

國立交通大學

交通運輸研究所

碩士論文

因應事故發生自動控制車隊變換車道邏輯之構建
——以單一自動車道為例

Design of Incident-Responsive Lane-Changing Logic for Automated-
Control Platoons — in a Single-Automated-Lane Highway System

研究生：許智詠

指導教授：許鉅秉 教授

中華民國九十四年六月

因應事故發生自動控制車隊變換車道邏輯之構建
—以單一自動車道為例

**Design of Incident-Responsive Lane-Changing Logic for Automated-
Control Platoons — in a Single-Automated-Lane Highway System**

研究生：許智詠

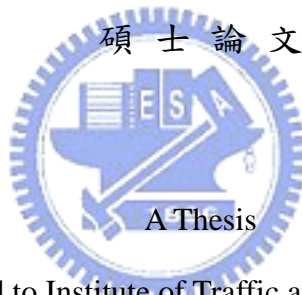
Student：Chih-Yung Hsu

指導教授：許鉅秉

Advisor：Jiuh-Biing Sheu

國立交通大學

交通運輸研究所



Submitted to Institute of Traffic and Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master

In

Traffic and Transportation

June 2005

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

因應事故發生自動控制車隊變換車道邏輯之構建

—以單一自動車道為例

研究生：許智詠

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

世界各國為了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問題，皆致力於發展智慧型運輸系統。而在智慧型運輸系統的七個子系統中又以自動公路系統為最高科技的一個子系統，也是發展智慧型運輸系統的最終的目標。以高速且小車間距前進的自動控制車隊，若遇到路段下游有事故的產生，將對系統產生重大的衝擊。雖然現在的科技還在測試的階段，不過快速的反應事故所帶來的車道阻塞也是先進自動公路系統的關鍵性議題，但目前仍鮮少有自動公路系統發生事故時的相關研究。

本研究是探討在單一自動控制車道之自動公路系統對事故發生時作因應事故之反應，目的在於建立一個變換車道邏輯，使得自動控制車輛能尋找變換車道機會順利變換到鄰近車道，而這些嵌入的交通控制邏輯都是基於基本的安全需求。首先建立事故上游之三個動態區域來規範自動控制車輛在事故上游的車隊拆解、事故引起之跟車及變換車道、以及強制煞車，然而本研究著重在變換車道部分，以車輛相對速率觀點及車間距切入，藉由防止車輛縱向及橫向碰撞來做判斷變換車道之邏輯，並且以程式語言撰寫控制邏輯，做情境敏感度分析，找出成功地變換車道與鄰近車道之車流狀況、擁擠程度、車速等之關係。

我們以變換車道所需時間來評估變換車道邏輯的績效。最後結果顯示在 AC 車輛為 5 輛、在鄰近車道車流量為 600vplph、以時速 70kph 的情境，將所花的平均變換車道時間繪製出關係圖，發現該情境呈現為圖形的一個鞍點。

關鍵字：自動公路系統、事故、變換車道、智慧型運輸系統

Design of Incident-Responsive Lane-Changing Logic for Automated-Control Platoons — in a Single-Automated-Lane Highway System

Student : Chih-Yung Hsu

Adviser : Dr. Jiuh-Biing Sheu

Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University

ABSTRACT

Many countries around the world devote to develop Intelligent Transportation Systems (ITS) to solve congestion problems, which coupled with some issues of incidents, consumption of energy resource, environmental pollution, and transportation safety. Automated Highway System (AHS) is not only the most hi-technical subsystem in the 7 subsystems of ITS, but also the ultimate goal of development of ITS. An automated-control platoon approaching with high speed and small vehicular spacing will face to critical impacts when incident occurs on downstream highway. Prompt response to lane-blocking incidents is a critical issue in development of advanced AHS although all the limited existing AHS technologies are on trial. But there are few researches to discuss these issues.

This paper focuses on the response to incidents for single-automated-lane highway system to design a lane-changing logic which permits automated vehicles (AC) change to adjacent lane. The embedded traffic control logic is based on the safety requirement. First we present three dynamic spatial zones, which are platoon decomposing, incident-induced car-following and lane-changing, and mandatory braking. However this paper is focus on incident-induced lane-changing, and embeds control logic with the views of relative velocity and vehicular spacing to make lane-changing decision via avoiding longitudinal and lateral collisions. Then, we compose C programming language to do sensitivity analyses of many scenarios, and find the relationships between successful lane-changing and traffic flow, variable traffic condition, and vehicle speed. Finally, we calculate the average lane-changing time of AC vehicles to evaluate the lane-changing control logic. And the result shows that 5-vehicle platoon which approaches in 70kph, and the flow of the adjacent lane is 600vplph, is a saddle of all traffic conditions.

Keyword : Automated Highway System, Lane-changing, Incident, ITS

誌謝

從硬梆梆的論文突然畫面切到極富人性與感性的一頁「誌謝」，百感交集實在不知道如何動手打字。不過論文可以完成，最重要是家人的支持，尤其是媽媽，當初跟她說我想去台北唸書，她也不太擔心兒子要去外地讀書，我從懂事之後想做什麼事，媽媽從來沒有反對過，對我很信任，家裡三個兒女都讀到國立大學跟研究所了，在此很謝謝媽媽的栽培，還有不擅言語的爸爸辛苦地工作，以及在台北一起讀書及生活的賤妹陪我鬥嘴，還有可愛的弟弟也會冷不防教導我怎麼口試怎麼回答問題跟 defence，突然不知道是誰在唸研究所。ㄟ(ゝ_ゝ)ㄟ

由於自己不是交通背景，剛進北交時什麼都不懂，而我是個對自己缺少什麼就會缺少那方面的自信，總是小心的學習，在此謝謝指導老師許鉅秉老師，有教無類的帶領我們許家班同學進入交通界的領域，老師不只傳授課堂的知識，人生道理更讓我獲得許多，還有藍武王老師、馮正民老師、黃承傳老師、汪進財老師、徐淵靜老師、黃台生老師，以及曾修過課的張家祝老師、黃寬丞老師等教授們的風範，都讓我收穫良多。也感謝胡大瀛老師及張美香老師在口試時的指導及勉勵。

論文的辛酸總是隨著結果的出現而變得不那麼明顯。由於從以前就不喜歡碰程式，不過出來跑總是要還的，結果論文還是得碰程式，也在這個階段碰到最大瓶頸，在此最感謝孟釗一直不厭其煩地幫我且讓我詢問，還有台大的黃世勛同學不斷跟我討論抓 bug。不過由於自己蠻懶的，又要求完美，所以矛盾的情況下造成論文進度的落後，不過有同學互相鼓勵與扶持，「智詠，還好吧？」、「加油啊！撐過去就好了」，讓我有一股動力要一起畢業！

班上同學們是我在台北生活的精神糧食，新生座談第一個跟我講話的偉成、總是把同學說得跟神一般的謙虛許家班大師兄小章、一起作計畫跟論文難兄難弟的孟釗；還有籃球隊跟拯救胖子游泳隊（孟釗、不姓蘇但要人家叫他蘇剛的三八兄弟明安、陽光男孩大聲公建仁、愛講冷笑話的阿揪、最樂觀有自信的豬一書豪）每個禮拜游泳後的談心、八卦、吐槽、模仿老師跟同學也都令人捧腹大笑；還有帶領很多次班聚的時尚踢、像大姊姊關心人的嘉宜、髒話不離口但卻很好笑的冠名、日本通小龜，及其他沒提到的學號 9236501~9236529 的所有同學，大家玩樂也都呼朋引伴，最歡笑的班上同學也是我最大的收穫。還有從我確定上台北之後就不斷幫助我的高中同學兼研究所學長永祥，帶我台北走透透、給我生活上的幫助（暫住、打工、出遊）；還有懂很多的宗弘也經由跟你聊天獲得很多心得，還喝了你不少的茶。最後也謝謝孟慧在論文衝刺階段的互相鼓勵，包容我的脾氣，聽我埋怨及訴說作論文的辛苦，不斷的幫我建立信心去面對挑戰，以及陪我走到論文的最後，感謝你的支持與陪伴，你的陪伴讓心裡承受論文壓力減輕許多。

謹獻給所有幫助過我的家人、老師及同學們！！千言萬語一個謝字，我會繼續努力奮鬥，朝向自己的目標前進 keep going。陳之藩的「謝天」說道：「要感謝的人太多了，還是謝天吧！」；我想，「論文要改的東西太多了，還是改天吧！」。

智詠 于交通大學交通運輸研究所
民國九十四年六月

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	IV
目錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
符號說明	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 研究範圍與限制	2
1.4 研究內容	3
1.5 研究流程	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 自動公路系統	5
2.1.1 發展概況	5
2.1.2 AHS 的主要功能與分類	6
2.1.3 先進安全車輛	7
2.2 變換車道	11
2.3 AHS 變換車道相關文獻	12
2.4 文獻評析	21
第三章 自動公路系統變換車道模式之構建	22
3.1 系統基本假設	22
3.2 系統定義	22
3.2.1 事故影響區	22
3.2.2 車隊前進	23
3.3 事故上游車隊前進與事故影響區之構建	25
3.3.1 強制煞車區之計算	25
3.3.2 跟車緩衝區之計算	26
3.3.3 車隊拆解區之計算	27
3.3.4 變換車道流程	27

3.4	變換車道模式構建.....	29
3.4.1	變換車道因素.....	29
3.4.2	變換車道模式.....	30
3.4.3	與自動車道前車之關係.....	34
3.4.4	加速度調整.....	35
3.5	鄰近車道的混合車流.....	35
3.5.1	人為反應時間.....	35
3.5.2	人為心理因素.....	36
3.6	強制煞車後的變換車道.....	37
第四章	程式模擬系統之發展.....	38
4.1	程式撰寫.....	38
4.2	實驗設計.....	43
4.3	檔案輸出.....	47
第五章	模式應用與情境分析.....	49
5.1	情境建立與評估準則建立.....	49
5.1.1	情境建立.....	49
5.1.2	評估準則建立.....	50
5.2	車隊前進與鄰近車道.....	50
5.3	情境分析.....	52
5.3.1	車隊規模與自動控制車輛.....	52
5.3.2	自動控制車輛變換車道所需時間.....	54
5.3.3	自動控制車輛變換車道成功率.....	55
5.4	參數調整.....	57
第六章	結論與建議.....	58
6.1	結論.....	58
6.2	建議.....	59
	參考文獻.....	60
	附錄 A TURBO C 程式碼.....	62
	附錄 B 模擬結果.....	78

表目錄

表 2-1	變換車道之情境分析.....	16
表 4-1	車輛尺寸資料表.....	44
表 4-2	車輛行駛速率與一般加減速度之資料表.....	44
表 4-3	乾路面、輪胎狀態好下最大加速度及最大減速度資料表.....	44
表 4-4	單位時間內的檔案輸出狀態之一.....	47
表 4-5	單位時間內的檔案輸出狀態之二.....	48
表 4-6	單位時間內的檔案輸出狀態之三.....	48
表 5-1	自動車隊模擬之二十七種情境.....	49
表 5-2	情境十四之三個門檻值及相關資料表.....	52
表 5-3	車隊規模與進入事故區到變換車道所需時間表.....	53
表 5-4	車速與進入事故區到變換車道所需平均時間表.....	54
表 5-5	鄰近車道流量對於變換車道成功比例關係表.....	56
表 B-1	情境 1~3 模擬結果.....	78
表 B-2	情境 4~6 模擬結果.....	79
表 B-3	情境 7~9 模擬結果.....	80
表 B-4	情境 10~12 模擬結果.....	81
表 B-5	情境 13~15 模擬結果.....	82
表 B-6	情境 16~18 模擬結果.....	83
表 B-7	情境 19~21 模擬結果.....	84
表 B-8	情境 22~24 模擬結果.....	85
表 B-9	情境 25~27 模擬結果.....	86

圖目錄

圖 1-1	研究流程圖.....	4
圖 2-1	先進安全車輛裝置示意圖.....	8
圖 2-2	ACC(Adaptive Curies Control System)示意圖.....	9
圖 2-3	美國 ASV 全方位防撞系統示意圖.....	10
圖 2-4	變換車道流程圖.....	18
圖 3-1	事故上下游之影響區示意圖.....	23
圖 3-2	自動控制車隊前進之三個動態門檻.....	24
圖 3-3	AC 車輛強制煞車之動態安全距離.....	25
圖 3-4	變換車道流程圖.....	28
圖 3-5	變換車道示意圖.....	29
圖 3-6	變換車道之時間—距離概念圖.....	30
圖 4-1	主程式 main()流程圖.....	39
圖 4-2	P_laneTransition()函式流程圖.....	42
圖 4-3	模擬高速公路路段幾何特性示意圖.....	43
圖 4-4	平坦路段速率與流量關係及服務水準劃分之等級.....	45
圖 4-5	Greenshield's model 下之流量與密度對應圖.....	46
圖 5-1	情境十四之初始一分鐘座標時間圖.....	51
圖 5-2	情境十四之初始一百秒座標時間圖.....	51
圖 5-3	車隊規模與進入事故區到變換車道所需時間關係圖.....	53
圖 5-4	車隊規模與進入事故區到變換車道所需時間之關係立體圖.....	54
圖 5-5	鄰近車道車流量變化對變換車道時間影響圖.....	55

符號說明

AC：自動控制車輛

MC：手動駕駛車輛

i_σ 、 $i_\sigma-1$ ：目標 AC 車輛與其前車

j_{n-1} 、 j_n ：鄰近車道與目標 AC 車輛最接近之前後車

$X_{i_\sigma}^t$ ：目標 AC 車輛 i_σ 車距離事故之位置(m)

$X_{j_{n-1}}^t$ 、 $X_{j_n}^t$ ：目標 AC 車輛鄰近車道前後車位置(m)

X_b^σ ：距離事故上游之強制煞車區位置(m)

X_f^σ ：距離事故上游之跟車緩衝區位置(m)

X_d^σ ：距離事故上游之車隊拆解區位置(m)

X_s ：預設的任何兩輛 AC 車輛車頭到車頭之最小車間距(m)

$x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0} = X_{i_\sigma}^{t_0} - X_{j_{n-1}}^{t_0}$ ：目標 AC 車輛與鄰近車道前車車間距(m)

$x_{j_n, i_\sigma}^{t_0} = X_{j_n}^{t_0} - X_{i_\sigma}^{t_0}$ ：目標 AC 車輛與鄰近車道後車車間距(m)

$x_{i_\sigma, i_\sigma-1}^{t_0} = X_{i_\sigma}^{t_0} - X_{i_\sigma-1}^{t_0}$ ：目標 AC 車輛與其自動車道前車之距離(m)

$a_{i_\sigma}^{mc}$ 、 $d_{i_\sigma}^{mc}$ ：目標 AC 車輛之一般加速度及減速度($a_{i_\sigma}^{mc} > 0, d_{i_\sigma}^{mc} < 0$) (m/s^2)

$A_{i_\sigma}^{mc}$ 、 $D_{i_\sigma}^{mc}$ ：目標 AC 車輛之最大加速度及減速度($A_{i_\sigma}^{mc} > 0, D_{i_\sigma}^{mc} < 0$) (m/s^2)

$\mu_\sigma^{t_b}$ ：目標 AC 車輛之前進速率(m/s)

$v_{j_{n-1}}^t$ 、 $v_{j_n}^t$ ：目標 AC 車輛之鄰近前後車之車速(m/s)

$v_{j-1, i}^t = v_{j-1}^t - \mu_{i_\sigma}^t$ ：自動控制車輛縱向速率與鄰近車道前車之相對速率(m/s)

$v_{i, j}^t = \mu_{i_\sigma}^t - v_j^t$ ：自動控制車輛縱向速率與鄰近車道後車之相對速率(m/s)

$\bar{v}_j^{t_f}$ ：表示在時間 t_f 時鄰近車道 j 觀察到之平均車速(m/s)

$n_\sigma^{t_b}$ 、 $n_{\sigma-1}^{t_b}$ ：車隊 σ 的車輛數及車隊 $\sigma-1$ 所停等之車輛數

T_{mc} : 變換車道平均所需時間(sec)

T_d : 在緩衝區所行駛之時間(sec)

τ : 緩衝時間(sec)

T_c : 系統計算時間(sec)

\bar{L} : 平均車長(m)

\bar{W} : 平均車寬(m)

Y : 車道寬(m)

φ : 預設之縱向安全係數

ε : 預設之側向安全係數

$\theta_{i\sigma}^{mc}$: 變換車道之轉向角(radian, rad)

$\tilde{\theta}_{i\sigma}^t$: 變換車道之最小轉向角(radian, rad)



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

近年來世界各國為解決交通擁擠及其伴隨而至的交通事故、能源消耗、環境污染與運輸安全等課題，為了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)。以美國 ITS 系統中，包含了先進交通管理系統(ATMS)、先進旅行者資訊系統(ATIS)、先進車輛控制及安全系統(AVCSS)、商用車輛營運系統(CVO)、先進公共運輸系統(APTS)、先進鄉區運輸系統(ARTS)及自動公路系統(AHS)共七個子系統。

在這些 ITS 子系統中又以先進車輛控制及安全系統(Advanced Vehicle Control and Safety Systems, AVCSS)與自動公路系統(Automated Highway System, AHS)最令人矚目。此二個 ITS 子系統不但期望增加現有公路之容量與使用效率，提高車輛行駛的安全性，並期能提供用路人之舒適感與便利性。本研究的研究對象為自動公路系統，自動公路系統是以車輛完全自我控制，或利用路旁設施的輔助，使車輛得以自動駕駛。然而，突發性的事故發生將對自動公路系統帶來系統性的衝擊，此衝擊來自於自動控制車輛是以高速、小車間距的車隊形式前進，事故的產生將使車輛高速駛向事故地點，因應事故產生便以煞車停等以及變換車道來躲避事故產生之車道阻塞，故自動公路系統對於事故引起車道阻塞之自動化的反應，便是自動公路系統的關鍵性的課題。這個議題的重要性有三[8]：(1)事故引起的車道內交通的現象，包括下令變換車道及停等車輛溢流等，和車流理論、事故管理、交通控制等交通領域相關；(2)自動控制(Automated-control, AC)車輛與非自動控制車輛的特性不同，主要取決於人為因素；(3)事故特性的變化(如：事故持續的時間及發生地點)通常伴隨著事故衝擊(延滯、停等長度)，這些時間上及空間上的不確定性，將使得所使用的交通控制及管理策略無效。

隨著自動公路系統發展及實際測試，在自動公路系統發展成熟、車輛完全自動駕駛之前，將會有人為駕駛及自動駕駛的兩種駕駛型態並存的階段，因為科技的成熟度與人對科技的信賴程度有相當一段差距，所以過渡時期將持續一段時間。所以未來進入測試階段的自動公路系統，通常撥用高速公路的最內側的一個車道作為自動控制車道，自動控制車道僅允許自動控制車輛行駛，一般人為駕駛車輛不得駛入。若行駛於高速公路上的所有車輛若皆為自動駕駛，所有車輛行駛行為皆由電腦判斷及控制，車流狀況是比較簡單；但在發展自動公路系統的過渡時期，面對自動控制車道上發生突發事故或障礙物，快速地反應事故所帶來的衝

擊，其中自動控制車輛欲順利通過事故地點，自動車輛變換車道必須考慮鄰近車道人為駕駛之人為因素，自動手動駕駛的混合車流反而變得較複雜。在這樣的事務衝擊下自動公路系統的車流狀況，至今仍缺少相關研究探討之。

1.2 研究目的

基於上述之研究背景與動機，本研究之目的在於探討於單一自動車道之自動公路系統中，當事故發生時，事故上游之自動控制車隊即時應變事故反應進行拆解之步驟與過程，期能在自動公路系統的控制之下，即使面對不可預期之意外事故的發生，然可依照合理且有效的程序，以變換車道所需的參數（行駛速率、加速度、可接受之安全間距、轉向角等），建立應變事故反應模式進行模擬與驗證，期望自動控制車道上之車輛順利變換到鄰近車道，才可以進行接下來的事務影響下之跟車行為，以通過事故地點。基於上述，本研究將研究目的設定為單一自動車道自動公路系統因應事故自動控制車隊變換車道的初探性研究。

1.3 研究範圍與限制

為達自動公路系統控制機制之績效，研究上多以車隊(platoon)的方式進行控制[15]。若車隊以均質的車隊狀態下前進，當車隊前方發生事故時，車隊在進入事故影響區前，未抵達發生事故之鄰近路段的自動控制車隊，可能會產生兩種反應：(1) 最接近事故地點之自動控制車隊將採取煞車之動作，並停等於事故地點上游；(2) 當前方有自動控制車隊對事故產生反應時，後方之自動控制車隊將會拆解、減速，並依情況而變換車道。本研究主要針對當自動控制車道發生意外事故時，行駛於該車道上游至事故地點之自動控制車隊，對於事故所產生之即時反應狀態，並探討不同參數所組成之自動控制車隊將如何進行變換車道之動作，做最適化之決定，期能使事故對交通之衝擊降至最低。

鑑於自動公路系統仍處於研究發展階段，各種車輛控制單元的發展也都尚未成熟，現有的一些自動公路系統尚在測試階段，所以各種相關技術仍在發展，抑或不明朗，便為本研究之研究限制。而這些限制仍待科技持續研發來支持自動公路系統的長遠發展。故本研究在基於假設所有實體車輛單元、控制技術、通信技術等技術都發展成熟的條件下，足以因應事故的變換車道行為，所提出之微觀車輛控制邏輯。

1.4 研究內容

綜合上述各點，本研究之研究內容如下：

1. 了解與確認問題及所需使用的研究方法與工具，並進行問題確認及研究範圍、研究對象、研究限制等界定，以進一步確定研究之方向。
2. 進行國內外自動公路系統變換車道之相關文獻回顧和相關發展課題，包括自動公路系統的發展概述、自動公路系統變換車道行為、自動公路系統的車流理論。
3. 依據 J.B. Sheu (2004)[8]所提出針對單一自動車道的自動公路系統提出應變事故微觀控制邏輯，以此為理論基礎，構建反應事故之微觀(microscopic)角度切入探討即時反應事故之變換車道模式。
4. 將所構建之變換車道模式，界定出變換車道之決策變數，針對所構建之模式以及想要模擬的情境，撰寫模擬程式。
5. 進行模式與程式設計及分析。程式則以程式語言 Turbo C 撰寫控制邏輯，進行模式模擬，並且進行情境之敏感度分析，探討鄰近車道車流狀況、自動控制車隊規模大小、自動控制車隊初速對變換車道的影響程度及關係。
6. 總結整篇論文，整理研究心得，並提出此研究之具體結論及建議，給予後續研究人員之建議改進及延伸。

1.5 研究流程

本研究之研究流程如圖 1-1 所示：

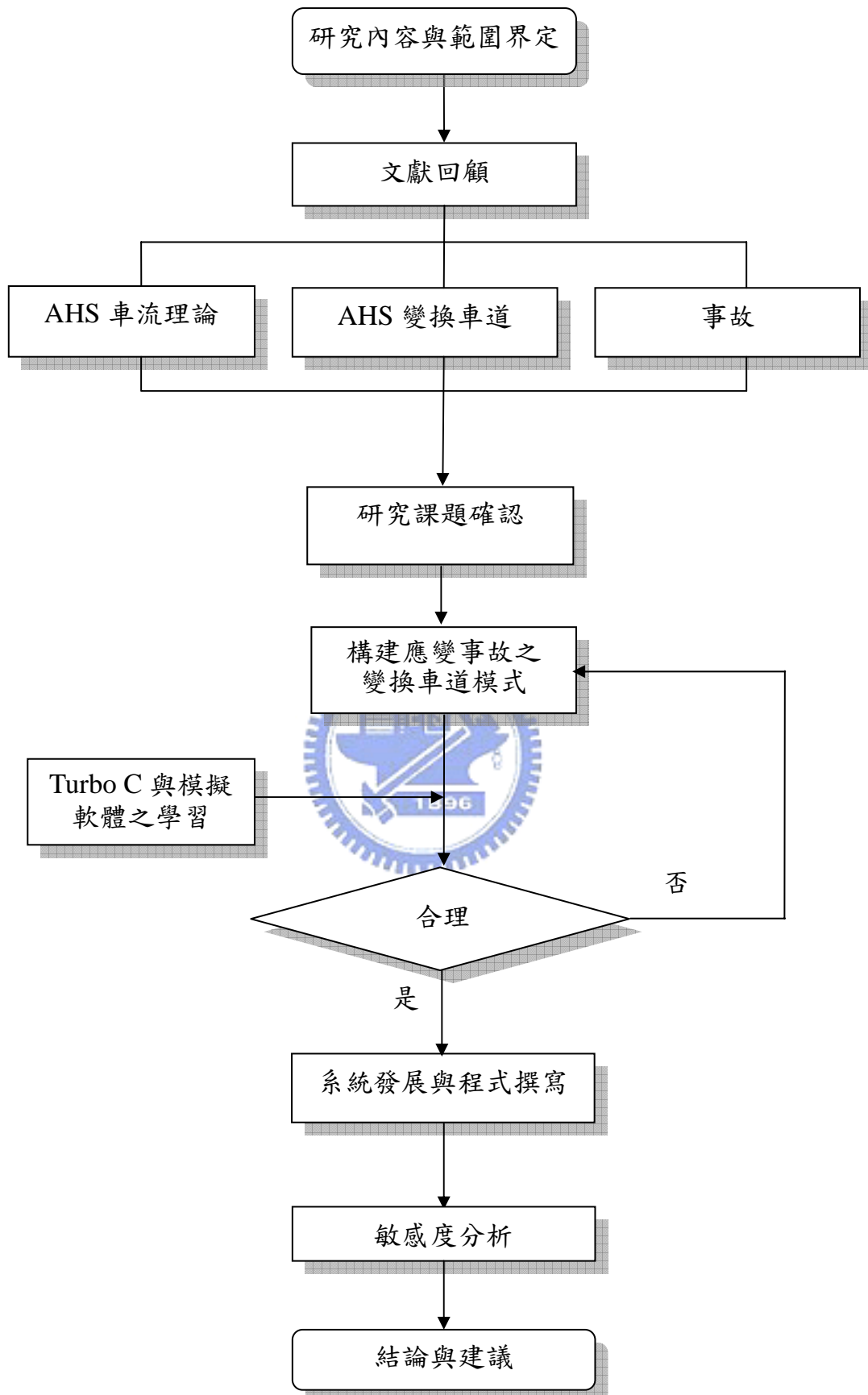


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章將針對本研究相關之自動公路系統及現今科技發展概況、變換車道、自動公路系統變換車道、事故，以及過去國內外學者所做自動公路系統變換車道相關之文獻，作整理及回顧，期望可以對於本研究有所啟發。

2.1 自動公路系統

2.1.1 發展概況

「自動公路系統」是指以車輛完全自我控制，或利用路旁設施的設施，使車輛得以自動駕駛。其目的在藉由先進的通訊及自動控制等技術之應用，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。依據交通部運輸研究所 87 年日本考察報告：自動公路系統在美國稱為 AHS (Automated Highway System)，在日本則以其實際發展的階段與內容，而修正為先進式導航公路系統 ACHS (Advanced Cruise-assist Highway System)。AHS 的基本概念，簡單來說就是運用公路上與車輛上的電子通訊系統，導引車輛安全行駛，乃至發展到無人駕駛的理想境界。

關於自動公路系統的發展過程，在此作一個簡單的介紹。1989 年，日本建設部成立一研究計畫，研究及發展日本的道路設施系統，提供駕駛人自動化的操控系統。該計畫在車輛完全自主概念上有三個主要的特點：第一、在車身前方和旁邊的雷射測距感應器能偵測到駕駛人前方和旁邊的物體，並能測出該物體和車輛的間距。第二、由安裝在車內後視鏡上的 CCD 攝影機偵測路旁的記號，若車子偏離了道路，車輛便會自動向駕駛人發出警告。第三、安裝在車身兩旁後視鏡上的 CCD 攝影機偵測由後而至的車流，並在必要時發出聲音警告。1996 年成立 AHS 研究組織(AHSRA)[2]，確立研究之概念與架構，同年在尚未開放使用的上信越道進行自動車輛運轉試驗，試驗的內容包括有：(1)與前方車輛衝突之防止，(2)與側向車輛間衝突之防止，(3)道路前方發生事故時的警告機制，以及(4)自動運轉機能之試驗。

美國自動公路系統協會 NAHSC(National Automated Highway System Consortium)於 1997 年進行自動公路系統試驗展示(Demo'97)，證明自動化公路 (AHS) 的技術可行性。主要的試驗在聖地牙哥到洛杉磯之間的州際公路上進行，試驗車輛上都裝有磁鐵感測器和高敏感度的雷達裝置。磁鐵感測器用來檢測車輛在公路上的位置，高敏感度的雷達裝置用來檢測車速和安全距離並避開障礙

物，車輛在公路上的行駛就不需要由駕駛者控制，駕駛者可悠閒地坐在車上休息或做其他的事情。

1998 年歐洲公開展示其自動公路系統研究成果(Demo'98)。試驗地點為建設中的高速公路(N11)，內容包括有都市駕駛控制(Urban Drive Control)、智慧型速度調整(Intelligent Speed Adaptation)、駕駛者行為檢查與車輛運轉支援等項目。同年在韓國舉行之 ITS 世界會議中，亦有自動化公路系統之試驗展示，之後在 1999、2000 年，美國及日本兩國也都有相關試驗展示。

然而自動公路系統的發展最重要的還是其運作的功能：適應性巡行系統(Adaptive Cruise Control)的發展是考慮了安全及使用者的接受度，而未來發展先進的巡行控制則必須在現有的基礎建設中加入障礙物危險警告(obstacle warning)、車頭距危險警告(headway warning)，以及自動車輛辨識(Automatic Vehicle Identification)等功能。路邊設施—車輛之聯繫、車輛—車輛之聯繫也是對未來 AHS 發展相當重要。自動煞車系統藉由在前方的車輛或路邊設施傳遞減速要求，車輛必須非常確定即將發生的危險，而後方跟隨車輛對即將發生危險的認知及其本身的車速也是重要的考慮因素(Cem Ünsal,1997)[5]。這些技術都隨時要求對於車輛位置的極大準確度，如果系統是以路邊設施為基礎的系統，則路邊設施必須對於非自動車輛的位置有相當的瞭解，而資訊的更新率則必須在每秒超過 100 次並且安全的需求必須小於 10 公分[James,1994]。

AHS 發展的最後一步就是完全的自動控制，在駕駛者方面將不需要對車輛坐任何控制，所有的路線決定都交由使用自動車輛位置定位系統(Automatic vehicle location, AVL)與先進旅行者資訊系統(ATIS)，駕駛者可以增加路徑選擇判斷準則，一旦路徑選擇確定之後，車輛將引導車輛前進，並且最新的繞境選擇及資訊也將藉由先進交通管理系統(ATMS)來獲得。

2.1.2 AHS 的主要功能與分類

一、ASH 的主要功能：

我們瞭解自動公路系統主要能夠提供駕駛人更舒服及安全的駕駛環境，而 AHS 對於汽車駕駛人所提供的服務，可概略分為以下四種：

1. 提供行車與道路狀況資訊：藉由車上與路上的偵測設備，蒐集並提供駕駛人即時路況與車輛周遭環境的資訊，例如前方有故障車輛或有霧的資訊，增加駕駛人對行車環境的瞭解，以提高行車安全。
2. 危險警告：經由系統迅速整合即時的車輛位置、行車速率與前方障礙物的距

離、或車輛偏離車道等資訊，對駕駛人發出危險警告，以輔助駕駛人做必要的反應決策。

3. 行車運轉輔助：為防止車輛碰撞或撞擊障礙物，甚至偏離車道，系統在上述危險警告後即增加車輛自動控制的功能，對車輛進行車速控制及方向控制，俾能在緊急狀況發生時，避免可能的事故發生。
4. 行車自動運轉：構建完全自動操控輔助功能，對於車輛的方向盤、加速器、煞車系統，乃至與前車保持一定距離等，均交由系統自動操控。

二、以自動化程度作為 AHS 的分類：

M.Broucke & P.Varaiya (1996)[11]提出 AHS 的理論包含了兩種特性：一是控制法則，用來管理私人運具的移動；另一特性為交通流量管理法則，這是用來導引整個車流的方法。這兩種特性與法則可用來促進高速公路相關的績效，並且可用來減少不希望發生事件(塞車等)可能性。AHS 的概念可分為車輛完全自主(車輛完全智慧化)、道路設施控制(大部分由道路上相關設施來控制)，以及介於兩者之間的系統。根據美國國家自動公路系統聯盟(NAHSC)的定義，AHS 的發展架構依車輛與道路基礎設施自動控制權的多寡，可分為五個研究範疇：

- (1)車輛完全自主模式(autonomous)：車輛完全自我控制；
- (2)道路設施與車輛合作模式(cooperative)：除了車輛自我控制之外，增加車輛間通訊的功能；
- (3)道路設施支援模式(infrastructure-supported)：提供道路基礎設施與車輛間通訊的功能；
- (4)道路設施管理模式(infrastructure-managed)：道路基礎設施管理每一輛車的運作，車輛仍可維持部分自我控制；
- (5)道路設施控制模式(infrastructure-controlled)：道路基礎設施完全控制車輛的運作。

2.1.3 先進安全車輛

自動公路系統最大的疑慮，就是現今科技發展乃至 AHS 相關技術之發展是否可以支持自動公路系統之發展。然而交通不外乎分為人、車、路三個部分，自動公路系統著重的是車輛的部分，於是我們回顧現今對於車輛安全及通訊的發展便可以回應本研究對於自動公路系統相關之假設，在可預見的未來，這些技術發展漸漸成熟，本研究便不至於淪於空談，而是未來交通發展可能會面臨的問題。

先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)的發展主要是由日本率先進行，最主要的目的是如何積極開發以高科技電子產品輔助駕駛者降低車輛事故發生率及人員死傷率，以提昇車輛行駛時的安全性能。

先進安全車輛主要的裝置如圖 2-1 所示，以下針對主要裝置之功能與應用技術作簡要介紹。

1、前方防撞警告系統

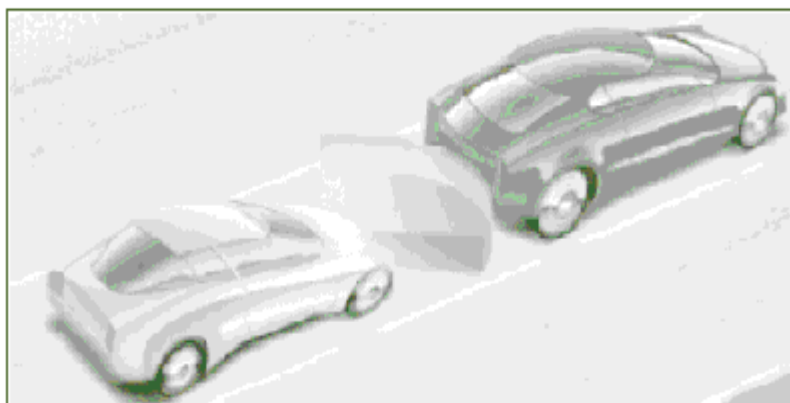
此系統可計算車輛與前方車輛距離與其本身車速關係，當車速與車距小於所設定之關係式時，系統便會利用警示標識或是警告音量的動作，警告駕駛者其駕駛行為可能會導致車輛事故，以確保車輛乘員生命之安全(如圖 2-2)。應用技術：利用毫微米波雷達或是雷射雷達進行車輛距離的偵測，並經由邏輯判斷式的撰寫，以期達到警告的作用。

其中，毫微米波雷達為頻率範圍落於 26.5~300GHz 的一種雷達，由於頻譜介於微波與光之間，兼具有兩者之優點。毫微米波雷達的優點是角度分辨率高、頻寬帶大，缺點是大氣吸收較大，需要大作用距離時所需的功率較一般為高。一般以微波雷達或者都卜勒雷達皆可偵測得到前後車之速率，毫微米波雷達由於角度分辨率高，未來使用於偵測鄰近車道前後車之速率應為可行之道。



資料來源：財團法人車輛研究測試中心

圖 2-1 先進安全車輛裝置示意圖



資料來源：財團法人車輛研究測試中心

圖 2-2 ACC(Adaptive Curies Control System)示意圖

2、事故自動通報系統

當車輛發生事故同時，可以藉由此系統發出訊息至緊急救援中心或是救護中心告知發生事故，請相關人員進行救護工作。應用技術：利用事故感知器進行車輛事故發生之判定，進而利用 GPS 進行位置確認與訊號之傳遞工作。

3、智慧型車輛定位系統

車輛為一可移動之工具，但是如何將移動中車輛的位置與相關資訊作一最好之利用，則為交通管理的最基本的資料庫，因此可以利用這套系統，精準的定義車輛的位置，與道路上車輛的資訊。應用技術：利用 GPS(Global Positioning System) 與豐富完整的 GIS (Geographical Information System) 資料庫將車輛的位置精準的定義，並從車輛之行車電腦進行車輛資料的擷取，進而可以實施進一步之交通管理工作，如經由交控指揮中心進行動態指派車輛之行徑路線等等工作。

4、道路環境警告資訊系統

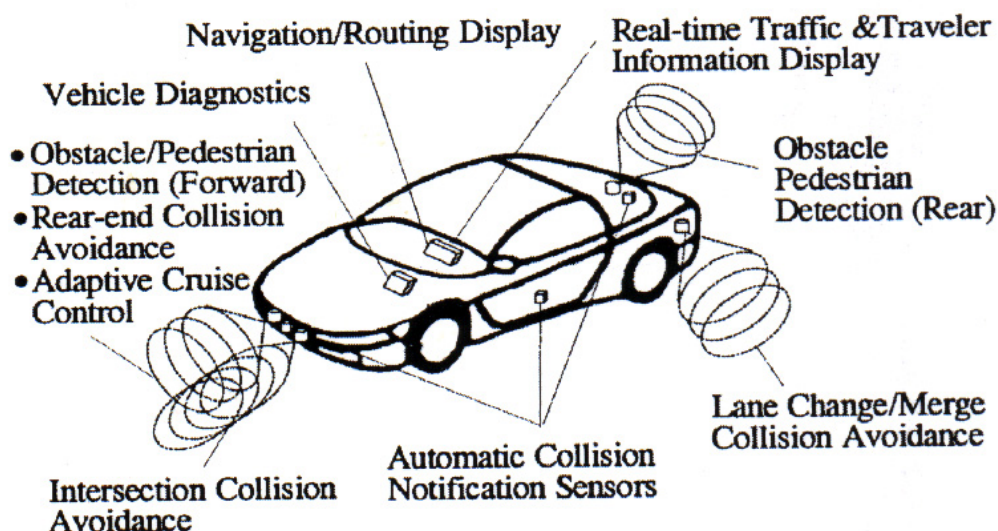
道路上的突發事故，常為造成交通事故的主要因素之一。因為於快速的行駛過程中，駕駛者對於事故即將發生所做反應動作的時間會比車輛撞擊發生的時間要慢許多，因此若可以將道路上的突發事故提早告知道路使用者，便可以儘早採取應變措施，避免事故的發生。應用技術：利用路邊之資訊設備，提供可資利用判斷之前方道路相關資訊，以利駕駛者可以進行車輛行為的穩定控制，避免因前方之緊急事故造成另一次之交通事故。

5、偏離車道警示系統

車輛若能維持在該行駛的道路中行駛，應可降低許多交通事故發生的機會。此系統即可在車輛發生車道偏離的情況，而駕駛者並不採取任何的應變措施時，適時的發出警告，以降低事故發生的機率。

另外美國在 1997 年由國家高速公路交通安全局所主導的智慧型車輛開發 (Intelligent Vehicle Initiatives, IVI) 計畫，推動先進安全車輛的研發工作。IVI 計畫內容為發展 360 度全方位碰撞警示系統，如圖 2-3 中所示，其中包含三項主要的技術與設備：

- (1) 基本碰撞預防警示技術：適應性巡航控制(Adaptive Cruise Control)，以防止車輛後方追撞，偵測車輛前方障礙物與行人。
- (2) 先進碰撞預防警示技術：車道變換／匯入的碰撞預防，交叉路口碰撞預防，車輛診斷，障礙物及行人偵測...等。
- (3) 基本旅行者資訊設備：導航／路線指引，即時交通與旅行者資訊，自動的撞擊通知。



資料來源：財團法人車輛研究測試中心

圖 2-3 美國 ASV 全方位防撞系統示意圖

由現今之科技發展，我們可以得知現在車輛的一些功能與科技上都朝著完全自動駕駛的方向邁進，不管是雷達偵測速度與距離，以及側向的偵測，技術上都漸漸地可以作得到，而技術的成熟度也會隨著慢慢增加，有了這些技術的支持，更多改善交通安全的研究發展也會持續往 AHS 來邁進，AHS 也可以說是 ITS 發展的最終極目標。

2.2 變換車道

過去學界針對變換車道所提出的車流模擬模式相當多，國內曾有研究針對國內外變換車道，做整體性的文獻回顧及歸納。

張鈞華(2001)[20]指出變換車道行為，主要可分為選擇性變換車道與強制性變換車道兩種。選擇性變換車道係指當車輛行駛速率小於期望速率，或駕駛者為了減少行車延滯所採行的變換車道行為。而強制性變換車道則是車輛因欲轉向而自其車道變換至指定轉向專用車道之行為。該研究回顧國內外之變換車道之處理方法作了以下的分類：

1. 可接受車間距決定法則

若行駛車輛發現鄰近車道的平均車速維持於定值，且其車間距大於該車駕駛可接受之跟車車間距，則可依需要而變換車道若該車輛進而發現行使車道兩鄰近車道間之車速存在有落差，該車可於變換車道後，將車速調整至鄰近車道的平均車速，調整所需時間亦應納入其車間距決定法則中加以考量。

2. 二元型態模式

將道路車道分割成一格格的單位，每單位中若有車輛存在，定義其值為 1，反之則為 0；藉由每段時間車輛之推進情形，可研究車輛變換模式。此方法中單元大小將影響描述交通型態的精確度，故單元越小越能表達車輛推進情形。

3. 虛擬車法

考量車輛是否在可變換車道內，比較兩車道車速與車輛數，以決定是否需要變換車道。其次考量使否有足夠之間距供變換車道之用。當 A 車想要變換車道，即在一秒後將車輛推進至鄰近車道，而原車道則保留一個與原車相同特性之虛擬車 A'。因此在車道變換過程中，兩相鄰車道之跟隨車接受 A 及 A' 的影響。直到變換車道行為完成後再將虛擬車刪除。

4. 實體車變換車道法

變換車道的決策準則與虛擬車法相同，其次判斷變換車道是否會成功。先找出欲變換之車輛 A 的同車道與鄰近車道之前車 B 、 B' ，計算 A 與 B 、 B' 於 X 軸推進最遠的車輛偏向角 θ_1 、 θ_2 ，而 θ_1 、 θ_2 之值均需小於 A 車最大偏向角。若 A 車在位於選擇變換車道區內，則該車為了使其推進距離最遠，故選擇 θ_1 、 θ_2 中較大者為該車之變換車道偏向角；若 A 車位於強制變換車道區內，則該車為能盡快進入期望車道，故選擇該車最大偏向角為其變換車道偏向角。

2.3 AHS 變換車道相關文獻

Cem Hatipoglu, Ümit Özgüne, Keith A.Redmill(2003)[4] 研究的主要重點是自動控制變換車道的背景控制理論。對於系統性控制器的發展提供分析方法，將使得在自動公路系統中行駛的自動車輛完成更合適的變換車道。

該研究的目的是在變換車道過渡期間，藉著自動偵測系統獲得間續可利用的有效預期的資料。藉由虛擬偏移參考的產生與並利用健全的變換控制器產生操縱命令，自動車輛追蹤參考，完成變換車道。以此種方式，敞開迴路變換車道被轉換成虛擬參考軌道追蹤問題。這個方法考量在過去時間裡操作的縱向速率的最適性。雖然分析是假設道路是直線，然而對任一道路分段演算的歸納是相當明確的。該篇研究將焦點放在側向控制的議題上，特別是自動變換車道策略。作者提出自動車同時需要表現在兩方面的作業上，一為調整車輛速率保持前後安全距離、一為駕駛如操控車輛側向運動。

實驗在加州聖地牙哥北方 I-15 高承載專用車道(HOV)作試驗。第一組試驗數據對應在 20m/s 左側車道變換。跟車系統使用雷達感應器之外，也使用視覺感應器作為備用。第二組試驗在 25m/s 右側車道變換，對應車輛從一端到另一端完成兩個車道變換動作，這些計畫指出在跟車、變換車道、平順變換完成期間是有效的。

Wonshik Chee, Masayoshi Tomizuka(1994)[14]提出變換車道方法是屬於自動公路中側向控制的一部分，假設無法直接測量出由本車道變換至另一車道時，則車輛僅能利用車上的虛擬期望軌跡 (Virtual Desired Trajectory, VDT) 的感應器做出變換車道之決策，LQ、FSLQ 與滑行模式 (Sliding mode) 控制演算法目前已被設計出，透過模擬上述的模式可知，結果是令人滿意的。

最佳的變換車道軌跡，可由駕駛人的駕駛舒適度、變換車道時間及移動的軌跡中來考慮，而過去學者提出有關變換車道的理論綜合整理如下：

- (1) Godthelp (1983) 提出藉由調查駕駛的形式，發現駕駛員在變換車道時的角度是呈現正弦函數。
- (2) Modjtahezadeh (1989) 提出一個新的有關駕駛人變換車道的控制模式。
- (3) Kanayama、Hartman (1989) 提出曲率軌跡模式。
- (4) Nelson (1989) 提出五階多項式軌跡模式。

而在此研究中是利用一個梯形加速度為輪廓，進而提出梯形加速度軌跡模式，作者將此稱為虛擬期望軌跡(VDT)，之後將此模式利用在 LQ、FSLQ 與 Sliding mode 上進行模擬，得到的結果為，在每小時 70 公里時速下，駕駛舒適度 (ride comfort) 限制在 3 秒鐘，在以 VDT 為基準下，所測得的變換車道時間為 5.92 秒，且上述三種模式所得的結果極為相似。

Lingxi Li and Fei-Yue Wang (2002)[10]是以交通密度分佈、以安全控制為考量之方法及以人類變換車道的思考模式基準來作為變換車道的依據，並僅考慮與前鄰近車道的距離為基本假設，最後並應用此法套用在模擬軟體來驗證北京的車公莊路上，該模式得到的應證是可以得較高的交通流量與減少總旅行時間。

此研究首先對自動公路系統中變換車道的模式作些許假設(例如：所有車輛的大小與長度皆相同、車道前方無任何車時可以加速到本車所期望速率、駕駛對於現行之行車速率滿意時則不會進行變換車道之動作、變換車道之車輛是以左邊車道進行超車、慢速車盡可能的在右邊車道行駛)。

該篇提出自動變換車道模式的步驟如下：首先，由感應環型天線或其它測量設備得到每一車道的交通密度，比較每一車道的密度值及計算所有車道在時間區間 t 的平均密度，然後選擇密度最大的車道，接下來計算所有車輛變換至密度最大的車道的機率值

$$P = T_d \times (\rho_c - \rho_a), T_d \text{ 代表駕駛者之駕駛行為}(0 \leq T_d \leq 1)$$

ρ_c 代表目前車道的密度

ρ_a 代表鄰近車道的密度

比較所有車輛的機率值，有最大機率值的車輛最先變換車道，之後，次大機率值的車輛接著變換車道，直到該車輛之機率值接近平均密度或該車道僅剩下非常小心仔細的駕駛者或小心謹慎的駕駛者。最後直到所有的車道在時間區間 t 中估算的密度皆相同。

Datta N. Godbole, Raja Sengupta, Veit Hagenmeyer (1998)[6]以分散式混合控制設計自動公路系統變換車道模式，以達到能符合安全及效率之要求。在安全性之設計，使用賽局理論-零和賽局之數學模式決策方式，使自動公路系統之車隊在前車及鄰側車輛間，決定安全變換車道之時機與狀況。在效率上之設計，分為一般情形及緊急(或突發)狀況，一般情形為設計舒適地安全變換車道條件，緊急狀況則以最短距離為設計重點。該方法以混合控制器處理連續行為之模式轉換。

Junji Kaneko, Akihide Shimamura(1998)將變換車道的設計為配置策略[9]，分為縱向運行模式與橫向運行模式，以保障與同車道的前車保持安全距離且能有足夠的空間轉進欲轉入的鄰車道，最後並以該策略模式在雙車道中進行模擬且得到不錯效果。

一、縱向運行模式

$$\ddot{x} = a - C(x, \dot{x}, x_{-1}, \dot{x}_{-1})\dot{x} \quad (1)$$

$x(t)$ ：本車的縱向位置

$x_{-1}(t)$ ：代表本車道之前車的縱向位置

a ：代表本車正常的加速度

\dot{x} ：本車之一階微分，即為速率

\ddot{x} ：本車之二階微分，即為加速度

$C(x, \dot{x}, x_{-1}, \dot{x}_{-1})\dot{x}$ 代表本車因為號誌控制或是與交通流量及交通整體間之互動而實際反應的動作，而 $C(x, \dot{x}, x_{-1}, \dot{x}_{-1})\dot{x}$ 中，主要變數是由下列各模式所組成。

1. 停止模式 (Stopping mode)：在遇到紅燈或礙障物時

$$C_{stop}(x_{-1}, x) = \frac{a}{\varepsilon} \left(\frac{1}{x_{-1} - x} \right)^2 \quad (2)$$

ε ：代表正向常數(如： $\varepsilon = 0.03$)

2. 車輛跟車模式 (Vehicle following mode)

$$C_{follow}(x_{-1}, \dot{x}_{-1}, x, \dot{x}) = \frac{a}{\dot{x}_{-1}} \left(\frac{T\dot{x} + l}{x_{-1} - x} \right)^2 \quad (3)$$

T ：代表本車車間距

l ：代表本車在停止時車頭距

3.速度控制模式 (Speed-control mode)

$$C_{reg}(x_{-1}, x, \dot{x}) = \frac{a}{V_d} \left(1 - \frac{T\dot{x} + l}{x_{-1} - x} N_m\right) \quad (4)$$

V_d ：代表本車速率

N_m ：代表一常數，其範圍為 $0.7 \leq N_m \leq 1.0$ ，其主要在於駕駛者的特性

二、橫向運行模式

橫向運行模式期望的軌跡設計是考慮到駕駛者的舒適及變換車道時間，在此研究中使用了五階多項式為該研究之車道變換的策略。

1.評估本車道前方的空間

使用本車與前車距離的資料後，可得到安全的空間距離如下面不等式所示：

$$x_{-1} - x > \frac{v_f^2}{2\alpha} + (T\dot{x} + l) \quad (5)$$

$v_f = \dot{x}_{-1} - \dot{x}$ ：代表本車與前車的相對速率

α ：代表本車正常減速度

$\frac{v_f^2}{2\alpha} + (T\dot{x} + l)$ ：代表本車減速至前方障礙物的安全距離

2.偵測目標車道的安全空隙，其公式如下述兩式：

$v_{fs} = \dot{x}_{-s} - \dot{x}$ 其為與目標車道的前車之安全距離

$v_{bs} = \dot{x} - \dot{x}_s$ 其為與目標車道的後車之安全距離

X_{-s} ：代表目標車道與前車的縱向空隙

X_s ：代表目標車道與後車的縱向空隙

表 2-1 變換車道之情境分析

	條件	衡量公式	變數解釋
Case1	$v_{fs} \geq 0$	$x_{-s} - x > C_{safety} l_v$ (6)	l_v 縱向 運行長度
	$v_{bs} \geq 0$	$x - x_s > C_{safety} l_v$ (7)	
Case2	$v_{fs} \geq 0$ $v_{bs} < 0$	$x - x_s > -v_{bs}t_c - \frac{v_{fs}}{2a}(2v_{bs} + v_{fs}) + (T\dot{x} + l)$ (8)	
Case3	$v_{fs} < 0$ $v_{bs} \geq 0$	$x_{-s} - x > -v_{fs}t_c + \frac{v_{fs}^2}{2\alpha} + (T\dot{x} + l)$ (9)	
Case4	$v_{fs} < 0$	$x_{-s} - x > -v_{fs}t_c + \frac{v_{fs}^2}{2\alpha} + (T\dot{x} + l)$ (10)	
	$v_{bs} < 0$	$x - x_s > -v_{bs}t_c + (T\dot{x} + l)$ (11)	

運用的程序綜合整理如下步驟所述：

Step1.評估本車與前車之安全距離，假如公式(5)的條件可以滿足的話，則將縱向運作模式設定為公式(1)與(3)且進入 Step2，若不符合公式(5)的話，則將縱向運作模式設定為公式(1)與(2)且再重作此步驟一次。

Step2.選擇偵測本車與目標車道的前車與後車間車速的安全間隙之方案，其方案如下所示：

假如 $v_{fs} \geq 0$ and $v_{bs} \geq 0$ ，則執行 Step3A

假如 $v_{fs} \geq 0$ and $v_{bs} < 0$ ，則執行 Step3B

假如 $v_{fs} < 0$ and $v_{bs} \geq 0$ ，則執行 Step3C

假如 $v_{fs} < 0$ and $v_{bs} < 0$ ，則執行 Step3D

Step3A.假如公式(6)與(7)可以被滿足時，則將變換車道模式設定為側向運行模式並將縱向運行模式設定為公式(1)與(3)，反之，若公式(6)與(7)無法被滿足時，則回到 Step1。

Step3B.假如公式(6)與(8)可以被滿足時，則將變換車道模式設定為側向運行模式並將車速正常加速至前車速度，接著將縱向運行模式設定為與前車相同的公式(1)與(3)。反之，若公式(6)與(8)無法被滿足時，則回到 Step1。

Step3C.假如公式(7)與(9)可以被滿足時，則將變換車道模式設定為側向運行模式並將車速正常減速至前車速度，接著將縱向運行模式設定為與前車相同

的公式(1)與(3)。反之，若公式(7)與(9)無法被滿足時，則回到 Step1。

Step3D.假如公式(10)與(11)可以被滿足時，則將變換車道模式設定為側向運行模式並將車速正常減速至前車速度，接著將縱向運行模式設定為與前車相同的公式(1)與(3)，反之，若公式(10)與(11)無法被滿足時，則回到 Step1。

針對該篇研究所述，整理其變換車道流程圖，如下圖 2-1 所示：



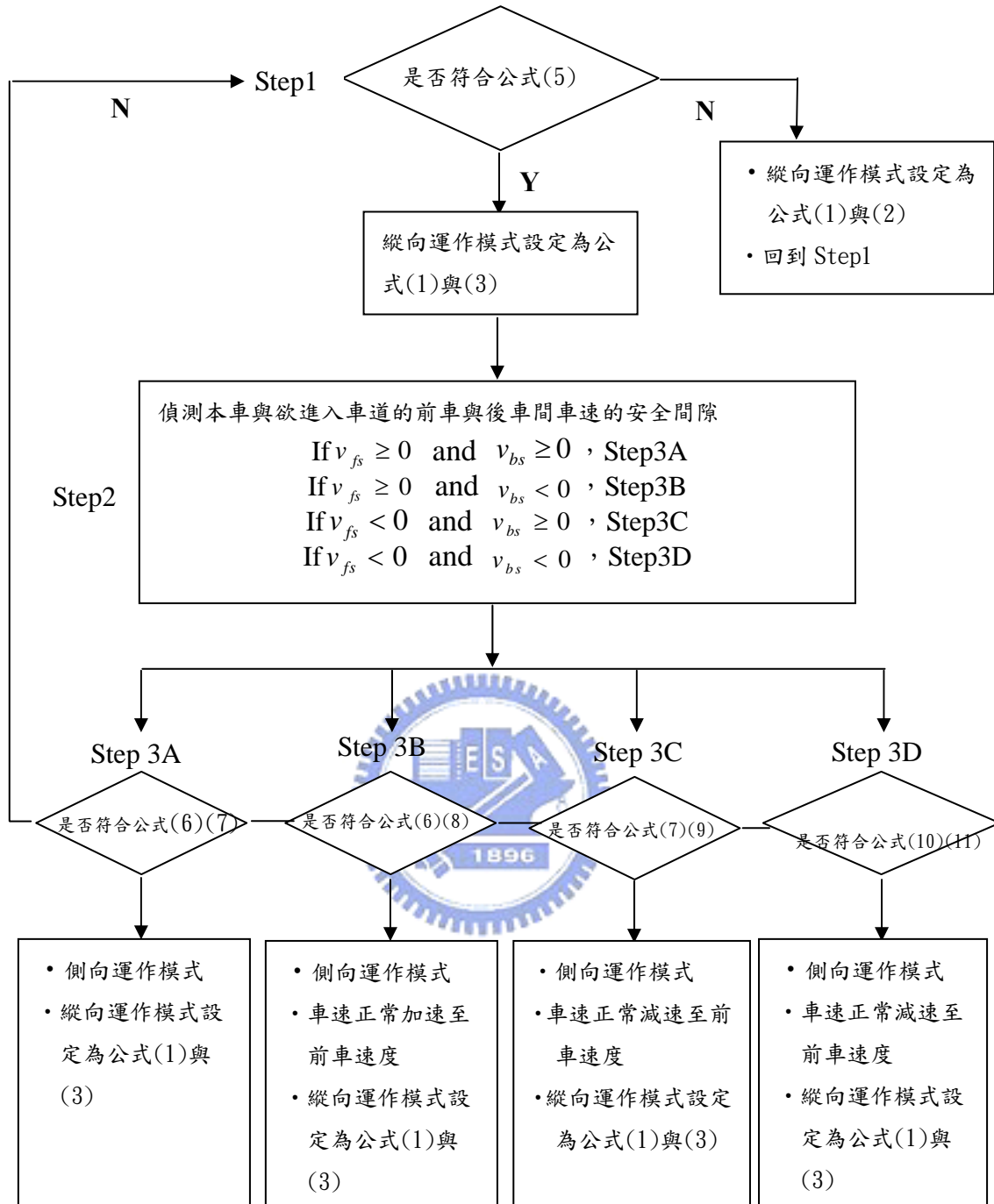


圖 2-4 變換車道流程圖

J.B. Sheu(2004)提出「單一自動控制車道的自動公路系統的反應事故式之微觀車輛控制邏輯」[8]，針對自動公路系統在發現自動控制車道上有事故時，從事故上游的車隊串聯、拆解、變換車道、自動控制車輛與人為駕駛車輛之混合跟車模式，乃至於事故下游的車隊再重組前進，提出全面性的控制邏輯。其中，變換車道所考慮的因素可分為「變換車道前的決策(Pre-action decision-making)」及「變換車道中的運作(In-action lane-changing operations)」兩個階段。

在「變換車道前的決策」階段，主要針對自動控制車輛與目標鄰近車道的車流狀況來決定是否進入變換車道的階段，潛在的動態車間距的變化是主要影響變換車道的決策因素，最主要有三種情形：

1. 變換後的車間距 > 變換前的車間距

自動控制車輛與鄰近車道之後車的距離

$$\begin{aligned} x_{j_n, i_\sigma}^{t+T_{mc}} &= X_{j_n}^{t+T_{mc}} - X_{i_\sigma}^{t+T_{mc}} \\ &= \left[X_{j_n}^t - v_{j_n}^t \times T_{mc} - \frac{1}{2} \times d_{j_n}^t \times T_{mc}^2 \right] - \left\{ X_{i_\sigma}^t - \left[u_{i_\sigma}^t \times T_{mc} + \frac{1}{2} \times A_{i_\sigma}^{mc} \times T_{mc}^2 \right] \times \cos \Theta_{mc} \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

自動控制車輛與鄰近車道之前車的距離

$$\begin{aligned} x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t+T_{mc}} &= X_{i_\sigma}^{t+T_{mc}} - X_{j_{n-1}}^{t+T_{mc}} \\ &= \left\{ X_{i_\sigma}^t - \left[u_{i_\sigma}^t \times T_{mc} - \frac{1}{2} \times A_{i_\sigma}^t \times T_{mc}^2 \right] \times \cos \Theta_{mc} \right\} - \left\{ X_{j_{n-1}}^t - \left[v_{j_{n-1}}^t \times T_{mc} + \frac{1}{2} \times D_{j_{n-1}}^t \times T_{mc}^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

2. 變換後 AC 車輛與鄰近車道前車的距離必須大於 AC 車輛移動的距離

$$\left\{ X_{i_\sigma}^t - \left[u_{i_\sigma}^t \times T_{mc} + \frac{1}{2} \times A_{i_\sigma}^t \times T_{mc}^2 \right] \times \cos \Theta_{mc} \right\} - \left[X_{j_{n-1}}^t - v_{j_{n-1}}^t \times T_{mc} - \frac{1}{2} \times D_{j_{n-1}}^t \times T_{mc}^2 \right] > (1+\varphi)\bar{L} + \mu_{i_\sigma}^{t+T_{mc}} \times \tau \quad (14)$$

3. 變換後 AC 車輛與鄰近車道後車的距離必須大於後車所觀察的距離

$$\left[X_{j_n}^t - v_{j_n}^t \times (T_{mc} + \tau) - d_{j_n}^t \times T_{mc} \times \left(\frac{1}{2} \times T_{mc} + \tau \right) \right] - \left\{ X_{i_\sigma}^t - \left[u_{i_\sigma}^t \times T_{mc} + \frac{1}{2} \times A_{i_\sigma}^{mc} \times T_{mc}^2 \right] \times \cos \Theta_{mc} \right\} - (1+\varphi)\bar{L} > 0 \quad (15)$$

在「變換車道中的運作」階段，主要決定的是下令變換車道後，和 AC 車輛相關的控制變數。和先前決策階段不同的，無論下令變換車道的決策是否被同意，這個階段的控制變數可以幫助 AC 車輛在鄰近車道不同的交通狀況下，能夠安全且圓滑地的匯入鄰近車道車流。所以作者提出兩個控制變數：(1)隨時間變化的變換車道之轉向角，(2)速度調整率。

1. 轉向角

$$\tilde{\theta}_{i_\sigma}^t = \tan^{-1} \left\{ \frac{\bar{W} + X_s^w}{X_{i_\sigma}^t - X_{i_\sigma-1}^t - \bar{L}} \right\} \quad (16)$$

2. 速度調整率

$$\alpha_{i_\sigma}^t = \begin{cases} \min \left[\frac{v_{j_{n-1}}^t - \mu_{i_\sigma}^t \times \cos \theta_{i_\sigma}^t}{T_{mc} \times \cos \theta_{i_\sigma}^t}, A_{i_\sigma}^t \right], & \text{if } v_{j_{n-1}}^t \geq \mu_{i_\sigma}^t \times \cos \theta_{i_\sigma}^t \\ \max \left[\frac{v_{j_{n-1}}^t - \mu_{i_\sigma}^t \times \cos \theta_{i_\sigma}^t}{T_{mc} \times \cos \theta_{i_\sigma}^t}, D_{i_\sigma}^t \right], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

由於本研究係以該篇研究作為理論基礎作更深入的探討自動車輛變換車道行為，故以上模式的詳細內容及模式發展，本研究將於第三章有較詳盡的說明。另外，本研究所用之符號定義大致與該篇文獻所用之符號雷同，故符號定義可以參照本文附錄之符號說明。

Alexander Kanaris(2001)考慮不同的自動公路系統操作觀念，分析安全的變換與併入車道問題，說明每一個操作概念的車輛減速曲線並且計算對應的變換車道最小安全間距(Minimum safety spacing for lane changing, MSSLC)。依 AHS 的系統型式討論以下的變換(併入)車道問題：

- 1.手動駕駛車輛變換車道：變換車道車輛能以偵測器偵測其他車輛，並由車外系統設施提供行車與道路狀況資訊。變換至目標車道後，該車道前車緊急煞車，對後車之影響，並探討變換車道最小安全間距(MSSLC)。
- 2.自動控制車輛變換車道：自動控制車輛除了能偵測其他車輛外，並能接收來自其他車輛及道路設施的資訊及訊號，或能由車外設施控制車輛。討論自動車輛變換車道之目標車道前車緊急煞車，對後車之影響，並探討變換車道最小安全間距。
- 3.自動串聯車隊：藉由自動控制系統控制自動車輛串聯行駛，並分車隊有無自動控制連鎖煞車，討論當鄰車道自動車輛併入車隊時，車隊前車緊急煞車對後車之影響及分析變換車道最小安全間距。

雖然自動車輛的研究在國內也相當少，但國內也有研究是對自動控制車輛跟車模式，在此也作回顧。王敏聰(1999)[16]發展出一套近似人類駕駛的減速度二階段模式，其試驗於前方有固定障礙物的情形，之後再據此運用於實際的公路駕駛情況並建構出整個模擬駕駛狀態的模式，企圖來描述可能遭遇到的各種可能情況，經驗證後所有駕駛人在前方有障礙物時，會先經減速至可辨識距離階段，然後再依此來進行下一階段之決策(即模擬整個駕駛可能的狀態)，並先藉由相對距離來決定其相對速度值，再進行相對距離的修正，以決定是否進入減速，跟車或追趕前車的狀態。在模式構建方面，以 AVCSS 的縱向控制對象，主要分三大部分：(1)模糊切換控制單元，在考量人類駕駛感知特性和思考決策下，透過模糊控制器來做車輛加減速；另外兩部分(2)節氣閥控制單元及(3)煞車控制單元則是利用現代控制理論中之適應性控制的方式來設計，以便調整與前車的車間距、本身速度及加減速等。最後以電腦模擬出一對一前後跟車的結果，但整個模式的假設有適用性的問題，即：一、在不同車速應有不同的初步煞車距離與速度；二、兩階段的減速模式可能無法應付緊急突發狀況；三、時期階段的轉移速率應非為一固

定值，此三項因素皆尚有探討之處，故針對其相關模式可能仍需進行部分之修正以符合實際運作情形。

2.4 文獻評析

對於傳統變換車道模式以各種不同的角度切入之相關研究，已有相當多的研究成果，對於自動控制車輛的研究國外也已經有許多成果展現，同樣的表達出變換車道議題不外乎是可接受之車間距(Acceptable Gap)的問題。本研究期望在兩者自動控制與手動控制兩種車輛同時存在時，尋求自動控制車輛與手動控制車輛在特性上的不同，引入不同參數，也藉由文獻的回顧，回顧得知使用可接受之車間距來進行模式設定，並且從文獻裡啟發再加入相對速度的觀念，進行模擬時所有可能發生之情形，並將這些情形加入模式以及模擬程式中，模擬自動控制車輛變換車道。



第三章 自動公路系統變換車道模式之構建

本章主要會介紹先前由 J.B.Sheu(2004)[8]所提之理論，將於第 3.2 節討論之。首先對整個系統範圍界定；其次說明由事故產生地點所界定出來之事故影響區，定義出三個距離事故點的縱向動態門檻值—強制煞車區、跟車緩衝區、車隊拆解區，然後敘述自動控制車輛在這三個臨界值所定義出來的區域內的行駛行為，並建立起在區域內的車流行為及變換車道的判斷機制。

3.1 系統基本假設

為了使本研究得以合理、清晰明瞭、簡單化，因此必須對於系統設定一些基本假設，並且將研究的系統作更清楚之說明。基本假設如下：

1. 假設自動公路系統所需要的通信、控制的技術水準皆足以能因應系統所需求，並達技術成熟的階段。
2. 自動控制車道安排置於高速公路之最內側車道；研究以小客車為主要研究對象。
3. 鄰近車道乃指與自動控制車道緊鄰之車道，而自動控制車道僅有自動控制車輛行駛，一般車輛不得進入及行駛於自動控制車道。若事故並非出現於自動控制車道上，則對於自動公路系統而言判斷並無事故產生。
4. 假設發生之事故僅在自動控制車道上，而不會遍及鄰近車道，或橫跨自動控制車道及其鄰近車道。
5. 系統對於自動車道發生事故所需之偵測時間不予考慮。
6. 與自動控制車輛相關之參數，均不考慮人為因素(如：擔心害怕)。
7. 不考慮天氣因素，因此雷達偵測干擾不予考慮、路面乾濕度採用良好之狀況；輪胎之胎面狀況也採用良好之狀況。

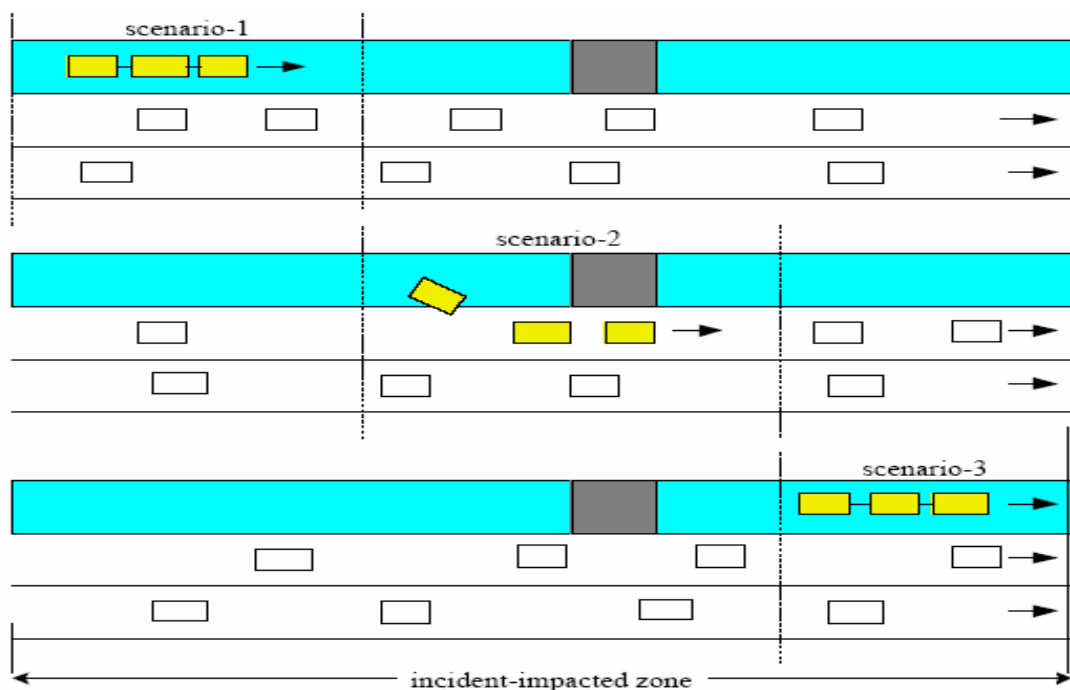
3.2 系統定義

3.2.1 事故影響區

為了界定事故引起之車道阻塞，我們選定高速公路主線的一段路段，路段上設定一個事故地點，來觀察自動控制車輛在車道內及車道間的交通情形。

當事故產生後的影響，分為「車道內交通行為」與「車道間交通行為」兩部分，對於特定的自動控制車隊(Automated-control platoon)進入事故影響區後，將面臨三種情境：(1)車隊的前進與拆解(Platoon-approaching)；(2)變換車道(Lane-changing)；(3)車隊重組(Platoon-reforming)；如圖 3-1 所示，第一個情境是車隊會調整前進的速率來回應可能會有的事故衝擊，並且在其間分解成獨立的自動控制車輛。第二個情境則是啟動自動變換車道機制以通過事故地點，若鄰近車道車流狀況不允許變換車道，則可煞車停在事故上游的自動控制車道內。第三個情境則是通過事故地點後，在事故下游重新變換回自動控制車道，並且重組車隊，並繼續在高速公路上的前進。

圖 3-1 中，內側車道為自動控制車道，在自動控制車道內行駛的為自動控制車輛(黃色)，鄰近車道中行駛的為人為駕駛車輛(白色)。AC 車道內灰色圖塊為事故地點，箭頭方向為車輛前進方向。



資料來源：Sheu(2004)

圖 3-1 事故上下游之影響區示意圖

3.2.2 車隊前進

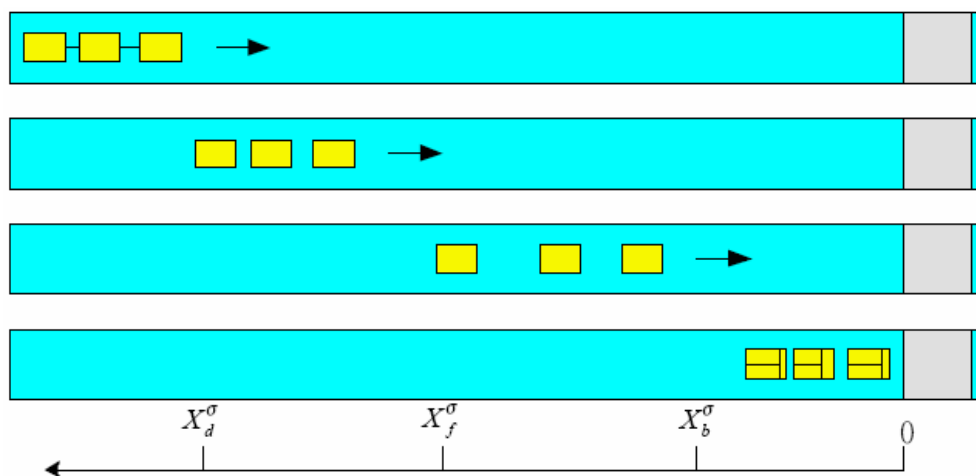
自動控制車輛在事故未發生前，每輛車輛皆以高車速、小車間距的方式串聯，組成車隊形式來前進。為了控制自動控制車隊接近事故地點，定義出三個動

態區域，當 AC 車輛行駛在這三個區域中，便分別決定了其車流行為：(1)車隊拆解區(Platoon decomposing zone)；(2)事故造成之 AC 車輛跟車行為(incident-induced AC car-following zone)；(3)強制煞車(mandatory braking zone)。而這三個動態區域由三個門檻值所界定出來，分別為 X_b^σ 、 X_f^σ 、 X_d^σ ，表示由事故地點起算到路段上游之實際縱向距離(如圖 3-2 所示)，其中 σ 代表給定的目標 AC 車隊 σ ；下標 b 表示強制煞車(mandatory braking)；下標 f 表示跟車行為(car following)；下標 d 表示為車隊拆解(platoon decomposing)。

門檻值 X_b^σ 是對於所有 AC 車輛如果無法在跟車區中尋求變換車道成功時，能夠從目標車隊 σ 中拆解出來，並安全地停止在事故地點上游之最小的安全距離要求，其中最小安全距離是車輛以最大減速度來減速所需之行駛距離。若 AC 車輛尚未進入此區域，則保持定速行駛，等待變換車道機會；若進入此區域則必須強制煞車。

門檻值 X_f^σ 是讓拆解後的 AC 車輛在阻塞車道中調整車與車間的距離調整所需的距離，因此由 X_b^σ 與 X_f^σ 所構成的區域，稱為緩衝區(Buffer zone)，也是事故造成之跟車區。當 AC 車輛進入緩衝區後，可能會執行兩種情境：(1)調整車速及安全距離，尋求成功變換車道；(2)若無法變換車道，便在事故阻塞車道中進行跟車行為。

門檻值 X_d^σ 是當高速的目標車隊 σ 以高速接近事故地點，然而進入此門檻距離之後車隊開始拆解成單一的 AC 車輛，並且採取減速來獲得車與車之間距可以擴大，在車隊拆解之後，AC 控制策略由集中化(centralization)轉變成非集中化(decentralization)，藉由個別 AC 車輛採取不同的交通策略來接近事故地點。



資料來源：Sheu(2004)

圖 3-2 自動控制車隊前進之三個動態門檻

3.3 事故上游車隊前進與事故影響區之構建

3.3.1 強制煞車區之計算

X_b^σ 是對於所有 AC 車輛如果無法在跟車區中尋求變換車道成功時，能夠從目標車隊 σ 中拆解，並安全的停止在事故地點上游之最小的安全距離要求。在計算 X_b^σ 時首先考慮車隊 σ 在時間 t_b 時進入強制煞車區之車輛皆以速率 $\mu_\sigma^{t_b}$ 前進，車輛數 $n_\sigma^{t_b}$ 。然而我們也要考慮目標車隊 σ 前面的車隊 $\sigma-1$ 所累積的停等車輛數 $n_{\sigma-1}^{t_b}$ (如圖 3-3 所示)，故我們可以計算出所需要最小的安全距離 X_b^σ 為

$$X_b^\sigma = \sum_{i_\sigma=2}^{n_\sigma^{t_b}} \left[X_s - \frac{(v_\sigma^{t_b})^2}{2d_{i_\sigma}^{t_b}} + \frac{(v_\sigma^{t_b})^2}{2d_{i_\sigma-1}^{t_b}} \right] + \left[X_s - \frac{(v_\sigma^{t_b})^2}{2d_1^{t_b}} \right] + [n_{\sigma-1}^{t_b} \times X_s] \quad (18)$$

將 (18) 式整理之後得到如下：

$$X_b^\sigma = \sum_{i_\sigma=1}^{n_\sigma^{t_b}} \left[X_s - \frac{(v_\sigma^{t_b})^2}{2d_{i_\sigma}^{t_b}} \right] + \left[\sum_{i_\sigma=2}^{n_\sigma^{t_b}} \frac{(v_\sigma^{t_b})^2}{2d_{i_\sigma-1}^{t_b}} \right] + [n_{\sigma-1}^{t_b} \times X_s] \quad (19)$$

式中，

X_s ：預設的任何兩輛 AC 車輛車頭到車頭之最小車間距(m)

$d_{i_\sigma}^{t_b}$ 和 $d_{i_\sigma-1}^{t_b}$ ：分別表示目標 AC 車輛與其前面車輛之減速度(m/s^2)

$\mu_\sigma^{t_b}$ ：目標車隊中 AC 車輛的前進速率(m/s)

$n_\sigma^{t_b}$ 與 $n_{\sigma-1}^{t_b}$ ：車隊 σ 的車輛數及車隊 $\sigma-1$ 所停等之車輛數

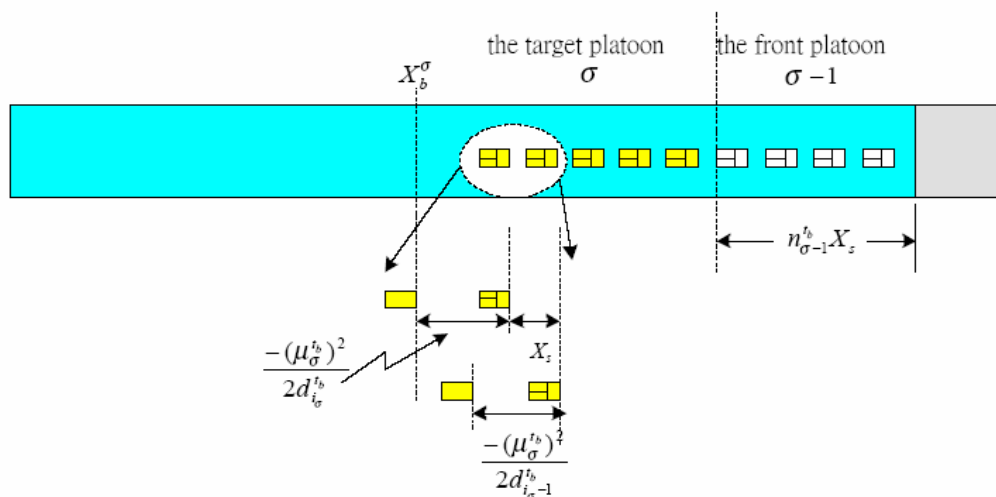


圖 3-3 AC 車輛強制煞車之動態安全距離

資料來源：Sheu(2004)

(18)式的第一個部分是將車隊 σ 裡第二輛車到第 $n_{\sigma}^{t_b}$ 車在煞車後與前車的車間距總和；第二個部分是車隊 σ 裡第一輛車煞車所行走之距離；第三個部分是前方車隊所停等的車隊長度，有 $n_{\sigma-1}^{t_b}$ 個靜態預設車間距。

值得一提的是(19)式也可以用在車輛間的間距調整，也就是說相等車間距及不等車間距的情形。在不等車間距的情形下，AC車輛應該會以不同的減速度接近強制煞車區，以維持兩兩AC車輛在完全煞停之後的靜態安全車間距，因此(19)式可以直接描述 X_b^{σ} ；在相等車間距的情形下，所有AC車輛會以同樣的減速度 $d_{i_{\sigma}}^{t_b}$ 接近，因此，(19)式可以改寫成比較簡單的形式：

$$X_b^{\sigma} = n_{\sigma}^{t_b} X_s - \frac{(\mu_{\sigma}^{t_b})^2}{2 d_{i_{\sigma}}^{t_b}} + n_{\sigma-1}^{t_b} X_s \quad (20)$$

3.3.2 跟車緩衝區之計算

X_f^{σ} 是讓拆解後的AC車輛在阻塞車道中調整車間距調整所需的行駛距離之緩衝區，並且調整車速及安全距離，尋求成功變換車道得在阻塞車道中進行跟車行為。拆解後的AC車輛在時間 t_f 時，以初始的目標車隊速率 $\mu_{\sigma}^{t_b}$ 、定值的初始車間距 $x_{\sigma}^{t_f}$ 進入緩衝區，進入緩衝區之後會有兩種情境發生：一、在跟車的過程中，任何兩兩AC車輛之車間距將因安全考慮而逐漸拉大，會由後面的車開始減速，逐漸擴大到所有AC車輛可以保持一致的速率及擴大車間距；二、為了成功的通過事故地點，在鄰近車道的交通狀況允許之下，有些在阻塞車道上行駛的AC車輛會執行變換車道策略。在這個同時變換車道的車輛為了讓目標AC車輛與鄰近車道車輛的車速一致，有可能執行加速或者減速。基於上述的情形，初始的車間距 $x_{\sigma}^{t_f}$ 可能會調整為

$$x_{i_{\sigma}}^{t_f} = \begin{cases} \left[\frac{A_{i_{\sigma}}^{mc} \times T_{mc}^2}{2} \right] \times \cos \theta_{i_{\sigma}}^{mc} & , \text{if } \bar{v}_j^{t_f} \geq \mu_{i_{\sigma}}^{t_0} \\ \frac{(\bar{v}_j^{t_f} - \mu_{i_{\sigma}}^{t_0})^2}{2 \times D_{i_{\sigma}}^{mc}} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

式中，

$\bar{v}_j^{t_f}$ ：表示在時間 t_f 時鄰近車道 j 觀察到之平均車速(m/s)

$A_{i_{\sigma}}^{mc}$ ：目標AC車輛預設之最大加速度(m/s²)

$D_{i_{\sigma}}^{mc}$ ：目標AC車輛預設之最大減速度(m/s²)

T_{mc} ：變換車道平均所需時間(sec)

$\theta_{i_{\sigma}}^{mc}$ ：預設之轉向角度(rad)

值得注意的是之前的車間距控制邏輯，AC 車輛調整速率讓速率與鄰近車道 j 的平均車速相等，並且在跟車的過程尋求變換車道的可能性，這樣兩階段的控制機制可以達到路段之車流的新均衡狀態。因此，我們可以算出門檻值 X_f^σ 為

$$X_f^\sigma = X_b^\sigma + n_\sigma^{t_f} \times x_\sigma^{t_f} \quad (22)$$

同樣值得一提的是，如果在緩衝區有 AC 車輛完成變換車道，自動控制車道上 AC 的車間距將變得更大，可以形成更安全的情形，所以 X_f^σ 是符合最小的安全要求。除此之外，我們也建議在阻塞車道上的 AC 車輛能夠維持同樣的速率 $\mu_\sigma^{t_b}$ 和鄰近車道 j 之車輛平均速率相等，直到到達強制煞車區為止。

3.3.3 車隊拆解區之計算

X_d^σ 是當目標車隊以高速從事故遠端接近事故地點，一旦 AC 車輛進入由 X_d^σ 及 X_f^σ 所形成之區域，便拆解成單一 AC 車輛。在這裡考慮目標車隊有 $n_\sigma^{t_b}$ 輛車，並且以速率 $\mu_\sigma^{t_b}$ 、靜態車間距 $x_\sigma^{t_0}$ 來移動。若 AC 車輛還沒進入車隊拆解區，則拆解的動作將不會進行，也就是整個目標車隊 σ 的所有 AC 車輛在進入車隊拆解區後進行拆解，並於其中穩定的移動時間 T_d 秒，因此可得知

$$X_d^\sigma - X_f^\sigma = \bar{L} + \left[\left(n_\sigma^{t_d} - 1 \right) \times \left(\bar{L} + x_\sigma^{t_0} \right) \right] + \mu_\sigma^{t_0} \times T_d \quad (23)$$

$$\Rightarrow X_d^\sigma = X_f^\sigma + \left\{ \bar{L} + \left[\left(n_\sigma^{t_d} - 1 \right) \times \left(\bar{L} + x_\sigma^{t_0} \right) + \mu_\sigma^{t_0} \times T_d \right] \right\} \quad (24)$$

式中， \bar{L} ：系統中車輛之平均車長(m)

T_d ：在拆解區所行駛之時間(sec)

3.3.4 變換車道流程

AC 車輛行駛於自動車道，從事故發生、車隊拆解、變換車道、到強制煞車的決策流程如圖 3-4 所示。

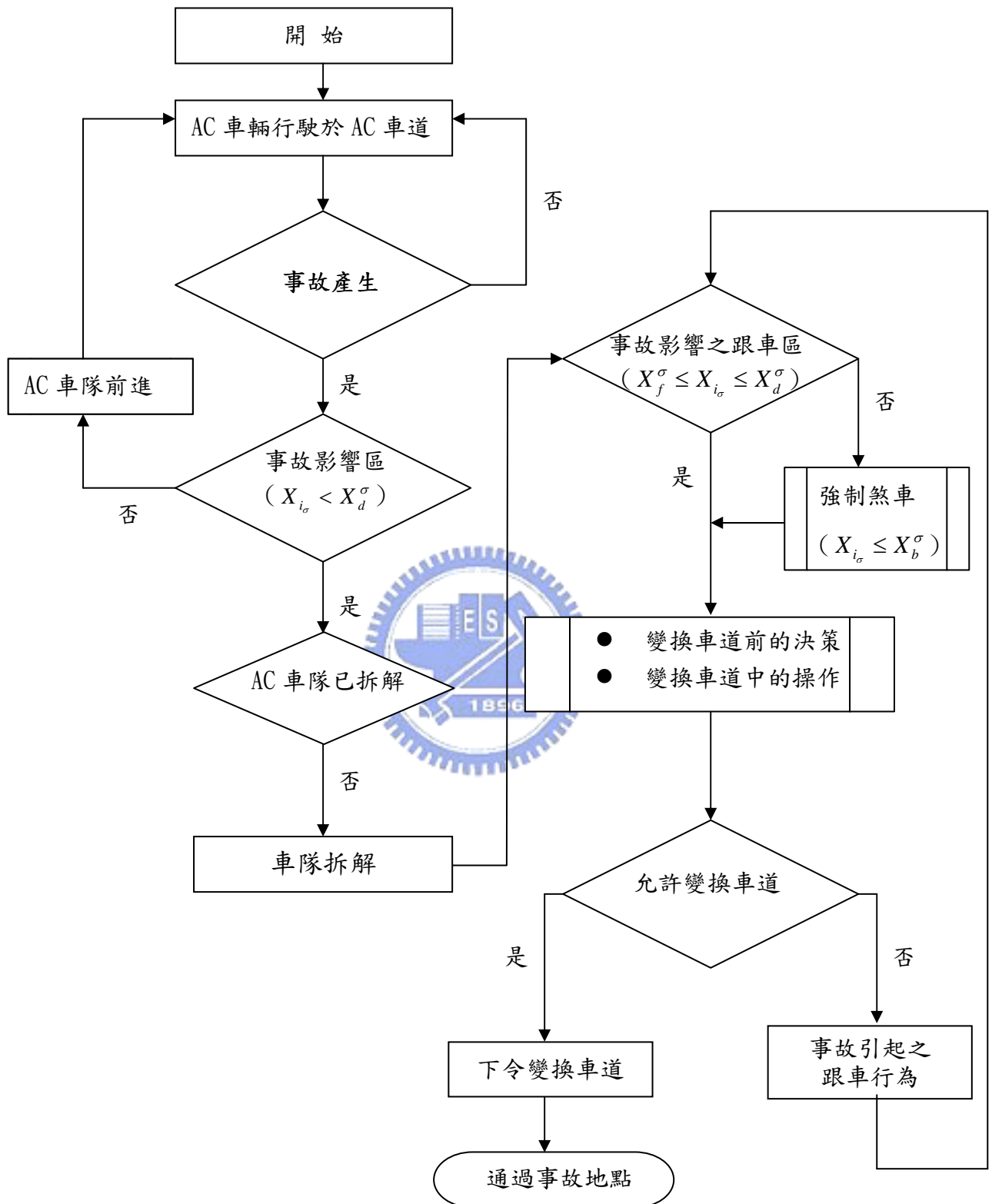


圖 3-4 變換車道流程圖

3.4 變換車道模式構建

變換車道的控制邏輯主要目的是規範每一輛 AC 車輛在車隊拆解後，於跟車緩衝區或強制煞車區內的移動，從過去的研究來看，最大的挑戰性議題仍舊是如何作適當的決定來允許 AC 車輛匯入人為駕駛的鄰近車道車流。根據 Sheu(2004) 提出變換車道控制邏輯處理變換車道行為分為兩個步驟：「變換車道前的決策 (Pre-action decision-making)」及「變換車道中的運作(In-action lane-changing operations)」兩個階段，在兩者都符合的情況下才能安全地變換車道。「變換車道前的決策」主要是以目標 AC 車輛與鄰近車道前後車的關係來做決策參數；「變換車道中的運作」主要是探討目標 AC 車輛與其前車所形成之轉向角，以及加速度的調整。圖 3-5 所示為變換車道的示意圖

其中，
 i_σ ：欲作變換車道之自動控制車輛， $i_\sigma - 1$ 為其前車
 j_n ：目標 AC 車輛之鄰近車道後車
 j_{n-1} ：目標 AC 車輛之鄰近車道前車
 $\theta_{i_\sigma}^t$ ：隨時間變化之轉向角

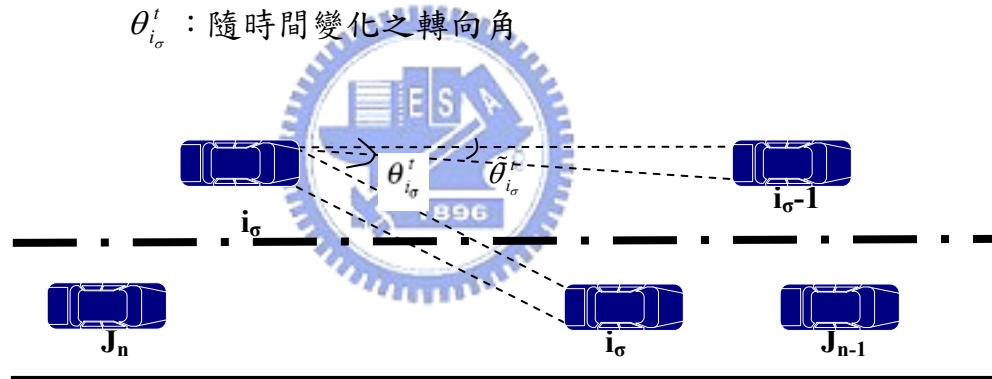


圖 3-5 變換車道示意圖

3.4.1 變換車道因素

一般而言，變換車道的因素可以分為轉向因素、事故因素、前方車隊變換車道影響與前方車隊速率影響等四種[20]。然而本研究所探討之變換車道行為，主要是事故因素，AC 車輛進入事故影響區，勢必變換車道才能使整個系統繼續運作而不至於因為停等(queue)於事故上游，使得系統接近癱瘓。然而鄰近車道的車流狀況，也就是可接受變換車道的 Gap 才是影響變換車道成功的重大因素。

然而一般人為駕駛下，若一直無法變換車道的話，其可接受的 Gap 容忍度會漸漸變小，但是在自動駕駛下無須考慮人為心理因素，只要鄰近車道提供出可接受變換車道的 Gap，便會判斷並執行變換車道的動作。

3.4.2 變換車道模式

一、縱向控制(longitudinal control logic)

由於鄰近車道的車流狀況是影響變換車道成功的重大因素，所以本研究考量以目標 AC 車輛之縱向速率與其鄰近車道前後車之相對速率，來描述鄰近車道車流狀況。首先，我們以時間—距離圖(如圖 3-6)來說明變換車道的概念：左方為實際在高速公路上 AC 車輛與其鄰近車道前後車之相對位置，箭頭方向為行駛方向；右方對應的三條斜直線分別為 j_{n-1} 、 i_σ 、 j_n 的車速 $v_{j_{n-1}}^t$ 、 $\mu_\sigma^{t_b}$ 、 $v_{j_n}^t$ 。若 AC 車輛以某個加速度變換車道，使得其速度之水平分量可以等於 $\mu_\sigma^{t_b}$ ，則變換車道時便可以保持與鄰近車道前後車同樣的車間距 $x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0}$ 、 $x_{j_n, i_\sigma}^{t_0}$ ，在這裡的 \bar{L} 為平均車長。

鄰近車道前後車的實際車流狀況可能不是維持某一定速，若鄰近車道前後車有加速的動作，則 $v_{j_{n-1}}^t$ 、 $v_{j_n}^t$ 為斜率漸增的向上虛線；反之，若前後車有減速的動作，則 $v_{j_{n-1}}^t$ 、 $v_{j_n}^t$ 為斜率漸減的向下虛線。隨著個別不同的行駛狀況，而有不同的速率，兩兩車輛之間的车間距 $x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0}$ 、 $x_{j_n, i_\sigma}^{t_0}$ 也隨之變化。故在變換車道時候，考慮車間距是否在系統預設可接受之安全間距，來做為變換車道的依據，所以我們便以此來發展自動控制車輛變換車道之模式。

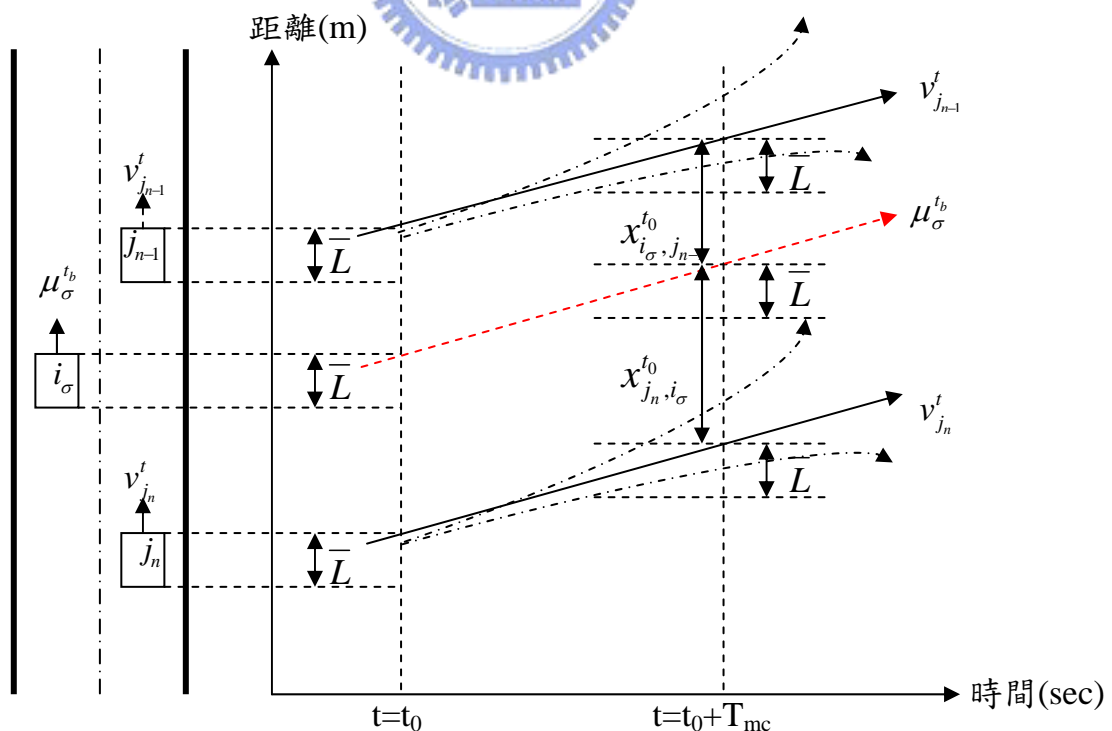


圖 3-6 變換車道之時間—距離概念圖

在這裡一提的是圖 3-6 為說明變換車道之概念。若 AC 車輛鄰近車道無車輛，我們可視為其前後車之車間距相當大，在此情形之下，若自動控制車道上有連續多輛 AC 車輛判斷可變換車道，則多輛 AC 車輛同時變換車道時，行進間保持彼此車間距之關係及車輛機械控制等的問題不在本研究之範圍內，但我們可視為多輛 AC 車輛同時成功地變換車道。

首先我們定義兩個相對速率，分別為 $v'_{j-1,i}$ 及 $v'_{i,j}$ ，其定義如(25)、(26)式：

$$v'_{j-1,i} = v'_{j-1} - \mu'_{i_\sigma} : \text{自動控制車輛與鄰近車道前車之縱向相對速率} \quad (25)$$

$$v'_{i,j} = \mu'_{i_\sigma} - v'_j : \text{自動控制車輛與鄰近車道後車之縱向相對速率} \quad (26)$$

當 AC 車輛欲以一個與行駛速度方向夾角 θ 之加速度 a 來變換車道，加速度的水平分量(與行駛方向平行)，使得縱向產生一個 $a \times \cos \theta_{i_\sigma}^{mc}$ 之加速度，故我們可以得知變換車道後 AC 車輛與鄰近車道前車之車間距通式，以(27)式表示。其中等號右式第一個部分為時間 t_0 時的車間距；第二部分為考慮系統所需運算時間內兩車所增減之距離；第三部分為鄰近車道前車行走所增加的車間距；第四部分為 AC 車輛行走所減少之車間距。將(27)式整理之後，以相對速率重新表示車間距，可以獲得(28)式。

$$x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0+T_{mc}} = x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0} + (v_{j_{n-1}}^{t_0} - v_{i_\sigma}^{t_0}) \times T_c + \left(v_{j_{n-1}}^{t_0} \cdot T_{mc} + \frac{1}{2} a_{j_{n-1}} T_{mc}^2 \right) - \left(v_{i_\sigma}^{t_0} \cdot T_{mc} + \frac{1}{2} a_{i_\sigma} T_{mc}^2 \right) \cdot \cos \theta_{i_\sigma}^{mc} \quad (27)$$

$$x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0+T_{mc}} = x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0} + v_{j_{n-1}, i_\sigma}^{t_0} \times T_c + v_{j_{n-1}, i_\sigma}^{t_0} \times T_{mc} + \frac{1}{2} (a_{j_{n-1}} - a_{i_\sigma} \times \cos \theta_{i_\sigma}^{mc}) T_{mc}^2 \quad (28)$$

同樣地，我們也可以得到 AC 車輛與鄰近車道後車之車間距如(29)式，並且將之整理成(30)式。

$$x_{j_n, i_\sigma}^{t_0+T_{mc}} = x_{j_n, i_\sigma}^{t_0} + (\mu_{i_\sigma}^{t_0} - v_{j_n}^{t_0}) \times T_c + \left(\mu_{i_\sigma}^{t_0} \cdot T_{mc} + \frac{1}{2} a_{i_\sigma} T_{mc}^2 \right) \cdot \cos \theta_{i_\sigma}^{mc} - \left(v_{j_n}^{t_0} \cdot T_{mc} + \frac{1}{2} a_{j_n} T_{mc}^2 \right) \quad (29)$$

$$x_{j_n, i_\sigma}^{t_0+T_{mc}} = x_{j_n, i_\sigma}^{t_0} + v_{i_\sigma, j_n}^{t_0} \times T_c + v_{i_\sigma, j_n}^{t_0} \times T_{mc} + \frac{1}{2} (a_{i_\sigma} \times \cos \theta_{i_\sigma}^{mc} - a_{j_n}) T_{mc}^2 \quad (30)$$

其中， $x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0}$ 定義為上游離事故較遠車輛之距離，減去離事故較近車輛之距離，即 $x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0} = X_{i_\sigma}^{t_0} - X_{j_{n-1}}^{t_0}$ ，此種表示法之好處為 $x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0}$ 永遠為正數。

考慮鄰近車道之前車以最大減速度煞車，鄰近車道之後車以最大加速度加速，在此嚴峻地壓縮車輛間的 Gap 下，下一秒的車間距皆可以在可接受的係數以內，下一秒便執行變換車道。但事實上鄰近車道為一般人為駕駛，所使用之跟車

行為並不會在 AC 車輛欲變換車道時來作最大加減速的動作，所以 MC 車輛的車間距若能提供出如此嚴峻情形下之可接受變換車道車間距，那 AC 車輛便能進行變換車道。

然而以下一秒的車間距作為判斷決策還不夠，若變換之後兩車的相對速度過大，則可能雖然可以變換過去，但是過若干秒之後會相撞，相撞的原因是變換車道後的 AC 車輛可能來不及加速而被後車撞倒，或者來不及減速而追撞前車，故我們在模式內加入考慮兩車之相對速度差所造成之車間距壓縮。

變換車道的決策在於加速度 a_{i_σ} 值，若 a_{i_σ} 在無限制之下，(28)式~(30)式皆有可能在加速度 a_{i_σ} 值之絕對值極大下滿足所有之判斷式，但實際車輛設計下皆有車輛加減速之最大值，若判斷變換車道所需之加速度 a_{i_σ} 值大於車輛實體加速度上限 $A_{i_\sigma}^{mc}$ ，或者減速度之上限 $D_{i_\sigma}^{mc}$ ，則判斷無法變換車道成功。

若相對速度絕對值越大，則表示兩車正快速地接近(或遠離)，當相對速度造成兩車之間的車間距遭到壓縮，則變換車道所需的安全距離便不足夠；反之，若相對速度越接近 0，兩車之相對車間距便保持不變。以下為鄰近車道前後車皆無加減速($a_{j_{n-1}}$ 、 a_{j_n} 皆為 0)之情形下，兩個相對速度的正負值，可以將之分為四種情境，並且一一討論之。

$$1. v_{j_{n-1}, i_\sigma}^{t_f} \geq 0, v_{i_\sigma, j_n}^{t_f} \geq 0$$

此種情境下，我們可以得知三車車速的關係為 $v_{j_{n-1}}^{t_f} \geq \mu_{i_\sigma}^{t_f} \geq v_{j_n}^{t_f}$ ，我們得知鄰近車道前車的速率最快，目標 AC 車輛次之，鄰近車道後車速率最慢，由於變換過程中三車之間的車間距會單調遞增，屬於最簡單的情境，所以只需考慮到 AC 車輛加速匯入鄰近車道是否會追撞前車，故我們可以得到以下不等式：

$$x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0} - \left(\mu_{i_\sigma}^{t_0} \times T_{mc} + \frac{1}{2} a_{i_\sigma}^{mc} \cos \theta_{i_\sigma}^{mc} T_{mc}^2 \right) \geq (1 + \varphi) \bar{L} \quad (31)$$

式中， $a_{i_\sigma}^{mc}$ ：縱向正常加速度($a_{i_\sigma}^{mc} > 0$) (m/s^2)

T_{mc} ：變換車道所需時間(sec)

φ ：預設的安全係數

$\theta_{i_\sigma}^{mc}$ ：變換車道之轉向角(rad)

\bar{L} ：平均車長(m)

$x_{i_\sigma, j_{n-1}}^{t_0} = X_{i_\sigma}^{t_0} - X_{j_{n-1}}^{t_0}$ ：目標 AC 車輛與鄰近車道前車車間距

左式中第一個部分為原本與鄰近車道前車車間距；第二部分為變換過程中與鄰近車道前車增加之車間距；右式為安全車間距。

$$2. v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_f} \geq 0, v_{i_{\sigma}, j_n}^{t_f} < 0$$

此種情境下，我們可得知三車車速的大小關係為 $v_{j_{n-1}}^{t_f} \geq v_{j_n}^{t_f} > \mu_{i_{\sigma}}^{t_f}$ 或 $v_{j_n}^{t_f} \geq v_{j_{n-1}}^{t_f} > \mu_{i_{\sigma}}^{t_f}$ ，即 AC 車輛的速率為最慢，但鄰近車道前後車的大小關係並無法得知，此時變換車道需考慮鄰近車道後車是否會追撞，並且加速過程中也需考量與鄰近車道前車的安全距離，故我們可以得到下列不等式：

$$x_{j_n, i_{\sigma}}^{t_0} + v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0} \times T_c - \frac{(v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0})^2}{2 a_{i_{\sigma}}^{m c} \cos \theta_{i_{\sigma}}^{m c}} \geq (1 + \varphi) \bar{L}$$

$$\text{and } x_{i_{\sigma}, j_{n-1}}^{t_0} + v_{i_{\sigma}, j_{n-1}}^{t_0} \times T_c - v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0} T_{m c} \geq (1 + \varphi) \bar{L}$$
(32)

第一個式子之左式第一部份為原本與鄰近車道後車之車間距；第二部分為當目標 AC 車輛加速到與前車一樣時，鄰近車道後車所增加的距離；右式為安全間距。

$$3. v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_f} < 0, v_{i_{\sigma}, j_n}^{t_f} \geq 0$$

此種情境下，我們可得知三車車速的大小關係為 $\mu_{i_{\sigma}}^{t_f} \geq v_{j_n}^{t_f} > v_{j_{n-1}}^{t_f}$ 或 $\mu_{i_{\sigma}}^{t_f} \geq v_{j_{n-1}}^{t_f} > v_{j_n}^{t_f}$ ，目標 AC 車輛最快，而鄰近車道前後車之大小關係無法得知，此時變換車道在減速過程不能追撞鄰近車道前車，亦不得讓鄰近車道後車追撞，故我們可以得知下列的不等式：

$$x_{i_{\sigma}, j_{n-1}}^{t_0} + v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0} \times T_c - \frac{(v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0})^2}{2 d_{i_{\sigma}}^{m c} \cos \theta_{i_{\sigma}}^{m c}} \geq (1 + \varphi) \bar{L}$$

$$\text{and } x_{j_n, i_{\sigma}}^{t_0} + v_{i_{\sigma}, j_{n-1}}^{t_0} \times T_c - \frac{(v_{j_n}^{t_0})^2 - (\mu_{i_{\sigma}}^{t_0})^2}{2 d_{i_{\sigma}}^{m c} \cos \theta_{i_{\sigma}}^{m c}} \geq (1 + \varphi) \bar{L}$$
(33)

式中， $d_{i_{\sigma}}^{m c}$ ：縱向正常減速度($d_{i_{\sigma}}^{m c} > 0$) (m/s^2)

第一個式子之左式第一部份為與鄰近車道前車之車間距；第二部分為減速變換過程中與鄰近車道前車所減少的車間距。

$$4. v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_f} < 0, v_{i_{\sigma}, j_n}^{t_f} < 0$$

此種情境下，我們可得知三車車速的大小關係為 $v_{j_n}^{t_f} > \mu_{i_{\sigma}}^{t_f} > v_{j_{n-1}}^{t_f}$ ，AC

車輛速率比鄰近車道前車快，比鄰近車道後車慢，所以安全的車間距在變換車道過程中被急速壓縮，為最嚴峻之情境，所以減速匯入鄰近車道時須避免追撞鄰近車道前車，亦須避免鄰近車道後車的追撞，故我們可以得到下列不等式：

$$x_{i_{\sigma}, j_{n-1}}^{t_0} + v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0} \times T_c - \frac{(v_{j_{n-1}, i_{\sigma}}^{t_0})^2}{2 d_{i_{\sigma}}^{mc} \cos \theta_{i_{\sigma}}^{mc}} \geq (1 + \varphi) \bar{L}$$

$$\text{and } x_{j_n, i_{\sigma}}^{t_0} + v_{i_{\sigma}, j_{n-1}}^{t_0} \times T_c - \frac{(v_{j_n}^{t_0})^2 - (\mu_{i_{\sigma}}^{t_0})^2}{2 d_{i_{\sigma}}^{mc} \cos \theta_{i_{\sigma}}^{mc}} \geq (1 + \varphi) \bar{L}$$
(34)

第一個式子之左式第一部分為與鄰近車道前車之車間距；第二部分為減速變換車道過程中與鄰近車道前車所減少之車間距；右式為安全間距。

二、橫向控制(lateral control logic)

自動控制車輛之橫向控制，主要來自於變換車道時作用於 AC 車輛之加速度垂直分量(與行進方向垂直)，原本行駛於自動車道之 AC 車輛，其橫向速率為零，即保持於車道中心線上行駛，施予變換車道加速度 a ，其垂直分量為 $a \times \sin \theta_{i_{\sigma}}^t$ ，故橫向之車輛位移距離可以以下列(35)式來表示之：

$$Y = \frac{1}{2} (a_{i_{\sigma}}^{mc} \times \sin \theta_{i_{\sigma}}^{mc}) \cdot T_{mc}^2$$
(35)

3.4.3 與自動車道前車之關係

上述為目標 AC 車輛與鄰近車道前後車之關係，另外在橫向位移的方面，AC 車輛 i_{σ} 從自動控制車道位移到鄰近車道，總共位移一個車道寬的距離，如圖 3-5 中， $\tilde{\theta}_{i_{\sigma}}^t$ 為動態的最小轉向角，若 AC 車輛轉向角小於 $\tilde{\theta}_{i_{\sigma}}^t$ ，則變換過程中會與前車碰撞，故我們可以知道：

$$\theta_{i_{\sigma}}^t > \tilde{\theta}_{i_{\sigma}}^t$$

$$\tilde{\theta}_{i_{\sigma}}^t = \tan^{-1} \left\{ \frac{(1 + \varepsilon) \bar{W}}{x_{i_{\sigma}, i_{\sigma}-1}^t - \bar{L}} \right\}$$
(36)

其中， \bar{W} ：平均車寬(m)

\bar{L} ：平均車長(m)

ε ：預設之靜態側向安全係數

$x_{i_{\sigma}, i_{\sigma}-1}^t$ ：目標 AC 車輛與其自動車道前車之距離(m)

3.4.4 加速度調整

經由上述之變換車道模式之構建，我們可以發現 AC 車輛的加速度或減速度可以無限大時，則變換車道便能夠百分之百成功，但真實世界中，實體車輛的加減速度必然有一個上限，我們定義加速度上限為 $A_{i\sigma}^{mc}$ (m/s^2)，減速度上限為 $D_{i\sigma}^{mc}$ (m/s^2)，我們以一般的運動公式可得知

$$v_{j_{n-1}}^t = (\mu_{i\sigma}^t + \alpha_{i\sigma}^t \times T_{mc}) \cos \theta_{i\sigma}^t$$

所以，加速度調整必須以兩者較小者為加速度的調整，若變換車道所需的加(減)速度大於 $A_{i\sigma}^{mc}$ ($D_{i\sigma}^{mc}$)，則無法變換車道。加速度調整的式子如下：

$$\alpha_{i\sigma}^t = \begin{cases} \min \left[\frac{v_{j_{n-1}}^t - \mu_{i\sigma}^t \times \cos \theta_{i\sigma}^t}{T_{mc} \times \cos \theta_{i\sigma}^t}, A_{i\sigma}^t \right], & \text{if } v_{j_{n-1}}^t \geq \mu_{i\sigma}^t \times \cos \theta_{i\sigma}^t \\ \max \left[\frac{v_{j_{n-1}}^t - \mu_{i\sigma}^t \times \cos \theta_{i\sigma}^t}{T_{mc} \times \cos \theta_{i\sigma}^t}, D_{i\sigma}^t \right], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (37)$$

3.5 鄰近車道的混合車流

變換車道控制邏輯是針對每一輛 AC 車輛進入事故影響區後對事故所做的反應，然而一個車隊進入事故影響區之後，並非依照車隊順序進行變換車道決策，而是個別的 AC 車輛針對當時鄰近的車流狀況來進行變換車道決策。

因此，鄰近車道的車種組成便有可能是自動控制車輛與手動控制車輛所組成的混合車流，然而自控車輛與手控車輛之混合車流行為並不在本研究所探討之範圍內，故不加以討論之。但 AC 車輛面對鄰近車道之混合車流，在作變換車道決策時有無顯著性的差異，倒是值得探討其差別。故本研究認為需提出自控車輛與手控車輛的差異來修正上述之變換車道決策模式，使之更符合實際狀況。

3.5.1 人為反應時間

一般而言，人為駕駛有所謂的反應時間，從感官受到刺激，到身體收到資訊做出反應會有些許時間的落差，稱之為反應時間。根據科學研究，一般駕車者的制動反應時間在 0.39~0.63 秒之間，採取制動的時間在 1~1.35 秒之間，兩者之和為 1.39~1.98 秒。但一般而言人的反應時間約略 0.75 秒，若鄰近車道後車為人為駕駛時，AC 車輛變換車道時，後車有 0.75 秒的反應時間，便壓縮了兩車之車間距。車輛以時速 40km/h 行駛於道路上，每秒移動的距離有 11.1 公尺，0.75 秒

的反應時間便前進了 8.33 公尺。若以高速公路行駛速率下限為時速 60km/h 前進，則反應時間內前進了約 12.5 公尺。

回顧相關文獻，李月仙(1989)[19]修正提出的二維座標車流模擬模式，係利用車輛行進之動態車長來控制車輛間隔距離，動態車長中便考量跟車駕駛者的反應時間，因此，考慮 AC 車輛變換車道時鄰後前車為人為駕駛的反應時間，是變換車道時潛在的安全需求。其文中所提通式如下：

$$PLL = PLL(TYPE) + K \times V_i$$

其中， PLL ：前車之動態車長
 $PLL(TYPE)$ ：前車之靜態車長
 K ：跟車駕駛者反應時間
 V_i ：跟隨車之車速

3.5.2 人為心理因素

人為因素會導致駕駛行為的不同，在微觀車流模擬器 Paramics 裡也有描述駕駛者的決定參數[12]，分別為 Aggression 和 Awareness，此二項參數主要影響模擬駕駛人的行為。車輛行為模式包括平均車間距(mean headway)、平均反應時間(mean reaction time)、跟車模式(car-following model)以及變換車道模式(lane-changing model)，這些模式參數值可藉由相關功能表加以控制。而在本研究裡以安全係數 ϕ 來決定安全車間距，若駕駛者較為瘋狂，則 ϕ 值可能較小，故其認為之安全車間距便較小；若駕駛者較為謹慎，則 ϕ 值會較大，所需之安全車間距。但實際的 ϕ 值如何決定，尚須有文獻支持或用以機率分配來近似 ϕ 值，本研究並不將 ϕ 值納入模擬實驗中。

但一般而言，AC 車輛的變換車道對於其鄰近車道之車輛會造成影響，若當鄰近車道為人為駕駛，後車駕駛人察覺到 AC 車輛匯入的動作，會採取煞車減速的動作；若鄰近車道後車為已變換完成之 AC 車輛，則 AC 車輛與 AC 車輛之間保持最小的可接受車間距，並不會有任何影響。

故 AC 可接受之變換後車間距只會因此而變大，但目標車輛的車間距變大，會壓縮目標車輛之下一輛 AC 車輛，所以針對每一輛 AC 車輛，都以鄰近車道車輛最大的減速度來考慮可接受之車間距為最安全的方式，但考慮 AC 變換車道之效率的話，此方式則面臨需要權衡。

3.6 強制煞車後的變換車道

當車輛無法在跟車緩衝區尋求到變換車道的機會，在進入強制煞車區之後，車輛便強制煞車停在事故上游，但煞停之後仍須尋求變換車道的機會才不至於停等在事故上游，造成停等車輛一直增加。然而煞停後的變換車道，面臨著更大的挑戰，需考慮無鄰近車道前車、鄰近車道後車車速快等特性，包括 AC 車輛速率為零、與鄰後車相對速率大、轉向角大、變換車道所需時間長，所需之變換車道條件變的更加嚴苛。



第四章 程式模擬系統之發展

本章將使用程式語言 Turbo C 來撰寫第三章所構建之變換車道之控制邏輯，所使用之版本為 Turbo C Version 2.01；在本章中也將建立變換車道的評估準則，且欲瞭解鄰近車道車流量對變換車道成功率的關係。

4.1 程式撰寫

在程式方面，將建立一段高速公路三車道之路段，其中內線之兩車道分別用來當作自動控制車道及其鄰近車道。主要係以主程式 main() 控制模式整體的運作流程，在使用者輸入資料完成後，進行產生路段車輛副程式，分為產生 AC 車輛 P_laneGenerator() 跟產生 MC 車輛 Q_laneGenerator() 兩種，而兩個車輛產生的方式做不同的產生控制，於下將有較詳細的說明。

系統模擬時間採用時階(time step)的方式，由於時間為連續的，若以一秒為單位容易造成誤差，故以此方式將系統時間改成時階的方式，至於每一時階的長度已經變數化，本模擬程式訂為 0.1 秒，若需要變更只需在程式最前面之 TIMESLICE 的值進行變動即可。

在模擬時間內進行多個副程式：drawRoad() 副函式為繪製高速公路車道以及事故位置；drawlane() 為繪製在自動控制車道上移動的 AC 車輛及在一般車道上移動的車輛，以及從自動車道變換成功之 AC 車輛都會繪製；P_laneTransition() 為設定在自動控制車道上的車輛下一秒的移動，其間還會進行變換車道及搜尋 search_insert()、check_trans()、car_can_reach() 等等之副函式；Q_laneTransition() 為設定在一般車道上車輛下一秒的移動，並且會做跟車行為副函式 cal_safe()；

在模擬時間結束後，藉由資料輸出副函式 showpq() 來輸出模擬資料。主程式模擬流程圖如圖 4-1 所示。

程式中以建立資料結構 struct 分別代表所有的車輛資料，struct 分別包含了時間、車輛種類、X 軸距離、Y 軸距離、速率、加速度、與前車車間距、與後車車間距、三個門檻值，另外還建立有兩個指標變數(pointer)，以鏈串列(link-list)的方式來實作，分別針對兩個車道內之車輛進行串聯的動作，其優點為每輛車隨時以指標變數指向其前車及後車，若要進行變換車道，則原本的車輛只要切斷其前後指標，切換到鄰近車道之後，再建立起指標，車輛便可以重新排列。上述之 X 軸距離為車輛前進行駛的距離，亦可稱為縱向距離；Y 軸距離表示車輛所位於之車道，亦可稱為橫向距離。下列將說明各個主要函式之詳細內容：

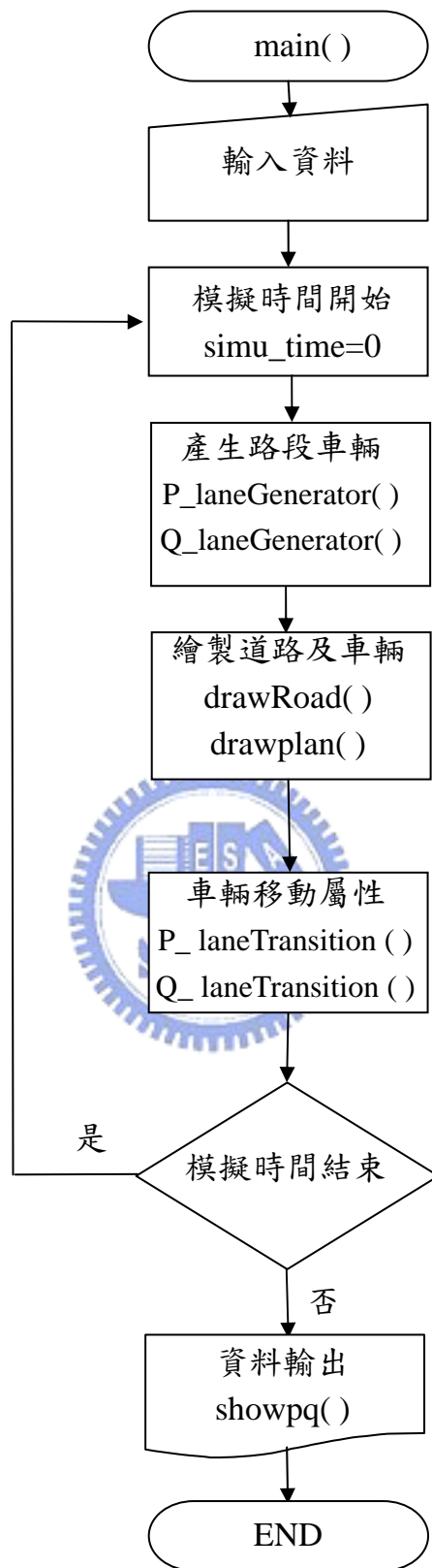


圖 4-1 主程式 main() 流程圖

1. Input

主要負責資料輸入，其設定主要是放入主程式 main() 中，參數修改部分包括車隊大小設定、車隊初始速率設定、以及鄰近車道車流量。參數修改部分主要是為了整合模擬使用者與程式可讀性之間的關係，將常用的 kph 單位轉換成 mps 單位，以及將每小時每車道之車流量轉換成程式可讀之每分鐘車流。

本研究設定三個重要參數：車隊大小設定為欲瞭解車隊的大小對變換車道的影響，模擬的大小範圍在每個車隊 2 至 10 輛之間；車隊初始速率設定為欲瞭解車輛在不同的車速下對變換車道決策的影響，尤其事故影響下車行速率可能不高，以及車輛在高速行駛下遇到事故的影響，故模擬初始速率的大小範圍在時速 40 km/hr 至 120 km/hr；鄰近車道車流量為欲瞭解鄰近車道車流狀況對變換車道決策的影響，模擬範圍為每小時每車道 100 輛至每小時每車道 1800 輛，4.2 節將有更詳細之說明。

2. P_laneGenerator()

AC 車輛的產生以鏈串列(link list)來實作，鏈串列中有數個 node (車輛)，每一台車輛之間以指標連接，如果車輛需要改變車道，只要將指標指到的地方稍作修改就可以達到變換車道的目的，而且每兩輛 MC 車輛之間可以插入多輛的 AC 台車。在 P_laneGenerator() 有個 next_car_time 變數，其功能猶如車時間距(headway)，我們藉由 AC 車輛需要保持的初始車隊車間距，除以初始設定的車隊初速，來計算 AC 車輛產生的車時間距，其目的就是要顯示出自動公路系統乃是以車隊的形式接近事故地點。程式中我們以車輛要保持 20 公尺的車間距(不含車長，若計算車長，則車頭與車尾之車間距約為 16 公尺)，故設定 next_car_time 為 AC 車輛產生的 headway。

另外，會有個 hittime() 的副程式，其功能為搜尋系統時間跟 next_car_time 一樣的話，就會產生一輛 AC 車輛，而 AC 車輛的初始設定都完全一樣。接著會對每台車作出初始設定：如初速、車輛種類、速率、加速度，並計算這台車的三個門檻值(d, f, b)。

3. Q_laneGenerator()

MC 車輛的產生方式與 P_laneGenerator() 的方式雷同，唯車輛產生的方式不是為一秒產生一台 MC 車輛，而是 next_car_time 令它為 normal() 函式所回傳之值，normal() 函式為常態分配，以鄰近車道車流產生率以每分鐘平均產生多少車，轉換成產生車輛所需之秒數平均值，再經由常態分配來作為車間時距(headway)。

假設車輛初始流量符合卜瓦松分配 (若 λ 夠大, 一般是以 $\lambda \geq 5$, 則分配可以用 normal 分配來近似), 平均每分鐘釋放 λ 台車, 因此將 $60/\lambda$ 作為 Normal 分配的平均值(mean), 變異數為 1, 即以 Normal($60/\lambda, 1$)來釋放車輛。

4. drawRoad()、drawlane() :

此二函式為繪圖函式, 以 Turbo C 內建之 <graphics.h> 函式庫, 並建立副函式 drawRoad() 繪製出三車道之直線, 以斜線當作已知之事故地點, 而繪製車輛的部分則由 drawlane() 副程式來執行。由於螢幕只能容納 640×480 個像數, 以一個像數代表一公尺, 故若要能夠在現有之電腦設備下觀看到整個模擬的效果, 則模擬之路段只能有 640 公尺。但若想要表達更長的車道長度, 只要經過程式碼將比例縮放(rescale), 將現有長度 640 個像數來表示, 縮放比例之後, 車輛所行進的距離等都不會變, 只有在螢幕顯示成圖檔的時候會有視覺上的大小不同而已。

車輛的部分, 為了區別自動車輛與手動車輛, 故以顏色來區分, 亮藍色為 AC 車輛, 紅色則為 MC 車輛。特別一提的是, 如果程式中判斷 AC 車輛可以變換車道, 則會顯示成紅色, 並且執行加速或減速, 在 TRANS_SECONDS 時間到之後就會變換至鄰近車道, 但還是會顯示原來 AC 車輛之亮藍色。

5. P_laneTransition ()

此函式最主要為控制及計算在自動車道上行駛的車輛, 自動車道上僅有 AC 車輛, 故 AC 車輛在產生後便依照自己的三個門檻值(d,f,b)分別做其區域內該有之行為, 在車輛未進入車隊拆解區, 則保持等速; 進入車隊拆解區後, 進行 cal_safe() 函式保持車距; 進入跟車緩衝區之後, 進行減速到與鄰近車道平均車速接近的 xxx 函式, 並且進行變換車道評估 check_trans() 函式; 最後, 若進入了強制煞車區, 車輛以最大減速度煞車至停止。P_laneGenerator() 函式流程圖如圖 4-2 所示。

6. Q_laneTransition ()

此函式最主要為控制及計算在一般車道上行駛的車輛, 包括了原本行駛在一般車道的 MC 車輛, 以及變換車道成功的 AC 車輛。函式中主要是計算車輛在一般車道的跟車行為, 進行 cal_safe() 函式, 另外車輛位置與速度則由 x_acc_car() 及 v_acc_car() 兩個副函式計算及設定。為了確保跟車行為及變換車道後的安全, 本研究特別加入碰撞偵測 collision() 副函式, 若車輛造成碰撞的話, 程式會停止計算。

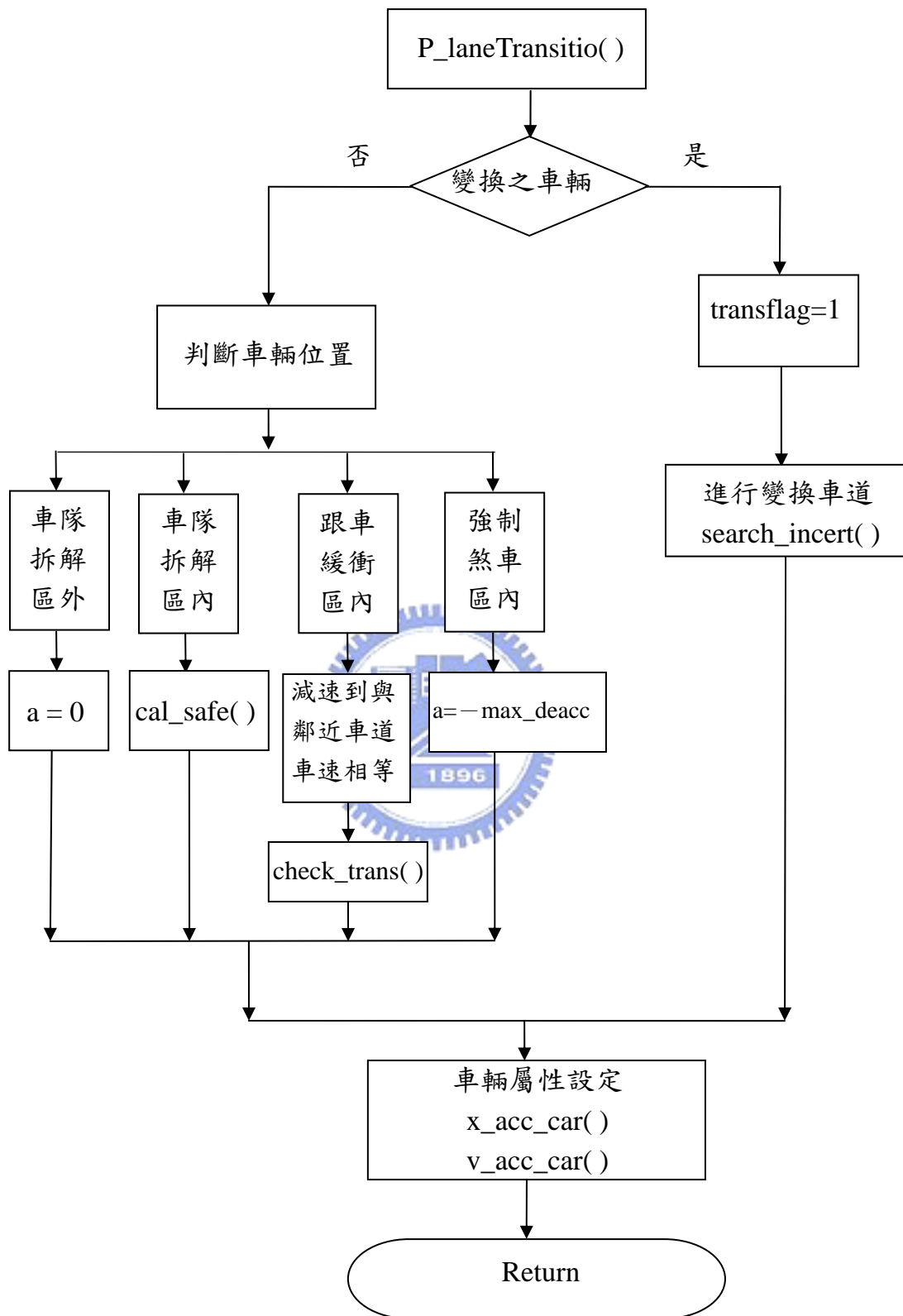


圖 4-2 P_laneTransition() 函式流程圖

7. showpq()

以 `fprintf()` 將所想要之輸出資料鍵入，並於執行程式時將模擬結果輸出，輸出方式以為建立一個 excel 檔，檔案設定為唯寫方式。建立為 excel 檔主要是輸出結果整理方便，亦可由 Microsoft Office Excel 內建之繪圖功能，繪製所需之結果關係圖。輸出之格式及詳細內容參照 4.4 節。

8. 程式碼

程式碼如附錄 A 所示。

4.2 實驗設計

實驗設計部分分為幾何特性設計、車輛特性設計、以及模擬特性設計。模擬路段示意如圖 4-1 所示。

1. 幾何特性設計

路段屬性設定：模擬範圍內之所有路段皆為相同設定。

- (1) 為兩車道之高速公路基本路段
- (2) 無坡度、無曲度之直線型車道
- (3) 無收費站、無匝道、無交織路段
- (4) 車道寬度為 3.75 m
- (5) 車道長度 640 m
- (6) 外側路肩 3 m，內側路肩 1 m

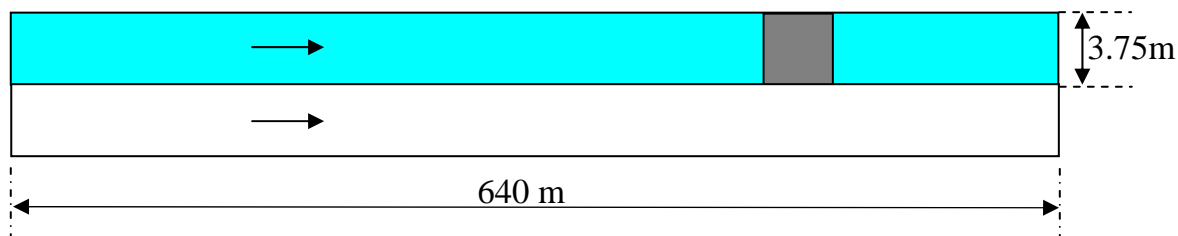


圖 4-3 模擬高速公路路段幾何特性示意圖

2. 車輛特性設計

(1) 車輛實體尺寸

本研究以小型車為研究對象，故不考慮大型車之車輛特性。故本模擬模式所考慮之車輛實體尺寸如表 4-1 所示。

表 4-1 車輛尺寸資料表

單位：(m)		
車型	實體車長	實體車寬
小型車	4.0	2.0

(2) 加速度及減速度

本研究直接參照[20]所整理之車輛行駛速率與一般加減速度之關係如表 4-2 所示，及車速、路面輪胎狀況與最大減速度關係如表 4-3 所示。

表 4-2 車輛行駛速率與一般加減速度之資料表

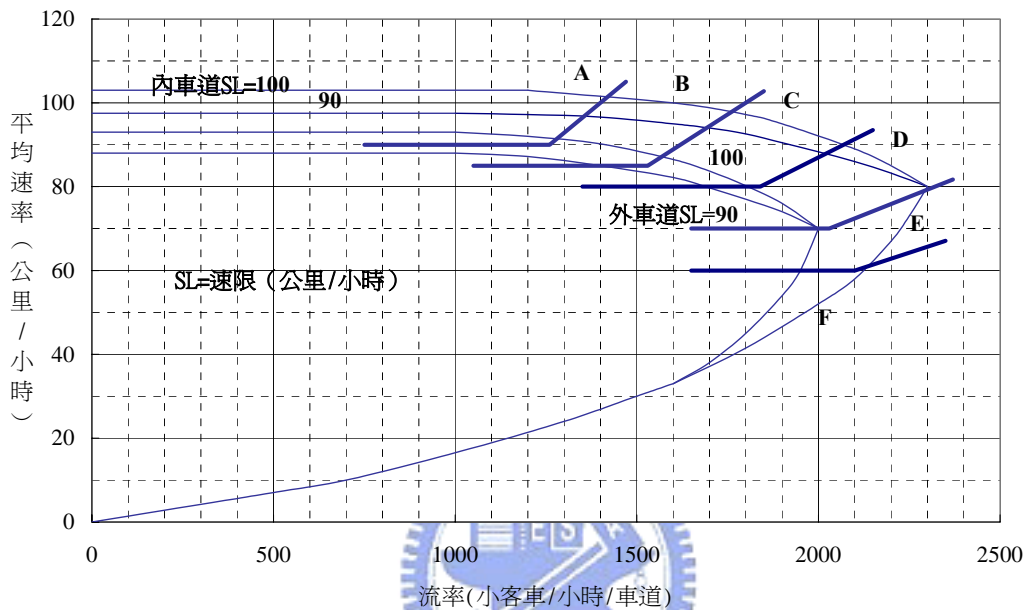
		單位：(m/s ²)			
條件 \ 速率(m/s)	0-6.67	6.67-13.33	13.33-17.78	17.78-22.22	
	加速度	3.56	2.22	2.09	1.69
減速度	2.36	2.04	1.47	1.47	

表 4-3 乾路面、輪胎狀態好下最大加速度及最大減速度資料表

		單位：(m/s ²)			
條件 \ 速率(m/s)	8.89	13.33	17.78	22.22	
	最大加速度	3.55	3.60	3.60	---
最大減速度	7.20	7.29	7.30	---	

(3) 鄰近車道流量

本研究參考2001年台灣區公路容量手冊[18]之高速公路車流量的水準做為參考依據(如圖4-2)，高速公路服務水準在B級時之前的最大流量為每車道每小時1800輛，依照此一值，設定為鄰近車道流量之最大值，當作敏感度分析時，以每小時每車道200輛車為單位來增減。



資料來源：2001年台灣區公路容量手冊 P4-17

圖 4-4 平坦路段速率與流量關係及服務水準劃分之等級

(4) 轉向角

根據[20]及[8]所整理之車輛轉向角之範圍，約略在10度~45度(0.174~0.783 徑度)之間。

3. 模擬特性設計

(1) 自動控制車隊規模

自動控制車隊規模之大小，國外曾有過相關研究。根據 Cem Ünsal (1997) [5] 的論文提出自動控制車隊規模大小大約限制在 15 輛車以內，而 R. Rajamani and S.E. Shladover(2001)[13]曾實驗性的比較幾個自動控制的績效，包括自動控制系統 (autonomous control systems)、以及使用在車與車之間聯繫的合作式縱向控制系統 (co-operative longitudinal control systems)，提出自動車隊串聯以 8 輛車輛及 6.5 公尺的車間距前進，可以達到最佳的車隊前進規模；然而如果車隊規模拓展到 10

輛的話，則可以在高速公路車流量每小時 6400 輛(vehicles/hour)的車流狀況下達到理論值中的最大車流量。故我們在模擬的時候便考慮以 8~10 輛的車隊規模來進行模擬。

(2) 模擬時間

模擬時間設定為 200 秒，若欲變更模擬時間，可以隨意變更設定。

(3) 鄰近車道車輛之初始速率設定

由於從流量無法直接判斷車流狀態，高流量不一定高密度，低流量不一定低密度，因此對照 Greenshield's model[1]，假定高速公路每小時每車道最大流量 1800 輛，換算每分鐘 30 部，最大可行駛速率為每小時 110 公里，相當於每秒 30.56 公尺，如此可以求得 Greenshield's model 流量對速率以及流量對密度的函數。假設初始流量設定每分鐘 30 輛，速率為 15m/s；若流量有所改變，則流量對速率的公式為 $v=15\pm\sqrt{225-7.5\times q}$ ，流量大於每分鐘 30 輛的話速率為 $v=15-\sqrt{225-7.5\times q}$ ，流量小於每分鐘 30 輛的話速率則為 $v=15+\sqrt{225-7.5\times q}$ ，其中 q 為車流量。

圖 4.2 分為左右兩部分，左邊為一般狀態，最高速限下的自由車流右邊則為車流擁擠下的車流狀況，我們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，分別為低密度自由車流及高密度擁擠車流。

然而在撰寫程式的時候，由於鄰近車道在流量設定之後，MC 車輛的速率便固定了，無法展現其隨機性，所以本研究在撰寫程式部分，改以常態分配來取代 MC 車輛的初始速率，速度服從 normal(15,1)隨機分配，在常態分配下，99.7%的機率會落在±3個標準差內，所以鄰近車道 MC 車輛的速率分佈大致落於每秒 12~18 公尺之間。

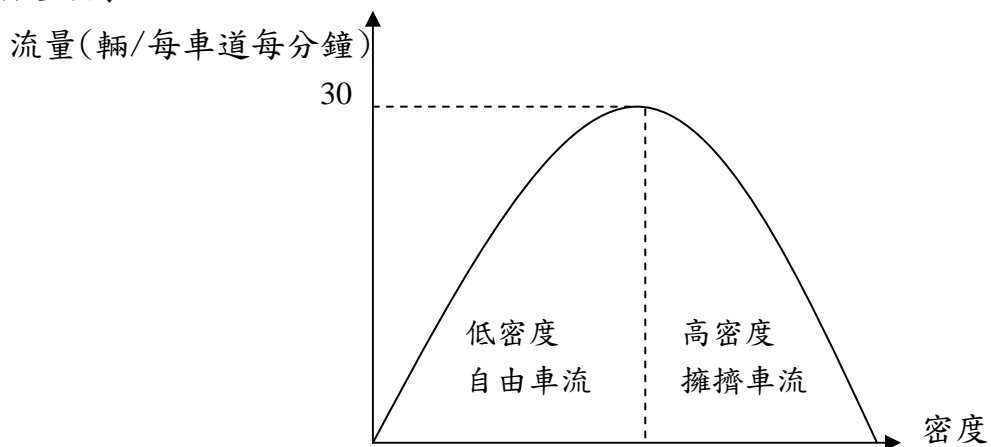


圖 4-5 Greenshield's model 下之流量與密度對應圖

(4) 煞停後的變換車道

第 3.6 節我們有提到強制煞車後的變換車道需要面臨的問題就是 AC 車輛速度為 0、與鄰近車道相對速度大、轉向角大、變換車道所需時間長等問題。由於模擬時鄰近車道的平均車速約在 15m/s，且車輛的最大加速度為 3.6m/s^2 ，所以煞停後變換車道所需的時間設定在 4 秒鐘，便可以到達鄰近車道的平均車速，所以在煞停後的判斷，是以 4 秒後的車間距可以大於可接受 Gap 下，從這一秒開始執行加速，加速度的大小為車輛的最大加速度。煞停後除非進行變換車道，即使前一台停等的 AC 車輛已經變換車道，但也不會前進行駛去替補其空位。

另外，煞停後兩兩車輛的車間距乃採用保留一個車長的距離，其好處在於轉向角足夠大於最小轉向角，且又比最大轉向角來得小。

4.3 檔案輸出

檔案輸出格式如表 4-4 及表 4-5 所示。由表 4-4 顯示右上角為系統時間(現在處於 4.0 秒)，P-lane 跟 Q-lane 裡面每台車的各種狀態，包括位置、速度、加速度。我們可以看出在上一個 TIMESLICE 結束前，產生了第二輛 AC 車輛 P002，該車三個門檻值(d, f, b)也分別為(420.215, 547.326, 579.427)，車輛的行為會由這三個門檻值界定出來。

另外，由表 4-5 顯示如果車輛在此時計算可變換車道，則會顯示於該車之後(如：P007 顯示於 44.5 秒時會變換車道)，則此單位時間結束時便會進行變換車道，變換後的位置位於 Q 車道的第幾輛也會顯示(如：P007 is changes to Q006)。

經由此顯示格式可以瞭解系統內所有車輛的狀態，每一個 TIMESLICE 裡的資料都記載於內，並且可以依據所得道之輸出檔案，歸納統計出每一輛 AC 車輛從產生時間到變換車道完成所需時間，亦方便進行分析。

表 4-4 單位時間內的檔案輸出狀態之一

```
-----  
P002 is born, d=420.215,f=547.326,b=579.427  
4.00  
P-lane:  
CAR    x      u      a      trans  
P001: 45.556  11.111  0.000  
P002:  1.111  11.111  0.000  
Q-lane:  
CAR    x      u      a      trans  
Q001: 60.952  14.866  0.000  
-----
```

表 4-5 單位時間內的檔案輸出狀態之二

```

-----
                                                    44.40
P-lane:
CAR      x          v          a          trans
P004: 572.621    0.000 -7.200
P007: 386.201    0.000 -6.070      *:44.500
P008: 386.666    16.667 0.000
P009: 343.333    16.667 0.000
P010: 300.000    16.667 0.000
P011: 223.334    16.667 0.000
P012: 180.000    16.667 0.000
P013: 136.667    16.667 0.000
P014:  93.333    16.667 0.000
P015:  50.000    16.667 0.000
Q-lane:
CAR      x          v          a          trans
Q001: 986.574    30.989 0.000
Q001: 864.597    31.226 3.600
P002: 676.394    19.533 0.000
P003: 570.333    20.520 3.600
P005: 505.063    21.107 3.600
P006: 425.489    17.559 3.600
Q002: 261.270    7.617 0.000
Q003: 102.136    10.084 0.000
-----
P:007 is changed to Q006

```



為求資料正確，本研究加入碰撞偵測的函式，若有碰撞情形，也就是 X 軸之位置有後車比前車大的情形發生，若不停止模擬的話，不僅指標的轉移會發生問題，所跑出來的結果也是沒有意義。故函式會停止模擬的進行，並顯示碰撞之車輛(如表 4-6)。

表 4-6 單位時間內的檔案輸出狀態之三

```

-----
Q005: 470.247    9.680 -7.200
P007: 428.069    0.486 1.160
Q006: 363.158    9.680 1.160
P009: 377.612    3.716 1.160
Q007: 232.094    10.760 1.160
Q008: 126.918    11.700 1.160
Q009: 27.619     12.159 -7.200
-----
Err!+++Collision at Q006,P009 ++++

```

第五章 模式應用與情境分析

本章將以第四章所撰寫出之模擬程式，設計多個不同的情境，主要以自動車隊的初始速率($\mu_i^{t_0}$)、自動車隊之車隊規模大小($n_o^{t_d}$)、鄰近車道車流量大小所組合而成之情境，探討其之間的關係，並且加以分析其結果。

5.1 情境建立與評估準則建立

5.1.1 情境建立

本節中，我們將依據前一章所撰寫之程式，模擬更多不同的情境，以求更瞭解模式中參數本身及與其他參數之間的關係。建立情境作敏感度分析之目的在於瞭解主要之重要參數對於系統之影響，其他之基本輸入資料都是已決定的，包括車輛實體大小、最大加減速、最大轉向角、變換車道策略等，而以自動控制車隊之初速、車隊規模大小及鄰近車道車流量為重要參數，自動控制車隊初速分為40km/h、70km/h、100km/h三種；自動控制車隊規模大小有2輛、5輛、8輛三種；鄰近車道車流量有高流量、中流量、低流量三種，總共有27種情境。所有情境如表5-1所示。

表 5-1 自動車隊模擬之二十七種情境

車隊規模 (輛)	車隊初速 (kph)	鄰近車道車流量(vph)		
		200	600	1000
2	40	情境 1	情境 2	情境 3
	70	情境 4	情境 5	情境 6
	100	情境 7	情境 8	情境 9
5	40	情境 10	情境 11	情境 12
	70	情境 13	情境 14	情境 15
	100	情境 16	情境 17	情境 18
8	40	情境 19	情境 20	情境 21
	70	情境 22	情境 23	情境 24
	100	情境 25	情境 26	情境 27

5.1.2 評估準則建立

自動公路系統現在尚屬於系統發展階段，故我們無法得到實際的車流資料；另外，事故下的一般車流狀況至今也無法有個定論，自動控制車輛與一般手動駕駛車輛不同，手動駕駛由於為人為駕駛，故才有所謂的「行為」，也就是考慮人為因素，但自動控制車輛沒有人為因素，所以我們也無法以現有的一般車流行為來評估自動控制車輛，亦無法來評估本研究所提出之模式。

因此，在此建立一些評估準則來衡量自動控制車輛行駛於自動控制車道下，反應事故所作之行為，：

1. 變換成功比例

變換成功比為即以模擬時間內成功變換車道之 AC 車輛數除以模擬時間內所有產生於自動車道且之 AC 車輛，即：

$$I = \frac{\text{\# of conduct lane-changing vehicles}}{\text{\# of all AC vehicles}}$$

I 會介於 0 到 1 之間，*I* 值越接近 1，表示位於事故阻塞之 AC 車輛大多能夠成功的變換到鄰近車道；反之，越接近 0 為大多數的 AC 車輛皆無法變換到鄰近車道，而停等在自動車道上。

2. 從進入事故影響區到變換車道完成平均所需時間

在模擬時間內，所有產生之 AC 車輛從產生之後到進入事故影響區，乃至成功變換車道至鄰近車道，最後通過事故地點所需要之時間，我們視為事故上游之旅行時間，但 AC 車輛在進入事故影響區之前，並無受到事故的影響。故我們選擇以 AC 車輛進入事故影響區之後，到變換車道所需時間，做為我們另一個評估準則。其意義為 AC 車輛變換車道，若平均所需時間越少，表示其效果較好，但此一變換車道所需之平均時間與鄰近車道交通車流狀況也有關係，直覺而言，鄰近車道高流量會造成變換 AC 車輛所需時間較長。故此衡量指標必須在鄰近車道之車流狀況相同下來衡量此衡量指標。

5.2 車隊前進與鄰近車道

我們由輸出之資料檔案，可以歸納得出每一個 TIMESLICE 裡的車輛資料，圖 5-1 為隨意列舉出情境十四自動車隊的 X-t 圖，可以看得出自動車輛是車隊的形式，由圖可看出在前 4 秒時，第一組車隊產生車隊規模為 5，進入事故區後，開始進行煞車行為，距離增加速度降低，出現反曲之線型；切線方向即為瞬時速

度，中間速度出現變化乃因於三個門檻值的行為不同所受到的控制；亦可用相同方式整理一般車輛的行為。

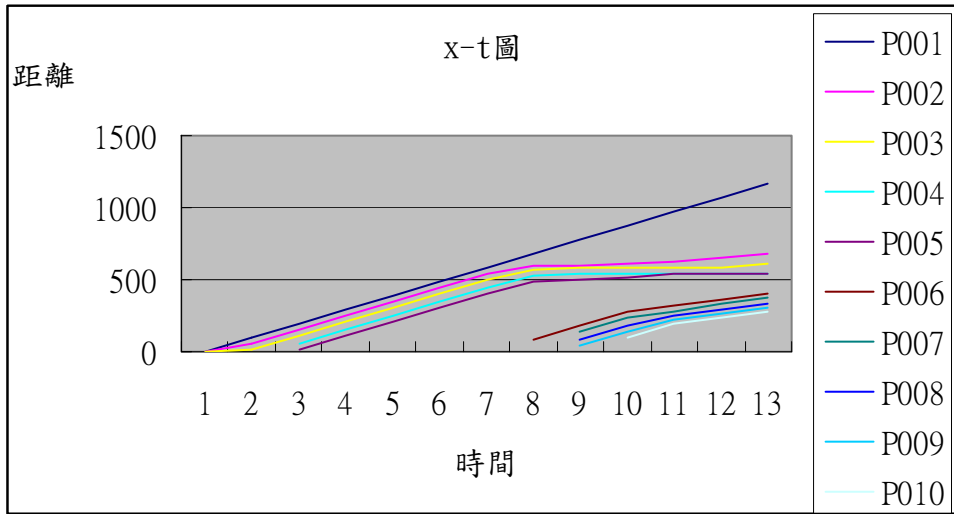


圖 5-1 情境十四之初始一分鐘座標時間圖

圖 5-2 為情境十四的一般車輛的 X-t 圖，由圖形可看出一般車輛 Q001 到 Q006 的速度變化，乃來自於跟車的控制，跟車行為乃來自車間距的縮放，來作加減速，車間距也有可能由自動車道變換過來之車輛所改變。而垂直切面所截出之間距則為瞬時的車間距。

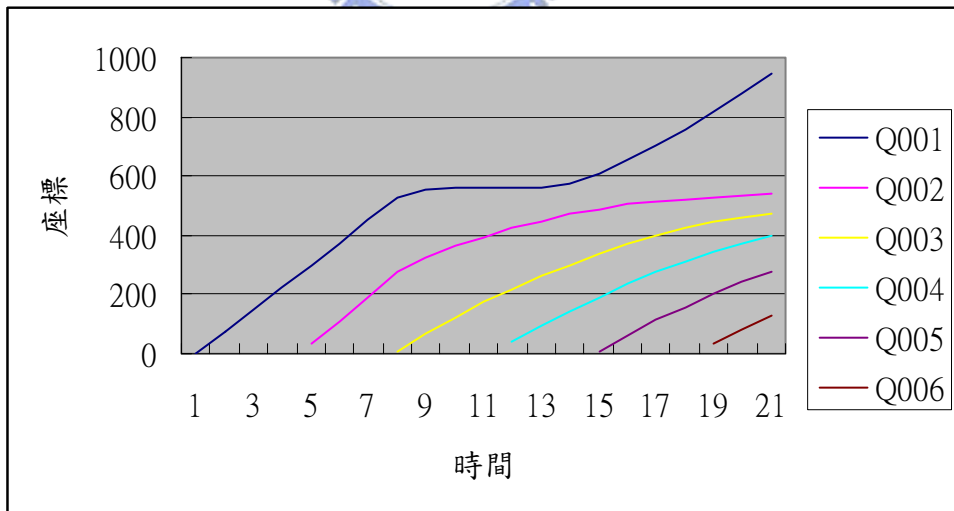


圖 5-2 情境十四之初始一百秒座標時間圖

此外，如下表 5-2 所示，AC 車輛的三個門檻值也可以從檔案歸納記錄得知，隨著產生車輛數量增加，門檻值會越來越低，而且 AC 車輛從進入事故影響區到的時間到變換車道的時間，為停滯於事故上游影響區的時間，若無變換時間，則

表示該車在模擬時間內無法順利變換車道至鄰近車道。我們亦可將模擬時間減去車輛進入時間，作為該車之停滯於事故影響區時間，則平均停滯時間則會大幅增加，但是卻會掩蓋住變換成功車輛之行為。

表 5-2 情境十四之三個月檻值及相關資料表

5-70-600						
	d	f	b	change_time	進入時間	花費時間
P001	361.928	560.372	569.744	31.9	18.5	13.4
P002	340.556	551	561.744	34.9	19.7	15.2
P003	319.184	541.629	553.744	39.6	21	18.6
P004	297.813	532.257	545.744	41.2	22.1	19.1
P005	276.441	522.885	537.744	49	23.2	25.8
P006	255.069	513.514	529.744	87.2	44.1	43.1
P007	233.697	504.142	521.744	79	45.2	33.8
P008	212.326	494.77	513.744	85.1	46.5	38.6
P009	190.954	485.398	505.744	90	47.6	42.4
P010	169.582	476.027	497.744			0
P011	148.21	466.655	489.744			0
P012	126.839	457.283	481.744			0
P013	105.467	447.911	473.744	126.5	71	55.5
P014	84.095	438.54	465.744			0
P015	62.723	429.168	457.744			0
P016	41.352	419.796	449.744			0
					平均花費時間	30.55

5.3 情境分析

5.3.1 車隊規模與自動控制車輛

自動車輛車隊規模大小會影響車隊煞車來拉大車間距之時間。當車隊進入車隊拆解區時，車隊可能會以不同的減速度來進行個別車輛的減速，而車隊之拆解的順序由車隊後方開始，以相對較大之減速度來減速且拉大車間距，減速度的傳遞由後至前，由大到小，所以車隊規模對於車輛進入車隊拆解區之後在車隊拆解區內行駛的時間有相當程度的影響，然而自動控制車隊藉由自動控制，可以將行駛之緩衝時間縮小。

我們將前面所模擬之二十七種情境，個別分析車隊規模對於自動控制車隊有何影響。將車速變項加總起來取平均，便可以去除掉車速變項對其他兩個變項的影響，並且獲得表 5-3，並且繪製圖形來示意(圖 5-3)。由圖形可看出低流量時，車隊規模的大小僅對變換車道平均時間有些許影響，然而中流量確有明顯的相對較低值，兩端都有向外發散的趨勢，而高流量若經過調整，也顯示無顯著的直接影響變換車道的時間。

接著以立體圖來觀察之，如圖 5-4 所示，可以看出圖形顯示出一個接近鞍形的曲面，其背後含意可能隱藏系統可能存在一個區域較佳狀態位於情境 14 附近的值。

表 5-3 車隊規模與進入事故區到變換車道所需時間表
單位：秒

單位：秒	車隊規模 2	車隊規模 5	車隊規模 8
低流量	29.98	26.32	23.22
中流量	55.13	29.98	39.05
高流量	0	15.29	19.46

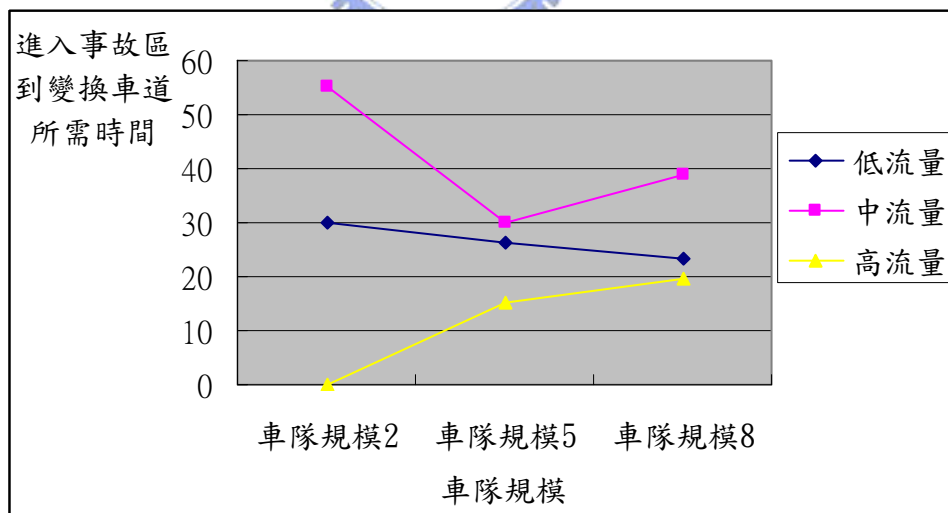


圖 5-3 車隊規模與進入事故區到變換車道所需時間關係圖

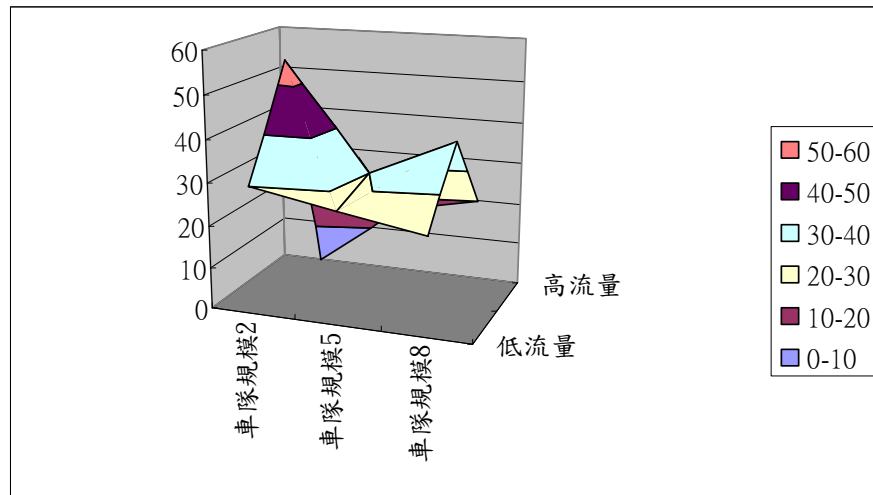


圖 5-4 車隊規模與進入事故區到變換車道所需時間之關係立體圖

5.3.2 自動控制車輛變換車道所需時間

自動車輛車隊之初速大小與自動公路系統之間的關係也是必須去瞭解。一般而言，速率越大所需之煞車距離也較大，但當事故發生後自動控制車輛不會只有停等於事故上游，而是判斷鄰近車道是否有變換車道之機會，然而車隊初速較大時相對於初速較小時更容易變換車道進入鄰近車道，過大的車速也會造成在事故上游行駛之時間較短，所以車隊初速與自動控制車輛之關係仍待更進一步探討。

表 5-4 車速與進入事故區到變換車道所需平均時間表

單位：秒

車隊規模 (輛)	車隊初速 (kph)	鄰近車道車流量(vplph)			平均變換 時間	調整後平 均變換時 間
		200	600	1000		
2	40	16.2800	32.0500	0.0000	16.1100	24.1650
	70	16.8900	22.1250	14.3000	17.7717	17.7717
	100	17.8500	31.8800	14.5500	21.4267	21.4267
5	40	39.4000	60.9900	0.0000	33.4633	50.1950
	70	29.1600	30.5500	15.7700	25.1600	25.1600
	100	28.9500	43.8700	20.2500	31.0233	31.0233
8	40	34.2500	72.3500	0.0000	35.5333	53.3000
	70	26.2800	52.0500	15.8000	31.3767	31.3767
	100	32.8600	41.4200	23.5900	32.6233	32.6233
平均變換成功率		0.790	0.590	0.240		
調整後平均變換成功時間		26.880	43.032	17.377		

表 5-4 為將所有情境作交叉分析，若扣除三個變換車道時間為 0 之情境，將之調整後，進行交叉分析。以車隊規模的角度來分析，每一種車隊規模搭配每一種車隊初速，都在鄰近車道車流量為 600vplph 的時候，需要較長的變換車道時間；若以鄰近車道車流量的角度來分析，每一種鄰近車流量都在時速為 70kph 的時候，有最小之變換車道時間；若以車速的角度來分析，隨著鄰近車道車流量變大，變換車道所需時間有先增加再減少、遞增、及接近水平等三種情形，如圖 5-5 所示。

所以當鄰近車道車流量明顯改變時，直接衝擊到的是 AC 車輛變換車道所需時間，這也是相當合乎預期。而在自動車隊時速 70kph 及鄰近車道車流量 600vplph 的時候，其附近可能具有區域性的較佳解，是讓變換車道所需時間不會遽增的情境。

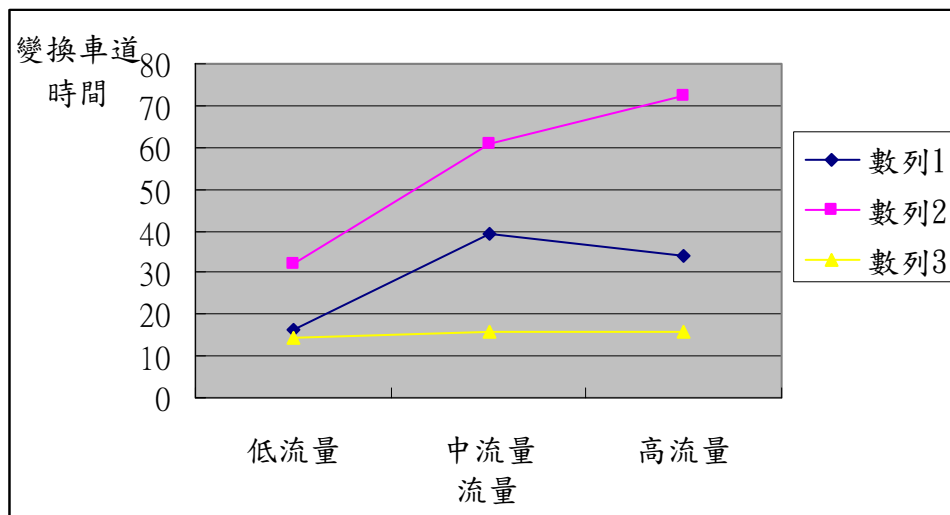


圖 5-5 鄰近車道車流量變化對變換車道時間影響圖

5.3.3 自動控制車輛變換車道成功率

一般而言，路段在未達到壅塞之情況下，車流量大小與密度成正向關係，鄰近車道車流在較高流量情況下造成路段密度較大，而相對的車間距就變得較小，故自動控制車輛變換車道可接受之安全車間距範圍將受到壓迫，變換成功機會便比較少，故鄰近車道車流狀況應是影響自動控制車輛變換車道最重要之因素，也需進一步探討之。

在變換車道的比例與鄰近車道的關係，如表 5-5 與其圖 5-6，分別表示在高、中、低流量下搭配不同情境下所得之比例，由圖可以得知三條數列皆呈現有三個高峰(peak)，所對應之情境皆為車隊初速在 70kph 的情境下所產生的，由於鄰近車道的車速平均介於 15m/s 附近，然而車隊初速 70kph 的情境乃為與鄰近車

道車速最接近，說明當車隊速度與鄰近車道平均車速接近時，變換車道成功的比例也相對提高；在車隊初速處於低速時，鄰近車道車流量便顯著影響變換車道，表中三個 0 值，皆為自動車隊低速且鄰近車道車流量高時，可提供出來之安全車間距的機會相對降低許多。

另外，在高流量高車速車隊規模大之情境(8v-100kph-1000vplph)，呈現出不算低的成功比例，但歸咎於第一個車隊產生後，高速衝向事故地點，而鄰近車道車輛尚未行駛至事故附近，造成第一個車隊前方三輛 AC 車輛順利變換車道後，促使鄰近車道車流較接近穩定車流，若將此一情形的變換車道摒除，在高流量的曲線則不會出現第三個高峰。

表 5-5 鄰近車道流量對於變換車道成功比例關係表

車隊規模 (輛)	車隊初速 (kph)	鄰近車道車流量(vph)			平均變換 時間	調整後平 均變換時 間
		200	600	1000		
2	40	78%	57%	0%	45.00%	67.50%
	70	85%	70%	33%	62.67%	62.67%
	100	100%	71%	33%	68.00%	68.00%
5	40	94%	44%	0%	46.00%	69.00%
	70	63%	56%	27%	48.67%	48.67%
	100	94%	75%	36%	68.33%	68.33%
8	40	63%	63%	0%	42.00%	63.00%
	70	56%	56%	19%	43.67%	43.67%
	100	81%	81%	44%	68.67%	68.67%
平均變換成功率		79%	59%	24%		
調整後平均變換成功時間		79.33%	63.67%	32.00%		

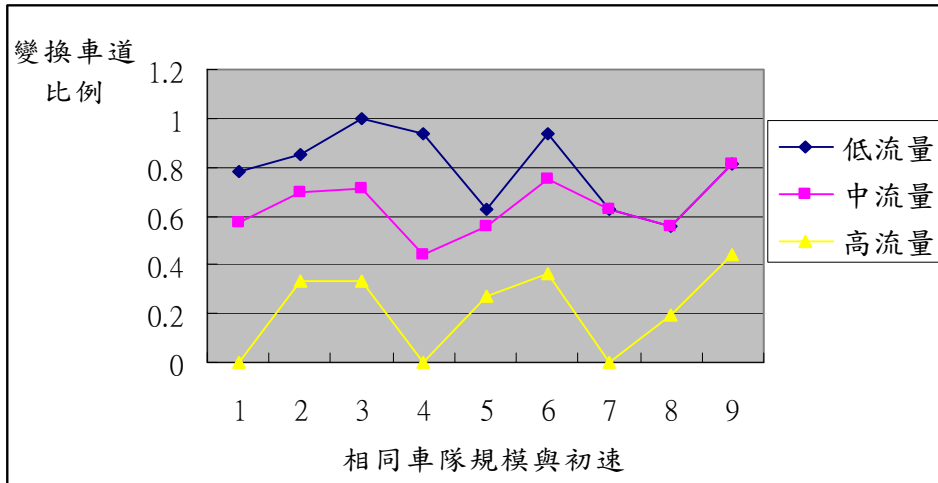


圖 5-6 變換車道比例與流量關係圖

5.4 參數調整

由於程式加入了碰撞偵測，所以在程式撰寫及初步實驗性地模擬時調整參數值，便以碰撞實驗來找出本研究之潛在問題。由於鄰近車道的跟車方式乃採用 D_{\min} 與 D_{\max} 的跟車方式，也就是在兩車車間距小於 D_{\min} 時，兩車太過接近，而後車需要減速；若兩車車間距大於 D_{\max} 時，兩車距離過遠，控制後車採用加速，若兩車相距的距離介於之間 D_{\min} 與 D_{\max} ，則後車不加減速，若兩車間保有速度差，則待兩車的車間距由相對速度差慢慢拉近或遠離到 D_{\min} 與 D_{\max} 值，才加減速。

由於跟車之方式並非動態即時，無法即時的反應瞬間車間距，故會有下列幾種情形發生：一、如果 D_{\min} 太小，則可能因為兩車的速度差所需要的煞車距離會大過 D_{\min} ，此種情形最易發生在 AC 車輛變換車道後，保有之相當的速度，而變換後與前車之距離又恰巧落在 D_{\min} 與 D_{\max} 之間，則變換後的 AC 車輛必須等到與前車距離 D_{\min} 才開始煞車，所以造成碰撞。二、若 D_{\min} 太大，則碰撞通常來自於鄰近車道產生車輛之位置，由於鄰近車道產生是根據常態分佈，產生出來的 MC 車輛之車速也是服從常態分佈，當 D_{\min} 過大易造成加減速的長鞭效應，而停等一旦蔓延至車輛產生處，則車輛一產生後便發生碰撞的情形。

此種情形大致上可分為兩種解決方式，一是跟車模式必須使用更動態調整之跟車模式，像是以每個石階運算車間距，並考慮一般狀況為需要兼顧到舒適度之加速度調整；另一個就是以車種來區別不同的跟車模式，若自動車跟隨自動車，則 D_{\min} 與 D_{\max} 可以較小，因為不考慮無人為反應時間；若人為駕駛跟隨人為駕駛，則需要較大的安全車間距；另外還有自動車跟隨手動車及手動車跟自動車等。

第六章 結論與建議

6.1 結論

- 1、國內對於事故模擬模式之研究仍屬缺乏；而國外發展之車流模擬器亦尚無功能可以提供自動公路系統做模擬之功能，更無法於事故下做車流模式之模擬。故本論文將研究目的設定於對自動公路系統做初步之試探研究。
- 2、本研究以微觀之觀點以及單位時間掃描之方式，處理單一車道之自動公路系統在事故發生下之模擬，以小客車為研究主體，以相對速率與距離切入探討下一秒變換車道後之期望位置，並且考慮最嚴峻的情境，也就是鄰近車道前車以最大減速度減速行駛，鄰近車道後車以最大加速度加速行駛下之情況，在自動控制車輛可以接受之安全車間距下進行變換車道控制策略。
- 3、國外作自動公路系統變換車道所採用的方式相當多，但最主要仍是可接受之安全車間距，像是鄰車道自動車輛併入車隊時，車隊前車緊急煞車對後車影響及分析變換車道最小安全間距。自動車輛變換車道之目標車道前車緊急煞車對後車之影響，並探討變換車道最小安全間距。另外也有相關研究以相對速度的觀點切入。
- 4、本研究以時階(time step)的方式進行模擬，將每一步的時間長度(timeslice)訂於0.1秒，可以增加計算的準確率。若以15m/s的車速為例，可以將速度所計算出的距離誤差限制於0.75公尺，若可以將timeslice分的更細，如文獻中所提到每秒進行100次的偵測及計算，將可將誤差限制在0.075公尺。
- 5、以車隊規模的角度來分析，每一種車隊規模搭配每一種車隊初速，都在鄰近車道車流量為600vplph的時候，需要較長的變換車道時間；若以鄰近車道車流量的角度來分析，每一種鄰近車流量都在時速為70kph的時候，有最小之變換車道時間；以車速的角度來分析，隨著鄰近車道車流量變大，變換車道所需時間有先增後減、遞增、及接近水平的情形。
- 6、當鄰近車道車流量明顯改變時，直接衝擊到的是AC車輛變換車道所需時間，這也是相當合乎預期。而在自動車隊時速70kph及鄰近車道車流量600vplph的時候，其附近可能具有區域性的較佳解，是讓變換車道所需時間不會遽增的情境。

6.2 建議

- 1、由於研究時間與人力不足，本研究著重在事故模擬功能，在程式設計過程中作了若干的簡化設定，以便程式可以順利執行。模式中考慮前方車隊停等車輛數，然而事故發生之瞬間，接近事故地點的車子皆為強制煞車，應該以預設之停等長度取代之。
- 2、在一般車道的跟車行為，乃採用車間距在小於 D_{min} 時表示車間距太小，所以採取減速；車間距大於 D_{max} 時表示車間距太大，所以採用加速；在 D_{min} 跟 D_{max} 之間則加速度等於 0。由於採用加減速皆以最大加減速度來執行，用意為考慮安全的因素下，越快保持在安全車間距內對行車安全越好。但建議可以考慮乘客舒適度下，可以加入衝度(jerk)的問題，讓加減速度在舒適的環境下執行跟車，但仍在考慮安全狀態下加速度變化率的數值大小，也是提供後續研究作為參考。
- 3、在模擬時間過後之無法順利變換車道而停等在自動控制車道之殘餘車輛停等長度，會對事故更上游之車隊到達造成影響，然而建議考慮的是更上游的車隊可能會因為殘餘的停等長度而需要作一些反應，如事故上游車隊的大小規模不相同、車隊與車隊出現之間隔時間(headway)等問題，供作為後續作相關研究之參考。
- 4、建議可以考慮第三個車道(最外側車道)變換進入中間車道，對於 AC 車輛變換車道時的影響。
- 5、本研究所採用鄰近車道的跟車行為，乃用 D_{min} 與 D_{max} 的方式，則 D_{min} 與 D_{max} 的數值直接影響跟車行為，故建議可以模擬測試出較佳或最適的數值。另外，跟車行為也有其他的模式，如通用汽車第一代至第五代的跟車模式，建議可以納入模擬。
- 6、建議 D_{min} 與 D_{max} 的跟車方式，可以考慮加入前後車為不同車種，或者相同車種，有不同的 D_{min} 與 D_{max} 值，可參考蔡孟釗(2005)之相關研究。
- 7、本研究之程式撰寫部分乃以 Turbo C V2.01 開發，由於 Turbo C V2.01 版有繪圖之功能，但鑑於 Turbo C 開發已有一段時間，更多功能及介面的程式語言也已推出(如：C++)，像是用 thread 可以撰寫一輛車子的演算法(algorithm)來代替所有車子的演算，故建議以更合時宜且功能強大的程式語言進行開發。
- 8、未來如果可以取得自動公路系統測試之相關資料，可以針對未發生事故前之車隊前進做模式之實例驗證。

參考文獻

1. Adolf D. May, “Traffic Flow Fundamentals”, University of California, Berkeley, Prentice Hall, p.296~p.301, 1990.
2. AHSRA Japan, <http://www.ahsra.or.jp/>
3. Alexander Kanaris, “Strategies and Spacing Requirements for Lane Changing and Merging in Automated Highway Systems”, IEEE Conference, 2001
4. Cem Hatipoglu, Ümit Özgüne, Keith A. Redmill, “Automated Lane Change Controller Design”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, Vol. 4, No.1, March 2003.
5. Cem Ünsal, “Intelligent Navigation of Autonomous Vehicles in an Automated Highway System: Learning Methods and Interacting Vehicles Approach”, Virginia Polytechnic Institute and State University, Ph.D Thesis pp2-6, 1997.
6. Datta N. Godbole, Raja Sengupta, Veit Hagenmeyer, “Distributed Hybrid Controls for Automated Vehicle Lane Changes”, Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision & Control Tampa, Florida USA, December 1998.
7. ITS-America, <http://www.itsa.org/>
8. J.B. Sheu, “Microscopic Control Logic for Incident-Responsive Automatic Vehicle Control in Single-Automated-Lane Highway Systems”, Paper submitted to Transportation Science, 2004.
9. Junji Kaneko, Akihide Shimamura, “A design of Lane change Maneuver for Automated Vehicles”, The IEEE 37th Conference on Decision & Control Tampa, 1998.
10. Lingxi Li, Fei-Yue Wang, “The Automated Lane-Changing Model of Intelligent Vehicle Highway Systems”, The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2002.
11. M.Broucke, P.Varaiya, “A Theory of Traffic Flow in Automated Highway Systems”, Transportation Research Part C. Vol. 4, pp. 181-210, 1996.

12. Quadstone Limited Co., Paramics traffic simulation, Modeller V4.0, User Guide, 2003.
13. R. Rajamani, S.E. Shladover, "An experimental comparative study of autonomous and co-operative vehicle-follower control systems", Transportation Research Part C, Vol.9, no.1, pp.15-31, 2001.
14. Wonshik Chee, Masayoshi Tomizuka, "Lane Change Maneuver of Automobiles for The Intelligent Vehicle and Highway System (IVHS)", American Control Conference, June 1994.
15. Yoji Seto, Hideaki Inoue, "Development of platoon driving in AHS", JSAE Review, Vol.20, 1999.
16. 王敏聰, 「自動跟車模式之研究及其在車流上的位階」, 淡江大學運輸科學研究所, 碩士論文, 1999。
17. 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, 2001。
18. 交通部運輸研究所, 2001年台灣地區公路容量手冊, 2001。
19. 李月仙, 「微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所, 碩士論文, 1989。
20. 張鈞華, 「模擬一般市區道路事故發生之微觀車流行為」, 國立台灣大學土木工程系研究所, 碩士論文, 2001。

附錄 A Turbo C 程式碼

國立交通大學交通運輸研究所碩士班
指導教授：許 鉅 秉
研 究 生：許 智 詠
程式名稱：因應事故自動控制車隊變換車道模擬程式
日 期：2005 年 6 月

第一部份 變數及函式說明：

1. 變數說明：

TOTALSECONDS	:	系統總時間(sec)
TIMESLICE	:	時階單位時間(sec)
TOTALSTEPS	:	系統總步驟
INCIDENT_X	:	事故地點(m)
ROADLEN	:	道路長度(m)
CAR_TYPE_1 “Q”	:	車輛種類(自動車)
CAR_TYPE_2 “P”	:	車輛種類(手動車)
MAX_ACC	:	車輛最大加速度(m/s ²)
MAX_DEACC	:	車輛最大減速度(m/s)
MAX_SPEED	:	車輛最大速率(m)
PLATOON_TOTAL_SECONDS	:	車隊產生間距時間(sec)
D_MAX	:	最大車間距(m)
D_MIN	:	最小車間距(m)
D_EXT	:	車間距極值(m)
DEC_DX	:	自動車產生所保持之車時間距(sec)
TRANS_SECONDS	:	變換車道所需時間(sec)
struct node	:	車輛資料結構
x	:	車輛 x 座標(m)
y	:	車輛 y 座標(m)
car_type	:	車輛種類
car_seq	:	車輛個別獨有之 ID
v	:	速度(m/s)
a	:	加速度(m/s ²)

d	:	車隊拆解區門檻值(m)
f	:	跟車緩衝區門檻值(m)
b	:	強制煞車區門檻值(m)
transflag	:	變換車道顯示
translock	:	變換車道鎖定
STEPS	:	系統步驟
platoon_size	:	自動車隊規模大小
v0	:	自動車隊初始速率(m/s)
flow	:	鄰近車道車流量(veh/plph)
next_car_time	:	產生下一台車輛間隔時間(sec)

2. 函式說明：

main()	:	主函式
P_laneGenerator()	:	自動車輛產生器函式
Q_laneGenerator()	:	手動車輛產生器函式
P_laneTransition()	:	自動車道上之車輛運行函式
Q_laneTransition()	:	手動車道上之車輛運行函式
v_acc_car()	:	呼叫車速函式
x_acc_car()	:	呼叫位置函式
watchtime()	:	觀看系統時間函式
brakelength()	:	計算最大煞車距離函式
hittime()	:	呼叫與對照系統時間函式
search_insert()	:	變換車道控制函式
check_trans()	:	確認變換車道位置函式
car_can_reach()	:	呼叫變換車道可能的加速度函式
cal_safe()	:	保持安全車間距函式
collision()	:	系統碰撞偵測函式
normal()	:	常態分配函式
drawRoad()	:	繪製道路函式
drawlane()	:	繪製車輛函式
showpq()	:	輸出結果資料函式



第二部分 程式碼：

```
#include <graphics.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <math.h>
#define TOTALSECONDS 100
#define TIMESLICE 0.1
#define TOTALSTEPS (int)(TOTALSECONDS/TIMESLICE)
#define INCIDENT_X 600.0
#define ROADLEN 640.0
#define CAR_TYPE_MANUAL 'P'
#define CAR_TYPE_AUTO 'Q'
#define MAX_ACC 3.6
#define MAX_DEACC 7.2
#define MAX_SPEED 32
#define PLATOON_TOTAL_SECONDS 30
#define D_MAX 50
#define D_MIN 20
#define D_EXT 150
#define DEC_DX 30
#define TRANS_SECONDS 4
```

```
FILE *o;
struct node
{
    float x;
    float y;
    int car_type;
    int car_seq;
    float v;
    float a;
    float d;
    float f;
    float b;
    int transflag;
    int translock;
```



```

float transtime;
struct node *trans;
struct node *head;
struct node *tail;
};
float normal(float ave,float dev);
struct node *p=NULL;
struct node *q=NULL;
struct node *headp=NULL;
struct node *headq=NULL;
int P_laneGenerator(float,int);
int Q_laneGenerator(float);
int P_laneTransition();
int Q_laneTransition();
float v_acc_car(float v0,float a,float t);
float x_acc_car(float x0,float v0,float a,float t);
float watchtime();
float brakelength(float v0);
int hittime(float);
int search_insert();
int collision();
int STEPS;
int check_trans(struct node *car);
int car_can_reach(struct node *car,float x1,float x2);
int cal_safe(struct node *car,float DMIN,float DMAX,float DEXT);
int headqtranslock=0;

void drawlane()
{
    int x;
    struct node *current;
    current = headp;
    while(current!=NULL){
        if(current->transflag)
            setfillstyle(1,60);
        else
            setfillstyle(1,current->car_type-21);
        x=(int)current->x/ROADLEN*640;
        bar(x,current->y,x+1,current->y+2);
    }
}

```



```

        current = current->tail;
    }
    current = headq;
    while(current!=NULL){
        setfillstyle(1,current->car_type-21);
        x=(int)current->x/ROADLEN*640;
        bar(x,35,x+1,37);
        current = current->tail;
    }
}
void drawRoad(void)
{
    float x;
    setlinestyle(0,0,1);
    line(0,24,640,24);
    line(0,48,640,48);
    setlinestyle(3,0,1);
    line(0,32,640,32);
    line(0,40,640,40);
    setfillstyle(4,63);
    x=INCIDENT_X/ROADLEN*640;
    bar(x,24,x+10,32);
}

void showpq()
{
    struct node* temp;
    int i;
    for(i=0;i<2;i++){
        if(i){
            temp=headq;
            fprintf(o,"Q-lane:\n");
        }
        else{
            temp=headp;
            fprintf(o,"P-lane:\n");
        }
        fprintf(o,"CAR\tx\tv\ta\ttrans\n");
        while(temp){

```



```

        fprintf(o,"%c%03d: %.3f  %.3f %.3f\t",\
temp->car_type,temp->car_seq,temp->x,temp->v,temp->a);
        if(temp->transflag) fprintf(o,"*:%.3f",temp->transtime);
        fprintf(o,"\n");
        temp=temp->tail;
    }
}
fprintf(o,"-----\n");
}

```

```

int main()
{
    float v0,flow;
    int platoon_size;
    struct node* temp;
    int k,l;
    int graphdriver=DETECT,graphmode=DETECT;
    initgraph(&graphdriver,&graphmode,"");
    if((o=fopen("file01.xls","w"))==NULL){
        fprintf(o,"Open file file01.xls for writing error\n");
        return -1;
    }
    printf("Platoon size(2-15):");
    scanf("%d",&platoon_size);

    printf("Initial speed of platoon(in kph)");
    scanf("%f",&v0);

    printf("Flow of adjacent lane is (100-2300):");
    scanf("%f",&flow);
    v0=v0*10/36;
    flow/=60;

    for(STEPS=0;((STEPS<TOTALSTEPS)&&(!collision()));STEPS++)
    {
        drawRoad();
        P_laneGenerator(v0,platoon_size);
        Q_laneGenerator(flow);
    }
}

```

```

drawlane();
P_laneTransition();
Q_laneTransition();

        fprintf(o,"\t\t\t\t\t%.2f\n",watchtime());
showpq();
for(k=0;k<30000;k++)
for(l=0;l<1000;l++);
cleardevice();
}
closegraph();
getchar();
return 0;
}

int Q_laneGenerator(float flow)
{
    static float next_car_time=0;
    static int carseq=0;
    struct node *temp;
    if(q&&(q->x<5) )return 1;
    if(hittime(next_car_time)){
        temp=(struct node *)malloc(sizeof(struct node));
        temp->head=q;
        temp->tail=NULL;
        if(q!=NULL) q->tail=temp;
        else headq=temp;
        q=temp;
        temp->x=0;
        temp->y=35;
        temp->v=normal(15,5);
        temp->a=0;
        temp->transflag=0;
        temp->translock=0;
        temp->car_type=CAR_TYPE_1;
        temp->car_seq=++carseq;
        next_car_time+=normal(60/flow,1);
        fprintf(o,"Q:%03d is born\n",carseq);
    }
}

```



```
}
```

```
int P_laneGenerator(float v0,int platoon_size)
```

```
{
```

```
    static float next_car_time=0;
```

```
    static int carseq=0;
```

```
    struct node *temp;
```

```
    float b,f,d;
```

```
    if((p)&&(p->x<20)){
```

```
        next_car_time+=.1;
```

```
        return 1;
```

```
    }
```

```
    if(hittime(next_car_time)){
```

```
        temp=(struct node *)malloc(sizeof(struct node));
```

```
        temp->head=p;
```

```
        temp->tail=NULL;
```

```
        if(p!=NULL) p->tail=temp;
```

```
        else headp=temp;
```

```
        p=temp;
```

```
        temp->x=0;
```

```
        temp->y=27;
```

```
        temp->v=v0;
```

```
        temp->a=0;
```

```
        temp->transflag=0;
```

```
        temp->translock=0;
```

```
        temp->car_type=CAR_TYPE_2;
```

```
        temp->car_seq=++carseq;
```

```
        b= 4+8*(carseq-1)+v0*v0/(2*MAX_DEACC) ;
```

```
        f= DEC_DX+carseq*(15-v0)*(15-v0)/(2*MAX_DEACC);
```

```
        d=4+(carseq-1)*(4+8)+v0*10;
```

```
        temp->b=INCIDENT_X-b;
```

```
        temp->f=(INCIDENT_X-b-f>0)? (INCIDENT_X-b-f):0;
```

```
        temp->d=(INCIDENT_X-b-f-d>0)? (INCIDENT_X-b-f-d):0;
```

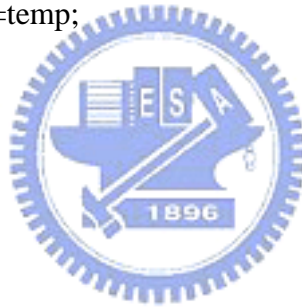
```
    if((carseq%platoon_size)==0)
```

```
        next_car_time =PLATOON_TOTAL_SECONDS*carseq/platoon_size;
```

```
    else
```

```
        next_car_time +=25/v0;
```

```
    fprintf(o,"P%03d is born,d=%0.3f,f=%0.3f,b=%0.3f\n", carseq,temp->d,temp->f,
```




```

        temp->b);
    }
}

int P_laneTransition()
{
    struct node *current,*tailtemp;
    current=headp;
    while(current!=NULL){
        if(current->transflag){
            if(current->transtime<watchtime()){
                tailtemp=current->tail;
                search_insert(current);
                current->transflag=0;
                current->a=0;
                fprintf(o,"P:%03d is changed to Q",current->car_seq);
                if(current->trans) fprintf(o,"%03d",current->trans->car_seq);
                fprintf(o,"\n");
                current=tailtemp;
            }
            else{
                current->x=x_acc_car(current->x,current->v,current->a,TIMESLICE);
                current->v=v_acc_car(current->v,current->a,TIMESLICE);
                current=current->tail;
            }
        }
        else{
            if(current->x<current->d)
                current->a=0;
            else if((current->x>=current->d)&&(current->x<current->f))
                cal_safe(current,DEC_DX,DEC_DX,D_EXT);
            else if((current->x>=current->f)&&(current->x<current->b)){
                /* cal_safe(current,DEC_DX,DEC_DX,D_EXT); */
                if(current->v>15)
                    current->a=-MAX_DEACC;
                check_trans(current);
            }
        }
    }
}

```



```

else{
    if(!check_trans(current))
        current->a=-MAX_DEACC;
    }
current->x=x_acc_car(current->x,current->v,current->a,TIMESLICE);
current->v=v_acc_car(current->v,current->a,TIMESLICE);
current=current->tail;
}
}
}

```

```

int Q_laneTransition()

```

```

{
    struct node *current;
    current=headq;
    while(current!=NULL){
        cal_safe(current,D_MIN,D_MAX,D_EXT);
        current->x=x_acc_car(current->x,current->v,current->a,TIMESLICE);
        current->v=v_acc_car(current->v,current->a,TIMESLICE);
        current=current->tail;
    }
}

```

```

int hittime(float i)

```

```

{
    float j;
    j=watchtime();
    if ((i>(j-TIMESLICE/2))&&(i<=(j+TIMESLICE/2)))
        return 1;
    return 0;
}

```

```

float watchtime()

```

```

{
    return STEPS*TIMESLICE;
}

```

```

float x_acc_car(float x0,float v0,float a,float t)

```

```

{

```

```

float x=0.0,v,t1;
v=v0+a*t;
x=v0*t+0.5*a*t*t;
if(v0>(MAX_SPEED-0.2))
    x=v0*t;
else if (v>MAX_SPEED){
    t1=(MAX_SPEED-v0)/a;
    x= 0.5*(2*t-t1)*(MAX_SPEED-v0)+v0*t;
}
else if (v<0)
    x= v0*v0/(2*a);
return x+x0;
}

```

```

float v_acc_car(float v0,float a,float t)
{
    float v;
    v=v0+a*t;
    if (v>MAX_SPEED)
        return MAX_SPEED;
    else if (v<0)
        return 0.0;
    return v;
}

```



```

int collision()
{
    struct node * temp;
    struct node * tempt;
    int i;

    temp=headq;
    for(i=0;i<2;i++){
        if(i){
            tempt=q;
            temp=headq;
        }
        else{
            tempt=p;

```

```

        temp=headp;
    }
    while(temp!=tempt){
        if((temp->x<temp->tail->x)&&(temp->transflag==0)){
            if(temp->tail->transflag==0){
                fprintf(o,"Err!+++Collision at %c%03d,%c%03d ++++\n",\
                    temp->car_type,temp->car_seq,\
                    temp->tail->car_type,temp->tail->car_seq);
                return 1;
            }
        }
        temp=temp->tail;
    }
}
return 0;
}

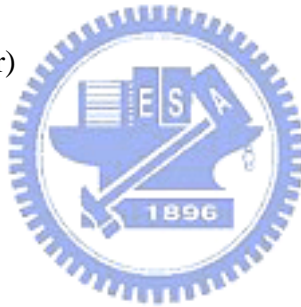
```

```
int check_trans(struct node *car)
```

```

{
    struct node *temp=NULL;
    float x0,x1,x2,a0;
    float v2;
    temp=headq;
    a0=car->a;
    x2=x_acc_car(headq->x,headq->v,MAX_ACC,TRANS_SECONDS);
    v2=v_acc_car(headq->v,MAX_ACC,TRANS_SECONDS);
    x2+=brakelength(v2);
    if((car_can_reach(car,ROADLEN,x2))&&(headqtranslock==0)){
        car->trans=NULL;
        car->transtime=watchtime()+TRANS_SECONDS;
        car->transflag=1;
        headqtranslock=1;
        return 1;
    }
    else
        car->a=a0;
    while(temp!=NULL){
        x1=x_acc_car(temp->x,temp->v,-MAX_DEACC,TRANS_SECONDS);

```



```

if(temp!=q) {
    x2=x_acc_car(temp->tail->x,temp->tail->v,MAX_ACC,TRANS_SECONDS);
    v2=v_acc_car(temp->tail->v,MAX_ACC,TRANS_SECONDS);
    x2+=brakelength(v2);
}
else
x2=0;
if((car_can_reach(car,x1,x2))&&(temp->translock==0)){
    car->trans=temp;
    car->transflag=1;
    temp->translock=1;
    car->transtime=watchtime()+TRANS_SECONDS;
    return 1;
}
else
    car->a=a0;
temp=temp->tail;
}
return 0;
}

```



```

float v_car_reach(struct node *car,float x1,float x2)
{
    float a1,a2;
    if((x1-x2)<6) return -1;
    a1=((x1-car->x)-car->v*TRANS_SECONDS)/(0.5*TRANS_SECONDS*TRANS_SECONDS);
    a2=((x2-car->x)-car->v*TRANS_SECONDS)/(0.5*TRANS_SECONDS*TRANS_SECONDS);
    if(((a1<=MAX_ACC)&&(a1>0))||((a1>=-MAX_DEACC)&&(a1<0)))
        return v_acc_car(car->v,a1,TRANS_SECONDS);
    if(((a2<=MAX_ACC) &&(a2>0))||((a2>=-MAX_DEACC)&&(a2<0)))
        return v_acc_car(car->v,a2,TRANS_SECONDS);
    return -1;
}

```

```

int car_can_reach(struct node *car,float x1,float x2)
{
    float x0,a0=0,a1,a2;

```

```

float blength;
x1-=brakelength(v_car_reach(car,x1,x2));
if((x1-x2)<6) return 0;
a1=((x1-car->x)-car->v*TRANS_SECONDS)/(0.5*TRANS_SECONDS*TRANS_SECONDS);
a2=((x2-car->x)-car->v*TRANS_SECONDS)/(0.5*TRANS_SECONDS*TRANS_SECONDS);
if((a2>MAX_ACC)||(a1<-MAX_DEACC))
    return 0;
if(((a1<=MAX_ACC)&&(a1>0))||((a1>=-MAX_DEACC)&&(a1<0)))
    a0=a1;
else if(((a2<=MAX_ACC) &&(a2>0))||((a2>=-MAX_DEACC)&&(a2<0)))
    a0=a2;
    x0=x_acc_car(car->x,car->v,a0,TRANS_SECONDS);
    if((x0<=x1)&&(x0>=x2)){
        car->a=a0;
        return 1;
    }
return 0;
}

```



```

int search_insert(struct node *car)
{
    if((car==headp)&&(car==p)){
        headp=NULL;
        p=NULL;
    }
    else if(car==headp){
        car->tail->head=NULL;
        headp=car->tail;
    }
    else if(car==p){
        car->head->tail=NULL;
        p=car->head;
    }
    else{
        car->head->tail=car->tail;
        car->tail->head=car->head;
    }
}

```

```

car->head=car->trans;
if(car->trans==NULL) {
    car->tail=headq;
    headq->head=car;
    headq=car;
    headqtranslock=0;
}
else if(car->trans==q){
    car->tail=car->trans->tail;
    car->trans->tail=car;
    car->trans->translock=0;
    q=car;
}
else{
    car->tail=car->trans->tail;
    car->trans->tail->head=car;
    car->trans->tail=car;
    car->trans->translock=0;
}
return 0;
}
int cal_safe(struct node *car,float DMIN,float DMAX,float DEXT)
{
    float dmin ;
    struct node* temp;
    if(car->head==NULL)
        return 0;
    temp=car->head;
    while((temp!=NULL)&&(temp->transflag))
        temp=temp->head;
    if(temp==NULL)
        return 0;
    dmin=(-temp->v*temp->v+car->v*car->v)/2*7.2;
    if(dmin>DMIN) DMIN=dmin;
    if((temp->x-car->x)<=DMIN){
        if(DMIN==DMAX) car->a=0;
        else car->a=-7.2;
    }
    else if ((temp->x-car->x)>DEXT)

```



```

        car->a=0;
    else if((temp->x-car->x)>DMAX){
        if(DMIN==DMAX) car->a=0;
        else car->a=3.6;
    }
    else
        car->a=0;
    return 0;
}

```

```

float brakelength(float v0)
{
    if(v0<0) return 0;
    return (v0*v0/(2*MAX_DEACC));
}

```

```

float normal(float mean,float stddev)
{

```

```

    static double V2, fac;
    static int phase = 0;
    double S, Z, U1, U2, V1;
    if (phase)
        Z = V2 * fac;
    else{
        do{
            U1 = (double)rand() / RAND_MAX;
            U2 = (double)rand() / RAND_MAX;
            V1 = 2 * U1 - 1;
            V2 = 2 * U2 - 1;
            S = V1 * V1 + V2 * V2;
        }while(S >= 1);
        fac = sqrt (-2 * log(S) / S);
        Z = V1 * fac;
    }
    phase = 1 - phase;
    return ((float)Z)*stddev+mean;
}

```



附錄 B 模擬結果

表 B-1 情境 1~3 模擬結果

自動車 編號	門檻值			2-40-200			2-40-600			2-40-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故影響 區時間
P001	463.265	578.376	587.427	55.1	41.6	13.5	75.6	51.9	23.7			0
P002	442.215	569.326	579.427	58.3	41.8	16.5	72.5	43.6	28.9			0
P003	421.165	560.276	571.427	85.4	71.5	13.9	100.5	67.6	32.9			0
P004	400.115	551.226	563.427	88.5	71.1	17.4	111.6	71.7	39.9			0
P005	379.064	542.175	555.427	113.6	95.8	17.8	119	95.8	23.2			0
P006	358.014	533.125	547.427	116.9	98	18.9	132.2	97.9	34.3			0
P007	336.964	524.075	539.427	142	122.1	19.9	144.2	122	22.2			0
P008	315.914	515.025	531.427	145.2	124.1	21.1			0			0
P009	294.863	505.974	523.427	172.4	148.2	24.2	199.5	148.2	51.3			0
P010	273.813	496.924	515.427	189.7	150.3	39.4			0			0
P011	252.763	487.874	507.427	199.7	174.4	25.3			0			0
P012	231.713	478.824	499.427			0			0			0
P013	210.662	469.773	491.427			0			0			0
P014	189.612	460.723	483.427			0			0			0
P015						0			0			0
P016						0			0			0
					平均停 滯時間	16.27857143		平均停 滯時間	32.05		平均停滯 時間	0

表 B-2 情境 4~6 模擬結果

自動車 編號	門檻值			2-70-200			2-70-600			2-70-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故影 響區時間
P001	361.928	560.372	569.744	31.9	18.5	13.4	31.9	18.6	13.3	31.9	18.5	13.4
P002	340.556	551	561.744	35	19.7	15.3	35	19.8	15.2	34.9	19.7	15.2
P003	319.184	541.629	553.744	62	47.3	14.7	78.7	47.4	31.3			0
P004	297.813	532.257	545.774	65	48.5	16.5	73.2	48.5	24.7			0
P005	276.441	522.885	537.744	91	75.1	15.9	102	75.1	26.9			0
P006	255.069	513.514	529.744	99.2	76.3	22.9	104.5	76.4	28.1			0
P007	233.697	504.142	521.744	120	102.9	17.1	120	102.9	17.1			0
P008	212.326	494.77	513.744	129.2	104.1	25.1	124.6	104.2	20.4			0
P009	190.954	485.398	505.744	149.5	130.7	18.8			0			0
P010	169.582	476.027	497.744	152.5	131.9	20.6			0			0
P011	148.21	466.655	489.744	194.2	158.6	35.6			0			0
P012	126.839	457.283	481.744	180.2	159.7	20.5			0			0
P013	105.467	447.911	473.744			0			0			0
P014	84.095	438.54	465.744			0			0			0
P015						0			0			0
P016						0			0			0
					平均停 滯時間	16.88571429		平均停 滯時間	22.125		平均停滯 時間	14.3

表 B-3 情境 7~9 模擬結果

自動車 編號	門檻值			2-100-200			2-100-600			2-100-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間
P001	241.3	523.078	542.416	21.9	8.6	13.3	21.9	8.6	13.3	21.9	8.6	13.3
P002	209.962	503.74	534.416	24.9	9.1	15.8	24.9	9.1	15.8	24.9	9.1	15.8
P003	178.624	484.401	526.416	55.3	37.1	18.2	52.7	37.1	15.6			0
P004	147.285	465.063	518.416	52.1	37.5	14.6	69	37.5	31.5			0
P005	115.947	445.725	510.416	81.7	64.8	16.9	85.5	64.8	20.7			0
P006	84.609	426.386	502.416	81.4	65.3	16.1	88.5	65.3	23.2			0
P007	53.27	407.048	492.416	110	92.6	17.4	110.6	92.6	18			0
P008	21.932	387.71	486.416	117	93	24	163.1	93	70.1			0
P009	0	368.372	478.416	137	120.7	16.3	167.9	120.7	47.2			0
P010	0	349.033	470.416	150.9	122.3	28.6	185.7	122.3	63.4			0
P011	0	329.695	462.416	166.7	150.7	16			0			0
P012	0	310.357	454.416	177.4	152.3	25.1			0			0
P013	0	291.018	446.416	195.4	180.7	14.7			0			0
P014	0	271.68	438.416	195.2	182.3	12.9			0			0
P015						0			0			0
P016						0			0			0
					平均停 滯時間	17.85		平均停 滯時間	31.88		平均停 滯時間	14.55

表 B-4 情境 10~12 模擬結果

自動車 編號	門檻值			5-40-200			5-40-600			5-40-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故影 響區時間	變換車 道時間	進入 D 區 時間	停留事故影 響區時間
P001	463.265	578.376	587.427	58.8	41.6	17.2	126.7	41.6	85.1			0
P002	442.215	569.326	579.427	62.6	43.7	18.9	110.6	43.7	66.9			0
P003	421.165	560.276	571.427	70.3	45.9	24.4			0			0
P004	400.115	551.226	563.427	77	48.1	28.9	121	48.1	72.9			0
P005	379.064	542.175	555.427	94	50.3	43.7			0			0
P006	358.014	533.125	547.427	99.9	64	35.9	135.2	64	71.2			0
P007	336.964	524.075	539.427	103.8	66	37.8	107.5	66	41.5			0
P008	315.914	515.025	531.427	108.1	68.2	39.9	112.3	68.2	44.1			0
P009	294.863	505.974	523.427	132.3	70.3	62	115.5	70.3	45.2			0
P010	273.813	496.924	515.427	115.7	72.5	43.2			0			0
P011	252.763	487.874	507.427	128.4	84.4	44			0			0
P012	231.713	478.824	499.427			0			0			0
P013	210.662	469.773	491.427	137	88.8	48.2			0			0
P014	189.612	460.723	483.427	140	90.9	49.1			0			0
P015	168.562	451.673	475.427	143	93.1	49.9			0			0
P016	147.512	442.623	467.427	153	105	48			0			0
					平均停 滯時間	39.4066667		平均停滯 時間	60.9857143		平均停滯 時間	0

表 B-5 情境 13~15 模擬結果

自動車 編號	門檻值			5-70-200			5-70-600			5-70-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故影 響區時間
P001	361.928	560.372	569.744	31.9	18.5	13.4	31.9	18.5	13.4	31.9	18.5	13.4
P002	340.556	551	561.744	34.9	19.7	15.2	34.9	19.7	15.2	34.9	19.7	15.2
P003	319.184	541.629	553.744	39.7	21	18.7	39.6	21	18.6	39.7	21	18.7
P004	297.813	532.257	545.744	41.2	22.1	19.1	41.2	22.1	19.1			0
P005	276.441	522.885	537.744	49	23.2	25.8	49	23.2	25.8			0
P006	255.069	513.514	529.744	85.3	44.1	41.2	87.2	44.1	43.1			0
P007	233.697	504.142	521.744	79	45.2	33.8	79	45.2	33.8			0
P008	212.326	494.77	513.744	85.1	46.5	38.6	85.1	46.5	38.6			0
P009	190.954	485.398	505.744	88.5	47.6	40.9	90	47.6	42.4			0
P010	169.582	476.027	497.744	93.6	48.7	44.9			0			0
P011	148.21	466.655	489.744			0			0			0
P012	126.839	457.283	481.744			0			0			0
P013	105.467	447.911	473.744			0	126.5	71	55.5			0
P014	84.095	438.54	465.744			0			0			0
P015	62.723	429.168	457.744			0			0			0
P016	41.352	419.796	449.744			0			0			0
					平均停 滯時間	29.16		平均停滯 時間	30.55		平均停滯 時間	15.76667

表 B-6 情境 16~18 模擬結果

自動車 編號	門檻值			5-100-200			5-100-600			5-100-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故影 響區時間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影響 區時間
P001	241.3	523.078	542.416	21.9	8.6	13.3	21.9	8.6	13.3	21.9	8.6	13.3
P002	209.962	503.74	534.416	24.9	9.1	15.8	24.9	9.1	15.8	24.9	9.1	15.8
P003	178.624	484.401	526.416	27.9	9.6	18.3	27.9	9.6	18.3	27.9	9.6	18.3
P004	147.285	465.063	518.416	30.9	10	20.9	30.9	10	20.9	30.9	10	20.9
P005	115.947	445.725	510.416	34	10.5	23.5	33.9	10.5	23.4	33.9	10.5	23.4
P006	84.609	426.386	502.416	49.8	33.7	16.1	108.4	33.7	74.7			0
P007	53.27	407.048	494.416	55.4	34.2	21.2	111.4	34.2	77.2			0
P008	21.932	387.71	486.416	52.8	34.6	18.2	119.8	34.6	85.2	64.4	34.6	29.8
P009	0	368.372	478.416	55.8	35.5	20.3			0			0
P010	0	349.033	470.416	59	37.1	21.9	105.2	37.1	68.1			0
P011	0	329.695	462.416			0	109.9	60.7	49.2			0
P012	0	310.357	454.416			0	113.2	62.4	50.8			0
P013	0	291.018	446.416			0			0			0
P014	0	271.68	438.416			0			0			0
P015	0	252.342	430.416			0	116.5	67.5	49			0
P016	0	233.003	422.416			0	114.9	90.8	24.1			0
					平均停 滯時間	18.95		平均停滯 時間	43.8461538		平均停 滯時間	20.25

表 B-7 情境 19~21 模擬結果

自動車 編號	門檻值			8-40-200			8-40-600			8-40-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故影 響區時間	變換車 道時間	進入 D 區 時間	停留事故 影響區時 間	變換車道時間	進入 D 區時間	停留事 故影響 區時間
P001	463.265	578.376	587.427	58.8	41.5	17.3	111.9	41.6	70.3			0
P002	442.215	569.326	579.427	62.6	43.6	19	115	43.6	71.4			0
P003	421.165	560.276	571.427	70.3	45.9	24.4	127.4	45.9	81.5			0
P004	400.115	551.226	563.427	77	48.1	28.9	123.5	48.1	75.4			0
P005	379.064	542.175	555.427	94	50.2	43.8	154.4	50.2	104.2			0
P006	358.014	533.125	547.427	87.7	52.4	35.3	108.7	52.3	56.4			0
P007	336.964	524.075	539.427	92	54.5	37.5	111.7	54.5	57.2			0
P008	315.914	515.025	531.427	96	56.7	39.3	164.4	56.7	107.7			0
P009	294.863	505.974	523.427	99	58.2	40.8	173.9	61	112.9			0
P010	273.813	496.924	515.427	102.6	60.3	42.3	105.6	61.9	43.7			0
P011	252.763	487.874	507.427			0	111	62.4	48.6			0
P012	231.713	478.824	499.427			0	114.5	64.4	50.1			0
P013	210.662	469.773	491.427	114.9	66.8	48.1			0			0
P014	189.612	460.723	483.427			0	120.1	58.9	61.2			0
P015	168.562	451.673	475.427			0			0			0
P016	147.512	442.623	467.427			0			0			0
					平均停 滯時間	34.2454545		平均停滯 時間	72.3538462		平均停 滯時間	0

表 B-8 情境 22~24 模擬結果

自動車 編號	門檻值			8-70-200			8-70-600			8-70-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故 影響區時 間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故 影響區時 間	變換車道時間	進入 D 區時間	停留事 故影響 區時間
P001	361.928	560.372	569.744	31.9	18.5	13.4	31.9	18.5	13.4	31.9	18.5	13.4
P002	340.556	551	561.744	34.9	19.7	15.2	35	19.7	15.3	34.9	19.7	15.2
P003	319.184	541.629	553.744	39.6	20.9	18.7	39.6	20.9	18.7	39.7	20.9	18.8
P004	297.813	532.257	545.744	41.2	22.1	19.1	41.3	22.1	19.2			0
P005	276.441	522.885	537.744	49	23.2	25.8	76.5	23.2	53.3			0
P006	255.069	513.514	529.744	55	24.4	30.6	81	24.4	56.6			0
P007	233.697	504.142	521.744	59.9	25.6	34.3	94.1	25.1	69			0
P008	212.326	494.77	513.744	64.8	26.8	38	104.1	26.8	77.3			0
P009	190.954	485.398	505.744	82.1	40.7	41.4	114.2	40.7	73.5			0
P010	169.582	476.027	497.744			0	118.5	41.9	76.6			0
P011	148.21	466.655	489.744			0	142.7	43.1	99.6			0
P012	126.839	457.283	481.744			0			0			0
P013	105.467	447.911	473.744			0			0			0
P014	84.095	438.54	465.744			0			0			0
P015	62.723	429.168	457.744			0			0			0
P016	41.352	419.796	449.744			0			0			0
					平均停 滯時間	26.2777778		平均停 滯時間	52.0454545		平均停 滯時間	15.8

表 B-9 情境 25~27 模擬結果

自動車 編號	門檻值			8-100-200			8-100-600			8-100-1000		
	d	f	b	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故 影響區時 間	變換車道 時間	進入 D 區時間	停留事故 影響區時 間	變換車道 時間	進入 D 區 時間	停留事故 影響區時 間
P001	241.3	523.078	542.416	21.9	8.5	13.4	21.9	8.5	13.4	21.9	8.5	13.4
P002	209.962	503.74	534.416	24.9	9	15.9	24.9	9	15.9	24.9	9	15.9
P003	178.624	484.401	526.416	27.9	9.5	18.4	27.9	9.5	18.4	27.9	9.5	18.4
P004	147.285	465.063	518.416	30.9	10	20.9	30.9	10	20.9	30.9	10	20.9
P005	115.947	445.725	510.416	34	10.4	23.6	33.9	10.4	23.5	33.9	10.4	23.5
P006	84.609	426.386	502.416	37	10.9	26.1	37	10.9	26.1	37	10.9	26.1
P007	53.27	407.048	494.416	58.5	11.4	47.1	58.4	11.4	47	58.3	11.4	46.9
P008	21.932	387.71	486.416	62.5	11.8	50.7	66.5	11.8	54.7			0
P009	0	368.372	478.416	78.4	30.7	47.7	80.6	30.7	49.9			0
P010	0	349.033	470.416	74.5	32.4	42.1	99.2	32.4	66.8			0
P011	0	329.695	462.416	85.2	34.1	51.1	84.9	34.1	50.8			0
P012	0	310.357	454.416	75.9	35.8	40.1	110.3	35.8	74.5			0
P013	0	291.018	446.416			0	114	37.5	76.5			0
P014	0	271.68	438.416			0			0			0
P015	0	252.342	430.416			0			0			0
P016	0	233.003	422.416	72.7	42.6	30.1			0			0
					平均停 滯時間	32.8615385		平均停 滯時間	41.4153846		平均停滯 時間	23.58571

簡 歷



姓 名：許智詠

籍 貫：高雄市

生 日：69.10.08

學 歷：



92.9—94.6 國立交通大學交通運輸研究所碩士班

87.9—92.6 國立中山大學應用數學系

84.9—87.6 高雄市立瑞祥高級中學

81.9—84.6 高雄市立新興國民中學

Email : jyhsu.tt92g@nctu.edu.tw