	19.40587		
17	17	17	293	353	60	18.94171		
18	17	16	310	370	60	31.63998		
19	18	18	325	385	60	21.34286		
20	18	17	343	403	60	33.55689		
21	18	17	361	420	60	33.556889 here use model1		
22	17.19245	14	377	438	59	65.31249		
23	17	17	390	451	61	21.814503 here use model1		
24	16.17213	12	405	470	61	67.1994		
25	17	17	415	480	65	19.323883 here use model1		
26	16.17213	12	430	499	65	67.1854		
27	16.17213	13	446	511	69	51.25685		
28	16.17213	12	462	524	65	58.10788		
29	16	16	472	534	62	19.28788		
30	16	12	488	552	62	57.08142		

在分析時先用前六秒鐘分析，因為在初始值就設定此種情境的狀況，所以前面的秒數較容易顯示第一象限的狀況，前六秒鐘速度一直都是

$v_1 > v_2$ ，分別在第三秒和第五秒的時候 $d < D_{\min}$ ，因此第三秒開始減速，使用拋物線減速度減速，第二秒的速度是 20m/s，第三秒速度變成 19.14m/s，這秒鐘內自動車前進了 18 公尺(63m-45m)，小於在等速時的 20 公尺，而應該減速的時間 β 計算方式為 $\sqrt{3 \times (v_1 - v_2)}$ ，第二秒 $v_1 = 20$ ， $v_2 = 14$ ，所以 β 值為 4.24 秒鐘，但由於在第三秒時，兩車的距離又恢復在可接受的範圍內，就沒有繼續執行減速；第二次模擬，將前車的車速逐漸的放慢等減速，如下一個表(表 5.2)的 v_2 ，可發現，從第四秒開始使用拋物線減速度開始減速， β 應該為 $\sqrt{3 \times (20 - 16)} = 3.4$ 秒，的確，四至六秒由於距離仍然在危險值 D_{\min} 內，所以仍在減速直到第七秒為止。

表 5.2 模擬情境二

秒	v_1	v_2	i_1 每秒 x 座標位置	i_2 每秒 x 座標位置	兩車在前一秒位置差距(d)	D_{\min}		
1	20	18	25	118	95	52.92888		
2	20	17	45	136	93	64.38857		
3	20	16	65	153	91	73.59954		
4	20	15	85	169	88	81.2352	here use model1	
5	19.15714	14	103	184	84	87.65032	here use model1	
6	16.09994	13	160	198	81	83.59733	here use model1	
7	10.65655	12	251	211	38	57.81779		

5.2.2 情境二

前車(i_2)和前前車(i_3)保持人為的安全距離，又本車的速度大於前車，也就是 $D_{23} > D_{human}$ ， $v_1 > v_2$ 。在模擬中，設定開始的位置，(i_1)、(i_2)和(i_3)的 x 座標分別為(i_1)=10、(i_2)=30、(i_3)=95 作為起始， D_{23} 的值會比前一各情境時大，初始速度(v_1)為 20m/s，(v_2)=18m/s、(v_3)=18m/s=65km/h，如(圖 5.5)：

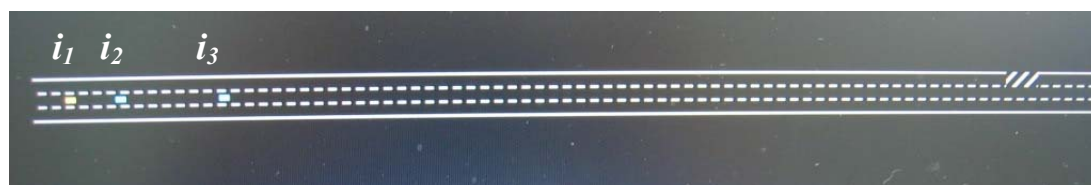


圖 5.5 情境模擬二

因為 $D_{\min 2} = 0.05 * v_1 + S - 0.002 * (20 + \text{average-decrease})$ ，因為有 S，所以仍必需求得減速度的時間 β ，而模擬結果如下表 5.3

表 5.3 情境模擬二

秒	v_1	v_2	i_1 每秒 x 座標 位置	i_2 每秒 x 座標位 置	兩車在前一秒位 置差距(d)	D_{min}	
1	19.3849	19	24	48	25	34.7349	here use model
2	19	19	43	67	24	27.7687	
3	20	20	62	86	24	26.6957	
4	19.3849	19	81	106	24	34.7389	here use model
5	19	19	100	125	25	27.7762	
6	19	19	119	144	25	26.7037	
7	18.3849	18	137	163	25	32.9649	here use model
8	19	19	155	181	26	25.0344	
9	19	19	174	200	26	26.7077	
10	19	19	193	219	26	26.7092	
11	19	19	212	238	26	26.7117	
12	20	20	231	257	26	26.7132	
13	19.3849	19	250	277	26	34.7569	here use model
14	19	19	269	296	27	27.7947	
15	18.3849	18	287	315	27	32.9809	here use model
16	19	19	305	333	28	25.0504	
17	18.3849	18	323	352	28	32.9829	here use model
18	18	18	341	370	29	25.0524	
19	20	20	360	389	29	24.0328	here use model
20	19.2727	18	379	408	29	47.5343	here use model
21	20	20	398	427	29	27.4873	
22	19.3849	19	417	447	29	34.7729	here use model
23	20	20	436	466	30	27.8102	
24	20	20	456	486	30	29.5733	
25	20	20	476	506	30	29.5773	

由表可知，在第 1、4、7、13、15、17、19、20、22 秒都有進入模式二減速，但在第 2、3、5、6、9、10、11、12、14 秒，雖然 $d < D_{min2}$ ，但是並沒有進入模式二中，原因是因為速度的關係；必須要在 $v_1 > v_2$ 的情況下才會進入模式中，但這幾秒雖然已經小於 D_{min2} ，但是因為 $v_1 < v_2$ ，所以是使用模式三在判斷 D_{min} ，運用模式三在減速。而兩車間的間距也都維持的很固定，大概在 24~30 公尺之間。

5.2.3 情境三

前車(i_2)和前前車(i_3)保持安全距離，又本車的速度大於前車，也就是 $D_{23} > D_{human}$ ， $v_1 > v_2$ 。在模擬中，設定開始的位置，(i_1)、(i_2)和(i_3)的 x 座標分別為(i_1)=10、(i_2)=30、(i_3)=95 作為起始， D_{23} 的值會比前一各情境時大，初始速度(v_1)為 19m/s，(v_2)=18m/s、(v_3)=18m/s=65km/h， i_2 車速會加速但不會減速，只要小於 $D_{min}=0.05*v_1-0.002*(20+average-decrease)$ 就會使用拋物線減速度減速，初始如(圖 5.6)

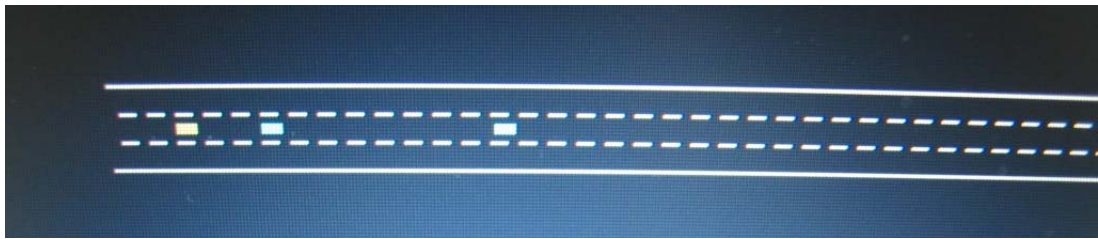


圖 5.6 模擬情境三

模擬結果如表 5.4



表 5.4 模擬情境三

秒	v_1	v_2	i_1 每秒 x 座標位置	i_2 每秒 x 座標位置	兩車在前一秒 位置差距(d)	D_{\min}	
1	19	19	24	48	20	0.91	model3
2	19	19	43	67	19	0.91	model3
3	19	20	62	86	19	0.912	model3
4	19	19	81	106	19	0.914	model3
5	19	19	100	125	20	0.918	model3
6	19	19	119	144	20	0.92	model3
7	18.3849	18	137	163	20	32.96494	
8	18.3849	19	155	181	21	0.893245	model3
9	18.3849	19	173	200	21	0.893245	model3
10	18.3849	19	191	219	22	0.895245	model3
11	18.3849	19	209	238	23	0.897245	model3
12	18.3849	20	227	257	24	0.899245	model3
13	18.3849	19	245	277	25	0.901245	model3
14	18.3849	19	263	296	27	0.905245	model3
15	18.3849	18	281	315	28	0.907245	model3
16	18.3849	19	299	333	29	0.909245	model3
17	18.3849	18	317	352	29	0.909245	model3
18	18.3849	18	335	370	30	0.911245	model3
19	18.3849	20	353	389	30	0.911245	model3
20	18.3849	18	371	408	31	0.913245	model3
21	18.3849	20	389	427	32	0.915245	model3
22	18.3849	19	407	447	33	0.917245	model3
23	18.3849	20	425	466	35	0.921245	model3
24	18.3849	20	443	486	36	0.923245	model3
25	18.3849	20	461	506	38	0.927245	model3
26	18.3849	20	479	526	40	0.931245	model3
27	18.3849	18	497	545	42	0.935245	model3
28	18.3849	18	515	563	43	0.937245	model3
29	18.3849	19	533	581	43	0.937245	model3
30	18.3849	19	551	600	43	0.937245	model3

由結果可知，由於 D_{\min} 相當的小，所以 d 幾乎都是大於 $D_{\min3}$ 又介於 $D_{\max3}$ 之間，所以車輛都是等速在前進，唯有在第七秒的時候，因為 $v_1 > v_2$ ，

所以 D_{\min} 的計算跳進模式二中，模式二的安全距離遠大於模式三的 $D_{\min 3}$ ，所以在第七秒速度減慢，隨後又因為 v_2 的速度又大於 v_1 ，因此又回到模式三中。

5.2.4 情境四

前車(i_2)和前前車(i_3)並沒有保持安全距離，也就是 $D_{23} < D_{human}$ ；但本車的速度小於前車，所以有可能前車會減速。在模擬中，設定開始的位置，(i_1)、(i_2)和(i_3)的 x 座標分別為(i_1)=10、(i_2)=40、(i_3)=75 作為起始， D_{23} 的值會比前一各情境時小，初始速度 (v_1) 為 18m/s，(v_2)=19m/s、(v_3)=18m/s=65km/h， i_2 車速會逐漸減速但不會加速，同其他情境一般，只要小於 D_{\min} 就會使用拋物線減速度減速，初始如圖 5.7

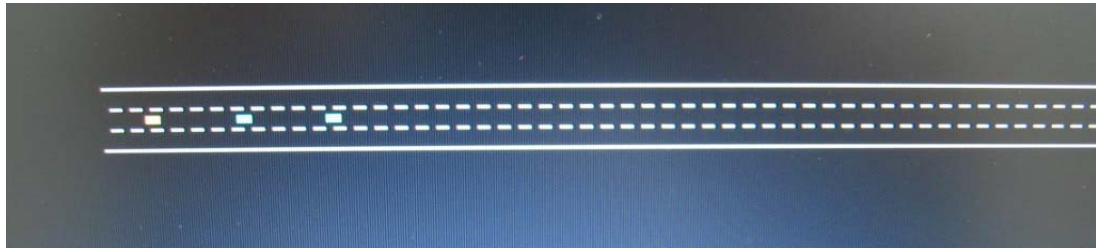


圖 5.7 模擬情境四



表 5.7 模擬情境四

秒	v_1	v_2	i_1 每秒 x 座標位置	i_2 每秒 x 座標位置	兩車在前 一秒 位置差距 (d)	D_{\min}	
1	18	18	23	49	30	24.00286	
2	18	19	41	67	31	24.00486	model4
3	17.3849	17	58	85	31	31.17289	
4	17.3849	19	75	103	32	22.41944	model4
5	17.3849	18	92	122	33	22.41944	model4
6	17.3849	17	109	140	35	22.42144	model4
7	17.3849	19	126	158	36	22.42144	model4
8	17.3849	19	143	177	37	22.42144	model4
9	17.3849	16	160	195	39	30.08075	
10	17.3849	18	177	212	40	22.42345	model4
11	16.65707	15	193	229	40	40.96789	
12	16.65707	16	209	244	41	20.61327	
13	16.65707	18	225	261	40	20.60727	
14	16.65707	15	241	278	41	28.77171	model4
15	16.65707	17	257	294	42	20.60327	model4
16	16.65707	19	273	312	42	20.59927	model4
17	16.65707	17	289	330	44	20.59927	model4
18	16.65707	18	305	347	46	20.59927	model4
19	16.65707	16	321	364	47	20.59727	model4
20	16.65707	17	337	380	48	20.59527	model4
21	16.65707	15	353	396	48	28.75771	
22	16.65707	18	369	412	48	20.58727	model4
23	16.65707	19	385	430	48	20.58327	model4
24	16.65707	19	401	449	50	20.58327	model4
25	16.65707	15	417	466	53	28.75171	
26	16.65707	15	433	481	54	28.74971	
27	16.65707	17	449	497	53	20.57727	model4
28	16.65707	18	465	514	53	20.57327	model4
29	16.65707	15	481	531	54	28.73771	
30	16.65707	18	497	547	55	20.56927	model4

5.3 模式適用情境

在調整完四個模式之後，為了更了解模式的適用性，因此設定幾個特定的情境，分別發生於不同的車流行為之下，模擬其中幾個前車可能產生的行為，對於後方跟車的車輛為自動車輛邏輯判斷，所需要煞車的時間、或者是需要煞車的最短距離、或是加速的最佳時間，最佳距離……等等。

5.3.1 緊急煞車

假定前方車輛緊急煞車到停止，計算自動車反應前方車輛由開始煞車到停止的時間，假定後車自動車以時速 70 公里行駛，前車人為駕駛以 60 公里行駛，變動兩車在不同的車距(distance gap)下，從時速 60 公里以加速度為 -6m/s^2 開始煞車至停止，得到結果如下表 5.8：

表 5.8 距離對煞車時間

D12	50m	60	70	80	90
減速時間	撞上	撞上	撞上	7 秒	9

由上表可知，當自動車已 70kph 的速率行駛時，兩車速差為 10kph，需要維持 80 公尺的安全距離才能避免相撞，如果用拋物線減速度減速需要七秒鐘的時間，如果相距九十公尺則需要九秒鐘的時間減速至停止。

由上述結果，得知從兩車相距 50~70 公尺，由於自動車速度過快，無法安全煞車至停，因此第二個實驗則是固定兩車距離，變動速度，將自動車和前方的人為操縱車的距離固定為 60 公尺，其他狀況維持不變之下，調整後方自動車輛的速度，從 50kph 開始測試至 90kph，其結果如下表 5.9：

表 5.9 速度對煞車時間

v1	50kph	60	70	80	90
減速時間	9 秒	5 秒	撞上	撞上	撞上

速度增加至 60kph 下，可以 5 秒鐘的煞車時間至停止，一旦增至 70kph，會因為減速的時間不足而撞上；也符合表 5.8 的結果：在第一各實驗中，自動車的速度假設為 70kph，70 公尺的間距(distance gap)是無法停止的。

5.3.2 模式轉換

當兩車車速相同時，需要預期前方車輛下一秒為減速或是加速，作為跟車車輛是否需要減速的依據；第一個實驗假設，在自動車正前方的一般

車輛，跟車距離維持的遠近，將會改變使用模式的種類。模式二表示前方車輛和前前車輛，維持人為適當跟車距離；模式一代表前車與前前車距離，小於人為駕駛應保持的安全距離，如果前車原本保持安全距離，轉變成沒有維持應有的安全距離，自動車對應的模式將從模式一轉變為模式三，如表 5.10 所示，假設自動車車速維持 70kph，前方人為車輛速度為 60kph，而更前方的車輛突然減速，導致前車跟車距離不足，這時模式的轉變將使得原本是不需要減速的自動車輛，必須要減速來對應。

表 5.10 改變模式的減速時間

D12	50m	55m	60m	70m	71m	73m	75m
減速時間	2 秒	2 秒	2.5 秒	3 秒	3 秒	5 秒	8 秒

表 5.10 可以分為兩部份觀察，第一部分是 50 公尺到 70 公尺的距離，減速只需要 2~3 秒的時間，第二部分從 70~75 公尺則減速的時間明顯增長；因為第一部份的兩車間距在模式一中，小於跟車的最小值，所以立即採取減速；第二部份是由於轉變到模式一後，由於距離夠長，並沒有立即減速，而是等速前進，導致自動車追進後，才開始減速。

同理，判斷模式三以及模式四，假設前車和前前車的車距(distance gap)縮短，從原本模式四跳至模式三，這時減速時間和距離的關係為表 5.11。

表 5.11 改變距離

D12	50m	60	70	80	90
減速時間	2 秒	2 秒	3 秒	3 秒	3 秒

表 5.11 並沒有出現如同表 5.10 差距相當的大，主要的原因在於，由於模式三和模式四的判斷距離公式，都是在前車的速度快於後方的自動控制車輛的情況下發生的，所以兩個模式對於前車的減速，皆可以在相當短的時間內完成，即使是兩車距離變大，隨著模式改變，反應的時間並沒有太大的差別。

5.4 小結

在做整體的事故模型之前，為了能夠先判別個別模式的適用性，因此在此章節先從三輛車開始，針對每一種模式可能發生的情境下，做最簡化模型的模擬。如果能夠先判斷三輛車行駛時的適用性後，再推廣至整條車

道，雖然此章的模擬能夠成立；但如推廣至混合車流的跟車行為能否成立，則需要更近一步的模擬驗證，這部份將在下一章節中討論。



六、模式驗證

前章主要為調整模式參數的大小，給定不同可能發生的情境，判斷個別的模式是否合用，以及模式轉換的可行性，以求得最安全以及舒適的跟車方式。本章的模擬將要加強模式的可行性，實驗將增加車輛數，調整車道上自動車輛的比率，找出可以判定跟車好壞的方式，加強驗證模式的可行性。

6.1 跟車檢測標準

在人為跟車的方式中，由於每個人的反應不同，對安全距離的看法不同，跟車也會有些許的差異，因此，跟車方式何謂好、何謂不好，見仁見智；或許給定兩個坐在自動車輛上的乘客，在相同的車流狀態下，其中一人會認為跟車過近、車速過快；但另一人卻不這麼認為。一個客觀的標準判斷應該符合什麼樣的條件，探討如下節。

6.1.1 跟車標準的認定

最簡單也是最基本，大家都熟知的跟車方式，即是跟車要適應前方車輛的速度轉變，不至於撞到前車；如此之外，跟車距離也不可過遠，導致後方車輛產生擁擠(queue)；或是因應前方車輛減速，自動車輛在減速時，產生過大的效應，造成後方車輛的擁擠；GM 在發展跟車模式時，訂立一個跟車穩定性指標，利用反應時間乘上敏感度，就是為了避免後車面對前車減速時，使得更後面的車輛都要煞車。或是在跟車時，雖然不會撞上前車，但加減速唐突，次數頻繁，導致車內乘客的不舒適。如果能夠符合上述幾點，排除各人對距離的感受因素，即是可接受的跟車模型。

由於文中模型的加減速控制，已經考慮搭乘者的舒適與否(第三章)，因此排除掉車輛加減速時乘客的感受，只需要對另外兩點訂立判斷的準則。

6.1.2 制定跟車檢測標準

要使此模式能真正應用於自動車控制邏輯之上，先不論舒適度與否，必須要在確保安全的情況下，才有實施的可能。因此，跟車檢測標準中，最基本的跟車要求，必須後車不可撞上前方行駛之車輛，此一邏輯確定之

後，即可消除自動車上乘客安全的疑慮。這方面在程式中的判定，自動車對於前方的一般車輛跟車間距必須大於五公尺以上(自動車對自動車的跟車間距則不受此限)，有此前提之後，再顧及後方車輛的穩定性，不會因為前方車輛的減速而導致後方安全上的問題。

經過上述判斷，我們採用幾個車流的指標作為判斷的依據：

1. 兩車的車距(distance gap)需要大於零：後車不能撞上前車，雖然這是最基本要求；但並非全然是由後車所決定，後車的反應是針對前車的動作，如果前車減速力道過猛，自動車減速度調整相對也較大，而後面的車輛，卻有可能產生碰撞的機會。因此除了兩車在同一車道上的間距不能小於零之外，必須還要符合下面一項。
2. 在 Adolf D.May[17]的跟車理論一節中，利用美國通用汽車公司所建立的指標，判別跟車時的穩定性，以 C 表示，公式為：

$$C = \alpha(\Delta t) \quad (6.1)$$

其中 α 代表的是第一代 GM 模式 $\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \alpha[\dot{v}_n(t) - \dot{v}_{n+1}(t)]$ 中的 α ， α 表示敏感性(sensitivity)，其單位為時間的倒數(sec⁻¹)，而 Δt 為反應時間，這各指標主要依據 GM 跟車模式所設定；求出加速度以及前後車的速差，便可求得 α ，藉此再找到反應時間，即可套用此公式，作為自動車跟車穩定性的指標之一。判斷穩定與否如表 6.1：

表 6.1 跟車穩定性指標

Local stability	Asymptotic stability
L1 : $0 < C < 1/e$ Nonosillatory	A1 : $C < 0.5$ Damped oscillatory
L2 : $1/e < C < \pi/2$ Damped oscillatory	A2 : $C > 0.5$ Damped oscillatory
L3 : $C > \pi/2$ Increased osillatory	

其中 Local stability 使用在只有兩部車跟車時，Asymptotic stability 使用時機在許多部車輛一起行駛時，其中如果 C 值落在 **L1**，則車流不會產生震盪，屬於穩定車流，如果落在 **L2**，車輛雖然會產生震盪，但會漸漸調整至收斂而穩定；但如果 C 值落在 **L3**，則後車的震盪將會過大而無法收斂至穩定導致後車撞上前車；若以 Asymptotic stability 的角度觀察，落在 **A1** 雖然屬於穩定車流，但是一旦 C 值介於 $1/e \sim 0.5$ ，則

車流會產生震盪，不過仍然能夠收斂至穩定。相反的，假使 C 值落在 A_2 ，雖然不穩定，但是如果 C 值能夠介於 $0.5 \sim \pi/2$ 之間，則車流雖會震盪但仍收斂，一旦 C 值超過 $\pi/2$ ，就會導致撞車。

3. 衝擊波(shockwave)的產生：shockwave 的定義，在 Adolf D.May[17]車流理論書中提到，衝擊波為不連續的兩個車流狀態的邊界(boundary of discontinuity or boundary of two states)。自動車對應前車速度突然減慢，而產生煞車行為造成的衝擊波，和原本全部車輛皆為人為操作，所產生的衝擊波的波速、波形，兩者比較，對自動車後面的車輛車流狀態和全部車輛為手動車輛有何不同，或是產生另一道衝擊波，可藉由此判斷對後車的影響。如(圖 6.4)。
4. 車隊平均長度：類似密度(number of vehicle/distance)的概念，固定一個時間點，由於受限於道路的長度，因此在給定相同的流量、速度下，當第一部車到達一定點時，連續觀測其後面的車輛，共十輛車，計算在此時間點行駛在單一車道上的總長度，將十輛車的長度除以 10，再扣除車長後即為跟車的平均距離。判斷一般跟車的距離(spacing or distance gap)，之後調整自動車輛的比率，求得自動車輛平均跟車距離(spacing)。如(圖 6.4)。
5. 通過事故點的時間：類似流量的概念，假定車流從自由車流下進入事故車流，第一輛車從事故點旁邊通過開始，一直到所有車輛皆通過事故點為止的時間，假設先以全部人為操作車輛的時間，固定第一輛車以相同的速度，再配合不同比率的自動車輛，觀測全數通過的時間，比較自動車模式是否比人為操作車輛更有效率，或是多少比例的自動車能使得車流更加順暢。如(圖 6.3)。

本章主要總和以上幾個指標點來判斷跟車模式的合用性，以及自動車的多寡對車流狀態產生的改變是好亦或不好。

6.2 模擬初始狀態設定及一般車輛之檢定

首先，在模擬程式中包含了一般人為車輛以及自動駕駛車輛，在判斷自動車輛跟車之前，對於人為操作車輛是否合於一般人為判斷，我們以微觀車流模擬軟體 PARAMICS 先對人為車輛跟車做驗證，如果程式邏輯符合 PARAMICS 釋放車輛後的車流行為，才將自動車輛放入。

6.2.1 初始流量及密度設定

程式的車流釋放將採用一分鐘的流量釋放車輛，假設車流初始流量符合普瓦松(Poisson)分配，服從 $Poisson(\lambda)$ ，平均每分鐘釋放 λ 輛車。因此，可以得知，如果系統跑一分鐘，平均每輛車釋放的間隔秒數為 60 除以 λ ，為了不讓每輛車間隔相同秒數，因而將 $60/\lambda$ 做為 Normal 分配的 μ ，變異數為 1，亦即每輛車的間隔秒數服從 $N(\mu, 1)$ 來釋放。

由於只用流量無法判斷車流的狀態，有可能高流量不一定高密度，低流量不一定低密度，因此我們對照 Greenshields model，假定高速公路每小時最大流量為 1800 輛車(3600/2)，換算為分鐘流量為一分鐘 30 部車，最大可行駛速度為 110km/hr=30.56m/s，如此可求得 Greenshields 模型流量對速度，以及密度的函數，如(圖 6.1)(圖 6.2)。

將(圖 6.2)分為左右兩部份，以最大流量 30 為界，分為左右兩邊，左邊可以視為一般狀態下，最高限速下的自由車流，右邊則可視為車流擁擠下的狀況，我們將之假定為事故發生時的車流；相同流量下，對應高低兩種密度，車速也會有高低兩種，模擬時利用控制車速、流量後相對可得到密度，便可以得到自由狀態下的車流跟車情況，以及事故狀態下的跟車情況。所以，程式可輸入初始流量，速度，判別使否會相撞，是否產生衝擊波，以及通過事故點的時間。

假設初始流量設定為 30(veh/s)，速度只有一個，即為 15(m/s)，倘若流量降低，則流量對速度的公式為 $v = 15 \pm \sqrt{225 - 7.5 * q}$ ，速度大於 15(m/s)為低密度，自由狀態車流下，小於 15(m/s)則為擁擠狀態車流。

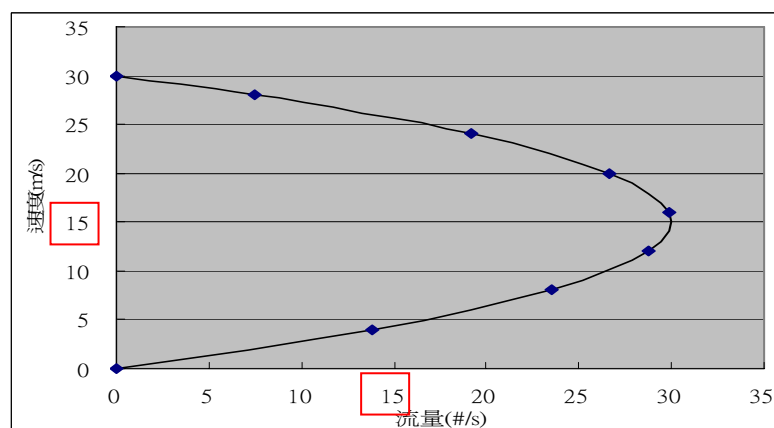


圖 6.1 Greenshield 模式下流量對速度示意圖

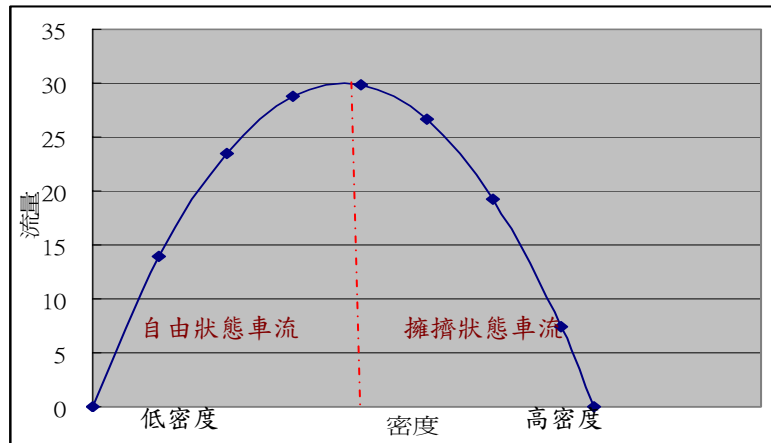


圖 6.2 Greenshield 模式下流量對密度示意圖

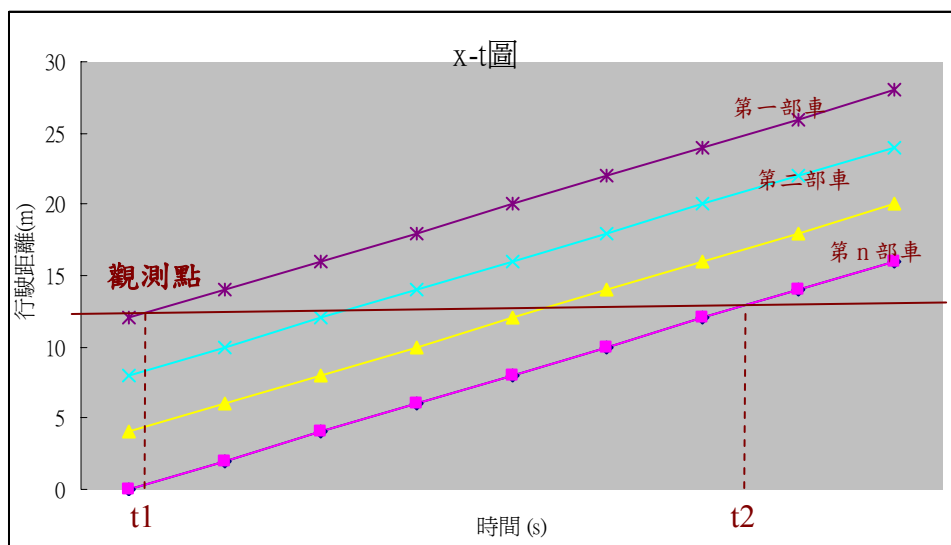


圖 6.3 x-t 圖，固定 x

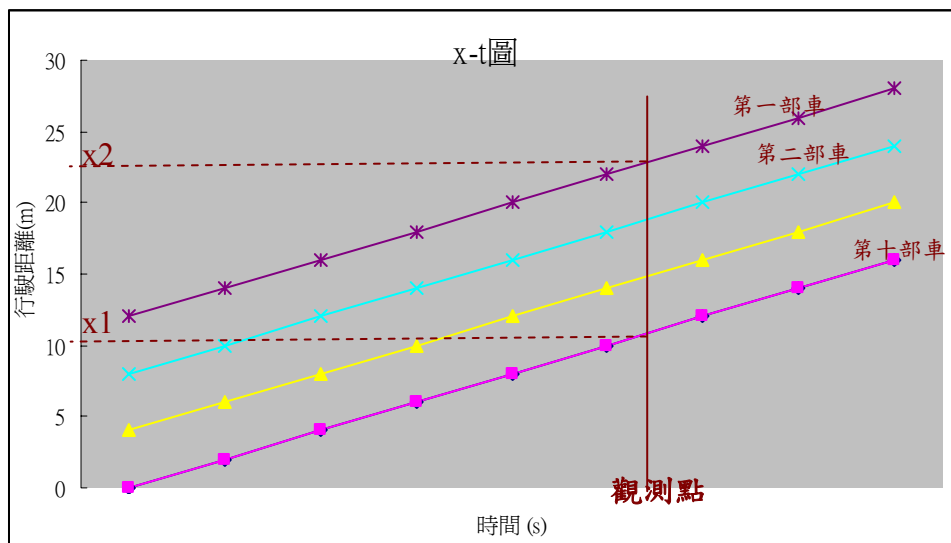


圖 6.4 x-t 圖，固定 t

6.2.2 利用車流模擬軟體調整人為操作車輛控制邏輯

為了求得精準的車流模式，我們拿程式所撰寫的人為操作車輛控制邏輯和微觀車流模擬軟體 PARAMICS 做比較，將程式和模擬軟體釋放車輛的初速以及流量調成相同，測試的道路為長度相同的單一車道，車輛長度也設為相同，車種皆為小客車。由於是為了調整人為車輛跟車邏輯和軟體相同，所以採用四種方法來判別：

1. 已經設定流量，初速，固定一個觀測點，觀測所有車輛通過的時間作為比較，如(圖 6.3)，觀測時間為 (t_2-t_1) 。
2. 也是固定一個時間點，由於受限於道路的長度，因此在給定相同的流量、速度下，當第一部車到達觀測點時，計算十輛車在此時間點行駛在單一車道上的長度，將十輛車的長度除以 10 在扣除車長後即為跟車的平均距離，理論上如(圖 6.4)，十部車相距長度為 (x_2-x_1) 。
3. 利用 χ -square 檢定，將 PARAMICS 視為正常車流狀態，利用車流理論原理，計算其 headway 分佈，檢定程式中的車流分配是否符合其分佈。
4. 流量檢定，利用 K-S 檢定，計算每分鐘流量，觀測值使用程式之模擬車輛，檢定車流量是否符合理論之分配。

關於 PARAMICS 的相關設定，皆如同程式，車輛限制在單車道，長度為 640 公尺，初始流量設定為 1800(vehicles/hr)，初始速度設定為 16.67m/s=60km/hr，並且埋設偵測器在離起點 405 公尺的地方，紀錄相關車流資料，分別將資料歸類使用上述四種方法分析。

方法一：由程式設計首輛車的加速度為零，後車為一般人為跟車，程式執行一分鐘，得到 19 部車輛，如(圖 6.5)。固定一個觀測點，使用軟體埋設的偵測器地點，距離車流釋放處 405 公尺的地方，由於只有 16 輛車已經通過該點，算出間隔第一輛車至第十六輛車通過的時間，在除以總車輛數，即為平均車間距(time headway)。如圖的紅色實線，第一輛車通過的時間約為第二十六秒，第十六輛車通過的時間約為第六十五秒，即平均車間距(time headway)為 2.44 秒；而 PARAMICS 偵測數據如表 6.2，第一車至第十六輛車的時間間隔為 2.34 秒，兩者相差 0.1 秒。

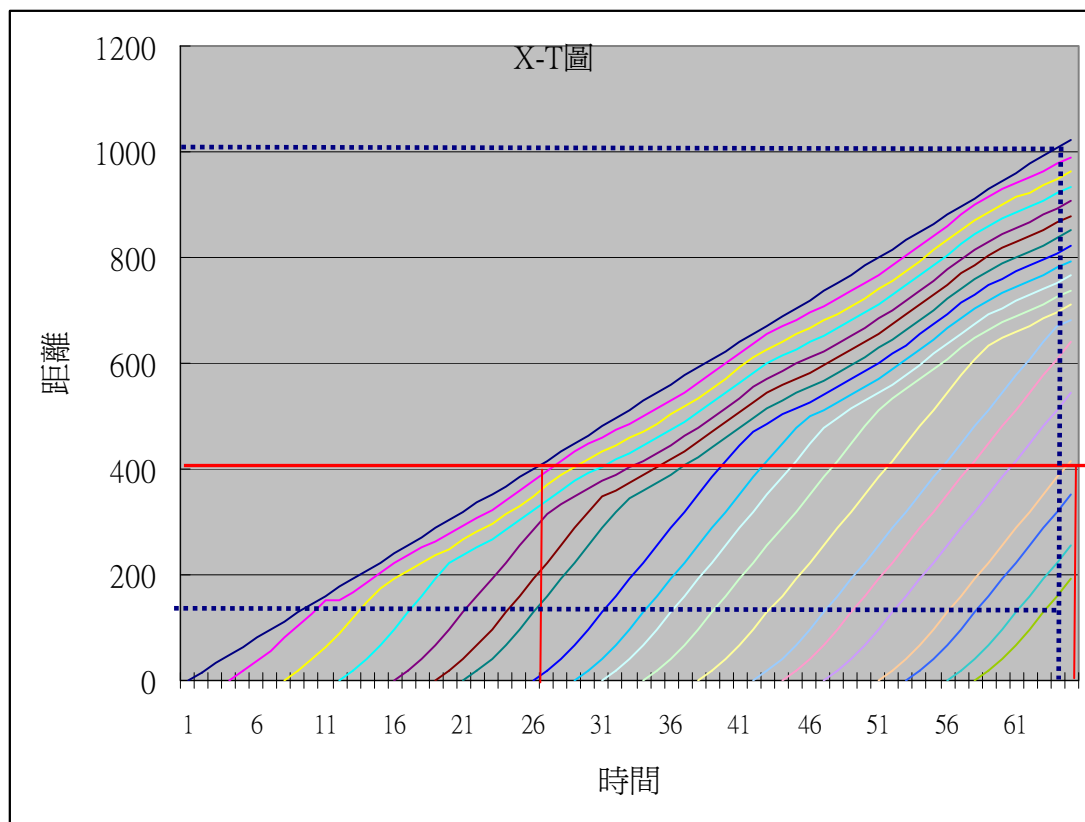


圖 6.5 x-t 圖

表 6.2 PARAMICS 車流資料

Time	type	flow	headway	gap	speed
		(v/h)	(s)	(s)	kph
00:00:28.492	1	3049	1.181	0.781	54.000
00:00:29.850	1	2650	1.359	0.959	54.960
00:00:32.637	1	1292	2.787	2.394	60.500
00:00:35.287	1	1359	2.650	2.293	60.467
00:00:38.371	1	1168	3.083	2.722	60.000
00:00:41.833	1	1040	3.463	3.103	57.000
00:00:44.050	1	1624	2.216	1.837	55.833
00:00:45.609	1	2308	1.560	1.173	59.695
00:00:47.939	1	1545	2.330	1.968	58.833
00:00:51.489	1	1014	3.550	3.183	56.333
00:00:57.651	1	584	6.163	5.779	58.667
00:01:01.344	1	975	3.693	3.325	58.500
00:01:02.919	1	2286	1.575	1.206	60.000
00:01:04.590	1	2155	1.671	1.311	61.500

方法二：固定一個時間點，觀測每輛車在此點的距離，如(圖 6.5)的藍色虛線，由於首車車速皆固定為 60kph，選定時間點為第六十四秒，第一輛車正好行駛 1 公里，第十九輛車則為 169 公尺，兩者相減除以車輛數 19，為 43.74，平均每車的距離(spacing)為 43.74 公尺，利用 PARAMICS 兩車 headway 資料，乘上 gap，即為粗略的兩車間距(因為加速度幾乎皆為 0，可視為等速計算)，計算兩輛車的平均間距，為 43.22 公尺。模式計算出的兩車間的平均距離和 PARAMICS 計算出之平均距離相減，相差只有區區 52 公分。

方法三： χ -square 檢定，執行程式十五分鐘，產生 226 輛車，擷取車流軟體 headway 資料 226 筆，資料處理以及檢定步驟如下：

第一步：將 PARAMICS 的 headway 資料，假設為 Pearson TypeIII 分配[17]，

$$f_0(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(k)} [\lambda(t - \alpha)]^{k-1} e^{-\lambda(t-\alpha)}, \text{ 計算出分配所需之各種參數，如下：}$$

1.

樣本數：N=232

變異數： $s^2=1.02$

一分鐘平均流量： $q_{1\min}=60/2.09 \cong 30$

平均車間距： $\bar{t} = \frac{\sum t}{N} = 2.09$

標準差(s)：1.01

2.

假設 α 為最小車間距 $\min\{t_1, t_2, \dots, t_{226}\}=1.0$

3.

$$\hat{k} = \frac{\bar{t} - \alpha}{s} = \frac{2.09 - 1}{1.01} = 1.08, \quad \lambda = \frac{k}{\bar{t} - \alpha} = \frac{1}{s} = \frac{1}{1.01} \cong 0.99$$

4.

$$\Gamma(k) = \Gamma(1.08) = 0.9597 \cong 0.96$$

5.

$$\text{建立分配函數 } f_0(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(k)} [\lambda(t - \alpha)]^{k-1} e^{-\lambda(t-\alpha)} = \frac{0.99}{0.96} [0.99(t - 1)]^{0.08} e^{-0.99(t-1)}$$

第二步：找出資料分組之組距

$$I = \frac{Range}{1 + (3.322) \log N} = \frac{6-1}{1 + 3.322 \log 226} = 0.567 \approx 0.6$$

第三步：製造理論機率分配表

$$p(t \leq h < t + I) = I \times \left[\frac{f(t) + f(t + I)}{2} \right]$$

表 6.3 Pearson TypeIII 機率表

Class Interval (s)	$p(t \leq h < t + I)$	$f_t(t) = N * p$
<0.6	0.222961	50.3891
1.2	0.360498	81.4726
1.8	0.216951	49.003098
2.4	0.124528	28.1433
3.0	0.070551	15.9445
3.6	0.039716	8.9757
4.2	0.022272	5.0334
4.8	0.012458	2.8154
5.4	0.006956	1.5719
>6	0.002491	0.5628

其中第十組要和第九組由於個數不滿 5，所以和第八組合併，相加後仍然不滿五，所以再和第七組合併，其值為 9.9835，將其個數相加。

第四步：將程式得到的 headway 資料依照組距，計算其數目分別填入各組當中。

表 6.4 χ -square 檢定表

Class Interval (s)	$f_0(t)$	$f_i(t)=N*p$	$(f_0(t)-f_i(t))^2$	$\frac{(f_0(t)-f_i(t))^2}{f_i(t)}$
<0.6	0	50.3891	2539.061	50.3891
1.2	17	81.4726	4156.716	51.0198
1.8	55	49.003098	35.96283	0.733889
2.4	84	28.1433	3119.971	110.8602
3.0	0	15.9445	254.227	15.9445
3.6	55	8.9757	2118.236	235.9968
~4.2	15	9.9835	25.16527	2.52

H_0 : 分配符合 Pearson TypeIII 分配, H_1 : 分配不符合 Pearson TypeIII 分配

檢定統計量 $\chi^2 = \sum \frac{(f_0(t)-f_i(t))^2}{f_i(t)} = 467.4643$, χ^2 自由度為 $df=N-p-1=10-3-1=6$

由於 $\chi^2_{(\alpha,df)} = \chi^2_{(0.05,6)} = 12.6$, 而 $467.4643 > 12.6$, 故拒絕 H_0 , 認為分配不符合 Pearson TypeIII 分配。

會出現拒絕的結果, 其實並不意外, 主要的原因, 由於車流量是假定在 1800(veh/hr), 其實彼此的車間距對車流模擬軟體來說, 幾乎都集中在小於 2 秒且有絕大部分也都在 1 秒以下, 但對程式而言, 由於畫面的間隔都在一秒鐘更新, 怎麼計算都是整數, 因此許多分組就會出現很大的情況, 導致最後無法符合和車流模擬軟體的情形。第二個原因為, 我們是假定車流模擬軟體的資料是符合 Pearson TypeIII 分配, 但或許並非如此, 這只是一般處理實際蒐集到的車間距資料, 車流模擬軟體的車流, 是否符合實際情況, 能夠適用於一般性的 Pearson TypeIII 分配, 也令人存疑。為了能夠更深入的了解, 接著檢定十分鐘流量分配。

方法四: 流量分配, 首先將十分鐘的車間距資料, 以一分鐘為一組, 分為十組, 則:

1.

樣本數: 10 組

平均車流量: $\bar{x} = \frac{\sum x}{t} = 19.5$

變異數: $s^2 = 3.16$

標準差(s): 1.7795

觀察變異數除以平均車流量之值， $\text{var}/_{\text{mean}}=0.162 \ll 1$ ，所以選擇二項分配[17]

2.

使用十分鐘的車流模擬軟體資料，代入機率分配函數 $f(x)=\binom{n}{x}p^x(1-p)^{n-x}$ ，其中 $\hat{p}=(19.5-3.16)/19.5=0.838$

表 6.5 K-S 檢定表

X	$f_0(t)$	$f_t(t)$	$F_0(t)$	$F_t(t)$	$ F_t(t)-F_0(t) $
1	6.4399E-07	0.047809	6.4399E-07	0.047809	0.004.78
2	1.49907E-05	0.10757	1.56E-05	0.155378488	0.155
3	0.000206785	0.103586	2.22E-04	0.258964143	0.259
4	0.001871912	0.131474	2.09E-03	0.390438247	0.388
5	0.011619721	0.123506	6.37E-02	0.513944223	0.36
6	0.050089127	0.119522	9.38E-02	0.633466135	0.33
7	0.148058866	0.115538	2.04E-01	0.749003984	0.356
8	0.287206783	0.103586	4.94E-01	0.852589641	0.35
9	0.330149909	0.099602	8.24E-01	0.952191235	0.12
10	0.170781249	0.047809	9.94E-01	1	0.006

K-S test: $H_0: F_t(t)=F_0(t)$, $H_1: F_t(t) \neq F_0(t)$, $KS=\max|F_t(t)-F_0(t)|$,

Reject H_0 if $KS > KS_{\alpha/2}^n=0.409$

$KS=0.388 < 0.409 \Rightarrow$ 沒有拒絕 H_0 所以可以說 $F_t(t)=F_0(t)$.

由車流量的檢定來看，發現兩者的分佈是符合的，也是比使用車間距的方法準確，因為 headway 的分佈是連續的，對於屬於離散的資料判斷是不準確的，流量的分配是離散型的，而分組的組距也恰好也符合程式的時間間隔，所以由 K-S 檢定，便可以彌補車間距無法相符合的不足，也可以說程式設計的一般人為跟車，和車流模擬軟體的車流分佈是相當的，有了這各假設，便可以將自動車輛邏輯放入程式中。

6.3 自動車輛控制邏輯模式驗證

將手動車輛跟車調整如同模擬軟體的跟車模式之後，接下來便要利用 6.1.2 節中所提到的指標，判斷自動車輛在各種車流狀態，使用模式是否皆可合宜的轉換，順暢的跟車，不會造成後方車輛的擁擠(queue)。設計數各實驗，利用 6.1.2 節所述的五個指標，驗證模式加減速對後車的影響，以及車道整體車流順暢性。

6.3.1 調整首車加(減)速大小

為了了解混合車流在不同加速度下的影響，是否會影響後方車輛，造成不穩定車流，以及跟車行為是否合理，車流設定使用 6.2.1 節的初始設定，固定流量為 1800(vehicles/hr)，初速為 15(m/s)，車流分配如同 6.2.1 節之設定，設計讓首輛車在第 23 秒時用不同的減速值，分別實行不同的秒數後，在第 31 秒再將速度加回來，也是實行和減速時同樣的秒數，實驗設計如表 6.6:

表 6.6 實驗設計加(減)速度

秒數	首車加(減)速度:單位(m/s ²)		
23	-4	-3	-2
24	-4	-3	-2
25	-4	-3	-2
26	0	0	-2
31	4	3	2
32	4	3	2
33	0	0	2
34	0	0	2
Max α	2.25	1.63	1.54

使用 4m/s² 的減速度，從 23 秒開始，實行三秒鐘後，第 26 秒至第 30 秒間加速度為 0，自第 31 秒開始至 32 秒，又以 4 m/s² 的加速度加速。同理，使用 3m/s² 的減速度實行三秒鐘後，自第 31 秒開始至 32 秒，又以 3 m/s² 的加速度加速。以 2m/s² 的減速度實行四秒鐘後，自第 31 秒開始至 34 秒

以同樣加速度加速。模擬過程如(圖 6.6)。程式執行完畢，利用 6.1.2 中的指標檢測混合車流跟車邏輯模擬的合理性以及穩定性。

1. C-value 值：由 6.1.2 可知， $C = \alpha(\Delta t)$ 。如果 C 值大於 0.5，則後方車流可能會不穩定導致撞車。由於自動車的反應時間接相同，取文獻所述 0.3 秒，乘上 α 。抓取首車之後的第一輛自動車的 α 值，判斷其值是否會造成後方車流的不穩定，在減速度為 2 之下的 α -t 圖如(圖 6.7)，取最大的 α 值，值為 1.54。加速度為 3 之下(圖 6.8)，最大值為 1.63，在加速度為 4 之下(圖 6.9)，取最大的 α 值，值為 2.25。分別如表 6.2 的最後一列。分別將不同的加速度乘上 0.3，C 值分別計算如下表 6.3。將表 6.3 的結果對照表 6.1，可知當加(減)速度為 3 以及 $2(\text{m/s}^2)$ 時，落在表 6.1 的 A1 以及 L2 象限，屬於，會引起後方車流震盪，而非完全穩定的 L1 區，但由於值小於 0.5，也就是 A1 區，對於判斷整體穩定的 Asymptotic stability 是屬於可接受的震盪；而加速度為 $4(\text{m/s}^2)$ 時，雖然以整條車道的觀點來說，是屬於不穩定狀態，但以 Local stability 而言，由於沒有跨越到 L3 區，因此不會發散乃至於撞車，所以後車雖震盪加劇，但仍是在可接受的範圍。車輛相對位置對於時間圖，加(減)速度為 2 時如(圖 6.10)，加(減)速度為 3 時如(圖 6.11)，加(減)速度為 4 時如(圖 6.12)，車輛順序為最低至高，第一輛車為離原點最近的曲線，依序為第二以及第三輛以及第四輛，由圖可見雖然第一輛車的波動會影響第二以及其他的車輛，但是最後都還是能夠恢復正常的行駛軌跡。

表 6.7 C-value 值

加速度	4m/s^2	3 m/s^2	2 m/s^2
C	0.675	0.486	0.462

2. 衝擊波(shockwave)的產生：以實驗設計的三種加(減)速度，繪出每一輛車的位置對時間圖如(圖 6.13)(圖 6.14)(圖 6.15)，圖中離遠點最遠的也是最高的一條不規則曲線為第一輛車，依序為第二至最後一輛，每一條線並沒有觸碰或是交叉到，可見不會發生碰撞(collision)的危險。(圖 6.13)是減速度為二的情況下，衝擊波看來為不規則的曲線，為了方便分析，取概略性的紅色直線線條表示，比較減速度從 2 至 4 的線條，可以發現其波速由小而大，2 最小，斜率的絕對值最小，減速度為 4 的斜率絕對值最大。如果對應流量對密度的圖形，如(圖 6.16)所示，初始的流量由

於設定在 1800(vehicles/hr)，車輛的減速會導致密度的升高，所以流量的降低會往密度高的方向移動，也就是往圖的左邊移動，將衝擊波平行移動畫在 q-k 圖上，也合乎車流邏輯，減速度越大，後方擁擠(queueing)的車輛越多，造成流量降低較多，密度也增加較大，也是減速度為 $-4(\text{m/s}^2)$ 時斜率的絕對值會越大的原因。

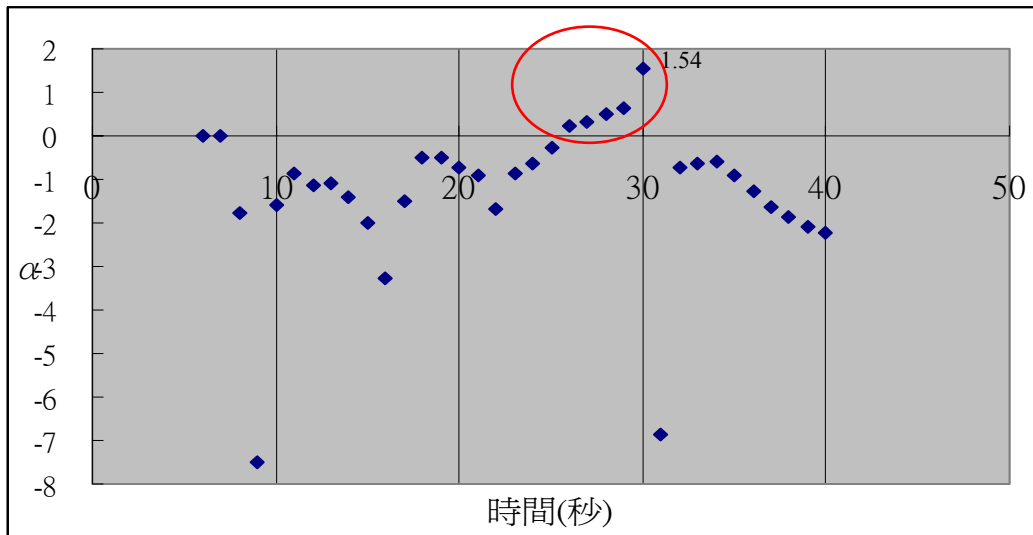


圖 6.7 α 對時間圖(a=2)

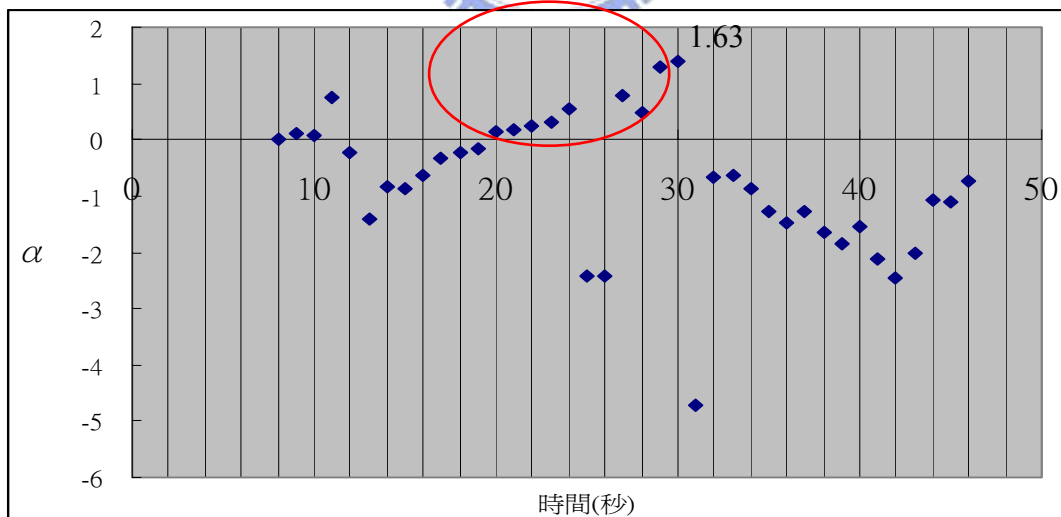


圖 6.8 α 對時間圖(a=3)

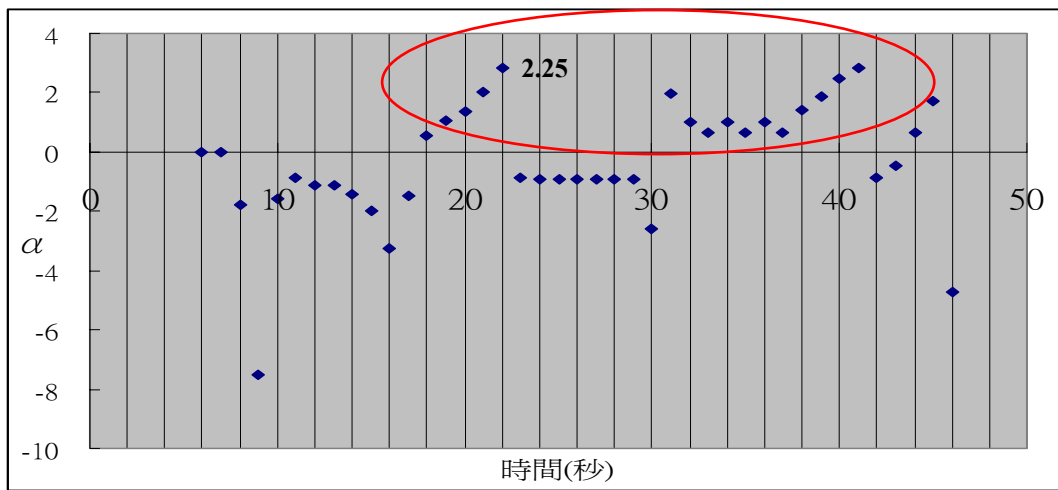


圖 6.9 α 對時間圖(a=4)

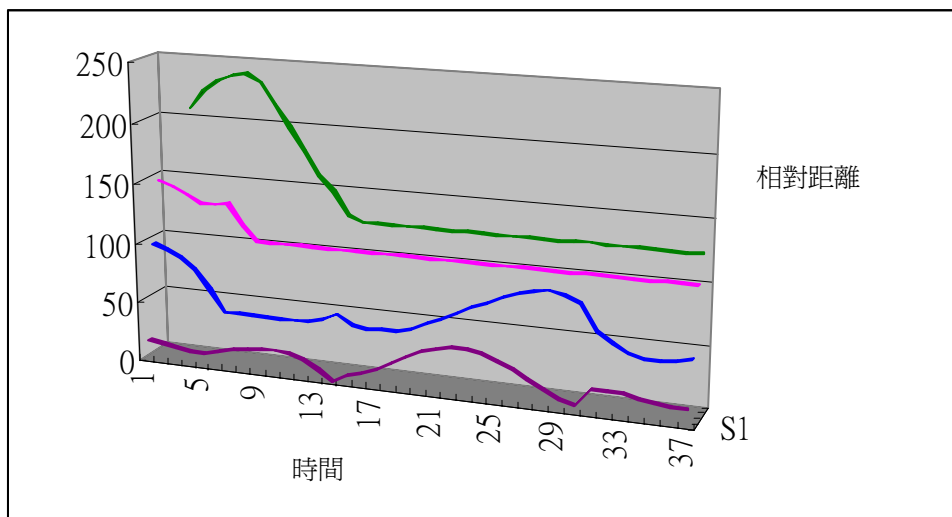


圖 6.10 時間對相對距離圖(a=2)

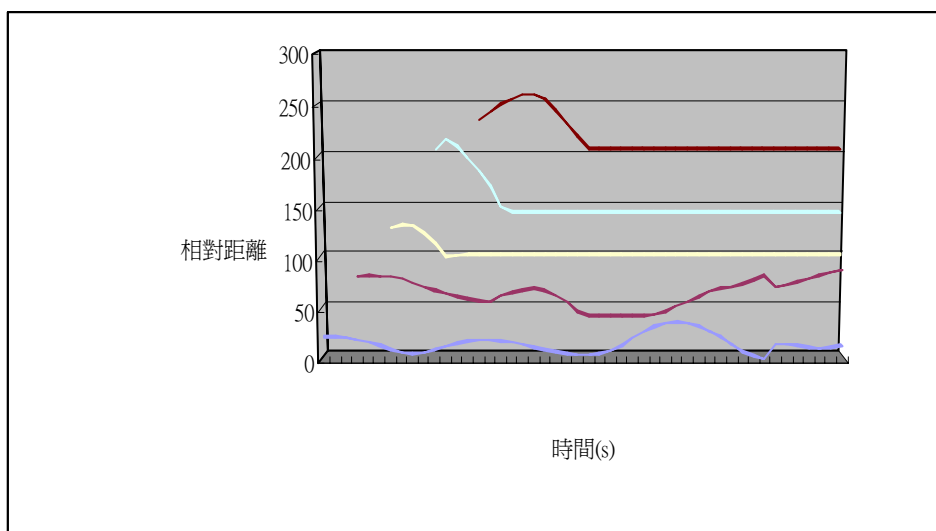


圖 6.11 時間對相對距離圖(a=3)

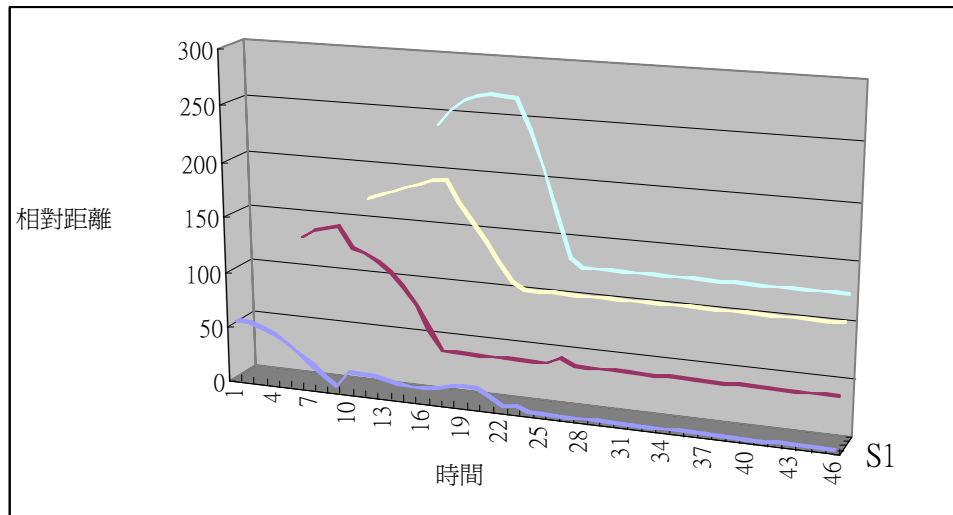


圖 6.12 時間對相對距離圖($a=4$)

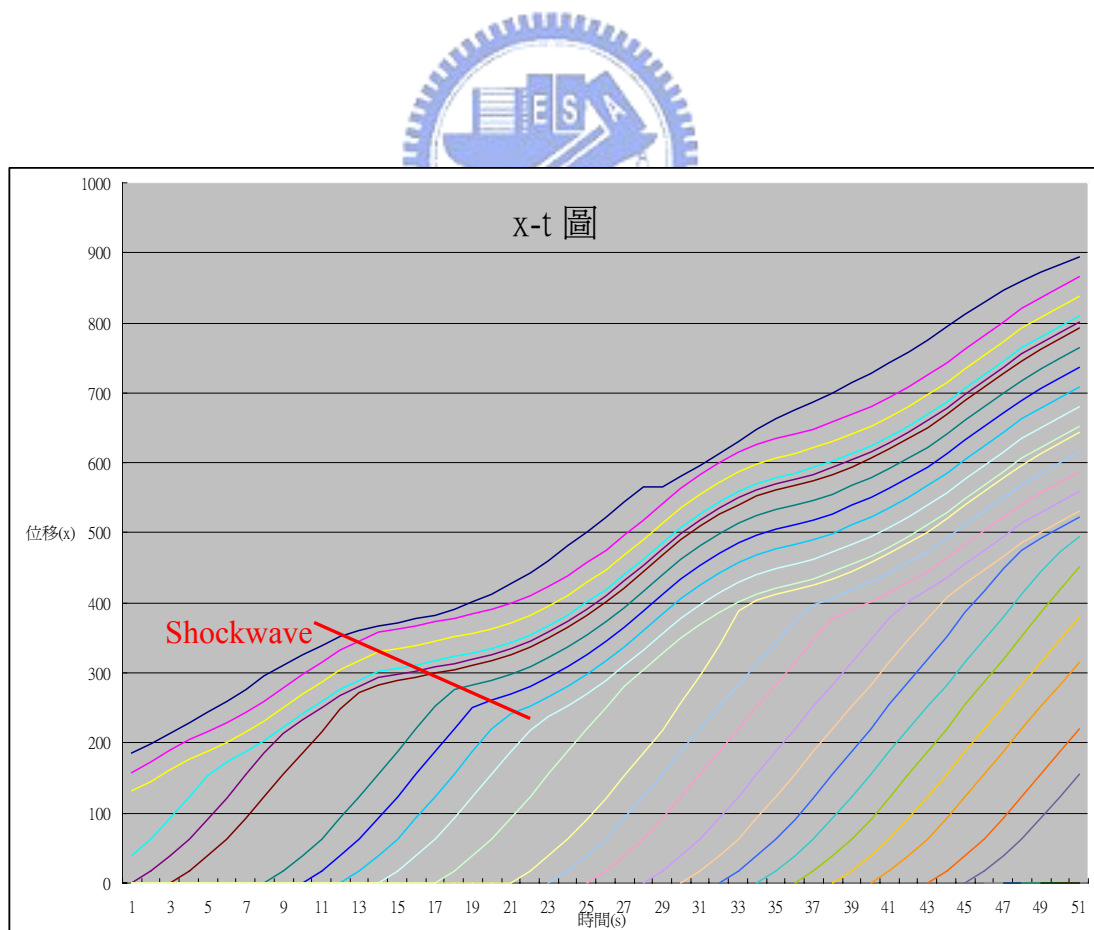


圖 6.13 時間對距離圖($a=-2$)

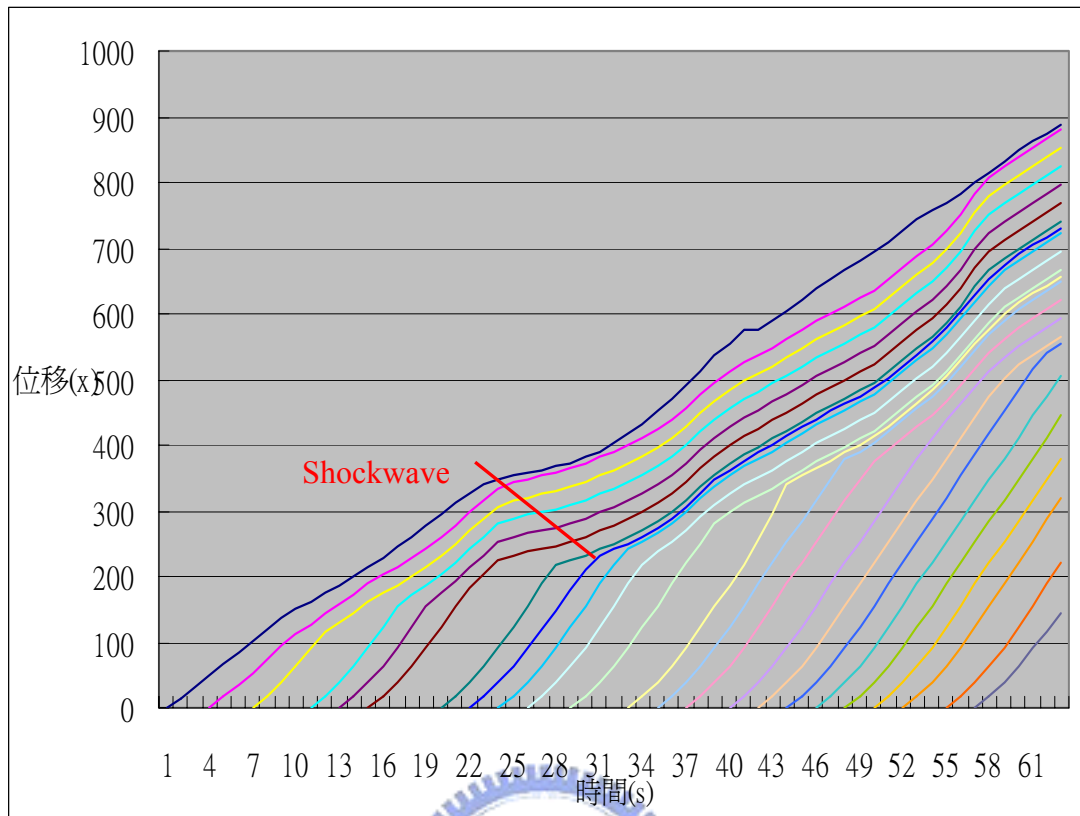


圖 6.14 時間對距離圖($a=-3$)

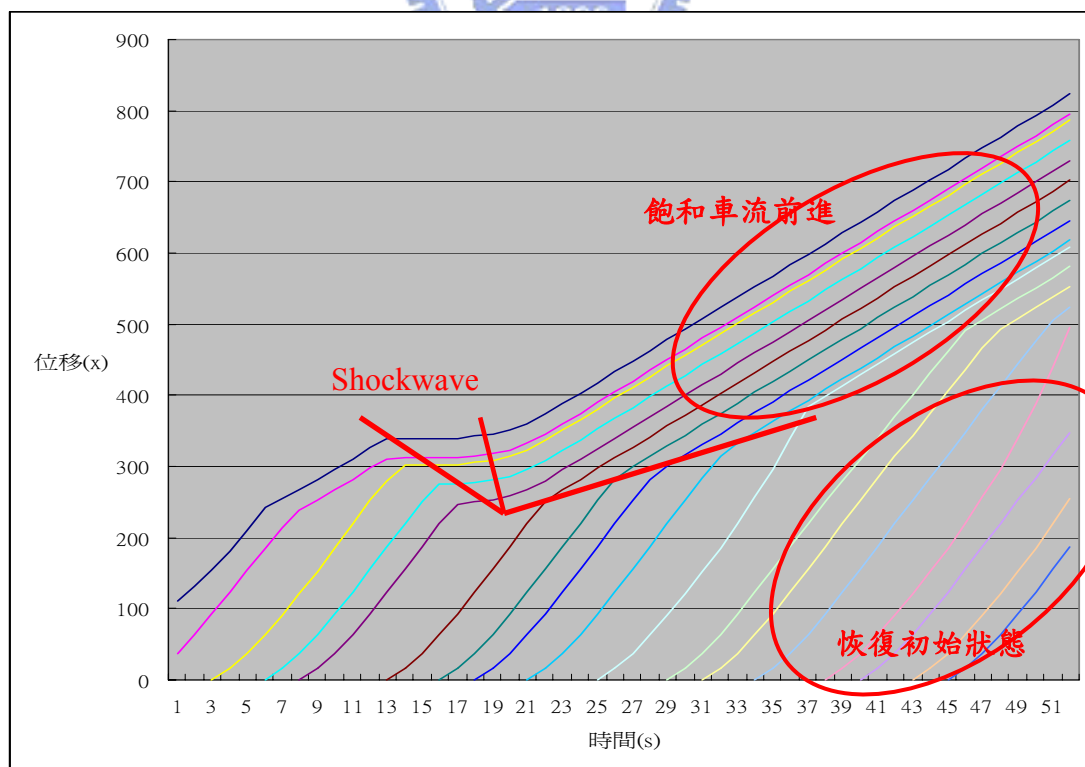


圖 6.15 時間對距離圖($a=-4$)

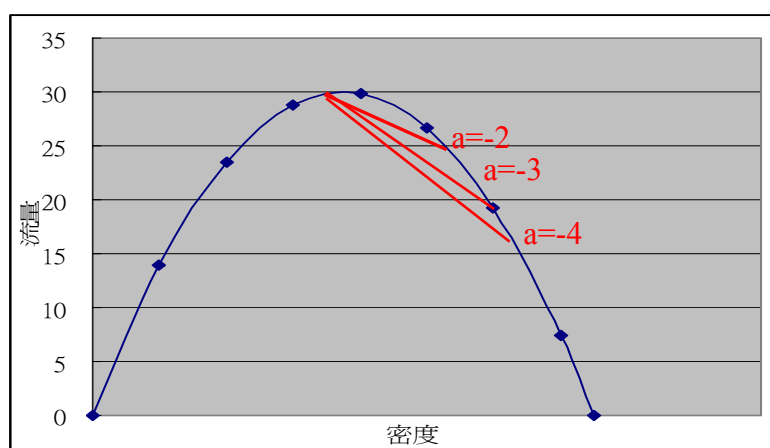


圖 6.16 Q-K 圖

上述兩個指標代表的意義，足以表示自動車輛跟車可以在一秒鐘減速 14.4kph 的情況下，確保不會和前車產生碰撞，且後車可以人為的一般跟車方式，安全的跟在自動車後而保持安全距離不會撞上前車。

6.3.2 平均車間距計算

前一小節已經利用加減速度的調整，找到影響跟車最重要的指標，證明混合車流是安全，而且在加減速度維持正常的情况下，車流均是可以維持穩定且不會有碰撞的機會；接下來，便是要計算自動車輛在一般車道上車輛的多寡，使用 6.1.2 節中所提到第四和第五點，車隊平均長度和通過事故點的時間，求出在不同比例下的自動車所產生的平均車距以及通過時間是否會比完全為一般車輛時更有效率。沿用上個小節的實驗設計，執行五分鐘，先以穩定車流的方式前進，不給予任何車輛外在加減速的限制，判斷穩定車流下，調整自動車在車道上的比例，看是以哪種比例的自動車跟車最為有效率；接下來，再以加速度以 $-4(\text{m/s}^2)$ 先減速後再以 $4(\text{m/s}^2)$ 加速的情況，模擬事故下減速時，對後方車輛跟車的行為差異，一樣是調整自動車在車道上的比例，分別繪出車距圖(spacing diagram)，求得兩車跟車間距(spacing)等資料。

實驗設計如表 6.8，分別求出車流穩定狀態以及不穩定狀態的車間距(spacing)，並且依照自動車佔總車輛數的比例從 0%逐漸增加到 100%，實驗結果如下：

表 6.8 實驗設計

	流量 (#/1min)	車道 密度	初始加速度	自動車比率
實驗一	30	小	$a=0$	依序為 0%， 20%，40%， 60%，80%， 100%
實驗二	25	中	$a=4$ 每相隔每分鐘執行兩秒	
實驗三	20	大	$a=4$ 第三十秒加速兩秒後，第三十四秒開始減速兩秒	

實驗一：如(圖 6.17)，此為每輛車在第三分鐘對前車的相對距離圖，計算出平均每輛車的跟車距離(公尺)，分別如表 6.9：

表 6.9 平均間距(穩定車流)

0%	20%	40%	60%	80%	100%
22.73611(m)	19.83333	13.76389	12.05714	8.486111	4.027778

由此可知，在穩定車流下，自動車輛比例越高，車間距能夠保持的距離就越小，因為在自動車跟自動車的跟車邏輯之下，前面的自動車會傳回加減速訊息給後方自動車，兩車幾乎為同步，因此如果連續幾部車輛皆為自動車輛，則車距便可以保持的相當短(圖 6.17)。

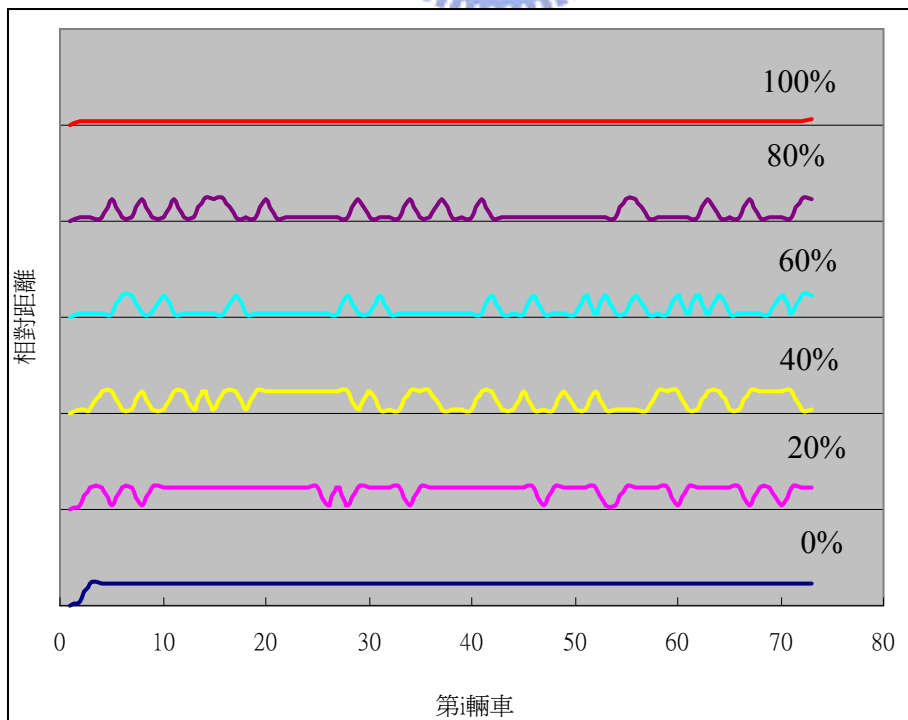


圖 6.17 不同比例跟車間距圖(穩定車流)

實驗二：如(圖 6.18)，此為每輛車在第三分鐘對前車的相對距離圖，計算出平均每輛車的跟車距離(公尺)，分別如表 6.10：

表 6.10 平均間距(不穩定車流)

0%	20%	40%	60%	80%	100%
19.0667(m)	16.9667	16.1333	13.5	9.6667	4.62

比較表 6.9 以及表 6.10，在自動車輛占 0%下，隨著流量減少以及車道密度的增加，車間距有降低的狀況，這樣結果的確符合現實情況。在表 6.10 中，40%和 20%相比，平均車間距並沒有顯著的縮小，當自動車到達占總產生車輛的 60%以上時，車間距逐漸縮短；但如果和實驗一的 60%以上相比較，則似乎無太大差別；原因在於自動車不論是在穩定車流或是不穩定車流下，自動車只要在道路限速的範圍內，皆會往前追進，以車隊的方式前進，因此自動車在穩定車流下，就算車速再快，也是和不穩定時(速度會較慢)的車距是一樣的。

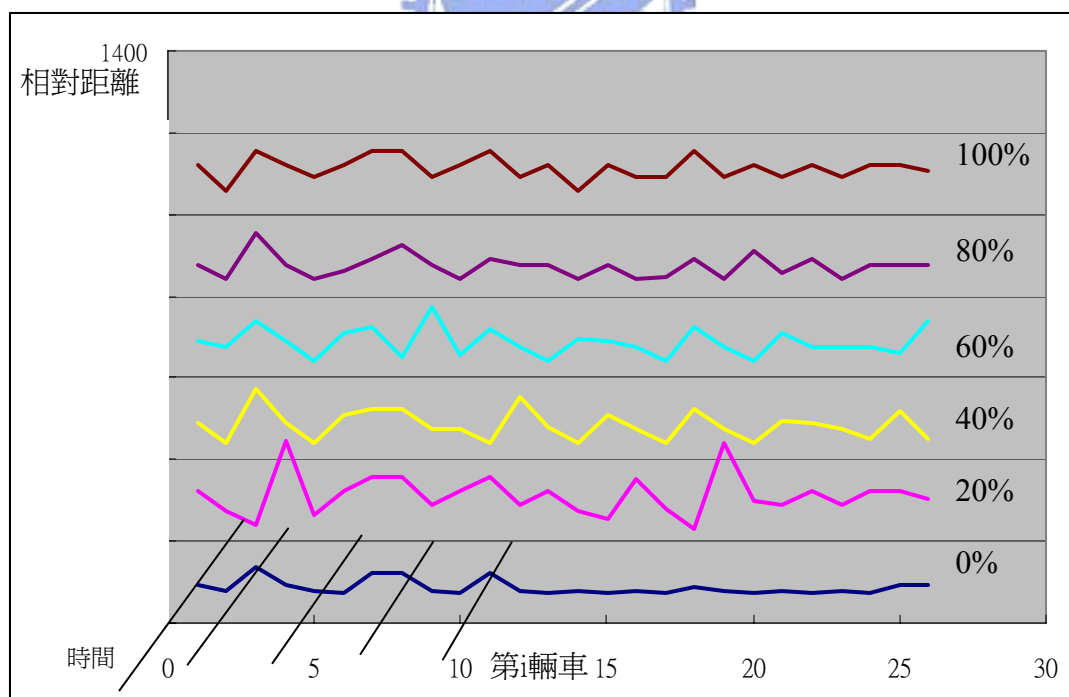


圖 6.17 不同比例跟車間距圖(實驗二)

實驗三：將初始流量調成 20(veh/min)，控制初速，使得車流密度提高，僅僅在第三十秒加速兩秒鐘，三十四秒後再減速兩秒鐘，若將一般車輛每

一輛車的相對距離皆畫在一起，也就是後車的波動會在前車波動之後產生，如此累積至下一輛車，畫法不同於(圖 6.17)，這邊取幾八輛車的相對距離，在不同的時間點上的相對關係，如同圖上時間軸的五條黑線。類似在前面的(圖 6.9)至(圖 6.11)，但由於前面的車流量密度不高，所以只有影響到後面一兩部車；此實驗密度提高後，後面多輛車皆受到影響，一般車輛跟車行為如(圖 6.18)。依序為 20%、40%、80%、100%。

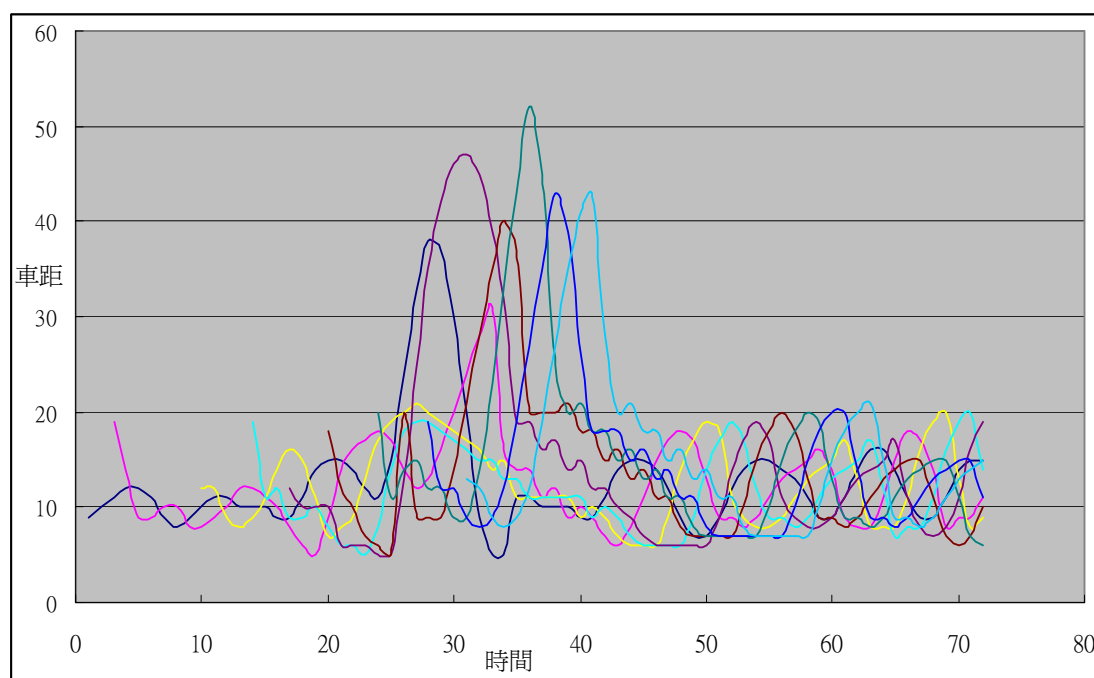


圖 6.18 一般車輛

由一般車輛圖，為相當符合正常情況下之收斂車流圖，也正可以解釋一般車流符合實際性；然而增加至 20%或是 40%，似乎很勉強的收斂，且後車振幅相當大，也有出現完全是水平線的情況，水平線是代表此輛車輛為自動控制車輛，其前車也為自動車輛，故其資訊回傳，讓兩車間距可以維持較小且串聯，比例越高，水平線越多，跟車也越趨近於穩定。(圖 6.21)在間距起始值相當高的原因，是因為後面的車輛出發是在第一輛車正在加速的時刻，所以後方車輛也同時在加速，因此當車輛一釋放車出來，距離前車相對較遠。

分析其原因，除了車流不穩定外，在設計自動控制車輛邏輯時，加減速偏向以使用者舒適為標準，舒適度和加減速是成反比的；當然要達到很

有效率是很容易的，但在相取捨之下，至少增加自動控制車輛的比例，沒有讓整個車道的效率降低，至少和全為人為駕駛時的水準相去不遠。

解釋自動車輛為 20% 以及 40% 情況下，跟車間距仍然劇烈搖擺，是因為一般人為車輛，在跟前方的自動車輛時，由於前方自動車輛會提前減速以因應減速對人為的感受，更何況在減速度相當大的情況，必須更早就減速，因此造成後方的車輛無法依常理判斷適當的跟車距離或是加減速大小，才會造成實而加速過多或是時而減速過少的情況，因此，也驗證了前面實驗所求出的平均車距為何在自動車輛和人為車輛數量相當時，或是少於人為車輛，無法使車道達到更有效率，因此，最好的狀況仍為 80% 為自動車輛，和 40% 相比，其效率上就改善許多，如果想像實際狀況來解釋，可以說，如果大部份車輛是自動，後方跟車駕駛人有鑒於前方自動車輛可能很穩定的行駛，對於駕駛人而言，可以依照更前方的自動車輛做加減速跟車的判斷。

假使擷取單一個時間點的平均車間距做比較，假設擷取第四十秒所有車輛的間距(spacing)，如同在圖 6.19 至圖 6.22 第四十秒處劃一條垂直線，算出車輛平均間距，如下表 6.11。

表 6.11 平均間距(實驗三)

0%	20%	40%	60%	80%	100%
23.4(m)	19.56	20.8	14.4	13.4	7.5

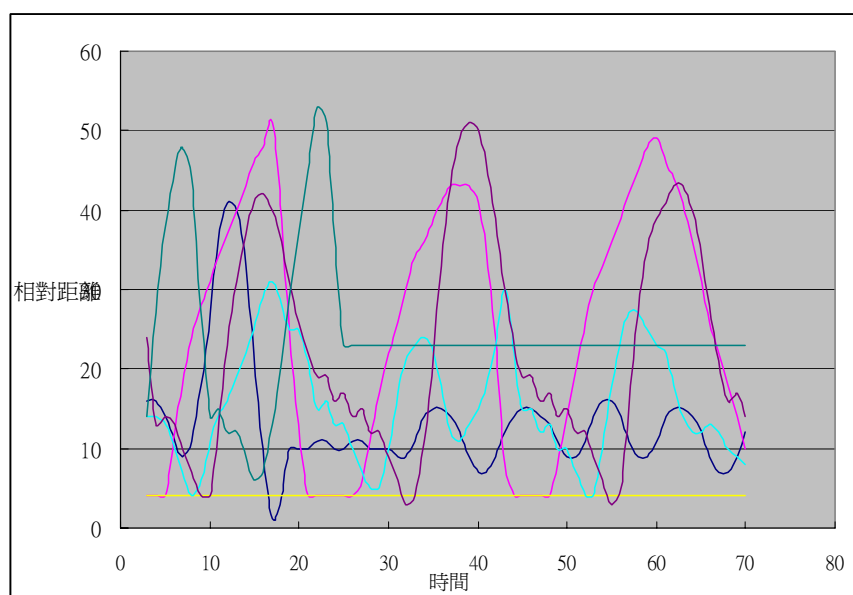


圖 6.19 自動車輛占 20%

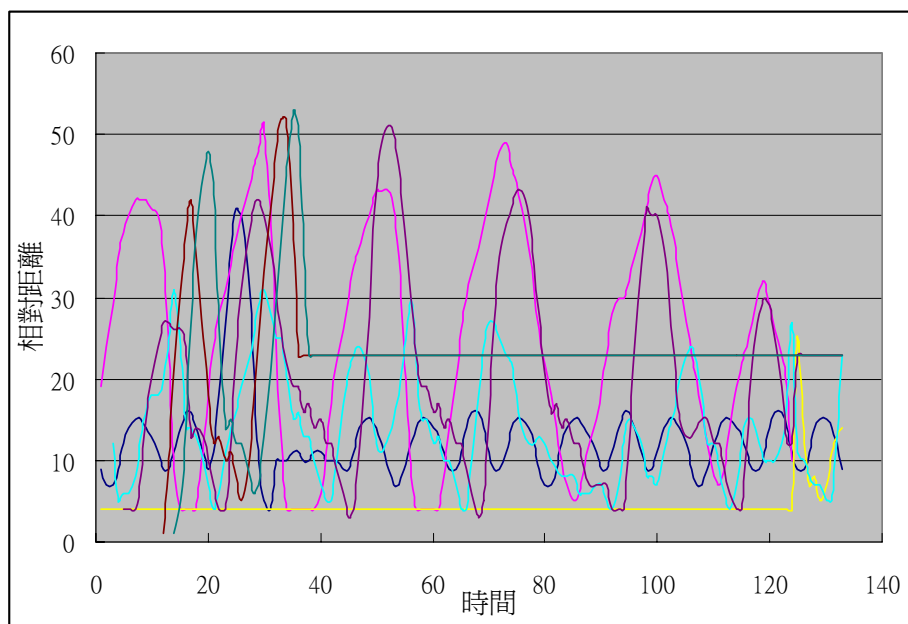


圖 6.20 自動車輛占 40%

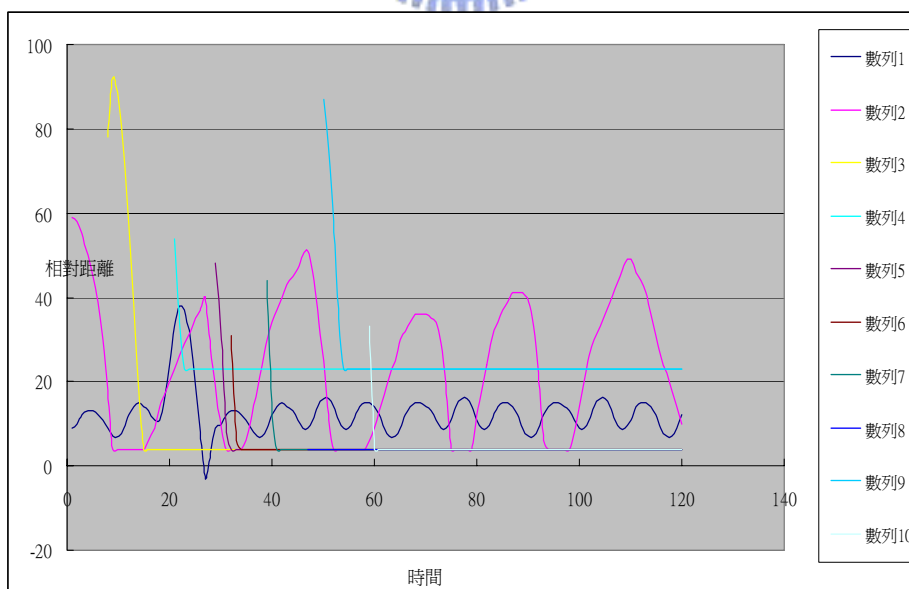


圖 6.21 自動車輛占 80%

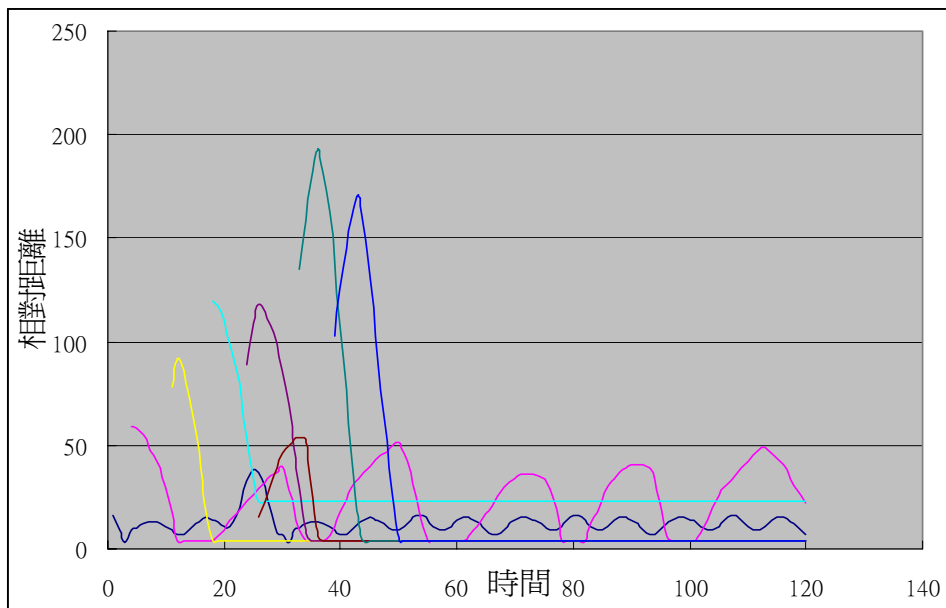


圖 6.22 自動車輛占 100%

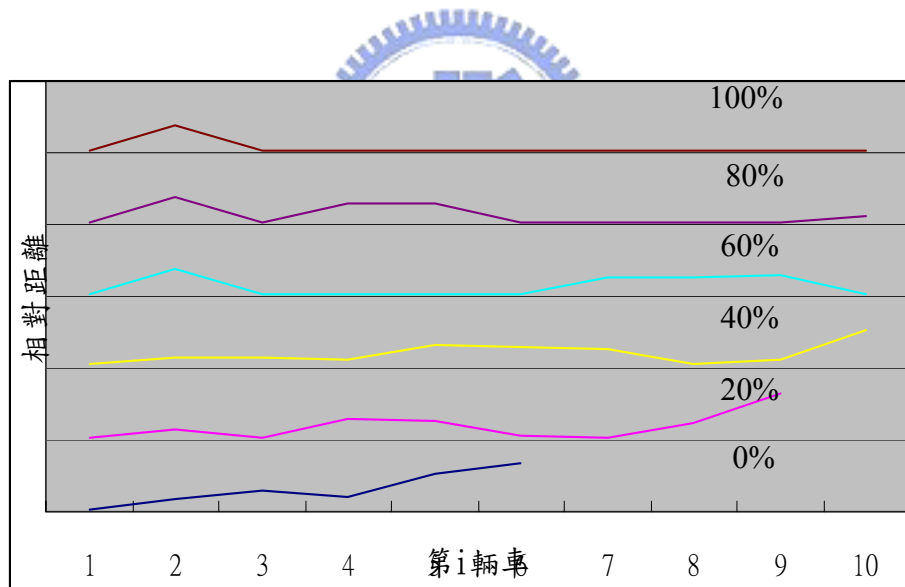


圖 6.23 不同比例跟車間距圖(實驗三)

6.3.3 穩定和不穩定車流平均車間距之比較

經過 6.3.1 節的實驗，可以發現自動車輛在低比例下對於後方車輛產生的震盪，相對於高比例自動車下或是完全人為駕駛下，車間距的震盪要來得大。為了更進一步求得穩定和不穩定下車間距的差別，以 6.3.1 節的實驗一和實驗二做為兩種不同車流狀態的代表，穩定車流首輛車不減速，且車道流量較大，車道密度較低；不穩定車流首車每一分鐘即加減速一次

依，且車流量低，車道密度高。

分析的方式，先以簡單迴歸分析，在一個時間點下，利用改變自動車的比率，找出不同比例對應相對距離的線性迴歸。再以立體圖觀察不同時間點之下，不穩定車流下，不同比例的自動車輛對後方跟車間距的震盪大小。

1. 迴歸分析：

將實驗一為穩定車流的代表，從 0% 開始調整至 100%，每一個間距為 5%，分別求出在實驗的第三分鐘下的平均車間距，利用簡單迴歸分析，利用模型 $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ ，求出 β_0 以及 β_1 ；將實驗二則為不穩定車流的代表，也是利用相同的方法，求得實驗二適合的線性模型。

圖 6.24 為實驗一在不同比例車輛下對應的相對距離直線圖， $\beta_0=22.8$ ， $\beta_1=-0.185$ ，其直線方程式為 $y = 22.8 - 0.185x + \varepsilon$ 。在 β_0 以及 β_1 皆為顯著的情況下，樣本的 R^2 值為 97.77%，比例的不同對跟車間距是大的變因。

圖 6.25 為實驗二在不同比例車輛下對應的相對距離直線圖， $\beta_0=21.06$ ， $\beta_1=-0.154$ ，其直線方程式為 $y = 21.06 - 0.154x + \varepsilon$ 。在 β_0 以及 β_1 皆為顯著的情況下，樣本的 R^2 值為 87.09%，雖然解釋能力沒有實驗一好，但仍然在可以接受的範圍內。如果將兩條線放在同一平面上比較，如圖 6.26，可以發現穩定車流在低比例下平均車間距比不穩定時大，穩定車流的斜率絕對值比較大，因而隨著比例增加，車間距會降低的比較快。

2. 立體圖形分析：

延伸 6.3.1 節的跟車間距圖(圖 6.19 至圖 6.22)，為了求得後方車輛震盪幅度至何種比例時會縮小，以實驗二為例；由於在 6.3.1 節中只針對單一個時間點的平均車距做不同比例的比較，因此，本小節當中，利用立體圖形分析，不斷調整自動車輛的百分比，找出自動車輛比例增加至多少後，後方車輛的震盪才開始逐漸至由不穩定轉至穩定。圖 6.27 為自動車佔 0% 的情況，x 軸依序為第二輛車至第 n 輛車，y 軸代表時間，z 軸則為跟車間距，由圖 6.27 可看出，人為操作車輛，後方會因為前方車輛減速的刺激，藉由煞車拉長了和前方的距離，依序將此刺激傳遞下去，也符合現實的跟車狀態；此圖有兩次高起的波形，乃是因為首車每一分鐘就減速一次，造成後方的反應。

調整自動車輛比例，一次增加 1% 的幅度，持續以立體圖形觀察，圖

6.28 為自動車佔 20%，圖 6.29 為自動車佔 40%；不論是 20%或是 40%，波形皆相當混亂，是因為自動車比例較少時，對於高密度的車流，可能在前車還未減速之前，自動車卻判斷可能會發生危險，在顧及使用者舒適下，已經先行減速，造成後方其他人為跟車車輛因為自動車減速的刺激，而相對減速，造成後方車流的不可預期性增加。

實驗發現，當調整到 63%時，如圖 6.30，後方車輛的跟車間距，才逐漸穩定且平均跟車距離比 0%的情況降低許多，因為自動車輛的增加，後方車輛是自動車較多的情況下，在訊息可以串連下，後方車流就可以穩定且有效率的前進。

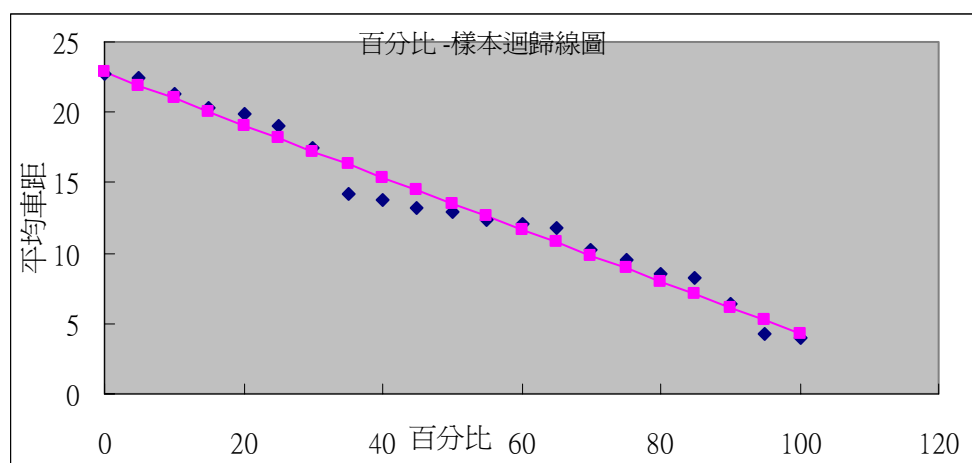


圖 6.24 穩定車流下迴歸分析圖

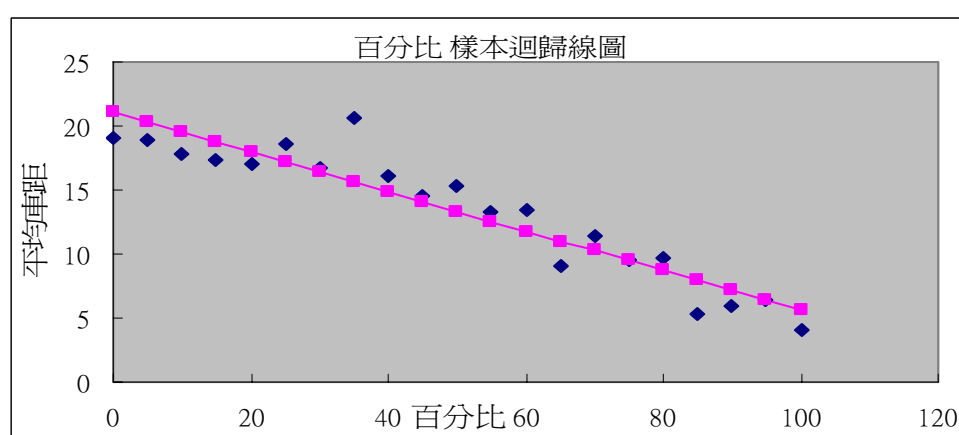


圖 6.25 不穩定車流下迴歸分析圖

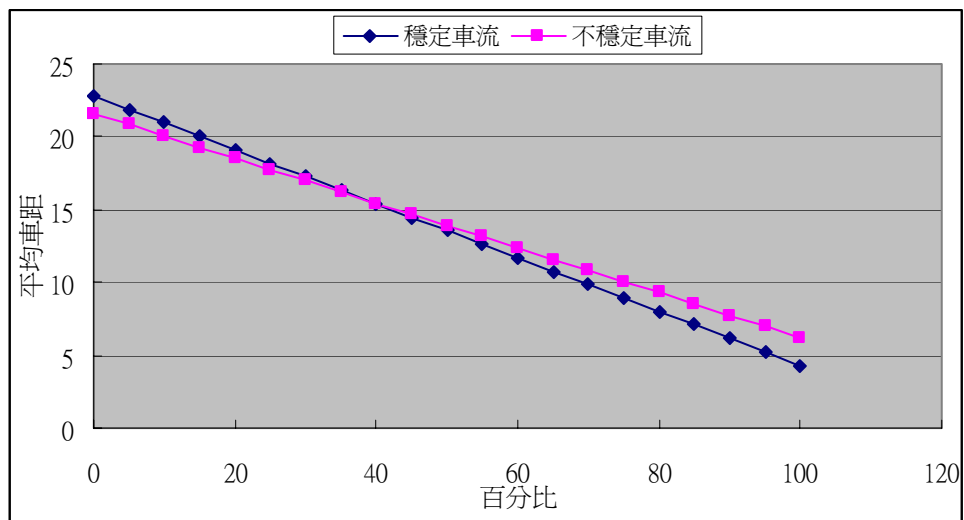


圖 6.26 迴歸分析比較圖

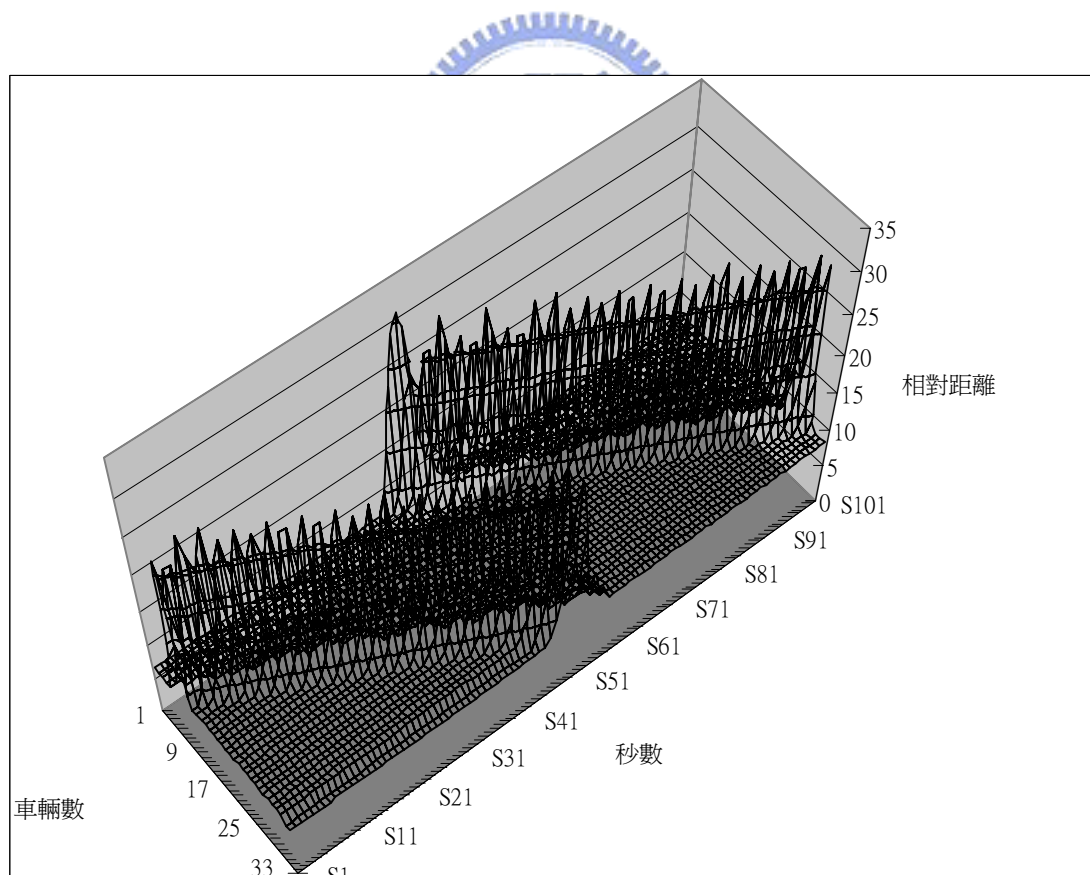


圖 6.27 立體跟車間距圖(自動車佔 0%)

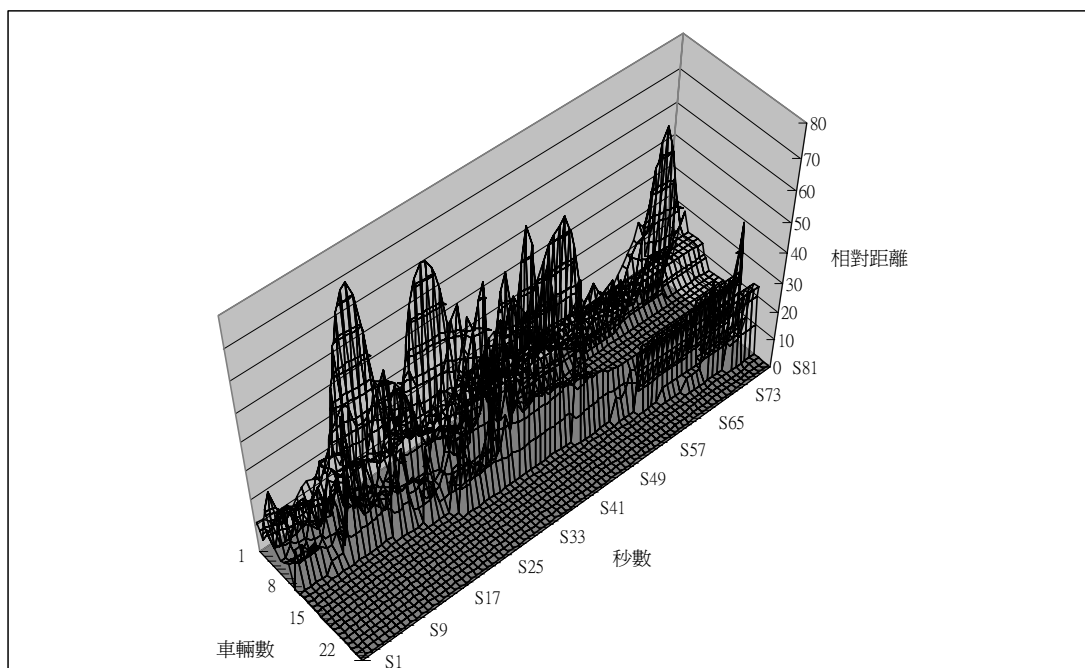


圖 6.28 立體跟車間距圖(自動車佔 20%)

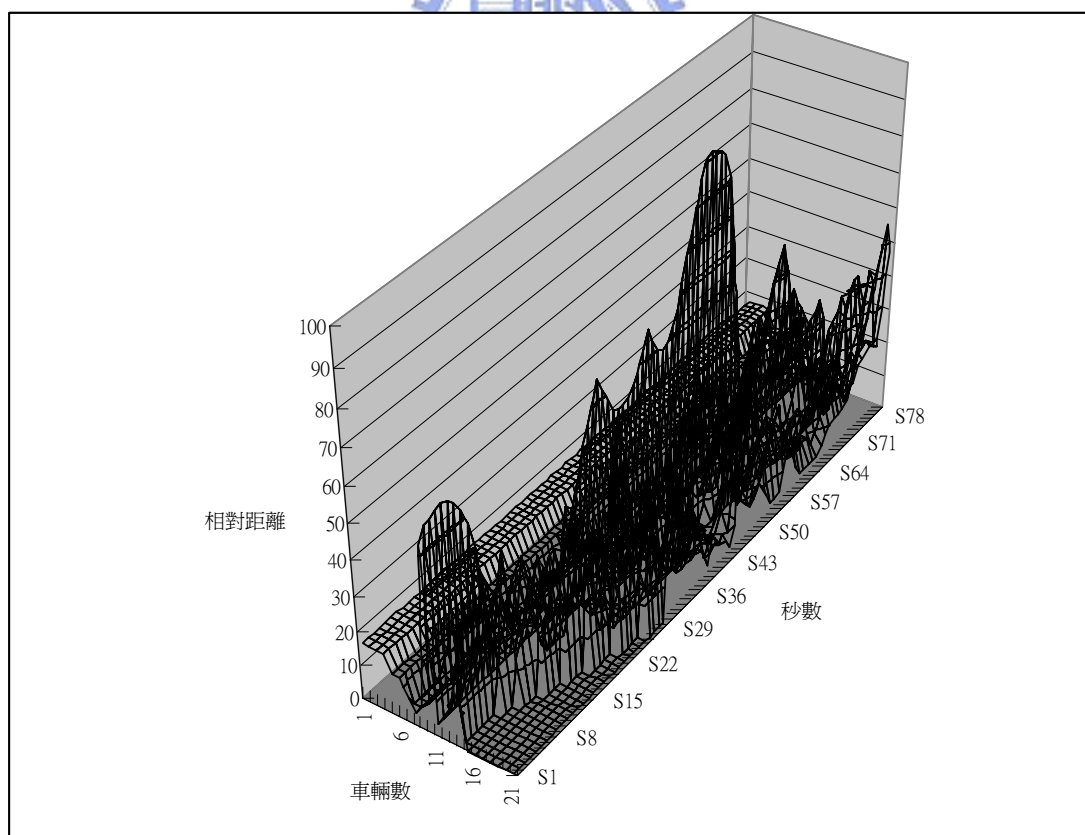


圖 6.29 立體跟車間距圖(自動車佔 40%)

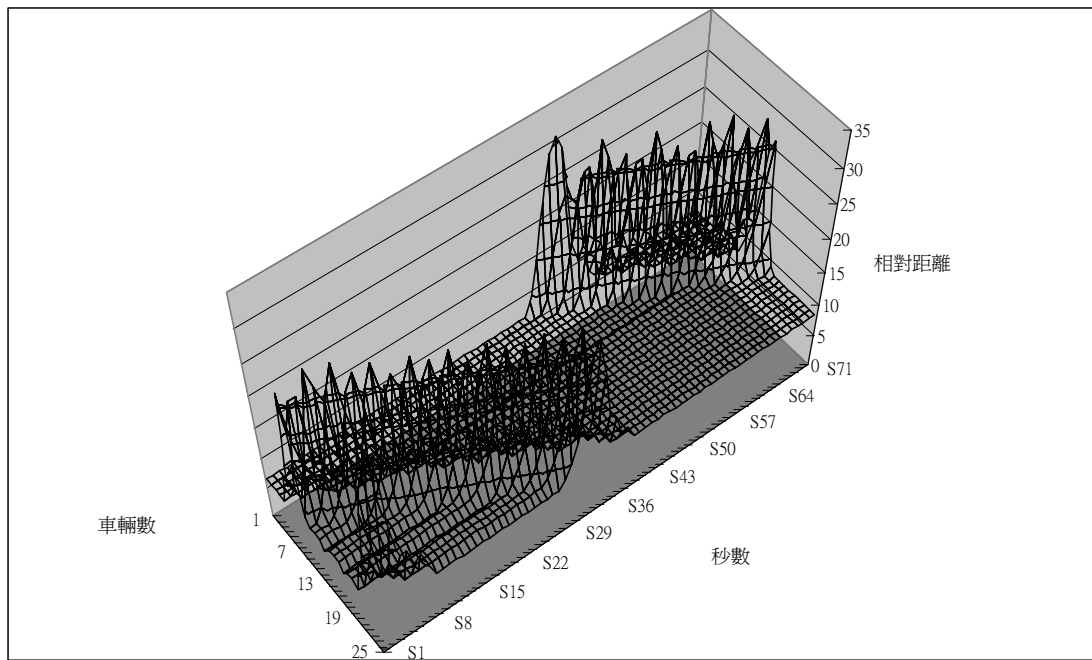


圖 6.30 立體跟車間距圖(自動車佔 63%)



七、結論與建議

本研究主要設計一套針對事故發生時，能夠運用在事故車流下的自動車控制邏輯，第三以及第四章為跟車邏輯的基礎架構，第五章則為將概念寫進程式的過程，大半的時間不斷的試誤以及調整模式，才有第六章許多微妙的車流圖形，第六章延續第五章的基礎，在沒有繼續修改程式之下，將模式放入車道上模擬，進而得到最後的結論。

7.1 結論

1. 自動控制模型，依照前方兩輛車的相對距離以及速度，判斷各種加速或是減速的可能，歸納出四種不同狀態下需要使用的模式。所以對加速或是減速的判定，並非如往常在前車較慢就減速，或是前車較快就加速，此傳統人為跟車理論，自動車輛受到前車的刺激可以更多樣、更複雜，因為其反應時間比人短很多，所以加速或減速並不會符合傳統人為跟車理論的刺激反應方式。
2. 經過調整，自動車輛在跟車時，可以保持安全的距離不會和前車產生碰撞，面對前方加速度驟降，也可以在事先減速以因應，也就是模式的主要功能，在流量為 30(veh/min)，密度為中等(33veh/lane)，自動車比例占車道上車輛的一半時，如有前車的減速，就算大至-4(m/s²)，後方是自動控制邏輯之下的自動車輛，並不會對後方其他車輛產生劇烈震盪，且加速越大，雖會影響震盪幅度，但並不會導致車輛相碰撞。
3. 設定流量為 20(veh/min)，密度為高的情況下，前車做減速的動作，對於自動車輛佔車道上車輛比例較低時，反而會對後方車流產生很大的震盪，幅度甚至比完全為人為操作時還大，原因乃是因為自動控制邏輯為了顧及安全以及舒適性，在前車可能距離前車已經很近，但前車並未減速的情況下，自動車已經做出減速的判斷。導致後方人為車輛接受自動車輛減速的刺激，也有減速的反應，才會使得震盪加大；且後方車輛在密度高，距離接近的情況下，更容易造成車流的不穩定。
4. 比較穩定(流量大密度低)和不穩定(流量小密度高)情況下的車流，以自動車輛佔車道上的百分比對相對距離做迴歸分析，發現穩定車流在低比例下平均車間距，比不穩定車流來得大，但比例過了 40%，則情況相反。不論是穩定或者是不穩定的情況下，如果讓自動車比例能夠占車道

上車輛的大多數，就可以使得車間距縮短，並且改善後方在低比例自動車下較大的震盪。

5. 在不穩定車流下(流量小密度高)，自動車輛的比例必須達到 63%，方可使得後方車輛免於劇烈的震盪，恢復穩定的平均車間距。
6. 由於模擬車輛受限於模擬時間非連續，造成檢定車間距(headway)時，無法符合和模擬軟體一樣的車間距；但如果轉為檢定非連續的車流量分佈，則能夠符合車流軟體的特性。
7. 自動控制邏輯可以用於穩定車流的情況，而且如果前後車皆為自動控制車輛，車輛會互相串連，後車追進前車，並和前車使用相同控制邏輯同加減速，維持穩定的前進。自動控制邏輯假使碰上前車以時速六十公里緊急煞車，自動車輛需要七十公尺以上的煞車距離才能安全煞車至停止；若兩車相距六十公尺，則後方自動若超過時速六十公里時，就會有撞上的危險。
8. 要使此模式能真正應用於自動車控制邏輯之上，先不論舒適度與否，必須要在確保安全的情況下，才有實施的可能。因此，在 6.1.2 節中有提到，跟車檢測標準中，最基本的跟車要求必須後車不可撞上前方行駛之車輛，此一邏輯確定之後，即可消除自動車上乘客安全的疑慮，有此前提之後，再顧及後方車輛的穩定性，不會因為前方車輛的減速而導致後方車輛安全上的問題。

7.2 建議

1. 此控制邏輯仍需要相關硬體配合，且硬體之效能越好或是偵測效率、反應速度越快，對判斷邏輯的正確性也越佳，模式也有很大的改善空間，雖然經過各種情境的測試才得到目前的最佳狀態，但這方面仍需再加強。
2. 自動控制邏輯在穩定車流下，就算流量再大也可以維持穩定的跟車，但是遇到不穩定車流，自動車輛如果沒有占車道上車輛的大部份，則跟車效能就沒有一般人為操作來得好，可見如果在事故發生下，跟車邏輯判斷對事故的反應仍有很大的改善空間，這是本文沒有達到的。
3. 本文將車輛以動態模擬方式類似車流模擬軟體，將車輛動概呈現出來，並且以車流分析的方式取代人為觀察做出各種車流分佈以及距離

對時間關係圖，即使是使用模擬軟體所輸出的資料，由於整理不易，且資料取得有限，無法直接得到車間距(spacing)的資料；本程式可再加強程式功能，加入變換車道的車輛，求出更精準的車道擁擠，延滯時間，或者轉換程式成連續輸出，便可以使得驗證模式時更加精準可行。



參考資料

1. 葉信宏，”適應性類神經模糊推論系統於跟車模式之應用”，碩士論文，民國 87 年 6 月
2. 詹維敏，”雙向跟車行為模式之研究”，碩士論文，民國 90 年 1 月
3. 莊建宏，”自動化交通監控系統”，碩士論文，民國 90 年 6 月
4. 交通部運輸研究所，台灣地區智慧型運輸系統發展綱要計畫
5. 張季倫，”公路客運行車監控系統之研訂及駕駛與車輛資料庫管理系統之研發—數位式行車紀錄器之應用”，國立交通大學，碩士論文，民國九十一年六月
6. J.B.Sheu，”Microscopic Control Logic for Incident-Responsive Automatic Vehicle Control in Single-Automated-Lane Highway Systems”
7. J.B.Sheu，Stephen G. Ritchie，”A new methodology for incident detection and characterization on surface streets”，Transportation Research Part C，June 1998
8. Mark Brackstone，Mike McDonald，”Car-following: a historical review”，January 2000
9. Denos C.Gazis，Robert Herman，Richard W.Rothery，”Nonlinear Follow-The-Leader Models of Traffic Flow”，December，1960
10. Hirofumi Ohtsuka，Ljubo Vlacic，”Stop & Go Vehicle Longitudinal Model”，IEEE 5th on ITS，September 2002
11. Su-Nan Huang，Steven C.Chan，Wei Ren，”Mixture of automatically-and Manually-controlled Vehicles in Intelligent Transport Systems”，Journal of Intelligent and Robotic Systems，January 1998
12. Paramics Modeller User V4
13. Paramics Programmer User V4
14. P.G.Gipps，”A Behavioural Car Following Model for Computer Simulation”，Transportation Research，15B,1981,105~111
15. Wilhelm Leuzbach，Introduction to the Theory Traffic Flow，Springwr-Verlag，Berlin Heidelberg New York，1972
16. Kikuchi，S.and P.Chakroborty，”Car-Following Model Based on Fuzzy Inference

- System” , TRR, Vol.1395, 1993
17. May , A.D. , Traffic Flow Fundamentals , Prentice Hall , Englewood Cliffs , New Jersey , 1990
 18. Nishina , T. and M. Hagiwara , ”Fuzzy inference neural network” , Neural computing , Vol.14 , pp223-239 , 1997
 19. Tano , S. , T. Oyama , T. Arnould , ”Deep combination of fuzzy inference and neural network in fuzzy inference software-FINST” , Fuzzy Sets and Systems , Vol.82 , pp151-160 , 1996
 20. Taoka , G.T. , ”An Analytical Model for Driver Response” , TRR , Vol.1213 , pp1-3 , 1989
 21. Tzafestas , S. , S. Raptis , G. Stamou , ”A flexible neurofuzzy cell structure for general fuzzy inference” , Mathematics and Computer in Simulation , Vol.41 , pp219-233 , 1996
 22. Winsum , W.V. , A. Heino , ”Choice of time-headway in car-following and the role of time-to-collision information in braking” , Ergonomics , Vol.39 , No.4 , p.579-592 , 1996
 23. J.B. Sheu , Stephen G. Ritchie , ”A new methodology for incident detection and characterization on surface streets” , Transportation Research Part C , p.315-335 , 1998.6
 24. R. Rajamani , S.E. Shladover , ”An experimental comparative study of autonomous and co-operative vehicle-follower control systems” , Transportation Research Part C , p.15-31 , 2000
 25. Carlos F. Daganzo , Fundamentals of Transportation and Traffic Operations , p.22