

國立交通大學

電機與控制工程學系

碩士論文

交通路網之適應模糊代理人控制系統

Design of the Adaptive Fuzzy Agents for the Traffic Network Control



研究生：劉興漢

指導教授：徐保羅 教授

中華民國九十五年六月

交通路網之適應模糊代理人控制系統

研究生：劉興漢

指導教授：徐保羅 博士

國立交通大學電機與控制工程學系

摘要

交通路網是一個非線性的系統，因此以等待車輛的長度及燈號的Cycle Starting Time作為模糊控制的輸入參數，設計單一路口的模糊控制器，以紓解非線性路網的車流。由於所建立的控制採取快速切換號誌紓解尖峰時刻的車流，但此種方式不符合一般駕駛人的用路習慣；因此，本論文利用在不同Cycle Starting Time的條件下，給予不同的解模糊化切換值，設計適應模糊控制方法以解決此問題，相較於一般固定式的紅綠燈控制，使建成的單一路口延滯時間改善42.4%。

本研究進一步探討大型路網，由於其非線性程度與複雜度更勝於單一路口，本論文提出一個adaptive fuzzy multi-agent systems延伸adaptive fuzzy systems使用上的彈性，協調彼此交換控制信號的時間，以進一步改善交通流量，在本文之模擬結果中，進而在一個 2×2 交通路網的平均延滯時間也改善了45.7%。

VISSIM是一套應用於交通規劃的模擬軟體，利用它的使用者介面可以設定車輛型態、轉向比、車種組成等各種影響交通路網的因素。使用VisVAP的流程圖設計方式建立adaptive fuzzy agents的模糊規則；並以此控制器為基礎，而無須建構交通系統的數學模型，透過VISSIM與VisVAP內部函式建立adaptive fuzzy agents的溝通通道與協調機制，以驗證adaptive fuzzy agents於多重路口的控制成效。

Design of the Adaptive Fuzzy Agents for the Traffic Network Control

Student : Hsing-Han Liu

Advisor : Dr. Pau-Lo Hsu

Department of Electrical and Control Engineering

National Chiao-Tung University

ABSTRACT

In order to design fuzzy controllers to handle nonlinear traffic systems, the input parameters of the queuing length and the cycle starting time are adopted in the present simulation study. To deal with the traffic jam during the rush hours, the fuzzy controller is implemented and it results in more signal switching; however, it is not suitable for real traffic control. The increasing weighting of the threshold value for changing signals in the present fuzzy controller as an adaptive fuzzy controller to overcome the quick-switching problem. This fuzzy adaptive control method improves 42.7% in the delay time.

Furthermore, because a large traffic network is more complicated than a single intersection, the adaptive fuzzy multi-agent system (MAS) is proposed to extend the applications of the adaptive fuzzy systems. By coordinating the control signal among neighboring intersections, the improvement of the delay time for the adaptive fuzzy agents in a 2×2 traffic network is around 45%.

VISSIM is a powerful and popular simulation software in traffic analysis. By applying the provided user interface, all vehicle types, turning ratio, traffic composition, etc., in the traffic network can be determined. The present adaptive

fuzzy agents need to be designed by VisVAP which is a VAP programming language. VisVAP enhances the use of free-defined signal control logics by using the VAP language to offer a more comfortable tool for creating and editing the program logics as the flow charts. Moreover, the control efficiency in a multiple intersections traffic network can be verified by applying the VISSIM and the inner functions of VisVAP to build the communication channel and coordination mechanism for the adaptive fuzzy agents without constructing a mathematical model for traffic systems.



誌 謝

本碩士論文的完成，首先要感謝指導教授徐保羅博士在兩年的研究生活中的悉心指導，當研究遇到困難時，我能與他討論問題所在，並尋求解決的方法，當研究突破瓶頸時，我能與他一同分享成功的喜悅，在此表達我最真誠的敬意與感謝。另外感謝口試委員黃文鑑博士、卓訓榮博士與周志成博士給予本論文的批評與指正，並提供寶貴的建議，使得本論文更加完整。

並感謝實驗室謝鎮洲學長、幸琮政學長、張昭琳學長、黃瑋生學長、賴建良學長與鄭景文學長，給予我研究與生活上的意見與幫助，以及實驗室同學宗翰、元銘、孝麟、瑞原、學弟宗勝、兩坤與林億，在學業上一同努力與相互指教，並為實驗室增添更多歡樂。在此，特別感謝鄰座琮政學長，在這兩年中除了提供研究上的幫助，並在苦悶的研究生活中為我帶來歡笑，當我遇到困境時，感謝你誠心的祝禱，使我能突破困難取得學位。感謝 816 實驗室的所有夥伴們，有了你們，使我這兩年的研究生活更完整精采，

最後感謝我最敬愛的父親與家人，有你們在身旁的陪伴與支持，使我能全心全意的完成學業，並能勇敢地面對一切的困難與挫折，不斷精進，不斷成長，順利克服人生中的所有考驗。

謹將本論文獻給我最愛的家人以及所有關心我的朋友們，謝謝你們。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	viii
圖目錄	xi

第一章	緒論	1
1.1	研究動機與目的	1
1.2	問題描述	2
1.3	研究方法與步驟	4
1.4	論文架構	5
第二章	單一路口監控使用適應模糊控制	7
2.1	設計並簡化模糊規則	7
2.2	適應模糊控制	9
2.3	以 VISSIM 實現交通路網	10
2.3.1	使用 VISSIM 建置交通路網	11
2.3.2	使用 VisVAP 設計適應性號誌控制邏輯	26
2.4	模擬結果	30
2.4.1	模擬條件	30

2.4.2	模糊控制	32
2.4.3	適應模糊控制	32
2.5	停等車距對系統延滯時間之影響	34
2.6	歸屬函數設計與號誌切換臨界值對系統之影響	36
2.6.1	歸屬函數之設計	36
2.6.2	號誌切換臨界值之選定	37
第三章	多代理人系統於雙路口監控之應用	39
3.1	代理人的介紹	39
3.2	多代理人系統於交通路網應用之架構	43
3.3	路網建置與號誌控制器設計	46
3.3.1	雙路口路網建置	46
3.3.2	代理人於雙路口之通訊機制	47
3.3.3	代理人的行為規則	48
3.3.4	適應性號誌控制器之設計	50
3.4	模擬結果	51
第四章	區域路網監控使用多代理人系統	55
4.1	路網建置與號誌控制器設計	55
4.1.1	四個路口路網建置	55
4.1.2	代理人於四個路口之通訊機制	57
4.2	模擬結果	58
4.2.1	控制器於變動車流下的模擬結果	59
4.2.2	控制器於固定車流下的模擬結果	61
4.3	協調號誌時間差變號的控制方法	64
4.3.1	市區連接郊區道路	65

4.3.2	協調秒差變號於固定車流下的模擬結果	68
4.3.3	結合不同秒差控制於固定車流下的模擬結果	71
第五章	結論與未來發展	77
5.1	結論	77
5.2	未來發展	78
	參考文獻	79



表目錄

表 1.1	控制器總表	6
表 2.1	模糊規則	9
表 2.2	VISSIM 工具列按鈕功能表	11
表 2.3	VISSIM 的輸出檔案及內容	21
表 2.4	VAP 函數功能表	28
表 2.5	車流量產生率	31
表 2.6	固定時制、車輛觸動式與模糊控制的延滯時間比較表	32
表 2.7	適應模糊控制的延滯時間	33
表 2.8	車輛觸動式、模糊控制與適應模糊控制的改善率	33
表 2.9	歸屬函數調整表	34
表 2.10	車輛間距與調整 MF 的延滯時間表	35
表 2.11	車輛間距與調整 MF 相對固定時制的改善率	35
表 2.12	歸屬函數設計表	36
表 2.13	歸屬函數斜率相同與相異延滯時間比較表	36
表 2.14	same slopes 與 diff. slopes 相對固定時制改善率	37
表 2.15	號誌切換臨界值對路網延滯時間比較表	37
表 2.16	號誌切換臨界值相對固定時制改善率	38
表 3.1	四種控制器於 E-W: Peak; S-N:400veh./hr 模擬結果	51
表 3.2	四種控制器於 E-W: Peak; S-N:600veh./hr 模擬結果	52
表 3.3	四種控制器於 E-W: Peak; S-N:800veh./hr 模擬結果	52
表 3.4	四種控制器於 E-W: Peak; S-N:800veh./hr 模擬結果	53
表 3.5	四種控制器於 E-W: Peak; S-N:1000veh./hr 模擬結果	53

表 3.6	路網延滯時間改善率比較表	54
表 4.1	四路口號誌通訊通道表	57
表 4.2	四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:400veh./hr 的延滯時間	59
表 4.3	四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:600veh./hr 的延滯時間	59
表 4.4	四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:800veh./hr 的延滯時間	59
表 4.5	四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:1000veh./hr 的延滯時間	60
表 4.6	四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:Peak1 的延滯時間	60
表 4.7	四路口交通路網延滯時間改善率比較表	60
表 4.8	四路口控制器於 E-W: Peak2 的延滯時間	61
表 4.9	四路口控制器於 E-W: 200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	61
表 4.10	四路口控制器於 E-W: 400 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	62
表 4.11	四路口控制器於 E-W: 600 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	62
表 4.12	四路口控制器於 E-W: 800 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	62
表 4.13	四路口控制器於 E-W: 1000 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	63
表 4.14	四路口控制器於 E-W: 1200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	63
表 4.15	控制器於上下班車流狀態的延滯時間表	65
表 4.16	上下班車流延滯時間改善率	66
表 4.17	東西向延滯時間比較表	67
表 4.18	東西向於上下班車流延滯時間改善率	67
表 4.19	協調秒差變號於 E-W: 200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	68
表 4.20	協調秒差變號於 E-W: 400 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	68
表 4.21	協調秒差變號於 E-W: 600 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	68
表 4.22	協調秒差變號於 E-W: 800 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	68
表 4.23	協調秒差變號於 E-W: 1000 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	69
表 4.24	協調秒差變號於 E-W: 1200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間	69
表 4.25	AF agents_D2/D4 於固定車流模式下的延滯時間	72

表 4.26	適應模糊控制於固定車流模式下的延滯時間改善率	74
表 4.27	AF agents_D2/D4 於固定車流模式下的延滯時間改善率	74
表 4.28	AF agents_D2/D4 相對適應模糊控制的改善率	76



圖目錄

圖 2.1	CarsBehindRed	8
圖 2.2	CarsBehindGreen	8
圖 2.3	Cycle Time	8
圖 2.4	Change Probability	8
圖 2.5	Link 資料設定	12
圖 2.6	Connector 資料設定	13
圖 2.7	車種組成設定	14
圖 2.8	車流量輸入設定	14
圖 2.9	車輛路徑起訖點放置位置	15
圖 2.10	車輛路徑起點設定	15
圖 2.11	車輛路徑訖點設定	16
圖 2.12	路權優先順序的設定	17
圖 2.13	最小可接受間距設定	18
圖 2.14	定時號誌設定	19
圖 2.15	固定時制訊號時間圖	20
圖 2.16	離線檔案輸出	20
圖 2.17	偵測器設定	22
圖 2.18	Vehicle actuated method 偵測器位置	22
圖 2.19	模糊控制器的偵測器位置	23
圖 2.20	Queue Counter 的位置	24
圖 2.21	等候線評估設定	24
圖 2.22	Travel Time Sections 的位置	25

圖 2.23	延滯時間輸出設定	26
圖 2.24	VISSIM 中 VAP 檔案設定	26
圖 2.25	VISSIM 與 VisVAP 關係圖	27
圖 2.26	車輛觸動式的 VisVAP 訊號流程圖	30
圖 3.1	Gilbert 對 Agent 的分類	40
圖 3.2	單代理人系統架構圖	42
圖 3.3	多重代理人系統架構圖	43
圖 3.4	階層式市區交通多代理人模型	44
圖 3.5	代理人化的交通管理系統架構	45
圖 3.6	雙路口交通路網	46
圖 3.7	號誌控制器的通訊設定	48
圖 3.8	雙路口號誌控制器的通訊介面	48
圖 3.9	適應性號誌控制器設計流程圖	50
圖 3.10	六個發車端平均延滯時間	51
圖 4.1	四個路口交通路網	55
圖 4.2	八個發車端平均延滯時間	58
圖 4.3	四種控制器於固定車流下的比較圖	64
圖 4.4	協調秒差變號於固定車流下的比較圖	69
圖 4.5	控制器於固定車流下的綜合比較圖	70
圖 4.6	車輛入口端的停等長度	72
圖 4.7	AF agents_D2/D4 與其他控制器於固定車流下的綜合比較圖	73
圖 4.8	適應模糊控制與 AF agents_D2/D4 於固定車流下的改善率比較圖	75
	(a) 適應模糊控制	
	(b) AF agents_D2/D4	

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

隨著科技的進步，各式各樣的交通工具成為人類生活的一部分，而汽車的發明更讓它與人類生活密不可分，但隨著普及率越來越高，交通壅塞的問題也日趨嚴重，因此，為了解決塞車問題，往往藉由交通警察於各路口手動切換號誌，達到紓解車流的目的。例如：有鑑於科學園區附近上下班壅塞情形，我們比較有無交通警察執勤時的狀況，以及交通警察自身經驗的不同，發現交通警察執行勤務時，對車輛壅塞的情況有顯著的改善。因此，可以預期一個適當的擬人化智慧型交通控制器，可以改善塞車情形。

而控制(control)及監控(monitors)系統的研發，在過去二十年內蓬勃的發展。但是，監控系統不容易與控制系統同時實現，最主要的原因是兩者性質不同，控制系統需要即時、快速的控制運算。而監控系統可以不需要高速的即時運算，而卻需要大量的智慧判讀運算。

交通控制是一個實際的監控問題，因為他不需控制的即時計算，但卻需要計算控制燈號的長短。在現行的交通道路上，當每個十字路口在交通繁忙時，需要一至二位交通警察依照不同方向的流量，以手動切換紅綠燈。這是一個典型的分散式控制系統，因為各個交通警察在相鄰的十字路口並不交換訊息，以致交通控制的成效並不是最佳的，而各路口的交通流量變化又很大，若以傳統的Scheduling方式分析，其結果並不合用。但隨著網路的發達，代理人在整合分散的監控系統上，可以扮演適當的角色。

有鑑於以上的描述，本論文提出智慧型交通控制器，改善上述缺點以達到下列三個控制目的：

1. 透過智慧型的交通號誌控制器達到適應性調節燈號的目的，希望能取

代現行交通警察於各路口手動切換號誌的功能，減少不必要的警力支出。

2. 有關交通控制的研究過去以土木工程交通運輸專業人士為主；但隨著大型交通路網的擴張，建構的數學模型隨之變得更為複雜，因此，吸引了應用數學人士透過最佳化的數學運算參與研究。近年來，由於交通流量感測器的應用普及化，如 CCD 攝影機、壓力管等設備，許多車流數據都可輕易獲得，使得回授控制理論得以應用在交通控制上，因此，本論文透過適應性號誌控制器的設計，進而得知「控制」於交通問題上的功效。
3. 如前所述，各個路口的交通警察僅針對目前的單一路口車流作判斷，並不會和相鄰的十字路口交換訊息，以致於交通控制的效果並不是最佳，因此，本論文提出 multi-agent systems 以茲改善，利用代理人間彼此通訊協調的機制，達到號誌同步控制的目的，希望進而能縮短車輛行駛於道路上的延滯時間。

1.2 問題描述

交通系統是個複雜的非線性時變系統，因此，要將控制應用於此一系統，將面臨以下這些困難：

1. 一般而言，交通路網是一個時變與隨機的系統，因此要模擬它需要設定許多的參數才可以實現，若模擬軟體未能周全的規劃交通路網，可能會造成模擬結果與現實生活有很大的落差，使得到的模擬數據不夠客觀。目前有一些研究是使用自行設計的模擬軟體，相較專用於路網模擬的軟體，此類自行設計的模擬軟體提供設計者更大的使用彈性，

但對於一般道路與車輛等因素的考量，可能就不盡周詳。因此如何選擇或設計一個模擬軟體，同時能呈現實際非線性交通問題，並具有設計控制器的功能，進而達到改善交通問題的目的，是本論文首要面對的問題。

2. 將控制技術應用到交通問題上，過去有一些具體的成果，例如，近年來 Diakaki 提出了一個大範圍路網的控制模型[1]，並利用最佳線性二次方程式(linear quadratic)來達到控制的目的，此研究似乎非常適用於智慧型傳輸系統，但卻仍存在控制性的問題；即使 Wakasa [2,3] 試圖利用強健性控制來解決這些問題，但此模型仍需要許多理想參數才能建構；對於這些線性系統的做法，在實際的交通系統應用上顯得不切實際，主要的原因就是交通系統比其他的系統都要來的非線性化，其感測數據亦不是極為可靠。雖然也有用非線性最佳化來解決交通控制問題者[4,5]，但在應用控制理論至交通控制上，仍有許多實際的問題，而其中最為嚴重者，莫過於交通受人為因素的影響極大，使得交通模式變動很大而不易的準確描述。因此，如何針對這個複雜的非線性時變系統，設計一個適應性的號誌控制邏輯，而非透過繁複的數學演算達到控制的目的，將會是本論文研究的一大課題。

3. 交通路網是一個標準的分散式控制問題，有許多研究都是針對獨立路口做智慧型控制器的設計，這類型的探討目的，主要在取代現行一個或多個交通警察觀察路口車流，手動切換號誌的方式；但若欲達成比交通警察控制路口更好的效果，則在於能把一定區域內的多的十字路口整合起來，這是各交通警察獨立控制單一路口所不能達成的任務。因此，如何應用單一路口的控制方式，進而擴充至多個路口，而路口間的協調又將如何建立，將是本論文所要探討的。

1.3 研究方法與步驟

本論文研究方法與步驟如下所述：

1. 針對單一路口的交通號誌設計，目前有許多的研究利用模糊控制[6-12]來取代人為於尖峰時刻的手動操作，但往往因為建立過多的模糊規則，而增加了號誌運算上的複雜度。因此，我們期望利用固定時制所得到的模擬數據，簡化模糊規則，並達到相似的紓解車流成效。

首先，利用 VISSIM 這套交通模擬軟體[13]，模擬傳統固定時制的控制方式，分析在此模式下的車輛平均停等長度，並將紅燈與綠燈後方的車輛停等長度各畫分為三個階層，號誌時間則簡單的區分為兩個階層，在這樣的規劃下，至多產生 18 條模糊規則。將這 18 條模糊規則作為控制器設計的基礎，利用 VisVAP 實現於交通路網上，在模擬過程中，紀錄下各入口端車輛平均延滯時間(delay time)，並且觀察路口號誌變號情形。

由觀察號誌變號情形發現，模糊控制器在處理尖峰時刻車流，採取快速切換變號的方式，以達到紓解的目的。這樣的方式並不符合一般道路駕駛的需求，因此本論文加入適應性號誌控制的概念[14-17]，針對不同的號誌時間區段，給予不同的切換權重值，以增加號誌時間的延續性。

最後，以車輛平均延滯時間(average delay time)作為性能指標，比較固定時制(fixed-time mode)、車輛觸動式(vehicle actuated method)[18]、模糊控制 (fuzzy control)、與適應性模糊控制 (adaptive fuzzy control)在不同車流模式下的控制成效。

2. 多路口的控制方式將以單一路口的控制理論為基礎，也就是各路口皆採取適應性模糊控制作為決策模式。本論文將各個路口的適應性模糊控制器，視為一個獨立的智慧型代理人(intelligent agent)，此代理人的功用在於對於現行監控的號誌燈口，做是否切換號誌的判斷。於此之外，將針對連續兩路口與小

區域的相鄰四個路口提出不同的協調交通代理人(coordinator traffic agent, CTA)[19]，其功能在使分散式的號誌群彼此協調切換時間，以縮短車輛於通路網內的平均延滯時間。

3. 由於交通系統是一個複雜的時變非線性系統，因此許多因素都將影響系統內的參數值，進而造成模擬結果的差異；因此，本論文將就車輛於單一路口停等車距的長短作進一步的模擬與討論，觀察此因素對於模糊控制器的影響性。於四個路口時，將進一步討論號誌秒差控制的特性(秒差 4 秒、秒差 7 秒)，並結合不同的秒差特性，比較它們對於路網的影響。

本論文所使用到的控制器主要可分為兩類，第一類為單一路口控制器：固定時制、車輛觸動式、模糊控制與適應模糊控制；第二類為應用於多重路口的控制器：適應模糊代理人、AF agents_D4、AF agents_D7 與 AF agents_D2/D4。上述各控制器的說明整理，如表 1.1。



1.4 論文架構

本論文共分五章，首先第一章中旨在說明研究的動機與目的、描述出所要面對解決的問題、以及提出本論文的研究方法與步驟。第二章為說明在單一路口號誌控制器中，如何簡化模糊規則數，以減少 CPU 的運算量，並將所使用的交通模擬軟體 VISSIM 作一個詳細的介紹，其中包含如何建置一個交通路網，以及如何利用 VisVAP 設計適應性號誌控制邏輯等。第三章則在介紹代理人的觀念，並將此概念擴充至多代理人系統，以及如何將此系統應用於交通路網的控制上。透過代理人於連續兩個路口間的彼此通訊，使原先獨立控制的兩路口有所聯繫，以達到溝通協調的目的。第四章則針對一個小型路網建立其通訊協調機制，使原先分散式控制的路口，透過此聯繫達到全區延滯時間上的平衡，並討論代理人間秒

差控制號誌，對於交通路網的影響。在最後第五章中會對本論文作一個結論，並提出未來可在改進發展的方向。

表 1.1 控制器總表

路網	控制器	說明
單 一 路 口	固定時制 (fixed-time mode)	號誌時間每相固定為綠燈：45 秒；黃燈：5 秒；紅燈：50 秒。
	車輛觸動式 (vehicle actuated method)	每相至少維持綠燈 20 秒後，若仍有車輛進入等線後方 6 公尺感測器區內，則延長 1 秒的綠燈時間，至多延長至 50 秒。
	模糊控制 (fuzzy control)	以車輛停等長度與號誌的 Cycle Starting Time 作為輸入參數，若解模糊化的值大於 0.6，則切換號誌。號誌結束綠燈後，會維持 3 秒黃燈與 2 秒雙向全紅，才正式進入紅燈號誌。
	適應模糊控制 (adaptive fuzzy control)	延伸模糊控制的設計方法，當 Cycle Starting Time 在不同條件下，給予不同切換權重值： 當 Cycle Starting Time 在 5~15 秒內時，若解模糊化的值大於 0.63 時，則號誌變為紅燈。 當 Cycle Starting Time 在 16~50 秒內，則解模糊化值僅須大於 0.6，號誌就會切換號誌為紅燈。
多 重 路 口	適應模糊代理人 (adaptive fuzzy agents; AF agents) (AF agents_D2)	以適應模糊控制為基礎，透過 CTA 協調各路口訊息，以達到號誌同步切換。而各路口的 agent 交換訊息約需 2 秒確認，所以於 4.3 節的討論中，將其稱為 AF agents_D2。
	AF agents_D4	AF agents_D4 為適應模糊代理人的延伸，將號誌間變號時間差增加為 4 秒，其中包含交換訊息 2 秒 + 協調秒差 2 秒。鄰近路口在主路口黃燈結束時，隨之切換號誌。
	AF agents_D7	AF agents_D7 為適應模糊代理人的延伸，將號誌間變號時間差增加為 7 秒，其中包含交換訊息 2 秒 + 協調秒差 5 秒。鄰近路口在主路口對向綠燈開始時，隨之切換號誌。
	AF agents_D2/D4	根據入口端輸入車流停等長度，切換適應模糊代理人與 AF agents_D4 兩種控制方式，若停等長度 < 100 m，則以 AF agents_D4 作控制。停等長度 > 100 m，則以 AF agents_D2 作控制。

第二章 單一路口監控使用適應模糊控制

本章以適應模糊控制作為改善單一路口交通路網的方法。相較於 Kaur 與 Konga(1994)所提出的模糊控制器[6]，我們藉由分析固定時制的車輛停等長度，簡化歸屬函數，使模糊規則由原本的 86 條減少為 18 條，可達到相似的車輛延滯時間改善。在處理尖峰時刻車流量上，由於一般的模糊控制採取快速切換號誌的方式紓解車流，並不適用於實際交通控制，本論文為改善此種情形，在此加入適應性控制的概念[14-17]，以更符合人性需求。利用 VISSIM 獨特的介面參數設定 [13]，模擬現實交通路況；並搭配使用 VisVAP 設計適應性號誌控制邏輯，於車流量為 Light(300 veh./hr)、Heavy(1000 veh./hr)、Peak(0~1200 veh./hr)的模擬條件下，比較適應模糊控制對延滯時間的改善率。

2.1 設計並簡化模糊規則

為了建立能模擬交通警察的智慧型控制器，本論文採用三個輸入參數：CarsBehindRed、CarsBehindGreen、Cycle Starting Time[6]。CarsBehindRed 代表紅燈號誌後方車輛平均停等長度，CarsBehindGreen 代表綠燈號誌後方車輛平均停等長度、Cycle Starting Time 則代表號誌持續的時間。一般而言，在設計三個輸入參數的模糊控制器時，會造成模糊規則更為複雜，因此，為了達到智慧型控制的目的，會採用類神經模糊控制(neural fuzzy control)[20,21]，對系統進行自我學習的訓練，以產生模糊規則庫。但是本論文希望以減少 CPU 運算量，同時能縮減延滯時間、紓解交通為出發點；因此以現行各個路口所採用的固定時制作為基礎，當車流量隨時間改變時，記錄其對路網所造成車輛停等長度的影響，進而設計並簡化模糊規則數。

從固定時制的模擬數據得知車輛的平均停等長度小於 80 公尺，因此在設計

單一路口的號誌歸屬函數(membership functions)時，圖 2.1-2.4，將 CarsBehindRed 與 CarsBehindGreen 劃分為 3 個階層：small、medium、large，如圖 2.1-2.2，橫軸為平均車輛停等長度。對於紅燈號誌後方的停等車輛，因為車輛數目會快速累積，所以在 small 與 medium 的交集處設計的斜率較大，希望能表現出在此區段的變化率；相較於紅燈停等的車輛長度，綠燈後方的停等車輛，因為不斷的移出口口，因此，車輛的累積程度不夠明顯，在此區間內對於號誌的判斷影響較小，所以在此設計中，斜率的變化也不如紅燈時來的明顯。至於 medium 與 large 的交集區間，無論是對於紅燈或綠燈，此處的數值都有可能代表塞車情形正在發生，所以為了能盡快處理這種狀況，我們將此區的斜率值增大。至於在 Cycle Starting Time 的設計上，為了簡化模糊規則，主觀的將時間劃分為 short 與 long。

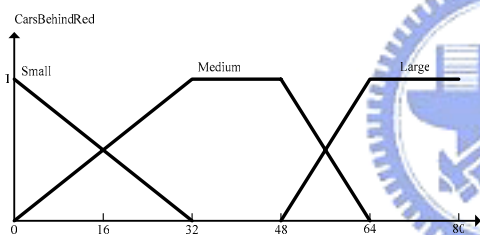


圖 2.1 CarsBehindRed

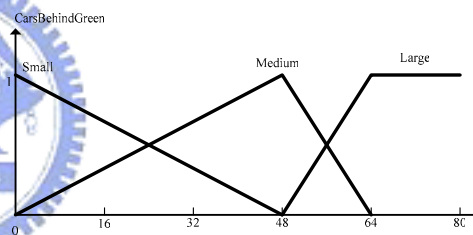


圖 2.2 CarsBehindGreen

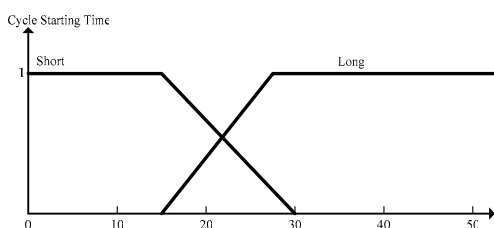


圖 2.3 Cycle Starting Time

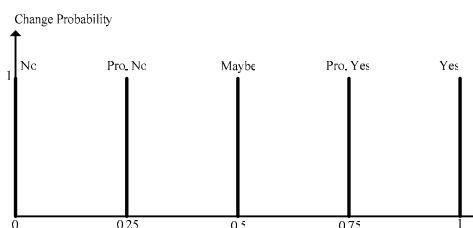


圖 2.4 Change Probability

與[6]所提出的 86 條模糊規則相較，上述的歸屬函數僅需建立 18 條模糊規則(fuzzy rules)，如表 2.1，並利用 Larsen's product fuzzy implication rule 作為模糊推論的方法，至於解模糊化則採用重心法(center of area method; COA)的方式運算，將所得到的數值作為是否要切換號誌的依據。模糊規則的建立隨使用者判斷

而有所不同，因此也變得十分的主觀，表 2.1 為本論文於模擬中所建立的模擬規則，並將解模糊化後的號誌切換值設定為 0.6。

表 2.1 模糊規則

	CBRed	CBGreen	CSTime	CProb		CBRed	CBGreen	CSTime	CProb
1	Small	Small	Short	Maybe	10	Medium	Medium	Long	Pro.Yes
2	Small	Small	Long	Pro.Yes	11	Medium	Large	Short	No
3	Small	Medium	Short	Pro.No	12	Medium	Large	Long	Pro.No
4	Small	Medium	Long	Maybe	13	Large	Small	Short	Pro.Yes
5	Small	Large	Short	No	14	Large	Small	Long	Yes
6	Small	Large	Long	Pro.No	15	Large	Medium	Short	Maybe
7	Medium	Small	Short	Pro.Yes	16	Large	Medium	Long	Pro.Yes
8	Medium	Small	Long	Yes	17	Large	Large	Short	Pro.No
9	Medium	Medium	Short	Maybe	18	Large	Large	Long	Maybe

2.2 適應模糊控制

利用 VISSIM 模擬一般模糊控制器時，發現當東西向與南北向的車流量皆為尖峰時刻時，模糊控制器所採取的決策模式是藉由快速切換號誌來達到紓解交通的目的，例如：在模擬中我們曾發現交通號誌變為綠燈後約 7 秒旋即變回紅燈，此種方式有點類似匝道管控，當前方少數車輛剛通過號誌，而後方車輛卻尚未做出反應往前移動，出車端的車輛仍不斷湧入，這種情形很容易造成車輛的回堵，使塞車情形擴散開來，增加了車輛的延滯時間。因此，本論文提出適應模糊控制 (adaptive fuzzy control)，以改善此種不合駕駛人用路習慣的情形，而適應模糊控制的設計規則如下：

- Rule 1：當 Cycle Starting Time 在 5~15 秒內時，若解模糊化的值大於 0.63 時，則號誌變為紅燈。
- Rule 2：當 Cycle Starting Time 在 16~50 秒內，則解模糊化的值僅須大於 0.6，號誌就會切換號誌變為紅燈。

在原來的模糊控制設計中，全部皆採用 0.6 作為切換的標準；因此，在加入適應性控制的概念後，號誌若在 5~15 秒內就切換回紅燈，則有可能代表東西向

或南北向之一的交通流量很大，使模糊控制器做出變號的判斷，如於後之 2.4 節所做的模擬中，南北向交通車流為 Light 的模式時，就有可能發生此種快速切換情形。

然而利用在不同 Cycle Starting Time 的條件下，給予不同的切換權重值，增加了控制器處理尖峰時刻車流量的能力，但對於車流量較低的時段，此種方式卻未必有較好的成效。當車流量較低時，原本在短時間內即可通過號誌的紅燈停等車輛，卻因為切換值變大了，所以必須累積更多的停等車輛來滿足切換值的要求，這樣的方式不但增加了紅燈停等的時間，卻也拉長了車輛延滯時間；但對於整個系統而言，因為車流量較少的關係，所以並不會造成太大的改善；但在尖峰時刻的情形下，這樣的設計方式，卻更能發揮模糊控制的效能。

2.3 以 VISSIM 實現交通路網

由於交通系統是非線性時變性系統，因此為了達到逼真的交通模擬，進而增加模擬結果的準確性，本論文採用德國卡斯魯爾大學(University of Karlsruhe)與德國 PTV 交通顧問公司(PTV System Software and Consulting AG)所共同發展的路網模擬軟體—VISSIM，建立交通路網。VISSIM 是一套普遍應用於交通規劃的模擬軟體，它不僅提供市區與高速公路多樣性的應用，並結合大眾運輸工具與私有交通工具設定等功能。因此，即便在複雜的交通條件下，VISSIM 都可以用視覺化的方式呈現逼真的交通模型。除此之外，它還具有設定車輛種類、轉向比、車種組成比例等功能，而這些設定僅需透過簡單的使用者介面輸入參數，便可使模擬環境更貼近日常生活的交通現況；相較於自行撰寫的模擬軟體，使用者可能在有限考量下所設計，並無法將一般道路與車輛特性描述的很細緻，而喪失了模擬數據的真實性與可靠性。

為了與目前一般交通路口所採用的固定時制(fixed-time mode)作比較，本論文利用 VisVAP 設計適應性號誌控制邏輯；因為它必須架構在 VISSIM 所建立的











模擬環境上，所以在設計控制器時，使用者無法任意取得所需要的線上資料，必須利用 VISSIM 有限的即時資訊，設計參數轉換方程式，才可以得到使用者設計控制器時所需的輸入參數。反觀自行撰寫的模擬程式[10,12]，它提供使用者修改模擬器的能力，所以使用者可以在模擬過程中輕易的取得路網即時資訊。這樣的方式雖然提供更大的彈性供使用者設計號誌，但本論文希望將人為設計因素的影響降至最低，因此交通模擬軟體的完整性與獨立性成為一大考量因素，故採用 VISSIM 做為模擬軟體。

2.3.1 使用 VISSIM 建置交通路網

1. VISSIM 工具列主要按鈕介紹

表 2.2 為在建立交通路網時主要會使用到的工具列按鈕，以下小節將分別就它們的使用方法做一個簡單的說明。在建立物件時，必須以滑鼠左鍵選取物件所在 link，在用右鍵建立物件。

表 2.2 VISSIM 工具列按鈕功能表

工具鈕	功能
	滑鼠左鍵 — 放大，右鍵 — 前一次視野大小
	顯示整個路網
	建立 Link 或 Connector
	車流量輸入
	Routing Decision
	非號誌化交叉路口路權優先設定
	號誌燈頭
	偵測器
	旅行時間
	等候線計算

2. 路網建置

VISSIM 的路網組成單元主要為路段(Link)及路段連結(Connector)，以下將個別介紹：

a. Link

VISSIM 裡所謂的 Link 是指路網上單一種道路幾何的路段而言，如果一條道路有兩種以上的道路幾何，則必須針對不同的道路幾何路段各自建立其 Link，不同的 Link 之間，再以 Connector 連結。

Link 設計中，所需包含的主要資料如圖 2.5 所示，其中：

- (i) NO.：Link 編號，可自訂或採用預設值。
- (ii) No. of Lanes：路段的車道數。
- (iii) Link Length：利用滑鼠右鍵所繪出的車道線長度。
- (iv) Generate opposite direction：是否有對向車道，及設定車道數。

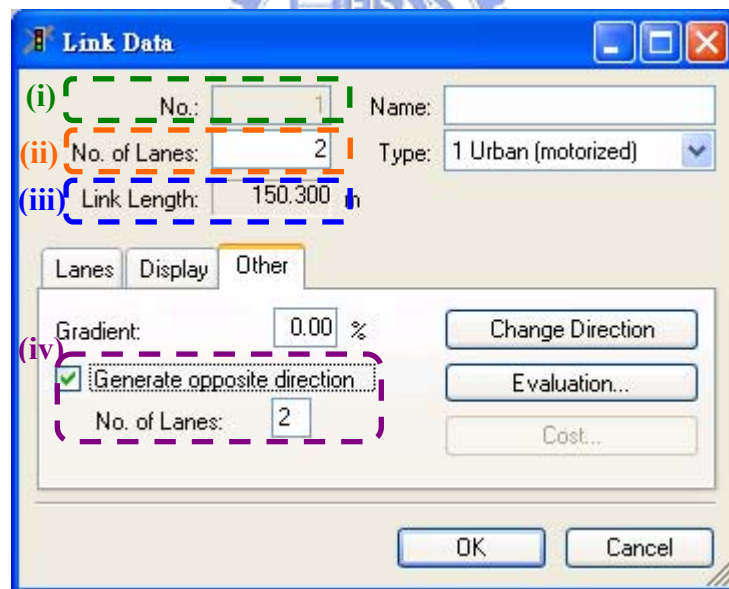


圖 2.5 Link 資料設定

b. Connector

在 VISSIM 裡若要將兩個 Link 連接起來，則必須使用 Connector，此外若是有特殊線型難以編輯平滑曲線，則亦可使用 Connector，由 VISSIM 自動設定平滑曲線。其主要輸入項目：

- (i) from link & to link：連接的車道線，必須指定上游 Link 如何連接到下游 Link。如圖 2.6 中，上、下游皆為 2 車道，則可設定 Connector，將上游 Lane 2 連接到下游 Lane 2，其中車道編號最外側為 Lane 1，往內遞增，因此為了設定內側車道可供左轉，所以將上游內側車道連接至下游內側車道。
- (ii) # Point：設定曲線點數，VISSIM 會根據曲線點數，計算出平滑的曲線。

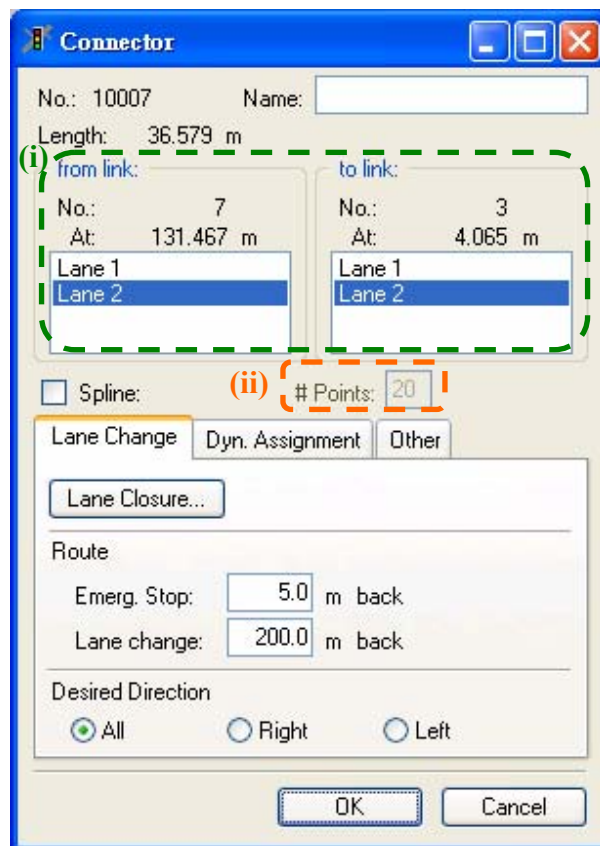


圖 2.6 Connector 資料設定

3. 車流輸入

a. 車種組成

由於道路上的車輛並非由單一車種組成，因此必須另外定義車種組合。如下圖 2.7 中定義車種組合 1，其包含 3 種車種：Car(小汽車)、HGV(重車)、Bus(公車)，其比率分別為 95%、2%、3%。而此三種車輛的平均車輛長度分別為 4.435 公尺、10.21 公尺、11.54 公尺，這些數值

將作為之後設計適應性號誌邏輯時，將停車車輛數轉換為車輛停車長度的轉換參數。

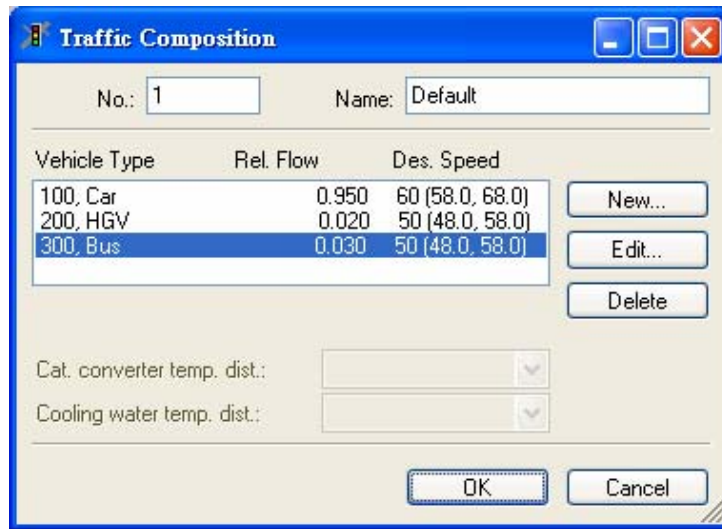


圖 2.7 車種組成設定

b. 車流量輸入

在 Link 的端點可輸入車流量，其輸入項目包含(如圖 2.8)：

- Composition：隸屬的車種組合。
- Volume：每小時車輛數，單位為 veh/h。
- from, until：此車流輸入的適用時段。

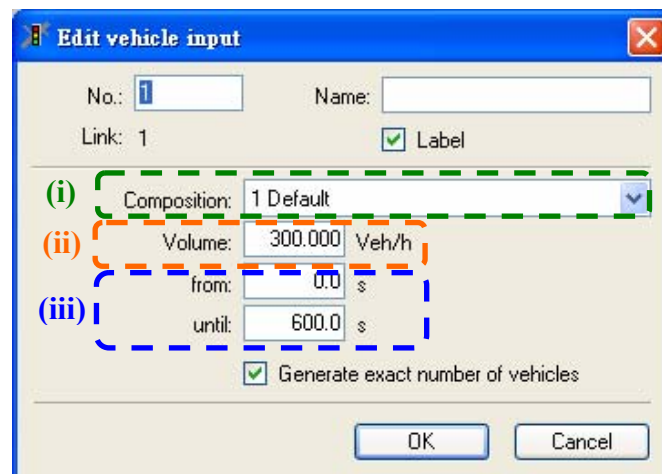


圖 2.8 車流量輸入設定

4. 車輛路徑設定(Routing Decision)

VISSIM 可直接點選出車輛的行駛路徑，起始點(如圖 2.9 中紅色的線)

主要所需輸入的項目有：

- (i) At：決策定點，即路徑的起點；當使用 VISSIM 放置起始點位置時，會自動出現如圖 2.9 紅色的線。一個決策地點會對應至少兩條路徑，必須注意的是車輛在經過決策點後才會分派至何條路徑，故決策地點若設置的太靠近路口有可能造成車輛來不及轉換車道。此外，路徑與路徑之間不能重疊，即上游路徑的訖點(如圖 2.9 中，綠色的線)應先於下游路徑的起點。
- (ii) Vehicle Classes：適用車種。
- (iii) Time Intervals：適用時間，即此路徑決策的執行時段。

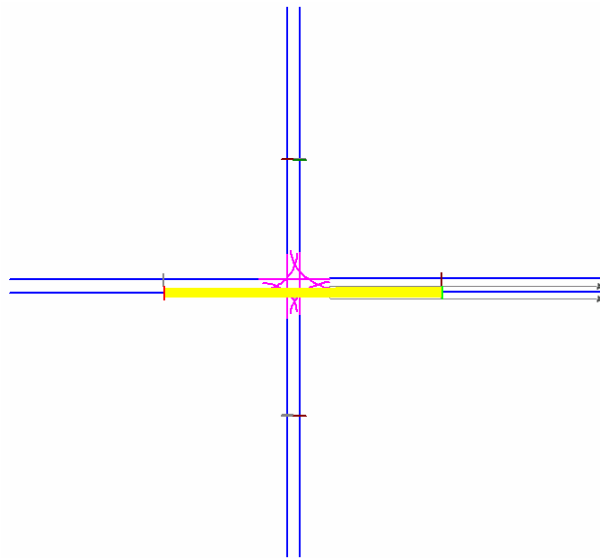


圖 2.9 車輛路徑起訖點放置位置

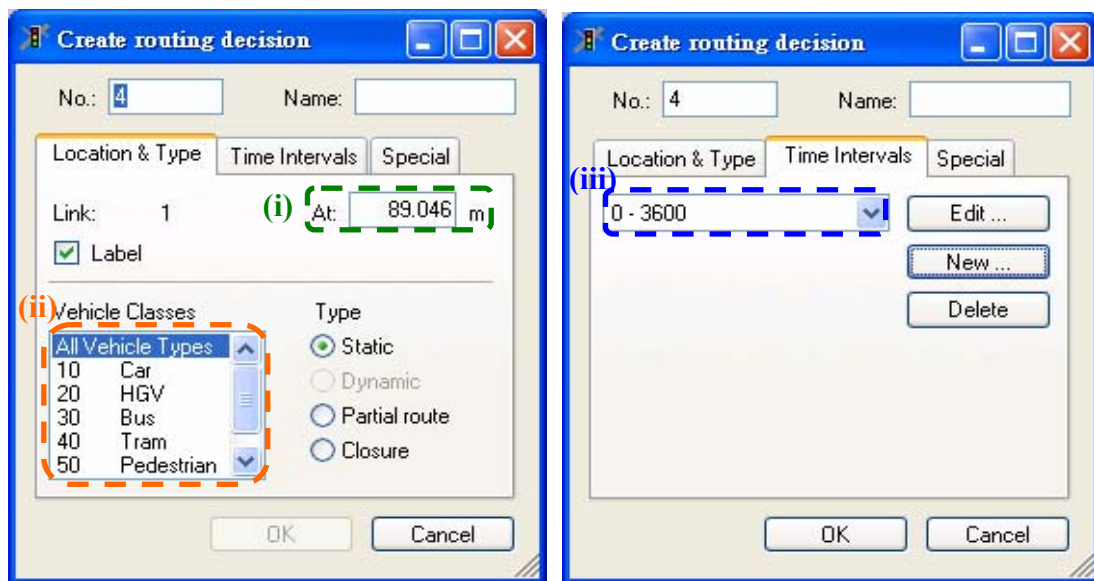


圖 2.10 車輛路徑起點設定

在完成車輛路徑起始點設定後，繼續使用滑鼠右鍵點選出終點所在位置，如圖 2.9 中綠色的線，當終點放置完成後，會出現黃色的粗線代表車輛行駛路徑，並出現圖 2.11 之訊框，其主要所需設定的項目如下：

- (i) Route：自訂一個唯一的 Route 編號。
- (ii) At：路徑決策起點所指定的訖點所在位置，如圖 2.9 綠色的線。
- (iii) Time: rel. flow：該路徑決策起點到所指定訖點（至少兩個訖點，即至少有兩條路徑可供選擇）的相對流量。

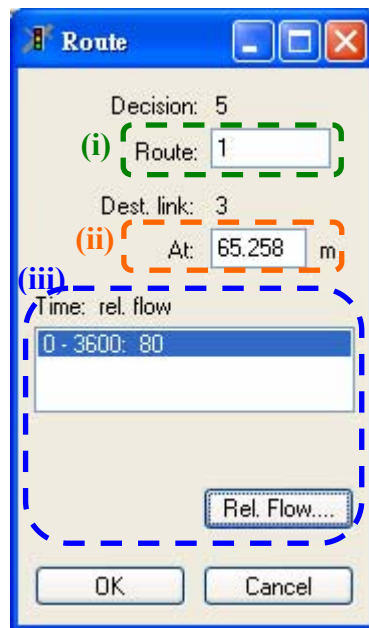


圖 2.11 車輛路徑訖點設定

VISSIM 設定一個起點後，可就此起點設立無數個訖點，但在此單一路口中，本論文僅設立直行與左彎兩個方向的訖點，而它們分別佔通過起點之車輛比例的 80%與 20%。

5. 交通號誌設定

a. 非號誌化交叉路口

對於十字路口的路網建立，路權優先順序的設立有其必要性，若未加入此項限制，則左轉車將與直行車將交錯重疊而過；因此，路權順序設立可以避免此種情形發生外，亦可建立左轉車讓直行車先行的規則。

路權優先順序的設定需建立 Stop Line(紅色的線)及 Conflict Marker(綠色的線)，設定內容如圖 2.12 所示，其所需輸入的資料有：

- (i) Lane：Stop Line 及 Conflict Marker 各自所在的車道及其位置，若是要同時設定一個 Link 上的全部車道，則建議勾選 All Lanes。
- (ii) Vehicle Classes：適用的車種。
- (iii) Min. Gap Time：最小可接受的間距時間，適用於擁有優先路權上的車流是自由車流時。當間距小於此值，則擁有次優先路權的車輛必須停等。
- (iv) Min. Headway：最小可接受的車間距哩，適用於擁有優先路權上的車流是擁擠車流時。當間距小於此值，則擁有次優先路權的車輛必須停等。
- (v) Max. Speed：擁有優先路權車輛的最大速度，當車輛大於此速度，視同之道上的車輛來不及反應，不會執行此一 Priority Rule。

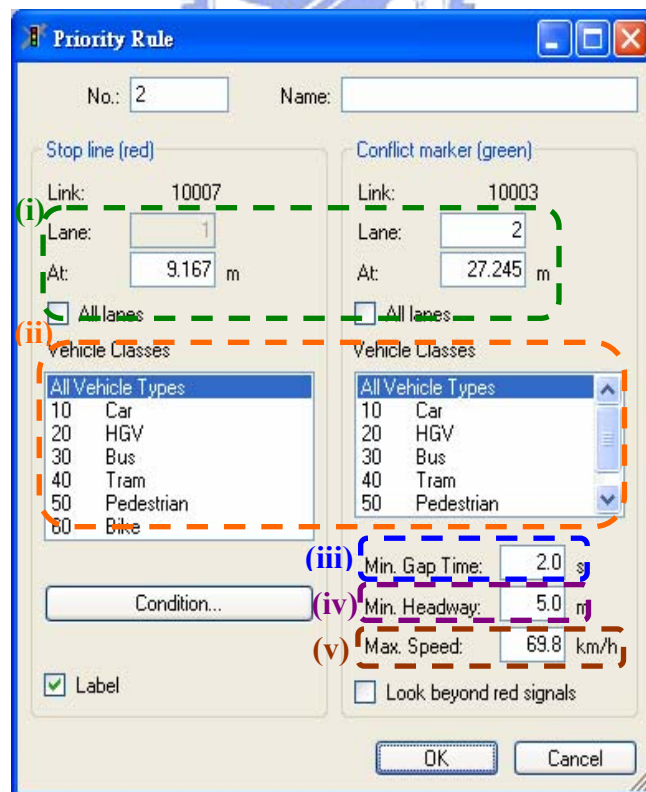


圖 2.12 路權優先順序的設定

上述 Min. Gap Time 及 Min. Headway 可以用圖 2.13 來加以解釋，假設直線 Link 為擁有優先路權的幹道，左邊的 Link 為支道，兩車的衝突區域為灰色部分，則若幹道上有來車時，支道車輛應停等，停等的位置為 Stop Line，而 Conflict Marker 的設置則與 Min. Headway 相關，原則是 Conflict Marker 與 Stop Line 之間的衝突區域，而 Min. Headway 也可設為衝突區域的大小。在塞車的情況下，當幹道上車輛進入灰色的衝突區域後，支道上的車輛應於 Stop Line 前停等，亦即當兩車間距小於 Min. Headway 時，支道車輛應停等。而在自由車流的情況下，則即使幹道上的車輛未進入灰色的衝突區域也可能產生安全上的疑慮，故此時必需考慮的是最小可接受間距時間，當幹道上的車輛行駛至 Conflict Marker 所需的時間小於 Min. Gap Time 時，支道上的車輛就應先停等讓幹道車輛先行通過。

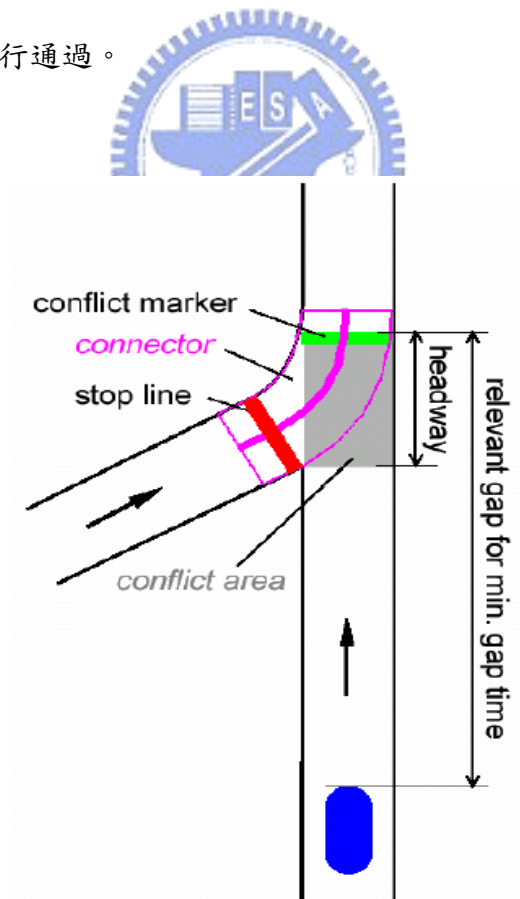


圖 2.13 最小可接受間距設定

b. 號誌化交叉路口

VISSIM 中可設定定時號誌或是適應性號誌，以下以定時號誌為例 (如圖 2.14)，介紹其所需輸入的項目：

- (i) Signal Controllers (SC)：號誌控制器，基本上每個路口對應一個號誌控制器，其下需設定 Cycle Time(週期長度)、Type(號誌種類，可選定時或適應性號誌)、Signal Group(號誌群組)。
- (ii) Signal Group：在單一路口的設定中，將東西向與南北向分為兩個號誌群組，而在號誌週期長度 100 秒內，每個群組的時相各佔 5 秒黃燈與 45 秒綠燈，但在 VISSIM 的設定中，必須設定紅燈結束的相對時間點(Red End)與綠燈結束的相對時間點(Green End)。例如：東西向為 Group 1，南北向為 Group 2，則

Group 1: Amber = 5 s	Red End = 5	Green End = 50;
Group 2: Amber = 5 s	Red End = 55	Green End = 100;

各號誌時間長度，如圖 2.15 所示。

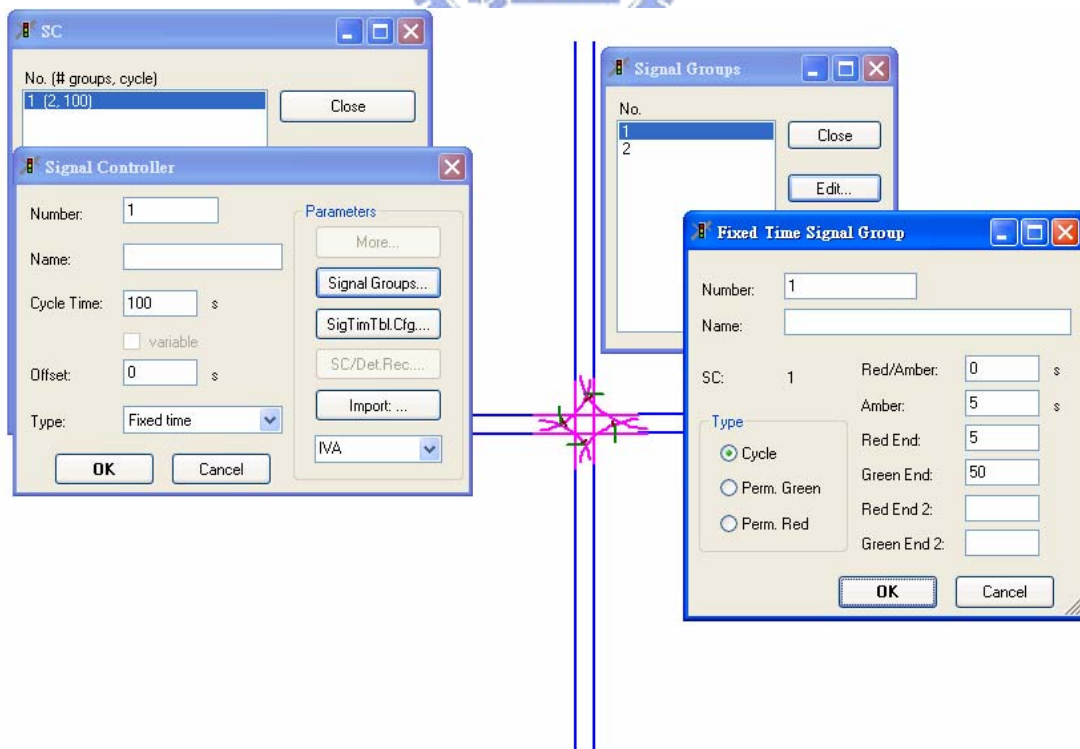


圖 2.14 定時號誌設定

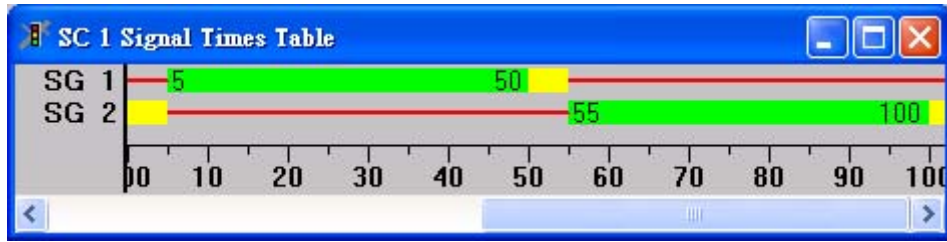


圖 2.15 固定時制訊號時間圖

6. 輸出設定

a. 輸出檔案簡介

VISSIM 的輸出分成兩部分，一為即時視窗，一為離線分析檔案。在即時視窗方面，它可輸出號誌時制、車輛資訊等。而在離線輸出的檔案方面，如圖 2.16 所示，使用只可以自行勾選所需要的檔案，本論文主要會使用到的輸出檔案種類及內容整理如表 2.3。

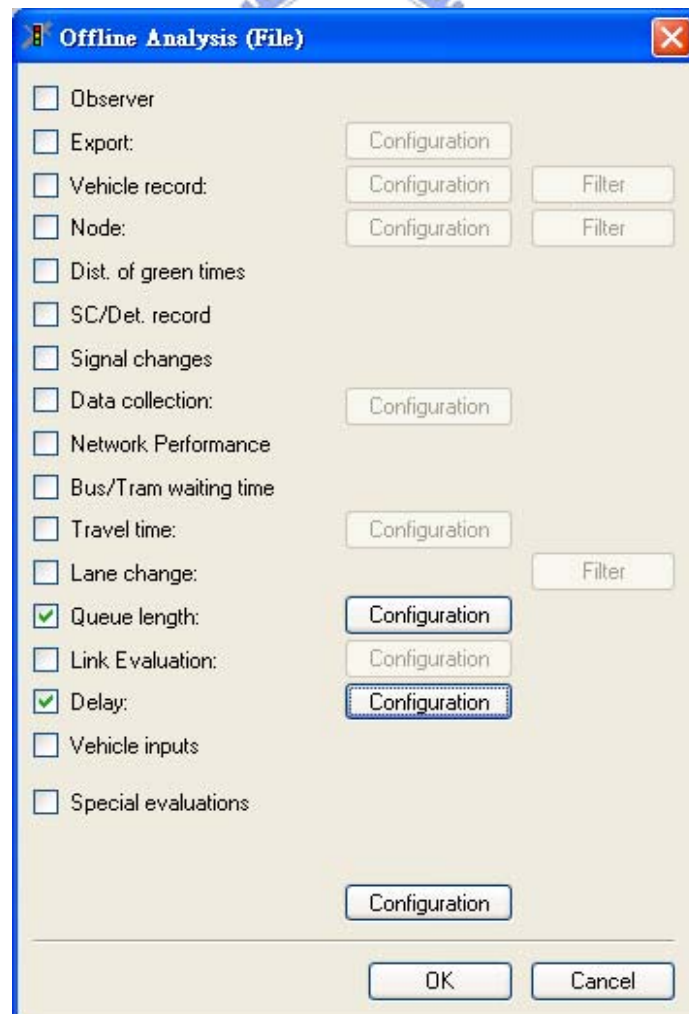


圖 2.16 離線檔案輸出

表 2.3 VISSIM 的輸出檔案及內容

種類	內容	檔案類型
錯誤紀錄	模擬中錯誤的紀錄，如：車輛未能順利變換車道、實際的車輛產生小於輸入流量...等。	*.ERR
延滯	每車旅行時間延滯 每人旅行時間延滯 每車停等延滯 停等數 通過評估路段的車輛數 通過評估路段的人數	*.VLZ
等候線	平均等候長度 最大等候長度 停等數	*.STZ

b. 偵測器 (Detectors)

上述所介紹的感測資料皆為離線資料，也就是說這些資料必須在模擬結束後，才可打開分析內部資料。但當設計適應性號誌時，若需獲得即時路網資料，如：通過偵測器的車輛數、偵測器區域內使否有車輛等，則必須設定 Detectors 才可獲得號誌運算時所需的參數值。

- (i) Length：定義偵測器的長度。若將偵測器長度設定為 0，則其相當於壓管式偵測器。
- (ii) SC (signal controller)：偵測器所屬的控制器。目前的設計中僅有單一路口，因此 SC 僅需選擇 1，當路口擴大為四個時，則 SC 將有 4 個選擇，所以必須選擇所設立的偵測器屬於哪個控制器。
- (iii) At：偵測器所放置的位置。

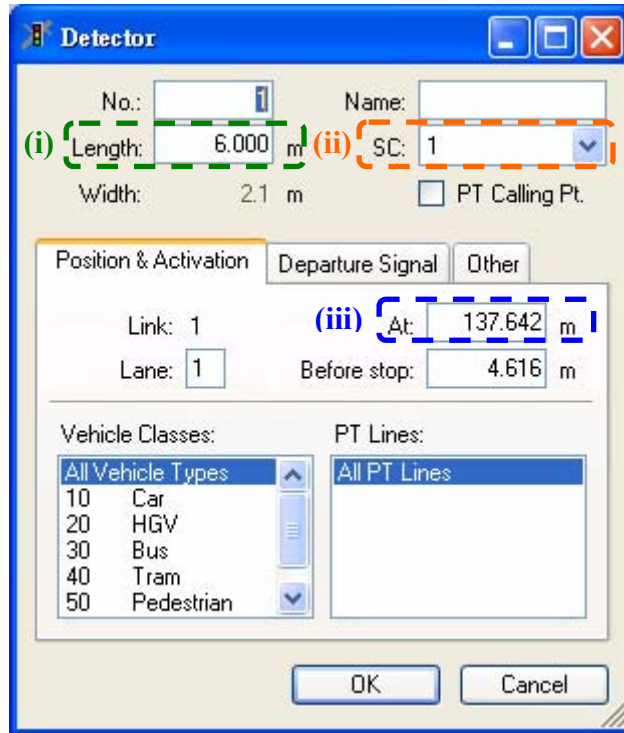


圖 2.17 偵測器設定

偵測器所在位置將隨控制器的需求有所不同，在設計 vehicle actuated method 時需獲得號誌後方是否仍有車輛通過，因此將偵測器放置如圖 2.18。

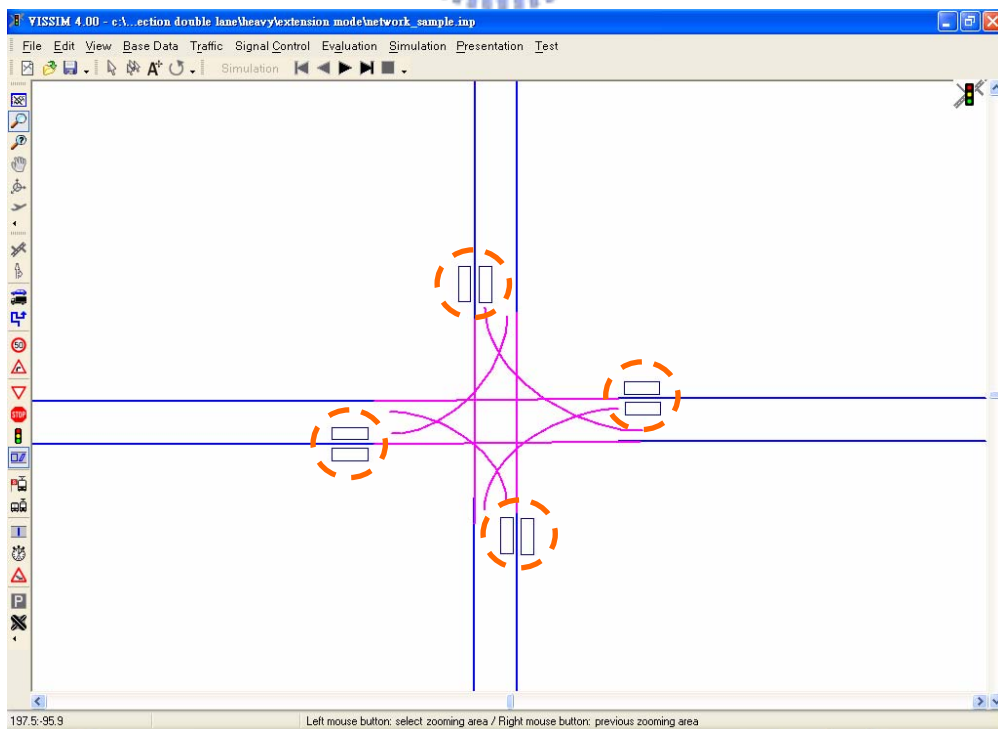


圖 2.18 Vehicle actuated method 偵測器位置

在設計模糊控制器時需獲得道路線內的車輛長度，但因偵測器無法直接提供此長度，因此必須利用壓管偵測器的方式，計算進入此路段與移出此路段車輛數的差值，即此路段內的所有車輛數，在透過轉換公式，將車輛數轉換為平均車輛長度，如圖 2.19。

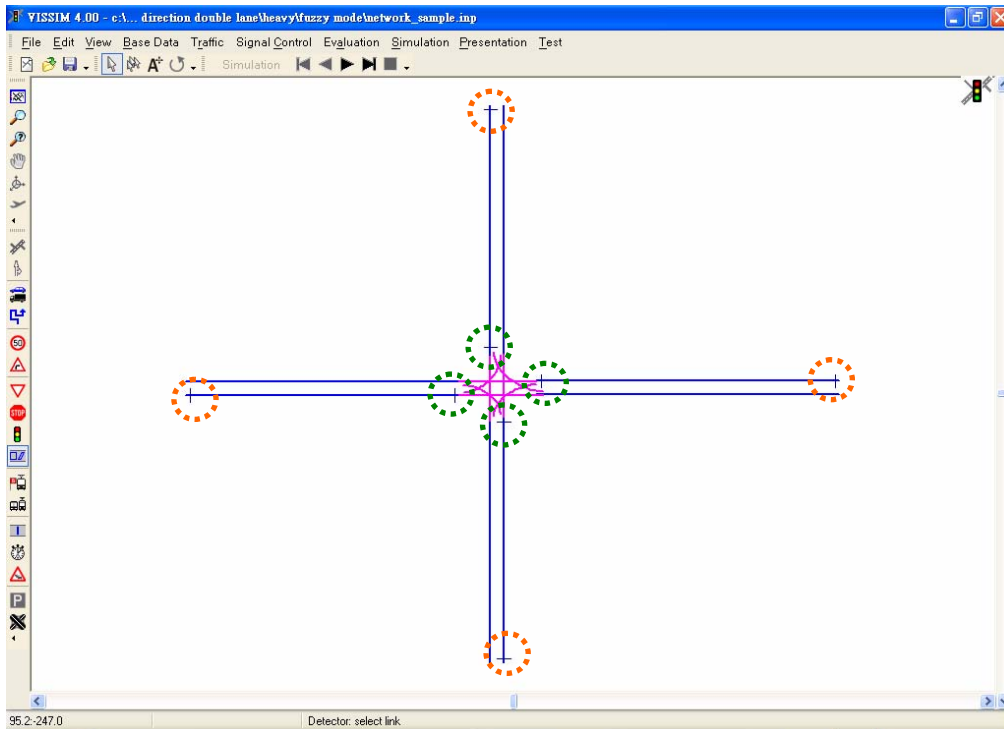


圖 2.19 模糊控制器的偵測器位置

c. 等候線

在等候線的收集方面，必須先在欲評估的路段上設 Queue Counter(如圖 2.20)，VISSIM 的等候線是計算由上游的 Connector 至 Queue Counter 間符合使用者定義的等候車輛總長度，而需使用者定義的內容包含(如圖 2.21)：

- (i) Begin：當車速小於此速度時視為停等。
- (ii) End：當車速大於此速度時不再視為停等。
- (iii) Max. Headway：當兩輛車間距大於此值，後車不列入等候線。

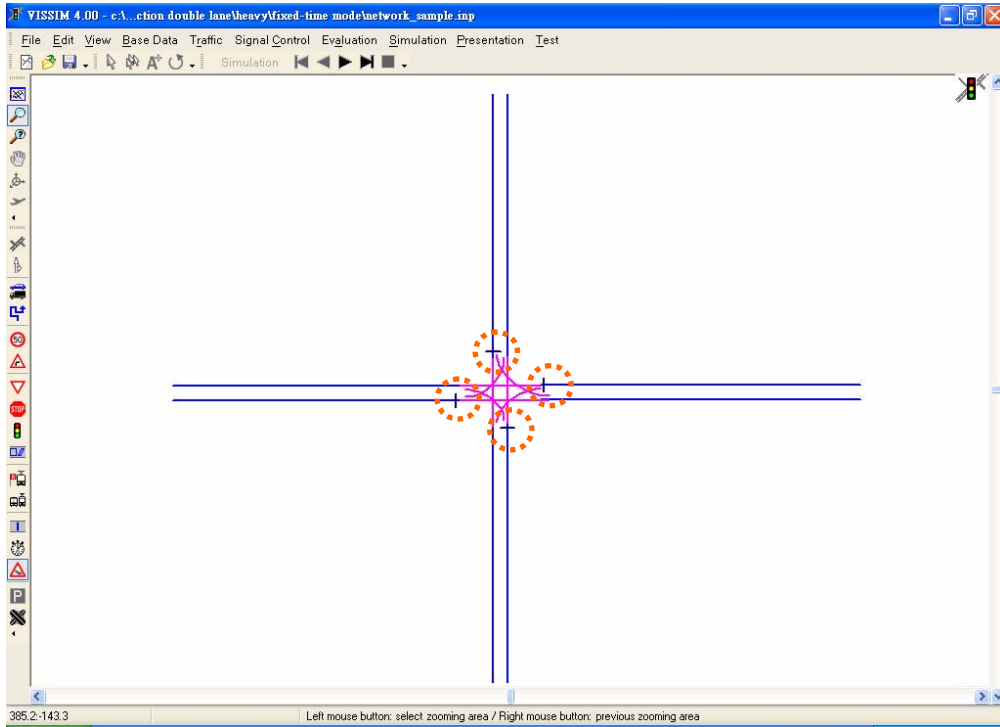


圖 2.20 Queue Counter 的位置

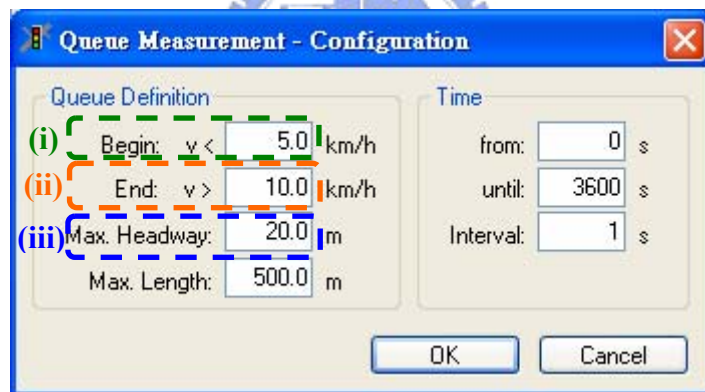


圖 2.21 等候線評估設定

由於其係計算上游 Connector 至 Queue Counter 之間的等候車輛長度，故若使用者欲評估號誌造成的停等，建議可將 Queue Counter 設置於號誌燈頭的位置。等候線長度的取得主要是作為模糊控制事前處理，透過最大停等長度的獲取，設計歸屬函數處理車流長度的區間範圍。

d. 旅行時間

本論文所提出之控制方法皆以延滯時間(delay time)作為性能指標，

而在 VISSIM 中欲求取延滯時間必須先設定旅行時間(travel time)，使用者可設定得到任一路段或路徑的旅行時間或延滯時間，其設定步驟為：

- (i) 用滑鼠左鍵點選評估的 Link，再用滑鼠右鍵建立評估路短的起點，此時會出現紅色的線(在 VISSIM 中，紅色的線表示起點，綠色的線表示訖點，此一原則適用於各式路線，如：Routing Decision 等)。
- (ii) 用滑鼠左鍵點選評估的 Link，再用滑鼠右鍵建立評估路段的訖點(可跨 link 評估旅行時間)，此時會出現綠色的線。

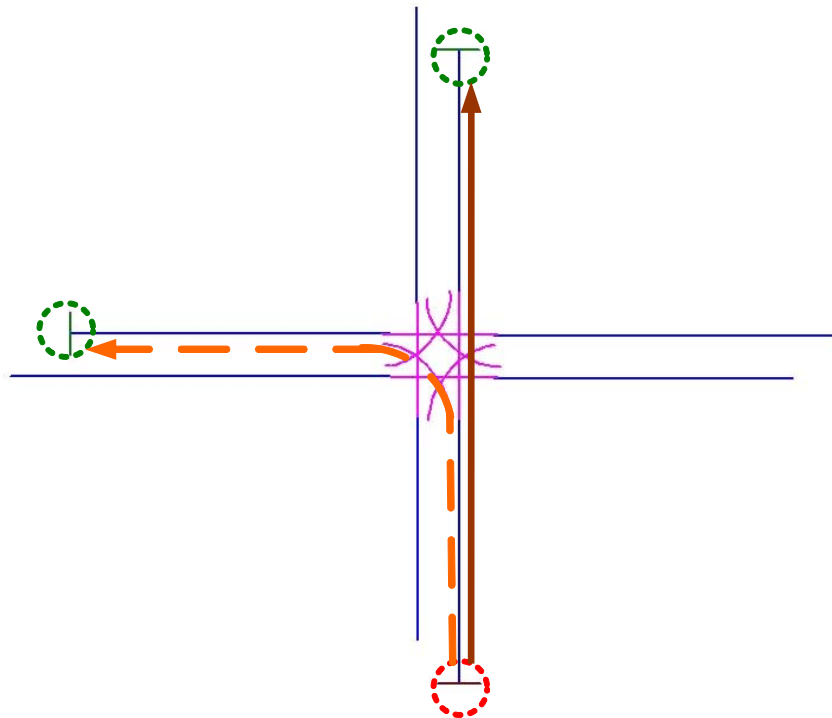


圖 2.22 Travel Time Sections 的位置

完成上述的設置，使用者尚須在選單中的 Evaluation→ Files→ Delay→ Configuration 中設定輸出的時間與時段才可得到離線的延滯時間資料。由於每個發車端所送出的車輛存在直行與左彎兩種行進方向，按照上述方式設定，所有發車端情形將有 8 組延滯資料，因此為了直接得到每個發車端的平均延滯時間，如圖 2.22，在此將直行與左彎兩訖點直接設為同一個群組，以得到平均延滯時間，如圖 2.23 (i)所示。

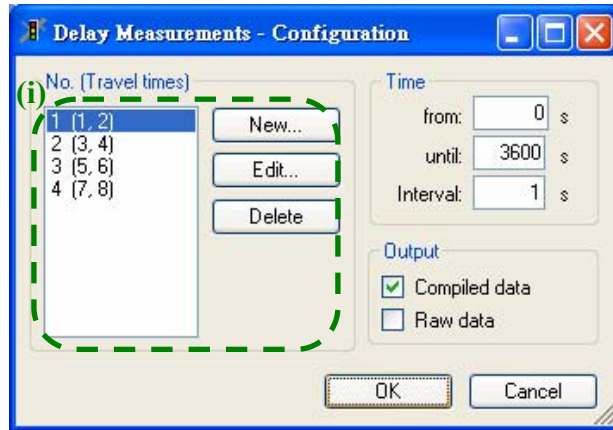


圖 2.23 延滯時間輸出設定

2.3.2 使用 VisVAP 設計適應性號誌控制邏輯

本論文中，除了固定時制為 VISSIM 所內建外，其他所有的號誌控制器，如：車輛觸動式[18]、模糊控制器、適應模糊控制方法與 adaptive fuzzy agents 等，皆使用 VisVAP 所建成。

1. 建立適應性號誌邏輯的步驟

- a. 利用記事本撰寫*.PUA 檔。此檔至少須包含以下資訊：(1)定義所有訊號群組(SG)。(2)定義所有 stages。(3)定義起始的 stage。(一個 stage 代表一個 stage)
- b. 使用 VisVAP 編寫號誌邏輯，並將編寫好的*.vv 檔編譯產生*.VAP。
- c. 於 VISSIM 所建立的路網中，設立 Signal Controller→MORE...的訊框，將*.PUA 及*.VAP 指入，並設定 Program File 為 vap214.exe。

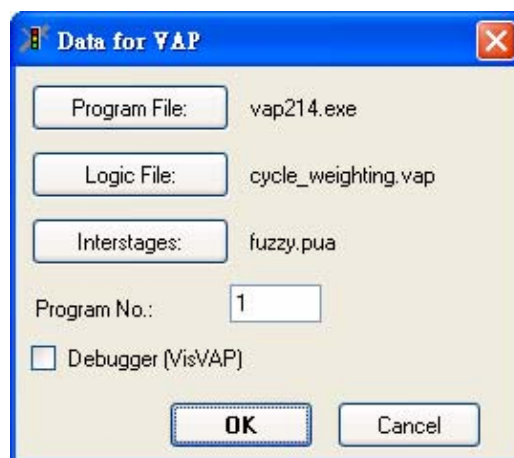


圖 2.24 VISSIM 中 VAP 檔案設定

下圖 2.25 表示適應性號誌邏輯設計中，在 VISSIM 與 VisVAP 中所需使用到各檔案間的關係示意圖：

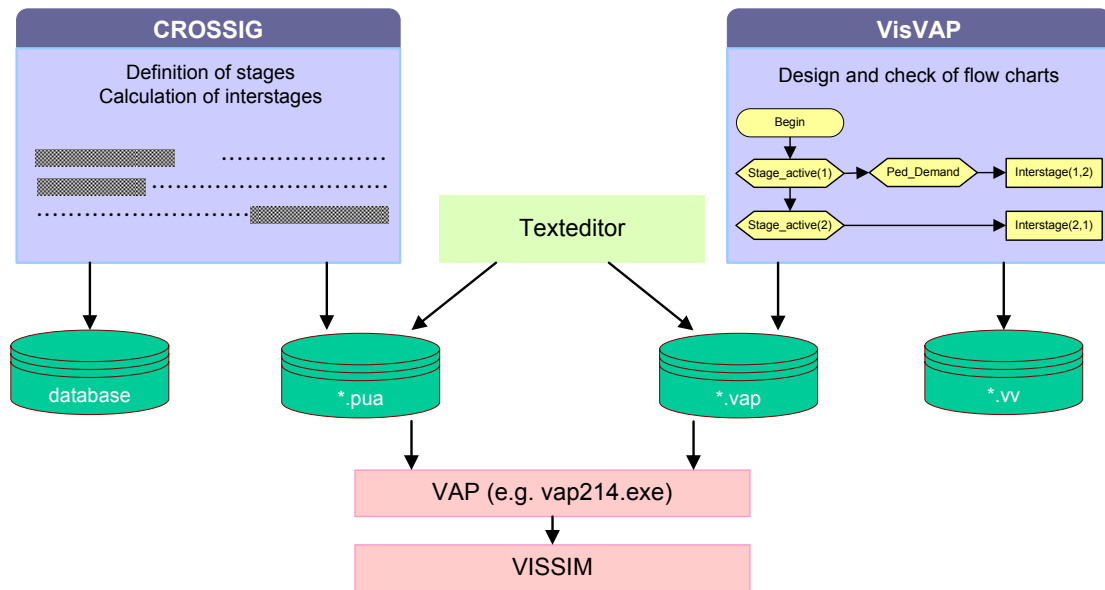


圖 2.25 VISSIM 與 VisVAP 關係圖

2. VisVAP 使用方法

a. Terminus



程式邏輯的開始與結束。每個程式一定要有一個開始與結束，符號內可以任意的輸入註解(如：Start、End)。

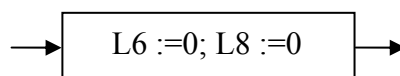


b. Statement



用於下命令或設定數值。設定數值時使用 “:=” 而非 “=”。在每個符號中至少要存在一個設定。

Example：將 L6 與 L8 皆設為 0。利用 “;” 分隔兩個設定。

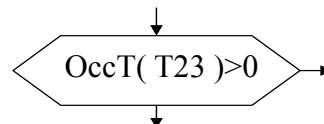


c. Condition



用於邏輯條件判斷。若條件判斷為真，則會向右執行下一個命令；若條件判斷為偽，則向下執行命令。

Example：T23 偵測器被佔據的時間是否超過 0 秒，如大於 0，則向右執次一個命令，否則向下。



d. Line



用於連接兩個標誌。於工具列選取 Line 選項後，利用滑鼠左鍵點選欲連線標誌的起點，再利用滑鼠右鍵點選終點，則可建立連線。

e. VAP functions



表 2.4 VAP 函數功能表

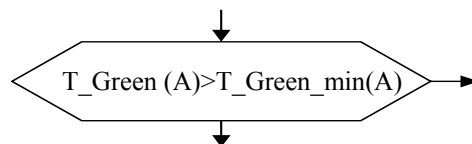
函數全名	縮寫	功能
Front_ends (<no>)	F_e	回傳偵測到的車頭數量
Interstage (<stage1>,<stage2>)	Is	切換 stage1 至 stage2
Marker_get (<no>)	MGet	從輸入頻道<no>得到的回傳值
Marker_put (<no>,<value>)	MPut	將<value>透過輸出頻道<no>傳出
Occupancy (<no>)	OccT	回傳偵測器<no>被觸動的時間長，若回傳為 0，則代表偵測器<no>內無車輛
Rear_ends (<no>)	R_e	回傳偵測到的車尾數量
Stage_duration (<stage>)	StgT	回傳<stage>持續的時間，若回傳為 0 則代表<stage>未被啟動
Stage_active (<stage>)	StgA	<stage>執行中回傳 1，反之，回傳 0

函數全名	縮寫	功能
T_free (<no>)	Tf	回傳號誌群組<no>自紅燈結束後到目前的時間(綠燈加黃/紅燈的時間)
T_green (<no>)	Tg	回傳號誌群組<no>變為綠燈所持續的時間，若回傳為 0，則代表號誌不為綠燈
T_green_min (<no>)	Tgmin	回傳號誌群組<no>最短的綠燈時間
T_red (<no>)	Tr	回傳號誌群組<no>變為紅燈所持續的時間，若回傳為 0，則代表號誌不為紅燈
T_stop (<no>)	Ts	回傳號誌群組<no>自綠燈結束後到目前的時間(紅燈加黃燈的時間)

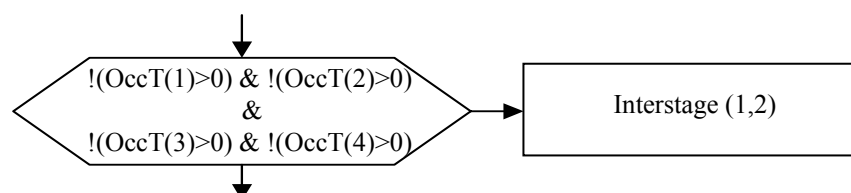
3. Example

在此以車輛觸動式(vehicle actuated method)說明 VisVAP 的設計方法，將東西向設為 stage1，南北向設為 stage2。

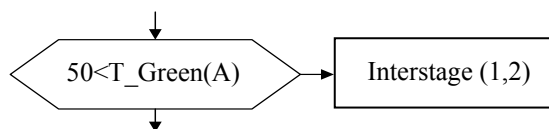
- a. 將最短綠燈時間設為 20 秒 ($T_Green_min = 20$)，當綠燈時間超過 20 秒之後，才進入 vehicle actuated method 的運算



- b. 我們利用偵測器，來感測目前停等線後方是否有車輛進入，若綠燈雙向皆無車輛，則將 stage1 切換為 stage2，號誌變為黃燈，；反之，若停等線後方有車輛，則號誌維持不變



- c. 為了避免一直有車輛進入感測區，造成號誌持續維持綠燈，所以設定綠燈上限值為 50 秒，換句話說，當綠燈時間維持 50 秒後，無論停等線後方有無車輛，則號誌將強制變號。



上述為車輛觸動式的設計步驟，完整的設計流程圖如下圖 2.26，當 stage1 被執行時，東西向號誌變為綠燈，直到做出 Interstage(1,2)的決策，號誌會切換為黃燈，進而至東西與南北向雙向皆為紅燈，當號誌進入黃燈與雙向全紅階段時，程式執行順序為... →Start →Stage_active(1) →Stage_active(2) →End →Start →...依次迴旋執行，直至雙向全紅結束，stage2 開始被執行，南北向號誌開始變號為綠燈。

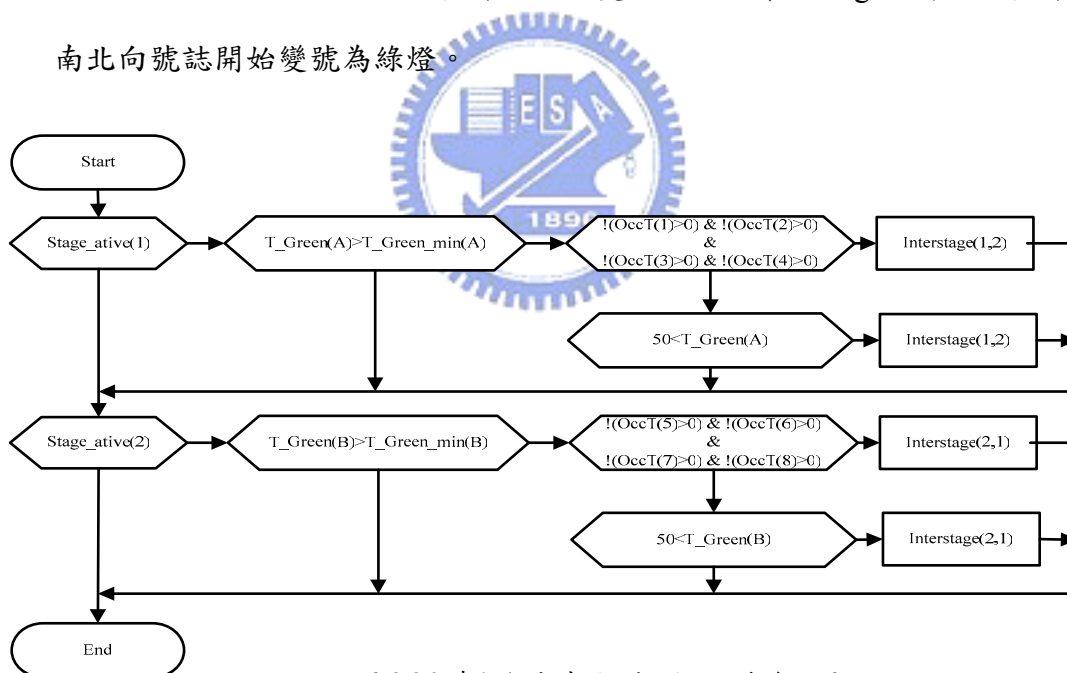


圖 2.26 車輛觸動式的 VisVAP 訊號流程圖

2.4 模擬結果

2.4.1 模擬條件

模糊控制器的設計也是使用圖 2.26 的概念，但在設計模糊參數時，以車輛平均停等長度作為輸入。由於 VISSIM 的偵測器在模擬過程中，僅可得

到兩偵測器間的車輛停等數，如圖 2.19，無法線上取得車輛停等長度，因此，必須將車輛停等數依據車種的長度與組成比例轉換為車輛停等長度，於實際應用中此數值可由偵測器直接獲得。在車種組成中(2.3.1_3(a))，小汽車(Car)佔 95%、長度為 4.435m，公車(Bus)佔 3%、長度為 11.54m，重車(HGV)佔 2%、長度為 10.21m，假設兩偵測器間的停等車輛數為 X ，則

$$\begin{aligned} \text{Vehicle Waiting Length} &= X * 0.95 * 4.435 + X * 0.03 * 11.54 + X * 0.02 * 10.21 \\ &= X * 4.76365 \quad (\text{m}) \end{aligned} \quad (2-1)$$

$$\text{Average Vehicle Length (AVL)} = 4.76365 \quad (\text{m}) \quad (2-2)$$

利用上述方程式，即可在模擬過程中計算得到車輛平均停等長度，再透過模糊法則運算，做出是否切換號誌的判斷。

利用 VisVAP 設計車輛觸動式與模糊控制器兩種適應性號誌控制邏輯，並進一步與固定時制做比較。然而，在此模擬中暫不考慮右轉車輛的存在，此項假設是為了避免右轉車輛佔據紅綠燈路口，使欲通過號誌路口的直行車輛回堵，進而造成號誌控制上判斷的干擾。再者，每個車輛行進方向皆為雙線道，其中外側車道僅提供直行，而內側車道同時具有直行和左轉方向的選擇性；最後，每個對向號誌為同一個群組，以達到同步號誌控制的目的。

在此模擬過程中，將模擬時間設為 3600 秒，利用偵測器每秒產生一筆延滯時間的離線資料，如圖 2.22，以作為模擬結束後，交通改善程度的判斷標準；並假設東西向的交通流量隨模擬時間改變，在此稱為 Peak，而南北向之交通流量則分別有 Light=300 輛/hr、Heavy=1000 輛/hr、以及與東西向同為 Peak 等三種情形。表 2.5 為模擬時間與車流大小的對應關係。

表 2.5 車流量產生率

模擬時間(sec)	0~600	601~1200	1201~1800	1801~2400	2401~3000	3001~3600
Light (輛/hr)	300					
Heavy (輛/hr)	1000					
Peak (輛/hr)	300	500	800	1200	700	400

2.4.2 模糊控制

除了歸屬函數(membership function)建立的模糊規則之外，在使用 VisVAP 設計控制器時，加入兩項預設條件：(1)號誌在變號 5 秒內不會進入模糊控制的運算，使號誌至少有 5 秒以上的綠燈時間。(2) 號誌持續 50 秒後，無論塞車與否，都將強制變號，此條件在避免紅燈方向的駕駛人停等過久，進而讓號誌的切換更符合常態需求。

於上述三種不同交通流量的情形下，比較固定時制、車輛觸動式與模糊控制三種控制方法對於交通狀況的改善程度；並以延滯時間作為性能指標。延滯時間為實際的旅行時間與理想的旅行時間之差；所謂的理想旅行時間是指行程中沒有任何其他車輛，也沒有號誌或標誌的干擾。

利用偵測器量測各個發車端的車輛延遲時間，並將東、西兩發車端所獲得的延遲時間取 2-norm，以便比較固定時制、車輛觸動式與模糊控制的改善情形；南北向發車端，亦如東西向之方式計算。

表 2.6 固定時制、車輛觸動式與模糊控制的延滯時間比較表

		Light(300 veh./hr)				Heavy(1000 veh./hr)				Peak(0~1200 veh./hr)			
fixed-time mode	Direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	Delay	20.2	25.9	15.2	14.7	20.6	25.9	25.0	31.9	19.6	31.8	21.6	39.0
	2-norm	32.846		21.145		33.093		40.529		37.355		44.582	
vehicle actuated method [18]	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	15.7	15.4	11.6	13.0	20.1	36.7	21.1	20.4	22.0	21.7	19.0	41.1
	2-norm	21.992		17.423		41.844		29.349		30.901		45.279	
fuzzy control mode	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	9.5	10.5	12.2	12.3	13.9	25.6	13.9	17.0	17.4	20.0	15.0	21.5
	2-norm	14.160		17.324		29.130		21.959		26.510		26.215	

2.4.3 適應模糊控制

我們進一步採用 2.2 節之適應模糊控制，模擬此控制器於車流量分別為 Light、Heavy、Peak 下的控制情形，如表 2.7，觀察得知適應模糊控制在三

種車流模式下都能有效縮短延滯時間。將此控制方法與固定時制比較延滯時間改善率如表 2.8。

表 2.7 適應模糊控制的延滯時間

		Light(300 veh./hr)				Heavy(1000 veh./hr)				Peak(0~1200 veh./hr)			
adaptive fuzzy control	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	11.2	9.8	11.6	11.5	14.9	19.8	16.6	15.0	14.5	19.0	15.5	17.4
	2-norm	14.882		16.334		24.780		22.373		23.901		23.303	

由表 2.6-2.7 比較各控制器相對固定時制的改善率，如表 2.8，而改善率計算方式如(2-3)式：

$$\text{改善率}(\%) = \frac{T_{D_fixed} - T_{D_control}}{T_{D_fixed}} \times 100\% \quad (2-3)$$

其中

T_{D_fixed} ：路網於固定時制下，東西向與南北向延滯時間 2-norm 的平均值。

$T_{D_control}$ ：路網於其他控制方法下，東西向與南北向延滯時間 2-norm 的平均值。其它控制方法有車輛觸動式、模糊控制、適應模糊控制等。

表 2.8 車輛觸動式、模糊控制與適應模糊控制的改善率

	Light(300 veh./hr)	Heavy(1000 veh./hr)	Peak(0~1200 veh./hr)
vehicle actuated method	27.0 %	3.3 %	7.0 %
fuzzy control	41.7 %	30.6 %	35.7 %
adaptive fuzzy control	42.2 %	36.0 %	42.4 %

由表 2.8 得知模糊控制對於各種交通車流模式皆能達到紓解交通的目的，並且比車輛觸動式有更佳的改善成效。但使用適應模糊控制節省了以模糊控制更多的延滯時間。由此可知適應模糊控制除了解決號誌快速變號回紅燈的問題，對於整個路網也提供更大的控制功效，節省更多的延滯時間。

2.5 停等車距對系統延滯時間之影響

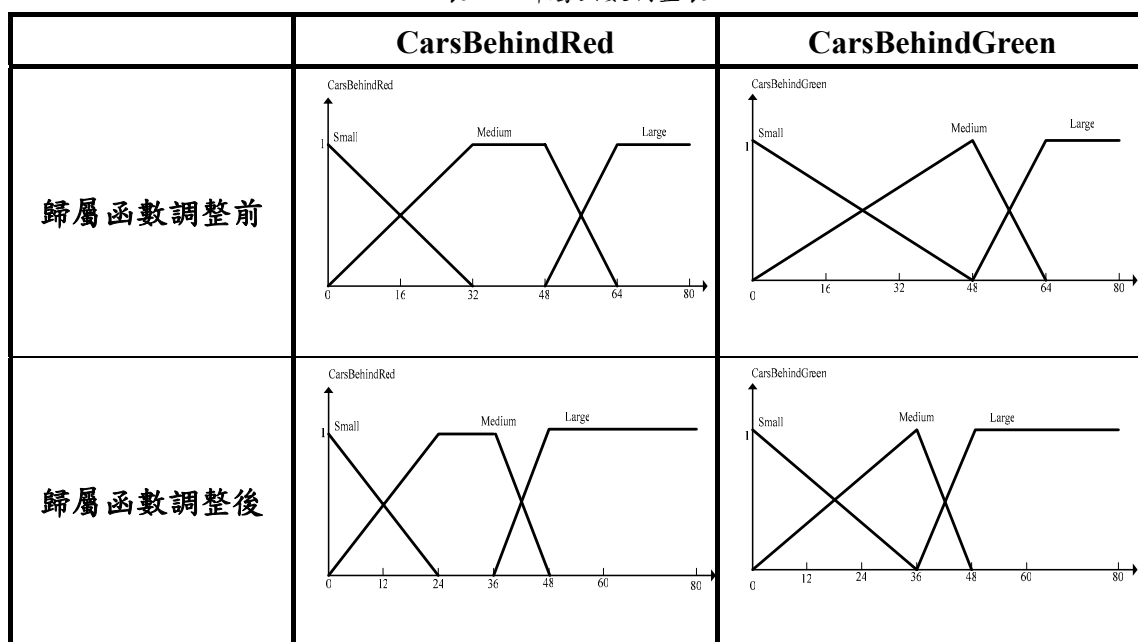
在本節中，將就車輛停等距離對系統延滯時間的影響作討論。假設車輛存在塞車情形時，則兩車間的停等車距近乎為 0，因此，平均車輛長度如(2-2)式為 4.76365 m，但若車輛不存在塞車情形時，兩車間的停等間距為 2 m，假設兩偵測器間的停等車輛數為 X ，則此時車輛停等長度為

$$\begin{aligned} \text{Vehicle Waiting Length} &= X * 0.95 * (4.435 + 2) + X * 0.03 * (11.54 + 2) \\ &\quad + X * 0.02 * (10.21 + 2) \\ &= X * 6.76365 \quad (\text{m}) \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\text{Average Vehicle Length (AVL)} = 6.76365 \quad (\text{m}) \quad (2-5)$$

本節除了將就車輛塞車(AVL = 4.76365 m)與不塞車(AVL = 6.76365 m)的情形，以原先設計之歸屬函數做控制外，將進一步討論當塞車情形發生時，調整歸屬函數中每個階層的比例，如表 2.9，對於交通路網是否能得到更佳改善成效。

表 2.9 歸屬函數調整表



模擬適應模糊控制對於路網有塞車(AVL = 4.76365)和無塞車(AVL = 6.76365)的改善程度，以及模擬塞車(AVL = 4.76365)調整歸屬函數後，路網的延滯時間。

表 2.10 車輛間距與調整 MF 的延滯時間表

		Light(300 veh./hr)				Heavy(1000 veh./hr)				Peak(0~1200 veh./hr)			
無塞車情形 AVL=6.76365 (未調整 MF)	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	9.5	10.0	11.4	11.8	14.8	19.2	12.1	14	15.1	24.1	14.3	25.8
	2-norm	13.793		16.407		24.242		18.504		28.440		29.498	
塞車情形 AVL=4.76365 (未調整 MF)	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	11.2	9.8	11.6	11.5	14.9	19.8	16.6	15.0	14.5	19.0	15.5	17.4
	2-norm	14.882		16.334		24.780		22.373		23.901		23.303	
塞車情形 AVL=4.76365 (調整 MF)	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	9.5	9.7	11.4	12.3	15.2	22	13.7	15.9	15.6	28.1	18.9	22.9
	2-norm	13.577		16.771		26.740		20.988		32.140		29.692	

將上述數值東西向與南北向的延滯時間取平均值後，與固定時制比較其改善率：

表 2.11 車輛間距與調整 MF 相對固定時制的改善率

	Light(300 veh./hr)	Heavy(1000 veh./hr)	Peak(0~1200 veh./hr)
無塞車情形 - AVL=6.76365 (未調整 MF)	44.1 %	41.9 %	29.3 %
塞車情形 - AVL=4.76365 (未調整 MF)	42.2 %	36.0 %	42.4 %
塞車情形 - AVL=4.76365 (調整 MF)	43.8 %	35.2 %	24.5 %

最後，由表 2.11 得知，無論塞車情形是否發生，原有的歸屬函數皆能有效的發揮控制的效用，換句話說，原有的歸屬函數對於這兩種車輛間距的情形，都能達到良好的控制成效。再進一步與調整過歸屬函數的控制方法做比較，發現原先設計的歸屬函數已經能涵蓋處理塞車的情形，無需針對特定的塞車情況來調整歸屬函數的比例。

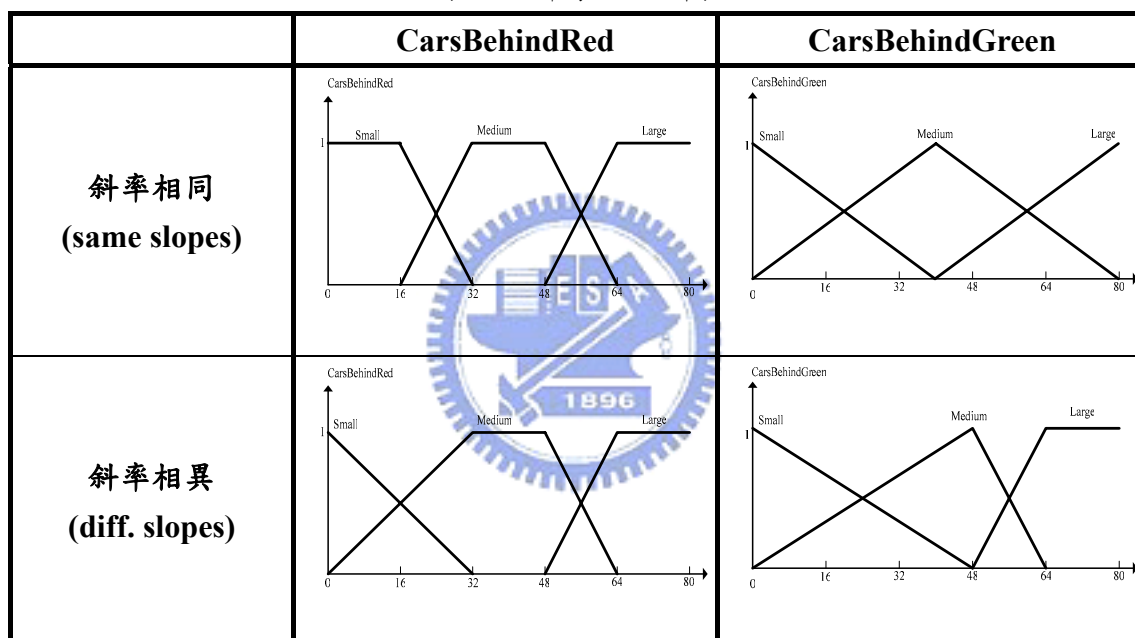
2.6 歸屬函數設計與號誌切換臨界值對系統之影響

本節將利用模擬結果說明圖 2.1 與 2.2 歸屬函數控制功效，並討論切換臨界值選擇 0.57、0.6 與 0.63 時對於系統延滯時間影響。

2.4.2 歸屬函數之設計

在歸屬函數的設計上，比較上圖 2.1 與 2.2 所示根據不同車輛狀況設計相異斜率，以及如下表 2.12 所示，對於所有的集合皆給予相同斜率與相同形狀(如：CarsBehindRed 為梯形、CarsBehindGreen 為三角形)的兩種情形：

表 2.12 歸屬函數設計表



利用上表 2.12 的兩種不同的歸屬函數，於車流量為 Light、Heavy 與 Peak 的情形下的控制功效，如下表 2.13 所示：

表 2.13 歸屬函數斜率相同與相異延滯時間比較表

		Light(300 veh./hr)				Heavy(1000 veh./hr)				Peak(0~1200 veh./hr)			
same slopes	Direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	Delay	18.7	24.2	9.7	7.9	13.3	24.8	29.5	29.0	25.4	24.5	13.0	23.8
	2-norm	30.583		12.510		28.141		41.367		35.290		27.119	
diff. slopes	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
	delay	9.5	10.5	12.2	12.3	13.9	25.6	13.9	17.0	17.4	20.0	15.0	21.5
	2-norm	14.160		17.324		29.130		21.959		26.510		26.215	

表 2.14 same slopes 與 diff. slopes 相對固定時制改善率

	Light (300 veh./hr)	Heavy (1000 veh./hr)	Peak (0~1200 veh./hr)
same slopes	20.2 %	5.6 %	23.8 %
diff. slopes	41.7 %	30.6 %	35.7 %

比較設計歸屬函數斜率相同與相異對於固定時制的改善率，如表 2.14 所示，其中，斜率相異的歸屬函數設計方法在三種不同車流狀態中，皆比斜率相同的設計方式要好。主要是因為斜率相異的設計方式，能針對不同的車流狀態給予不同的斜率，以突顯壅塞情形的嚴重性與急迫性，使號誌能適時的做出變號之判斷。

2.6.2 號誌切換臨界值之選定

燈號所持續的時間將取決於所選定號誌切換臨界值的大小，而此值的選定，將會影響路網平均延滯時間的長短。因此，在本節中選定臨界值為 0.57、0.6 與 0.63，比較此三種臨界值對於單一路口的影響。下表 2.15 為各臨界值對於路網所造成的延滯時間：

表 2.15 號誌切換臨界值對路網延滯時間比較表

Threshold for switching light	Light (300 veh./hr)	Heavy (1000 veh./hr)				Peak (0~1200 veh./hr)								
		E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N	
0.57	Direction													
	Delay	7.3	7.9	10.3	11.1	16.4	18.7	12.1	14.7	16.0	24.6	12.3	28.8	
	2-norm	10.756		15.143		24.873		19.039		29.346		31.317		
0.60	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N	
	delay	9.5	10.5	12.2	12.3	13.9	25.6	13.9	17.0	17.4	20.0	15.0	21.5	
	2-norm	14.160		17.324		29.130		21.959		26.510		26.215		
0.63	direction	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N	
	delay	8.2	9.2	12.2	11.4	16.1	27.8	14.4	19.8	15.7	20.8	13.5	24.2	
	2-norm	12.625		16.697		32.126		24.483		26.060		27.711		

根據上表 2.15，比較各號誌切換臨界值相對固定時制的延滯時間改善率，如下表 2.16 所示：

表 2.16 號誌切換臨界值相對固定時制改善率

Threshold for switching light	Light (300 veh./hr)	Heavy (1000 veh./hr)	Peak (0~1200 veh./hr)
0.57	52.0 %	40.4 %	26.0 %
0.60	41.7 %	30.6 %	35.7 %
0.63	45.7 %	23.1 %	34.4 %

由表 2.16 可知，雖然當南北向車流狀態為 Light 與 Heavy 時，選定號誌切換值為 0.57 有最佳的改善成效；但由於交通路網為時變系統，而東西向與南北向車流皆為 Peak 的車流狀況能突顯此種時變特性，因此選定與此種條件下，有最佳改善率的切換臨界值 0.6，作為模糊控制器設計上的切換標準。



第三章 多代理人系統於雙路口監控之應用

本章將初步介紹多代理人系統如何架構在交通路網上，以及兩個路口間代理人如何藉由溝通、協調以達到路網的平衡，進而避免其中一個路口車流量負擔過大的問題。

3.1 多代理人的介紹[22,23]

代理人這一個概念的呈現並非是最近才興起的，它可以推回到早期人工智慧的發展。代理人的概念於 1950 年中期有 John McCarthy 所提出，而『Agent』這一個字眼則由 MIT (Massachusetts institute of technology) 的 Oliver G. Selfridge 所創造。Nwana (1996) 將有關代理人技術的研究進展分為兩個主要階段：第一階段起自 1977 年，主要是應用在分散式人工智慧；第二階段則起自 1990 年，與傳統的人工智慧領域不同處，在於這個階段比較不注重思考與推理等能力，所專注的方式是 doing 和遠端行動。這一波風潮的帶動主要是因為有兩個力量在拉扯，第一個是因應網路時代的來臨，資訊的大量成長已經不是光靠人就可以解決，因此需要代理人幫忙人類進行一些工作，像搜尋資訊、過濾資訊等；另外一點就是針對個人化需求的來臨，讓使用者或軟體應用發展者能夠快速的發展個人化、多樣化的應用。

在代理人的分類上，Gilbert 等人(1995, IBM)以代理行為(agency)、智慧(intelligent)和移動性(mobility)為三個維度，透過這三個維度形成一個描述和分類代理人的空間概念，如圖 3.1 所示。

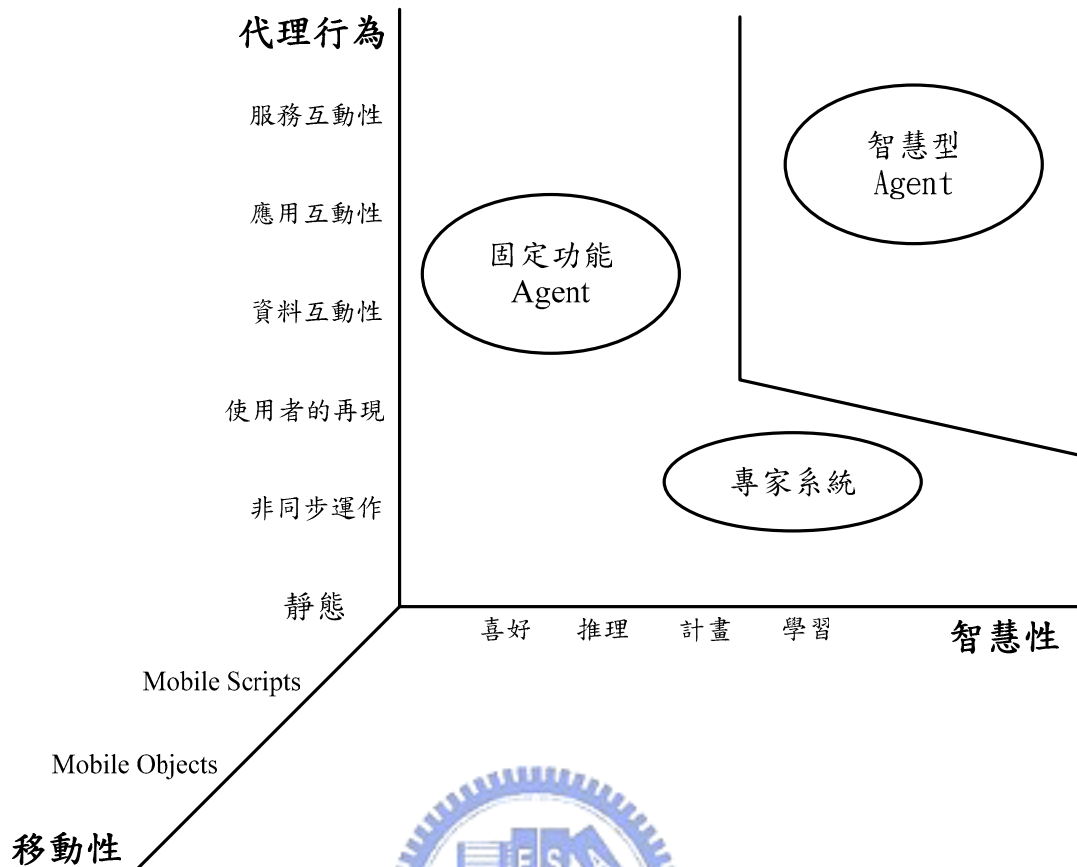


圖 3.1 Gilbert 對 Agent 的分類

- 智慧性(intelligence)：所表示的是推理和學習的能力，屬於傳統人工智慧的範疇，可以分為喜好(preferences)、推理(reasoning)、計畫(planning)和學習(learning)。
- 代理行為(agency)：表示代理人是以一個什麼樣的機制在運作，可能只是代理人和代理人之間簡單的非同步協調運作，更進一步是代表一個使用者的某些行為，甚至是一個完整的服務。可以劃分為幾個程度：非同步運作(asynchrony)、使用者的再現(representation of user)、資料互動性(data interactivity)、應用互動性(application interactivity)、服務互動性(service interactivity)。

- 移動性(mobility)：是表示代理人在網路上不同節點的移動能力，其想法來源比較偏屬於分散式計算。可以劃分為靜態(static)的代理人、mobile script 和 mobile objects。

由 Gilbert 等人所劃分的技術維度來看，可以看出傳統的應用，如專家系統、智慧型代理人等，大多主要是在代理行為和智慧性兩個維度的設計，而移動性這個維度的提出，主要因應現在的系統越來越複雜，已經不是單一平台所能夠處理，因此移動性這個功能將能夠分擔計算上的負擔、以及一些其他的優點。而從 Gilbert 等人對代理人的劃分，仍然無法讓人具體的了解到一個代理人該具有哪些重要特質，雖然有部分文獻對代理人提出看法，但仍無法對代理人應包含哪些特質有一致的看法，僅能簡單歸納出一些代理人的內含特質：自主性(autonomous)、互動性(communication)、目標導向(goal-driven)、偵測環境(monitors)、反應行為(actuation)、智慧(intelligence)、移動性(mobility)與安全性(security)等屬性，雖然這些都是代理人的重要特徵，但定義代理人並不需要完全符合所有的屬性，而要就代理人的應用和目標而論，來增加或減少它的功能和屬性。

代理人系統，特別是多代理人系統，是分散式人工智慧(distributed artificial intelligence, DAI)研究當中的一個子領域，已經在人工智慧領域中被提起二十多年。分散式人工智慧又成分散式問題解決(distributed problem solving, DPS)和多代理人系統(multi-agent systems)兩個部份被廣泛討論，下面將就代理人系統分成單代理人系統和多代理人系統兩種來介紹。

單代理人系統比較簡單，也比較傾向解決自己內部的問題，在整個外界環境中，自主的透過偵測器(sensors)蒐集外部環境資訊，在內部則使用自己的領域知識(domain knowledge)做出符合自己目標的處理、決策並直接反應(effectors)到外界環境上，期許結果能夠達到自己的目標。圖 3.2 為一個單代理人系統的架構圖。

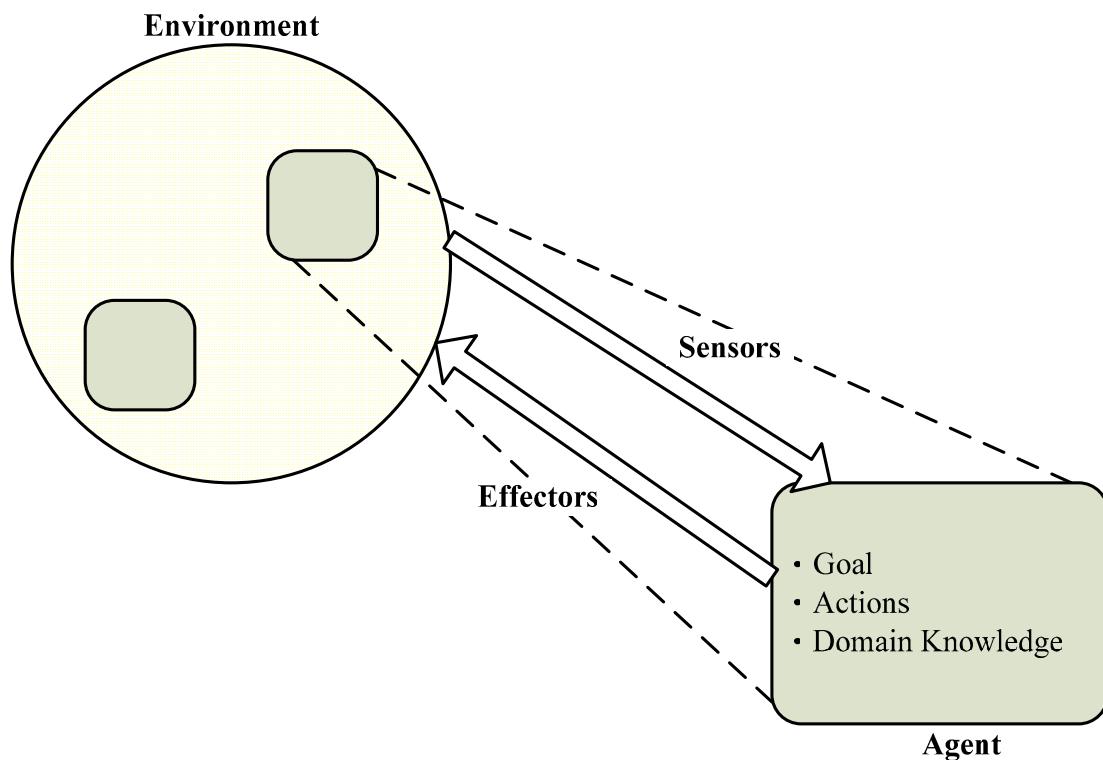


圖 3.2 單代理人系統架構圖

多代理人(multi-agent)系統是近年來在人工智慧的研究中，引起相當多討論的一種概念，其概念為利用電腦模擬人類的社會行為，例如：互相合作、競爭資源等，以達成某一特定目的。多代理人之研究著重在一群分散於網路中的問題解決者，如何透過之間的行為互動、本身的能力以及對於週遭環境的認知來解決問題。而這些問題解決者通常稱之為代理人。因此，代理人與代理人之間的互動就會是多代理人系統研究領域中的研究重點。如：合作(cooperation)、交涉協商(negotiation)、溝通(communication)與協調整合(coordination)。

代理人系統的設計和一般應用程式的設計不同之處，在於代理人系統的設計需特別注意分散式的概念；將一個單位的代理人設計完成後，系統應如何規劃以便讓多代理人間互相配合發揮最大功用，舉例而言：代理人間如何溝通、協調，代理人要如何處理自身判斷與所獲得的資訊相衝突時的情況，這些都是系統在規劃時，代理人間應該如何互相配合所必須考量的項目。當系統將這些因素都詳細規劃後，系統的彈性就相對提高。圖 3.3 表示一個多重代理人系統的架構圖。

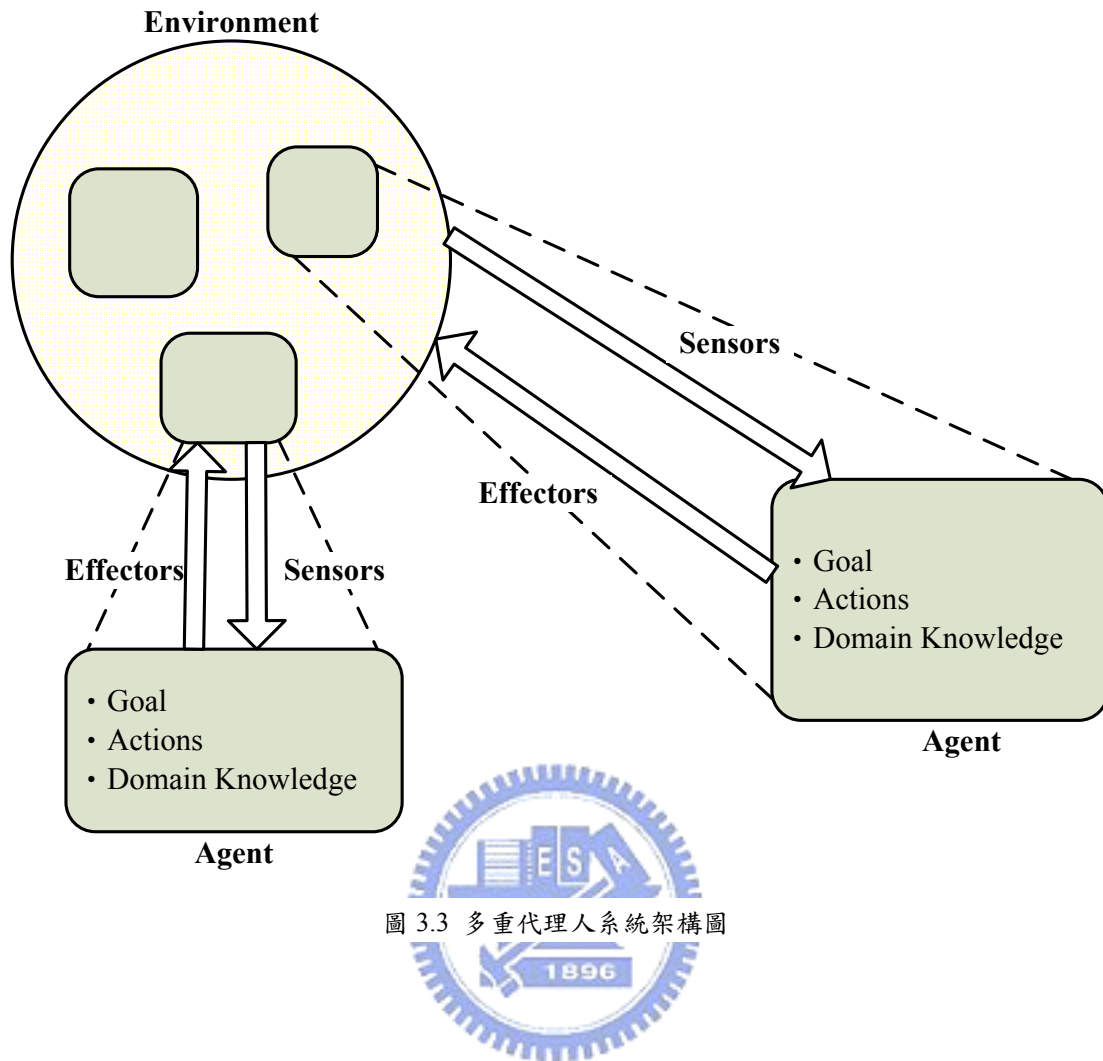


圖 3.3 多重代理人系統架構圖

3.2 多代理人系統於交通路網應用之架構

對於多代理人應用在交通路網的架構上，France 與 Ghorbani 於 2003 年提出了階層式市區交通多代理人模型[19]，如圖 3.4，對於單一路口的監控以 local traffic agents (LTAs)為主。LTA 具有獨立思考和解決問題的能力，會針對單一路口周圍的車流狀況，做出最佳號誌切換的判斷。即便 LTA 會對單一路口做出最適合的決策判斷，但對於全區的交通路網而言，此決策並不一定是最佳的判斷。因此，必須在 LTA 上再建立負責監控 LTA 的代理人 coordinator traffic agents (CTAs)。CTA 的主要功能是在協調各個 LTA 的決策，使得號誌間不會有所衝突，至使造成交通的混亂。然而，對於 CTA 而言，它的計算能力是有所限制的；為了分擔整個路網的計算量，在階層式的多代理人系統設計中，主要的計算將分散

至各個路口的 LTA，CTA 並不會有太多的運算量，但當路網擴充到足夠大時，需要多個 CTA 來分散協調各分支的 LTA 時，可在 CTA 之上再設立 global traffic agent (GTA)。當然 GTA 並非一個完全必要的代理人，僅在交通路網足夠大時，才需設立 GTA。Z. S. Yang 等人於 2005 年所提出的市區交通控制系統[24]，也同樣的使用此階層式架構進行模擬。

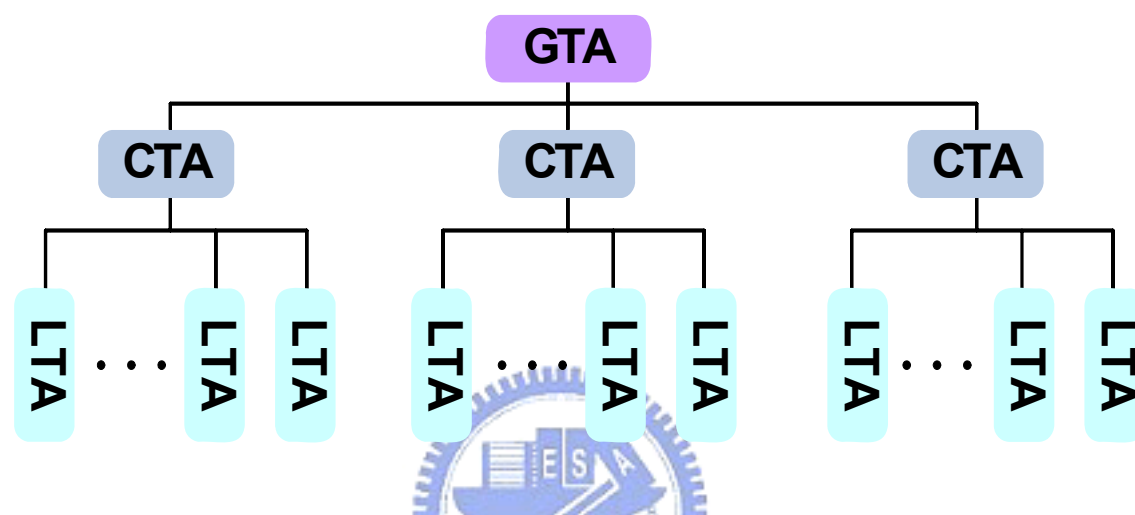


圖 3.4 階層式市區交通多代理人模型

F. Y. Wang 於 2005 年對於代理人處理網路化的交通管理系統提出了另一個架構[25]，他與 France 和 Ghorbani 的架構不同處，在於它將網路的特性考慮的更加周詳。為了確保控制代理人間存在一致的控制和通訊機制，因此必須整合和協調代理人間的行為。圖 3.5 說明代理人化的交通控制系統，在包含廣域網路 (wide-area network ; WAN)和區域網路(local-area network ; LAN)的分散式環境中操作並管理交通運輸系統。GTOC 為全區的交通控制中心，主要的功能是根据路口交通控制、感測道路所發生事件或是其他的運輸活動來發展或維護各式各樣的控制代理人；GTOC 與 RTOC 間透過 WAN 做聯繫。而每個 RTOC 是區域的交通控制中心，主要是維持一個代理人的貯藏處並派遣控制代理人至各路口控制器中。每個區域中有上百個具有網路功能的交通設備，這些設備透過 gateway 從 WAN 經由 LAN 下載控制代理人；或是經由此網路路徑將交通設備的資料或要求上傳至 RTOC。

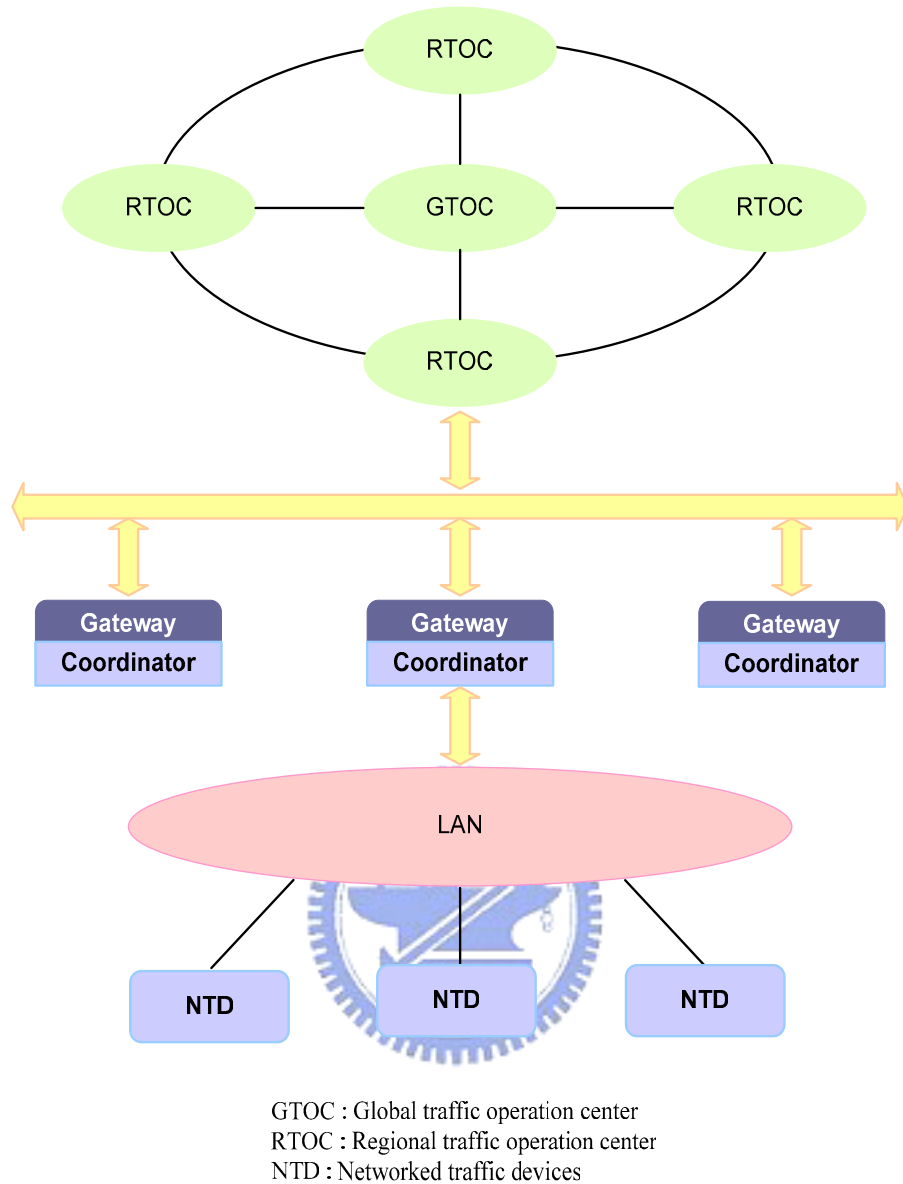


圖 3.5 代理人化的交通管理系統架構

在 F.Y. Wang 所提出的架構中，清楚界定了代理人間溝通的網路機制，這樣的方式對於應用層面清楚明瞭，但相對而言，許多不可控與未知的參數都將影響到路網的控制成果。針對目前的模擬而言，本論文採取 France 和 Ghorbani 的階層式架構，對於代理人間的網路不細分為 WAN 與 LAN，僅單純於各路口代理人間建立通訊機制。

3.3 路網建置與號誌控制器設計

3.3.1 雙路口路網建置

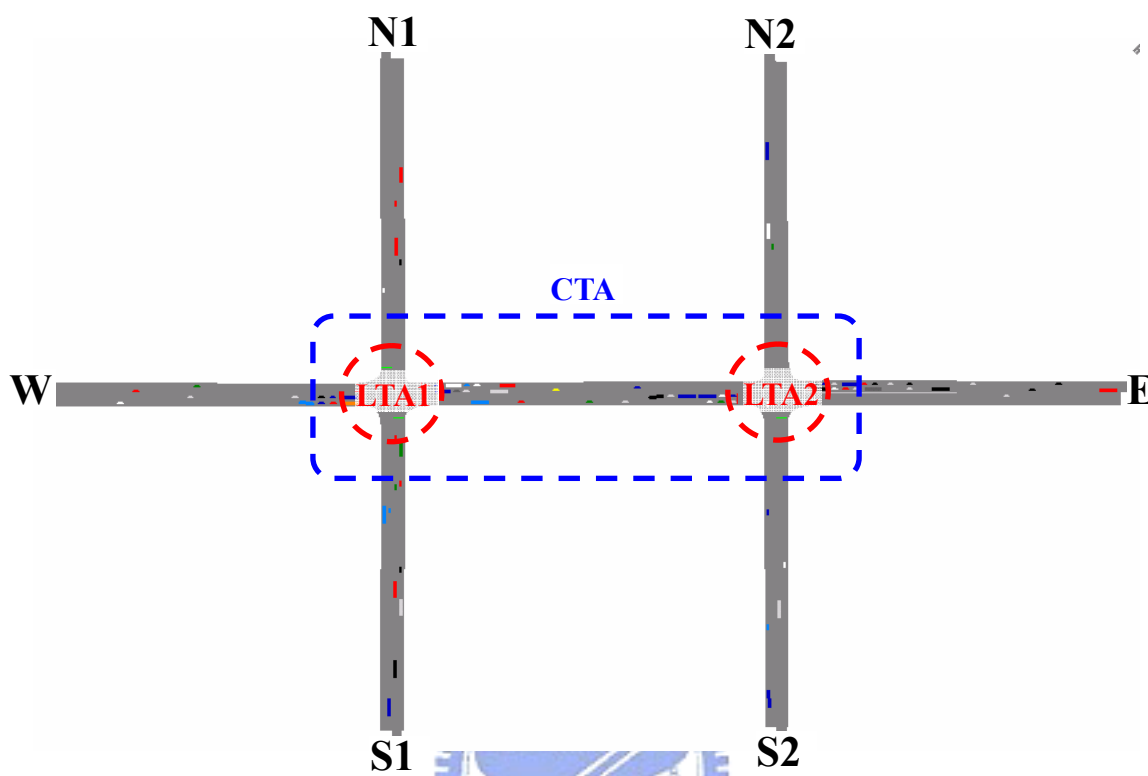


圖 3.6 雙路口交通路網

圖 3.6 為雙路口交通路網，主要以 EW、SN1、SN2 所組成，此三條道路線的延滯時間將作為路網改善程度的判斷依據。路網參數設定如下：


1. 道路線長度(Link 長度)：此路網共由 7 段 Link 所組成，而根據 2001 年公路容量手冊建議，路口間應至少大於 200 公尺需設立交通號誌，因此，將路網中的每段 Link 長度皆設定約為 200 公尺。
2. 車種組成比例：在此仍考慮 Car、Bus、HGV 三種車種，而其分別佔各發車端車種組成比例的 80%、10%、10%。此參數設定將影響到模糊運算的車輛停等長度，因此假設兩偵測器間的停等車輛數為 X ，則

$$\begin{aligned} \text{Vehicle Waiting Length} &= X * 0.8 * 4.435 + X * 0.1 * 11.54 + X * 0.1 * 10.21 \\ &= X * 5.723 \quad (\text{m}) \end{aligned} \quad (3-1)$$

$$\text{Average Vehicle Length (AVL)} = 5.723 \quad (\text{m}) \quad (3-2)$$

3. 路口轉向比：車輛於各路口的轉向比分別為直行：50%、右轉：30%及左轉：20%。
4. 號誌控制器：在此設計的號誌控制器有固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制、以及適應模糊控制結合代理人的控制方式，稱為適應模糊代理人(adaptive fuzzy agents; AF agents)。
5. 車流量：本路網共有六個放車端。於模擬過程中，東西向(EW)將隨模擬時間每 600 秒改變車流量(600→800→1000→1200→900→700 veh./hr)，南北向(SN1、SN2)車流量則分別有 400、600、800 及 1000 veh./hr，以及與東西向相同的隨時間改變車流量的五種情形，比較各號誌控制器在不同車流狀態下，對於路網的改善程度。

3.3.2 代理人於雙路口之通訊機制



代理人在控制路口號誌時是彼此獨立地，也就是說當代理人進入模糊控制運算的時候，所有的數值不會受到其他路口代理人的影響。但對於建立一個階層式架構的多代理人系統，如何在兩個代理人間建立溝通的通道，VISSIM 提供了 Signal Control Communication 的功能，主要的設定如下：

對於任意兩個要建立連結的號誌控制器(signal controller；SC)，可以利用選單中的 SIGNAL CONTROL→CONTROLLER COMMUNICATION…建立連線，如圖 3.7(a)，透過 new 建立一組新的連線，而對於每一個連結都是直接由一個 SC 的輸出通道傳送至另一個 SC 的輸入通道。圖 3.7(b)為建立從 SC1 的輸出通道 channel 7 傳送資料到 SC3 的輸入通道 channel 5 間的通訊連線。值得注意的是數值從 SC1 傳送後，需要等待一秒的模擬時間，SC3 才會收到此數值，也就是說號誌間的通訊存在 1 秒的傳遞延遲。除了號誌間的通訊機制建立外，代理人間的數值傳遞仍須配合 VisVAP 的指令使用。

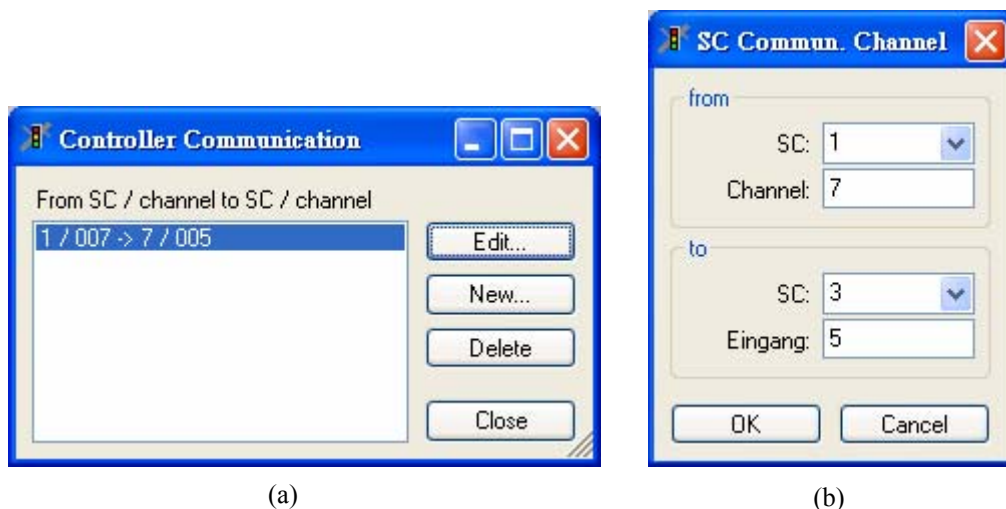


圖 3.7 號誌控制器的通訊設定

Example：在建立 SC1 到 SC3 間的通訊連線後，將透過下面 Marker_Put 與 Marker_Get 來傳送與接收資料(詳見表 2.4)。

在 SC1 的控制邏輯中，利用指令 Marker_Put(7,1)設定 channel 7 的輸出數值為 1；於 1 秒的模擬時間後，在 SC3 的控制邏輯中可以利用 Value := Marker_Get(5)經過 channel 5 將數值讀入，因此使用者自訂的變數 Value 將被訂為 1。

對於兩個路口的適應性號誌控制器設計而言，因存在兩個控制器 SC1 與 SC2，而每個控制器又分別具有兩個 stage，因此圖 3.8 中建立四個通訊通道。CTA 將透過此四個通道，把 LTA 的號誌狀態傳送給彼此，以作為協調的工具。

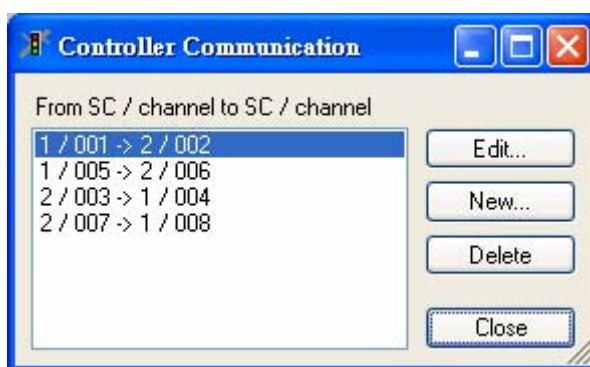


圖 3.8 雙路口號誌控制器的通訊介面

3.3.3 代理人的行為規則

考慮兩獨立路口分別存在 LTA1 與 LTA2，而這兩個代理人皆以適應模糊控制作為其運算法則，因此可以將這兩個代理人歸類為具有獨立思考計算能力的智

慧型代理人，其主要的功用在觀察所在路口車流狀況與號誌時間，做出變號的決策。於此兩個 LTA 上將建立 CTA，CTA 主要將負責協調兩路口的變號時間，或是刻意製造出兩路口變號時間的秒差。以下將分別介紹代理人根據路口狀況和彼此間的通訊會有的行為規則：

1. Rule 1：獨立運算規則

各路口代理人具有獨立運算的能力，以等待車輛的長度及燈號的 Cycle Time 作為適應模糊控制的輸入參數，當 LTA 決定變號時，會將變號訊息透過 CTA 發送至相鄰路口。

2. Rule 2：協調同步變號規則

LTA 決策切換號誌時，會將變號訊息透過 CTA 發送至相鄰路口，而各路口的 agent 交換訊息約需 2 秒確認後，相鄰路口會受到 CTA 所發出的協調命令影響，隨 LTA 變號，使各路口號誌能同相變號，保持車流順暢。例如：若 LTA1 將東西向號誌變為綠燈，則 LTA2 亦隨之將東西向切為綠燈。

3. Rule 3：協調時間差規則

代理人為分散式獨立架構，因此無預設何者先行變號，僅透過 CTA 在 LTA 間協調，故可利用 CTA 協調路口間號誌變號的時間差，如：

AF agents_D4：交換訊息 2 秒 + 協調秒差 2 秒。

AF agents_D7：交換訊息 2 秒 + 協調秒差 5 秒。

4. Rule 4：Mask 規則

選定號誌在變號為綠燈若干秒內，設定 Mask，不受 CTA 協調變號的影響，由 LTA 單獨完成適應模糊控制。

3.3.4 適應性號誌控制器之設計

圖 3.9 為一個適應性號誌控制器的流程圖，其中包含了 LTA 與 CTA。LTA 主要是以適應模糊控制器作為決策法則。在進入 LTA 的運算前，控制器的每個 stage 會先透過 CTA 與鄰近路口做協調，判斷鄰近路口是否已經切換號誌為黃燈；假使透過通訊機制所得到的訊息是已經切換，則 LTA 將做出切換的決策；反之，若所得到的訊息是尚未切換，則 LTA 將進入適應模糊控制的計算，自行決定是否要切換號誌，若判定維持原燈號，系統會再次進入協調機制，以此循環計算，直至切換到另一個 stage。

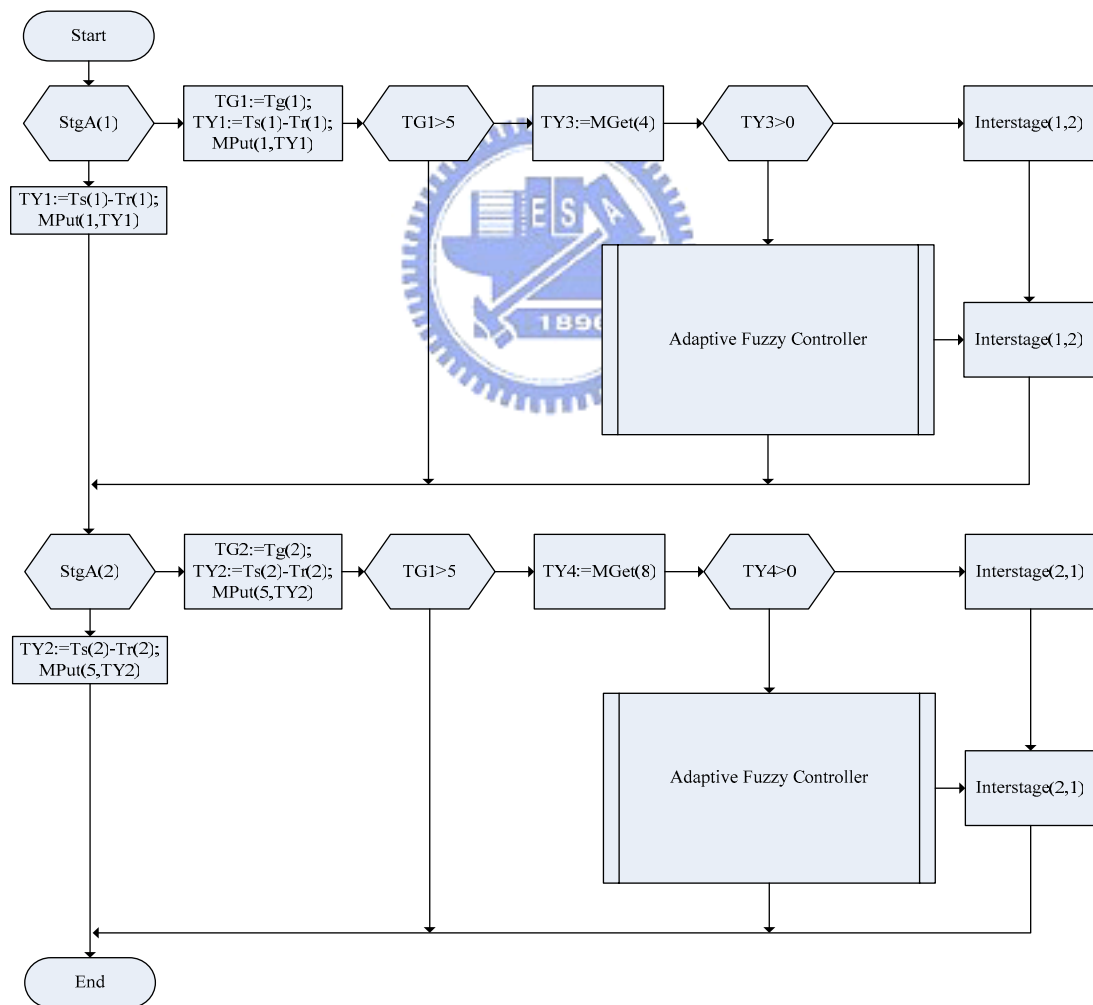


圖 3.9 適應性號誌控制器設計流程圖

3.4 模擬結果

如第二章所介紹延滯時間的量測方法，考慮兩個路口的情形，對於每個發車端(如：W)所送出的車輛而言，可能隨著轉向設定而到達其他五個終點(如：N1、S1、N2、S2、E)，因此在計算延滯時間時，會將此五條路徑的延滯時間取平均。

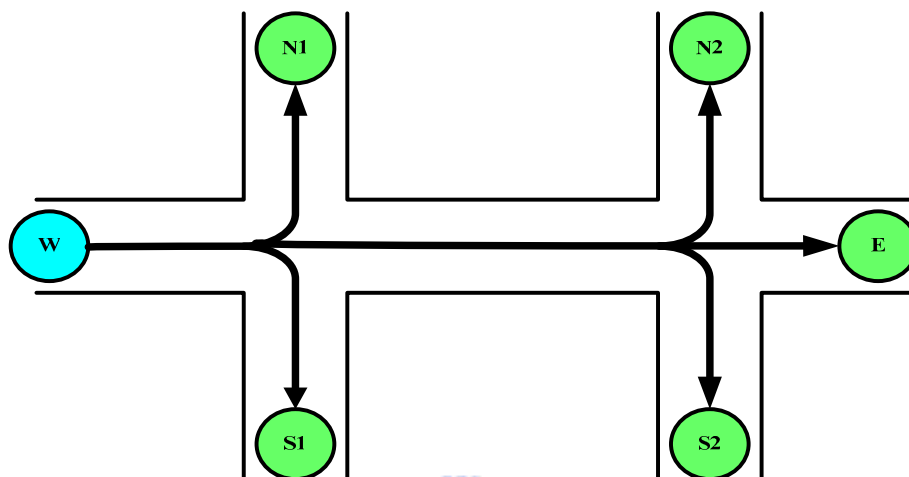


圖 3.10 六個發車端平均延滯時間

考慮在不同車流條件下，各控制器對交通路網的影響分別如表 3.1-3.5：

表 3.1 四種控制器於 E-W: Peak; S-N:400veh./hr 模擬結果

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
S-N : 400 veh./hr							
fixed-time mode	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	42.9	46.5	23.2	30	24.6	23.6
	2-norm	63.26658		37.92413		34.08988	
vehicle actuated method	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	32.4	36.6	15.3	18.4	16.7	15.8
	2-norm	48.88067		23.93011		22.98978	
adaptive fuzzy control	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	24.4	27.4	13.8	15.7	15.7	17.3
	2-norm	36.68951		20.90287		23.36193	
AF agents	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	25.6	28.4	14.4	16.8	15	15.2
	2-norm	38.23506		22.12691		21.35509	

以(2-3)式計算車輛觸動式、適應模糊控制與 AF agents 對於路網的改善率分別為 29.2%、40.2%、39.6%。

表 3.2 四種控制器於 E-W: Peak; S-N:600veh./hr 模擬結果

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
S-N : 600 veh./hr							
fixed-time mode	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	56.1	62.9	25.4	32	28.2	26.8
	2-norm	84.28298		40.85535		38.90347	
vehicle actuated method	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	46.2	40.7	18.3	22.9	20	18.3
	2-norm	61.57053		29.31382		27.10885	
adaptive fuzzy control	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	35.8	31.4	17.2	19	21	20.1
	2-norm	47.61932		25.62889		29.06906	
AF agents	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	31.8	32.8	15.8	18.2	18	18.4
	2-norm	45.68457		24.10145		25.74024	

以(2-3)式計算車輛觸動式、適應模糊控制與 AF agents 對於路網的改善率分別為 39%、37.6%、42.8%。

表 3.3 四種控制器於 E-W: Peak; S-N:800veh./hr 模擬結果

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
S-N : 800 veh./hr							
fixed-time mode	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	64.5	58.5	31.6	37.7	33.8	32.3
	2-norm	87.07755		49.19197		46.75179	
vehicle actuated method	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	50.3	39.6	21.9	28.2	29.4	24.8
	2-norm	64.01758		35.70504		38.46297	
adaptive fuzzy control	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	51.5	36.6	21	26.3	30	27.6
	2-norm	63.18077		33.65546		40.76469	
AF agents	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	41.6	38.5	23.3	23.8	25.1	24.2
	2-norm	56.68165		33.30661		34.86617	

以(2-3)式計算車輛觸動式、適應模糊控制與 AF agents 對於路網的改善率分別為 24.5%、24.8%、32.8%。

表 3.4 四種控制器於 E-W: Peak; S-N:800veh./hr 模擬結果

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
S-N : 1000 veh./hr							
fixed-time mode	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	85.7	69.2	57.6	86.1	119.4	97.7
	2-norm	110.1505		103.5904		154.2778	
vehicle actuated method	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	111.6	74.6	35.6	55.1	65.3	82.2
	2-norm	134.2376		65.60008		104.9806	
adaptive fuzzy control	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	84.3	54.6	37	50.8	55.9	84.4
	2-norm	100.4373		62.84616		101.2332	
AF agents	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	91.4	55.2	35.4	45.1	42.6	75.2
	2-norm	106.7755		57.33385		86.428	

以(2-3)式計算車輛觸動式、適應模糊控制與 AF agents 對於路網的改善率分別為 17.2%、28.1%、31.9%。

表 3.5 四種控制器於 E-W: Peak; S-N:1000veh./hr 模擬結果

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
S-N : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
fixed-time mode	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	71.9	71.2	70.5	65.8	47.9	67.5
	2-norm	101.1882		96.43594		82.76871	
vehicle actuated method	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	88.8	66.5	44.9	45.3	47.4	70.8
	2-norm	110.94		63.78166		85.20211	
adaptive fuzzy control	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	70.2	60	48.5	33.4	39.4	55.8
	2-norm	92.34739		58.88811		68.30813	
AF agents	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	65.4	62.4	32.3	54.6	45.6	52.2
	2-norm	90.39314		63.43855		69.31234	

以(2-3)式計算車輛觸動式、適應模糊控制與 AF agents 對於路網的改善率分別為 7.3%、21.7%、20.4%。

表 3.6 路網延滯時間改善率比較表

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr -- Peak					
S-N (veh./hr)	400	600	800	1000	Peak
vehicle actuated method	29.2%	39.0%	24.5%	17.2%	7.3%
adaptive fuzzy control	40.2%	37.6%	24.8%	28.1%	21.7%
AF agents	39.6%	42.8%	32.8%	31.9%	20.4%

綜合表 3.1-3.5，利用(2-3)式計算車輛觸動式、適應模糊控制、適應模糊代理人等三種控制方式，對路網延滯時間的改善率，如表 3.6。從以上的數據可知對於大多數的車流狀態，具有代理人溝通協調特性的控制器有較佳的改善成效，縮短了交通路網的延滯時間。對於多路口的控制而言，一個路口的最佳化，並不能代表全交通路網的最佳化，而需透過代理人的彼此協調才可以達到全區交通的平衡。

第四章 區域路網監控使用多代理人系統

本章將把第三章所介紹的兩個路口控制擴大至一個小型的交通路網，這個小型路網以四個路口為基本架構，利用多代理人系統強調分散式控制的特色，使每個路口的控制方法與通訊機制都延續前一章所介紹的模式，進而發揮多代理人系統易於擴充的優點。

4.1 路網建置與號誌控制器設計

4.1.1 四個路口路網建置

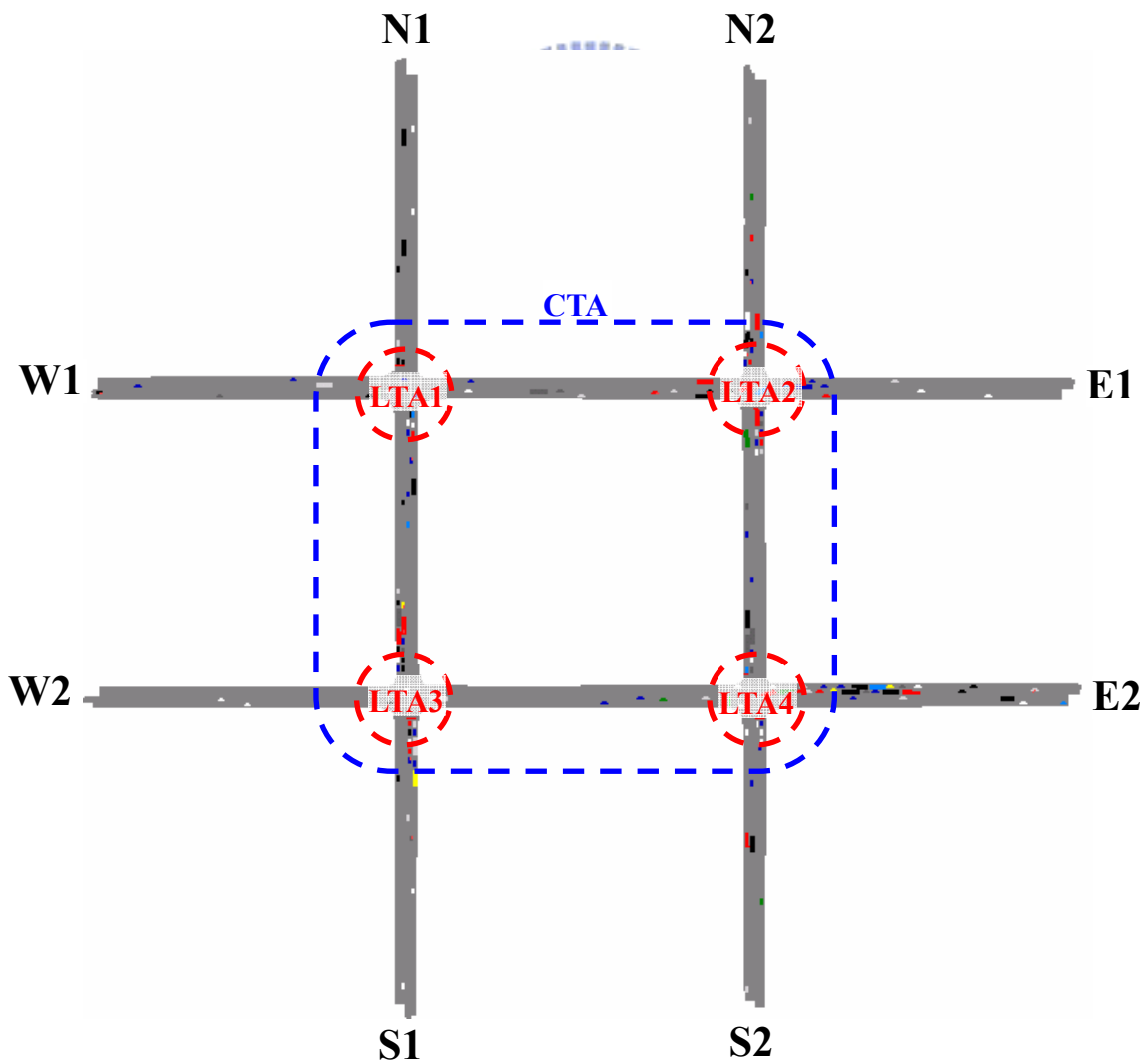


圖 4.1 四個路口交通路網

圖 4.1 為四個路口交通路網，主要以 EW1、EW2、SN1、SN2 所組成，此四條道路線的延滯時間將作為路網改善程度的判斷依據。路網參數設定如下：

1. 道路線長度(Link 長度)：此路網共由 12 段 Link 所組成，而根據 2001 年公路容量手冊建議，路口間距離應至少大於 200 公尺，才需設立交通號誌，因此，將路網中的每段 Link 長度皆設定約為 200 公尺。
2. 車種組成比例：在此仍考慮 Car、Bus、HGV 三種車種，而其分別佔各發車端車種組成比例的 80%、10%、10%。此參數設定將影響到模糊運算的車輛停等長度，因此假設兩偵測器間的停等車輛數為 X ，則

$$\begin{aligned}\text{Vehicle Waiting Length} &= X * 0.8 * 4.435 + X * 0.1 * 11.54 + X * 0.1 * 10.21 \\ &= X * 5.723 \quad (\text{m})\end{aligned}\quad (4-1)$$

$$\text{Average Vehicle Length (AVL)} = 5.723 \quad (\text{m}) \quad (4-2)$$

3. 路口轉向比：車輛於各路口的轉向比分別為直行：50%、右轉：30%、左轉：20%。
4. 號誌控制器：在此設計的號誌控制器有固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制以及適應模糊代理人的控制方式。在 4.3 節會延伸 adaptive fuzzy agents 的應用，透過代理人的協調，製造相鄰路口間號誌切換的時間差，分別有秒差 4 秒的 AF agents_D4 與秒差 7 秒的 AF agents_D7 兩種情形。
5. 車流量：本路網共有 8 個放車端。東西向(EW1、EW2)車流設定為 Peak1，而南北向(SN1、SN2)車流量有 400、600、800、1000 及 Peak1 等情形，其中 Peak1 是隨模擬時間每 600 秒改變車流量 400→600→800→1000→700→500 veh./hr。之後會進一步將東西向(EW1、EW2)與南北向(SN1、SN2)車流量分別設定為 200、400、600、800、1000 及 1200 veh./hr 等六

種情形，比較各號誌控制器在不同車流狀態下，對於路網的改善程度。

4.1.2 代理人於四個路口之通訊機制

VISSIM 建立交通路網通訊機制的方法已於 3.3.2 節作了詳細的介紹。因此，本節將使用相同的建置方法，於四個路口之上設立號誌間的通訊通道。對於四個路口的適應性號誌控制器設計而言，每個路口的 LTA 分別代表了四個獨立的控制器 SC1、SC2、SC3 與 SC4，控制器除了針對具有的兩個 stage 做控制之外，每個 stage 在進行號誌運算時，都需要與鄰近的路口做資料交換。因此，在四個路口的交通路網中，除了與東西向路口通訊外，南北向的鄰近路口也必須列入考慮，所以在表 4.1 中建立 16 個通訊通道。CTA 將透過此 16 個通道，把 LTA 的號誌狀態傳送到鄰近周圍路口，以作為協調的資料數據。

表 4.1 四路口號誌通訊通道表

Signal Controller (SC)	Stage	From	SC/channel	to	SC/channel
SC1 (LTA1)	Stage_1	From	1/001	to	2/002
			1/001		3/004
	Stage_2	From	1/005	to	3/006
			1/005		2/008
SC2 (LTA2)	Stage_1	From	2/009	to	1/010
			2/009		4/012
	Stage_2	From	2/013	to	4/014
			2/013		1/016
SC3 (LTA3)	Stage_1	From	3/017	to	4/018
			3/017		1/020
	Stage_2	From	3/021	to	1/022
			3/021		4/024
SC4 (STA4)	Stage_1	From	4/025	to	3/026
			4/025		2/028
	Stage_2	From	4/029	to	2/030
			4/029		3/032

透過上表 4.1 所建立的 CTA 通訊通道，將 3.3.3 節所介紹的代理人行為規則延伸到四個路口的小型路網上，主要的不同在兩個路口時僅需考慮東西兩個代理人的溝通協調，當路網擴增為四個路口時，除了原先設定之東西向，還須包含南北向路口的協調。

4.2 模擬結果

如 3.4 節所介紹延滯時間的量測方法，將兩個路口的情形擴張至四個路口，對於每個發車端(如：W1)所送出的車輛而言，可能隨著轉向設定而到達其他 7 個終點(如：N1、S1、N2、S2、E1、E2、W2)，如圖 4.2 所示，因此在計算延滯時間時，會以此 7 條路徑的平均延滯時間作為指標。

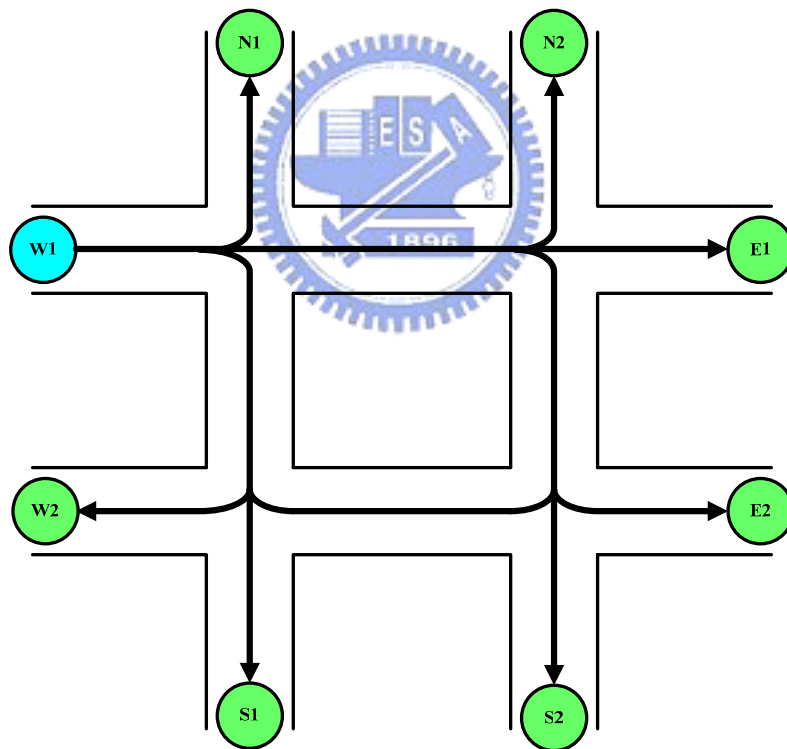


圖 4.2 八個發車端平均延滯時間

本節將細分為兩個小節，首先在 4.2.1 節中將模擬東西向車流為隨時間改變的 Peak1(400→600→800→1000→700→500 veh./hr)時，南北向車流量分別為 400、600、800、1000 及 Peak1 等情形下，固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制與適應模糊代理人等四種方式對於交通路網所造成的延滯時間。於 4.2.2 節會

進一步分析東西向與南北向車流固定時，上述四種號誌控制方式對於延滯時間的影響。

4.2.1 控制器於變動車流下的模擬結果

本節將模擬東西向為隨時間變動車流下，四種控制器對於交通路網所製造延滯時間，如表 4.2-4.6。其中車流量 Peak1 為 400→600→800→1000→700→500 veh./hr。

表 4.2 四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:400veh./hr 的延滯時間

E-W : 400→600→800→1000→700→500 veh./hr – Peak1					
S-N : 400 veh./hr					
	E1-W1	E2-W2	N1-S1	N2-S2	Total
fixed-time mode	63.3	59.9	47.0	48.8	219.0
vehicle actuated	43.8	40.2	32.5	34.1	150.6
adaptive fuzzy	38.3	36.7	33.6	35.2	143.8
AF agents	39.7	35.5	31.6	31.0	137.8

表 4.3 四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:600veh./hr 的延滯時間

E-W : 400→600→800→1000→700→500 veh./hr – Peak1					
S-N : 600 veh./hr					
	E1-W1	E2-W2	N1-S1	N2-S2	Total
fixed-time mode	66.6	60.4	48.7	54.6	230.3
vehicle actuated	47.5	43.8	37.2	41.7	170.2
adaptive fuzzy	42.9	39.5	39.0	39.8	161.2
AF agents	41.7	40.8	36.4	39.0	157.9

表 4.4 四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:800veh./hr 的延滯時間

E-W : 400→600→800→1000→700→500 veh./hr – Peak1					
S-N : 800 veh./hr					
	E1-W1	E2-W2	N1-S1	N2-S2	Total
fixed-time	71.3	61.8	60.3	74.6	268.0
vehicle actuated	51.7	49.7	47.3	60.3	209.0
adaptive fuzzy	54.1	44.7	44.0	57.1	199.9
AF agents	52.4	47.0	44.7	52.8	196.9

表 4.5 四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:1000veh./hr 的延滯時間

E-W : 400→600→800→1000→700→500 veh./hr – Peak1					
S-N : 1000 veh./hr					
	E1-W1	E2-W2	N1-S1	N2-S2	Total
fixed-time	96.3	95.4	109.7	184.6	486.0
vehicle actuated	71.0	65.3	69.2	113.0	318.5
adaptive fuzzy	69.2	60.9	60.9	84.1	275.1
AF agents	66.4	59.3	63.9	74.4	264.0

表 4.6 四路口控制器於 E-W: Peak1; S-N:Peak1 的延滯時間

E-W : 400→600→800→1000→700→500 veh./hr – Peak1					
S-N : Peak1					
	E1-W1	E2-W2	N1-S1	N2-S2	Total
fixed-time	74.5	70.5	58.7	83.4	287.1
vehicle actuated	61.5	60.2	46.1	59.1	226.9
adaptive fuzzy	52.0	50.8	47.6	54.3	204.7
AF agents	52.0	51.8	43.4	59.7	206.9

從上表 4.2-4.6 整理車輛觸動式、適應模糊控制與適應模糊代理人控制三種控制器相對於固定時制的改善率，如表 4.7。從表 4.7 中可看出，適應模糊代理人的控制方式對於大多數的車流情形皆是最佳的控制方法，而唯一比適應模糊控制差的情形，發生在東西向與南北向皆為 Peak1 的情形，但比較兩者間的改善率後，發現兩者僅相差 0.7%。

表 4.7 四路口交通路網延滯時間改善率比較表

E-W : 400→ 600→ 800→ 1000→ 700→ 500 veh./hr – Peak1					
S-N (veh./hr)	400	600	800	1000	Peak1
vehicle actuated	31.2%	26.1%	22.0%	34.5%	21.0%
adaptive fuzzy	34.3%	30.0%	25.4%	43.4%	28.7%
AF agents	37.1%	31.4%	26.5%	45.7%	28.0%

進一步增加東西向的最大車流量為 1200 veh./hr，即東西向車流量改變後為 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr，稱為 Peak2。模擬於此條件下，四種控制器對於交通路網的影響，如表 4.8。從中發現模糊代理人對於南北向車流為 400、600、800 veh./hr 與 Peak2 時，皆能有效縮短全區交通路網的延滯時間。

表 4.8 四路口控制器於 E-W: Peak2 的延滯時間

E-W : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr – Peak2				
S-N	400 veh./hr	600 veh./hr	800 veh./hr	Peak2
fixed-time	249.8	313.5	366.7	580.3
vehicle actuated	180.7	218.1	321.4	501.5
adaptive fuzzy	166.9	202.9	291.9	489.0
AF agents	160.0	194.9	271.6	455.4

4.2.2 控制器於固定車流下的模擬結果

從 4.2.1 節中大致了解控制器於變動車流下的控制成效後，4.2.2 節將進一步分析控制器分別在不同固定車流下的效用，因此將東西向的車流量固定為 200、400、600、800、1000 與 1200 veh./hr，依次改變南北向的車流量，上述的車流量組合共有 36 種，於此 36 種車流組合模式下，比較固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制與適應模糊代理人等四種不同控制方式，其結果如表 4.9-4.14。表格中藍色數值代表此車流模式下最佳的控制方式；綠色數值代表此兩組值僅存在小數位元的差異；紅色數值代表控制器已無法處理此車流模式，造成嚴重塞車。

表 4.9 四路口控制器於 E-W: 200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 200 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
fixed-time	182.1	186.2	197.3	214.9	287.2	448.8
vehicle actuated	112.5	120.0	130.9	151.2	199.2	314.1
adaptive fuzzy	112.0	121.1	132.8	148.9	174.2	222.2
AF agents	105.9	115.1	128.0	140.5	176.8	217.9

表 4.10 四路口控制器於 E-W: 400 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 400 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
fixed-time	191.2	197.3	208.5	230.5	338.9	905.2
vehicle actuated	121.0	128.1	144.4	166.4	221.9	359.0
adaptive fuzzy	120.9	128.8	141.7	155.4	190.9	271.1
AF agents	115.3	125.6	136.5	154.6	197.6	260.5

表 4.11 四路口控制器於 E-W: 600 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 600 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
fixed-time	197.0	203.5	216.8	253.1	433.6	1162.4
vehicle actuated	132.8	139.9	158.8	184.8	275.5	1728.6
adaptive fuzzy	120.6	137.5	152.7	174.8	226.8	379.7
AF agents	122.6	136.8	151.3	170.8	237.5	396.7

表 4.11 中，對於整個路網 S-N 車流量為 1200 veh./hr 時，固定時制與車輛觸動式兩種方式已無法處理，造成整個路口嚴重壅塞。

表 4.12 四路口控制器於 E-W: 800 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 800 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
fixed-time	218.8	225.9	242.7	283.9	1216.6	1724.3
vehicle actuated	148.4	163.0	179.2	233.5	455.0	1419.9
adaptive fuzzy	132.7	155.1	174.7	211.2	342.4	604.3
AF agents	133.2	148.7	172.9	211.9	306.7	993.9

表 4.12 中，對於整個路網 S-N 車流量為 1200 veh./hr 時，固定時制、車輛觸動式與適應模糊代理人控制三種方式已無法處理，造成整個路口嚴重壅塞，至於原本適應模糊控制的方式，雖然為四種方式中最佳選擇，但模擬過程中仍會造成無法產生所有輸入車輛的錯誤訊息。而在 S-N 車流量為 800 veh./hr 時，適應模糊控制與適應模糊代理人控制間的延滯時間相差不大。

表 4.13 四路口控制器於 E-W: 1000 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 1000 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
fixed-time	285.0	297.7	359.9	547.7	1249.5	X
vehicle actuated	182.0	220.0	278.0	379.8	1512.9	
adaptive fuzzy	152.0	179.9	229.9	320.7	1910.4	
AF agents	157.9	173.3	221.3	299.2	795.2	

表 4.14 四路口控制器於 E-W: 1200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 1200 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
fixed-time	442.0	344.5	512.7	607.0	X	X
vehicle actuated	310.6	344.5	455.3	714.8		
adaptive fuzzy	209.2	253.0	344.2	1732.0		
AF agents	204.0	248.5	349.4	787.2		

表 4.13 中車流量為 1200 veh./hr 與表 4.14 中 S-N 車流量為 1000 及 1200 veh./hr 時，由於控制器已無法解決這些車流狀況，而造成路網癱瘓，所以量測到的數據並不具有太大意義。

整理上述表 4.9-4.14 數據繪製圖 4.3，比較固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制與適應模糊代理人四種控制方法，在上述 36 種固定東西向與南北向車流模式下，何種控制方法能得到最好的控制效果。橫軸為東西向車流量(veh./hr)，縱軸為南北向車流量(veh./hr)。

從圖 4.3 中可以明顯看出在 36 個狀況下，適應模糊代理人的控制對於大多數的車流情形會是最佳的控制方式，佔了 22 個狀況。但當 S-N 車流量為較高(1000 veh./hr 以上)或較低(200 veh./hr)時，單純的適應模糊控制似乎比較能處理這些情況，佔了 10 個狀況，另有 1 個在重車流量時，選擇固定時制為佳以及 3 個無法控制的狀況。綜合以上各點，適應模糊代理人的控制方式能處理大多數中等車流量(400-800 veh./hr)的情形。

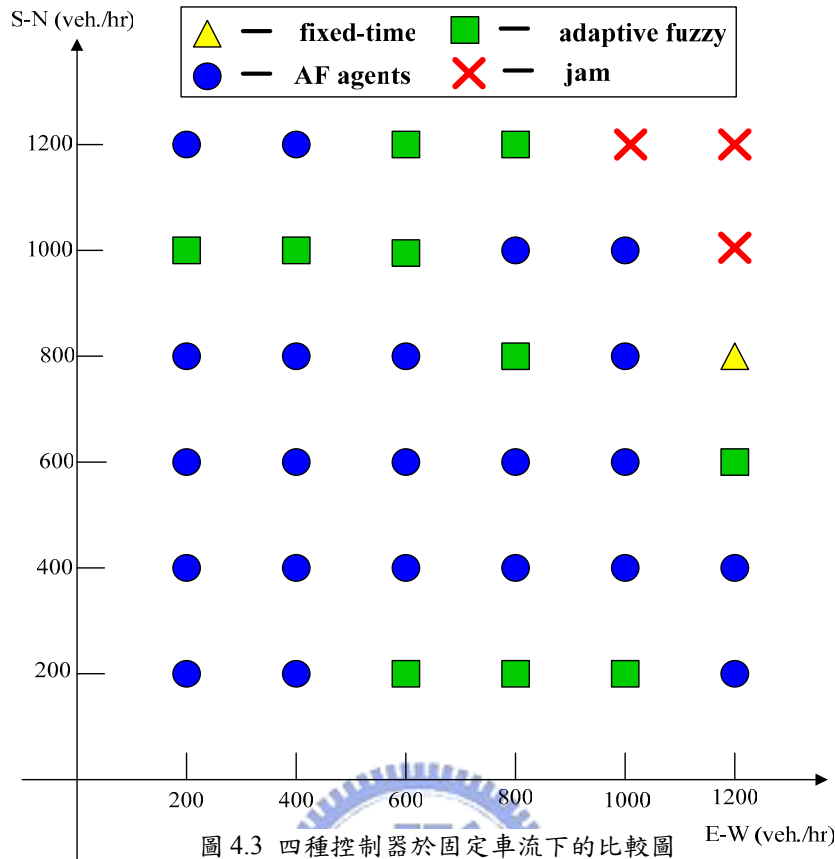


圖 4.3 四種控制器於固定車流下的比較圖

4.3 協調號誌時間差變號的控制方法

本節將進一步發揮 CTA 協調鄰近路口切換號誌的功能，CTA 會於前一路口為黃燈結束(AF agents_D4)或對向綠燈開始(AF agents_D7)後，將協調時間差變號訊息發送給鄰近路口。以之前所介紹的適應模糊代理人為基礎，延伸各路口協調變號的時間差，由於適應模糊代理人在主路口變號為黃燈第 1 秒，CTA 即發出變號的訊息給鄰近路口的 LTA，鄰近路口的 LTA 也在等待此訊息，但由於傳遞延遲 1 秒，也就是鄰近路口將在主路口切換為黃燈的第 2 秒才會切換為黃燈，因此適應模糊代理人的控制方式基本上存在了交換訊息的 2 秒時間差，因此為了與其他的時間差控制器做比較，在本節中定義適應模糊代理人為 AF agents_D2。而 AF agents_D4 與 AF agents_D7 的協調秒差如下：

AF agents_D4：交換訊息 2 秒 + 協調秒差 2 秒。

AF agents_D7：交換訊息 2 秒 + 協調秒差 5 秒。

為了探討協調時間差變號對於路網的影響如何，我們將在 4.3.1 節中討論市

區連結郊區道路交通在上下班的車流情形，觀察以固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制、AF agents_D2、AF agents_D4 與 AF agents_D7 等交通路網控制法則，在此車流狀況下的控制成效。4.3.2 節進一步討論 4.2 節所提出的 36 種固定車流的狀況，觀察各時間差控制器的改善率。4.3.3 節將結合兩種不同的秒差控制器，根據入口端輸入車流停等長度，切換 AF agents_D2 與 AF agents_D4 兩種控制方式。

4.3.1 市區連結郊區道路

利用模擬市區連結郊區道路上下班的交通情形，說明 CTA 協調號誌秒差變號的效用，將東向西與西向東的車流量大小設定不同，比較各控制器對交通路網的影響與秒差變號的功效，如表 4.15 所示。

表 4.15 控制器於上下班車流狀態的延滯時間表

West to East : 1000 veh./hr		East to West : 400 veh./hr					
S-N : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
fixed-time mode	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	35.5	40.1	67.2	56.5	47.9	68.6
	2-norm	53.55614		87.79573		83.66821	
vehicle actuated method	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	26.8	95	26.9	42.8	32.2	39.4
	2-norm	98.70785		50.55146		50.88418	
adaptive fuzzy control	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	26.3	50.8	21.6	57.6	26	33.7
	2-norm	57.20428		61.51683		42.56395	
AF agents_D2	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	26.8	60.3	27	52.3	22.4	48.4
	2-norm	65.98735		58.85822		53.33217	
AF agents_D4	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	26.6	45.6	28.6	36.5	27.3	32.6
	2-norm	52.79129		46.37036		42.52117	
AF agents_D7	direction	E	W	N1	S1	N2	S2
	delay	25.6	59.4	27.3	49.3	20.9	51.3
	2-norm	64.68168		56.35406		55.39404	

交通路網於上下班時，車流往往會朝特定方向前進，而反向的車流通常要小的許多，因此在車流量設定上，將東向西車流設定為 400 veh./hr，西向東車流設定為 1000 veh./hr。根據(2-3)式比較表 4.15 中，各控制器相對固定時制的改善率，如表 4.16 所示：

表 4.16 上下班車流延滯時間改善率

W → E : 1000 veh./hr E → W : 400 veh./hr	
S-N : 600 → 800 → 1000 → 1200 → 900 → 700 veh./hr	
vehicle actuated method	11.1%
adaptive fuzzy control	28.3%
AF agents_D2	20.8%
AF agents_D4	37.0%
AF agents_D7	21.6%

觀察表 4.15 各控制器東西向延滯時間的 2-norm 值發現，除了 AF agents_D4 的情形外，其他控制方法對於單向車流較大的控制效果，並沒有比傳統固定時制的方式來的好。反觀 CTA 協調秒差 4 秒變號的 AF agents_D4 控制方式，與固定時制比較其在東西向延滯時間的改善率，計算得到改善 1.4%。但若將提高秒差至 7 秒，控制成效反而沒有秒差 4 秒來的好，分析原因在於秒差增加的越大，CTA 協調機制的功用越不明顯，進而近乎於兩個獨立的適應模糊控制器；換言之，當秒差增加為 7 秒，則先變號之路口可能於模擬過程中，將一再維持先變號的角色，造成在此路口停等車輛必須等待 LTA 運算做出切換號誌的決策，而拉長了車輛停等的時間。進一步從表 4.16 中，觀察了解全區交通路網的改善率，AF agents_D4 是所有控制器中最佳的，改善率高達 37%。因此，適當地加入秒差變號處理，可以縮短路網的延滯時間，並使交通車流更為順暢。

至於固定時制在東西向的延滯時間為何會比較短，由表 4.17-4.18 的比較中得知，固定時制在處理車流較輕的情形下，會有較佳的改善成效，但同時也延長南北向車輛的停等時間，使整個路網的延滯時間增大；當車流量變大時，固定時制則不再是最佳的號誌控制器，由其它的智慧型控制器所取代。而雙向車流不同

時，則是在這些條件相互影響下，所模擬得到的控制結果。

表 4.17 東西向延滯時間比較表

S-N : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr							
E → W & W → E (veh./hr)		E=400	W=1000	E=400	W=400	E=1000	W=1000
fixed-time mode	delay	35.5	40.1	26.4	22.1	89.8	78.1
	2-norm	53.55614		34.4292		119.0111	
vehicle actuated method	delay	26.8	95	25.7	31.5	103	101.9
	2-norm	98.70785		40.65391		144.8883	
adaptive fuzzy control	delay	26.3	50.8	22.3	28.7	68.1	39.8
	2-norm	57.20428		36.34529		78.87744	
AF agents_D2	delay	26.8	60.3	25.4	26.3	59	48.2
	2-norm	65.98735		36.56296		76.18556	
AF agents_D4	delay	26.6	45.6	24.6	26.7	78.3	55
	2-norm	52.79129		36.30496		95.68641	
AF agents_D7	delay	25.6	59.4	24.1	27.1	63.2	44.5
	2-norm	64.68168		36.26596		77.29483	

根據上表 4.17 的模擬數據，比較各控制器相對固定時制東西向延滯時間的改善率，如表 4.18 所示：

表 4.18 東西向於上下班車流延滯時間改善率

S-N : 600→800→1000→1200→900→700 veh./hr						
E → W & W → E (veh./hr)	E=400	W=1000	E=400	W=400	E=1000	W=1000
vehicle actuated method	-84.3 %		-18.1 %		-21.7 %	
adaptive fuzzy control	-6.8 %		-5.6 %		33.7 %	
AF agents_D2	-23.2 %		-6.2 %		36.0 %	
AF agents_D4	1.4 %		-5.44 %		19.6 %	
AF agents_D7	-20.8 %		-5.3 %		35.1 %	

4.3.2 協調秒差變號於固定車流下的模擬結果

本節將討論鄰近路口在接獲主路口變號為黃燈後，協調時間秒差變號對交通路網的影響。比較 AF agents_D2、AF agents_D4 與 AF agents_D7 於 36 種固定車流狀況下，對於整個交通路網延滯時間的影響。表格中藍色數值代表此車流模式下最佳的控制方式；綠色數值代表此兩組值僅存在小數位元的差異；紅色數值代表控制器已無法處理此車流模式，造成嚴重塞車。

表 4.19 協調秒差變號於 E-W: 200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 200 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
AF agents_D2	105.9	115.1	128.0	140.5	176.8	217.9
AF agents_D4	105.4	116.4	126.8	142.4	188.4	215.3
AF agents_D7	109.2	117.9	133.87	149.0	168.6	211.0

表 4.20 協調秒差變號於 E-W: 400 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 400 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
AF agents_D2	115.3	125.6	136.5	154.6	197.6	260.5
AF agents_D4	113.6	125.1	137.8	152.3	183.8	266.0
AF agents_D7	117.6	127.8	138.8	155.5	187.6	270.0

表 4.21 協調秒差變號於 E-W: 600 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 600 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
AF agents_D2	122.6	136.8	151.3	170.8	237.5	396.7
AF agents_D4	124.7	134.5	149.7	175.2	235.4	390.0
AF agents_D7	132.0	134.8	158.6	180.5	240.0	422.4

表 4.22 協調秒差變號於 E-W: 800 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 800 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
AF agents_D2	133.2	148.7	172.9	211.9	306.7	993.9
AF agents_D4	135.3	150.8	173.5	216.8	367.1	1670.3
AF agents_D7	138.6	153.1	176.0	228.3	324.8	1586.4

表 4.23 協調秒差變號於 E-W: 1000 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 1000 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
AF agents_D2	157.9	173.3	221.3	299.2	795.2	X
AF agents_D4	153.7	181.9	222.9	327.1	812.3	
AF agents_D7	159.3	183.6	220.4	296.8	723.1	

表 4.24 協調秒差變號於 E-W: 1200 veh./hr; S-N 六種車流模式的延滯時間

E-W: 1200 veh./hr						
S-N	200	400	600	800	1000	1200
AF agents_D2	204.0	248.5	349.4	787.2	X	X
AF agents_D4	205.3	229.7	383.8	697.2		
AF agents_D7	206.8	248.3	331.2	727.1		

利用表 4.19-4.24 的數據繪製圖 4.4，比較秒差控制器 AF agents_D2、AF agents_D4 與 AF agents_D7，在 36 種固定車流下，何者能縮短最多的延滯時間。

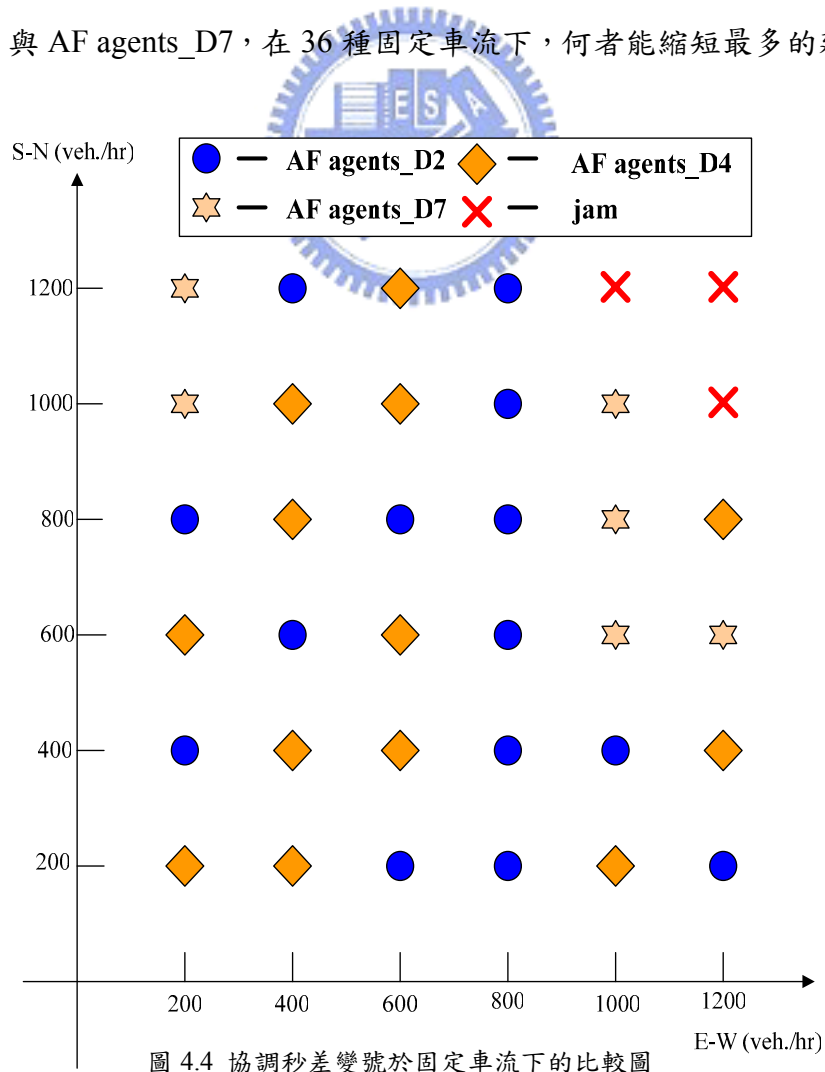


圖 4.4 協調秒差變號於固定車流下的比較圖

從圖 4.4 中可觀察出 AF agents_D2 與 AF agents_D4，對於改善路網延滯時間的成效各佔了一半。AF agents_D2 的控制方式在車流量中等時，最能看出它的控制功效，在東西向車流量固定為 800 veh./hr 時最為明顯；而 AF agents_D4 的控制方式則適用於車流量較輕的情況(600 veh./hr 以下)；至於 AF agents_D7 則是對於車流量較大時，才能發揮它的作用，在其他的車流情形下，其功效並不顯著。

總言之，在固定車流的 36 個狀況下，扣除大量車流造成壅塞的 3 個狀況外，14 個狀況以 AF agents_D2 為佳，13 個狀況以 AF agents_D4 為佳，餘 6 個狀況為以 AF agents_D7 為佳。

將圖 4.3 與圖 4.4 綜合比較上述所介紹的六種方法：固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制、AF agents_D2、AF agents_D4 與 AF agents_D7，得出不同固定車流下最佳的控制方式，如圖 4.5。

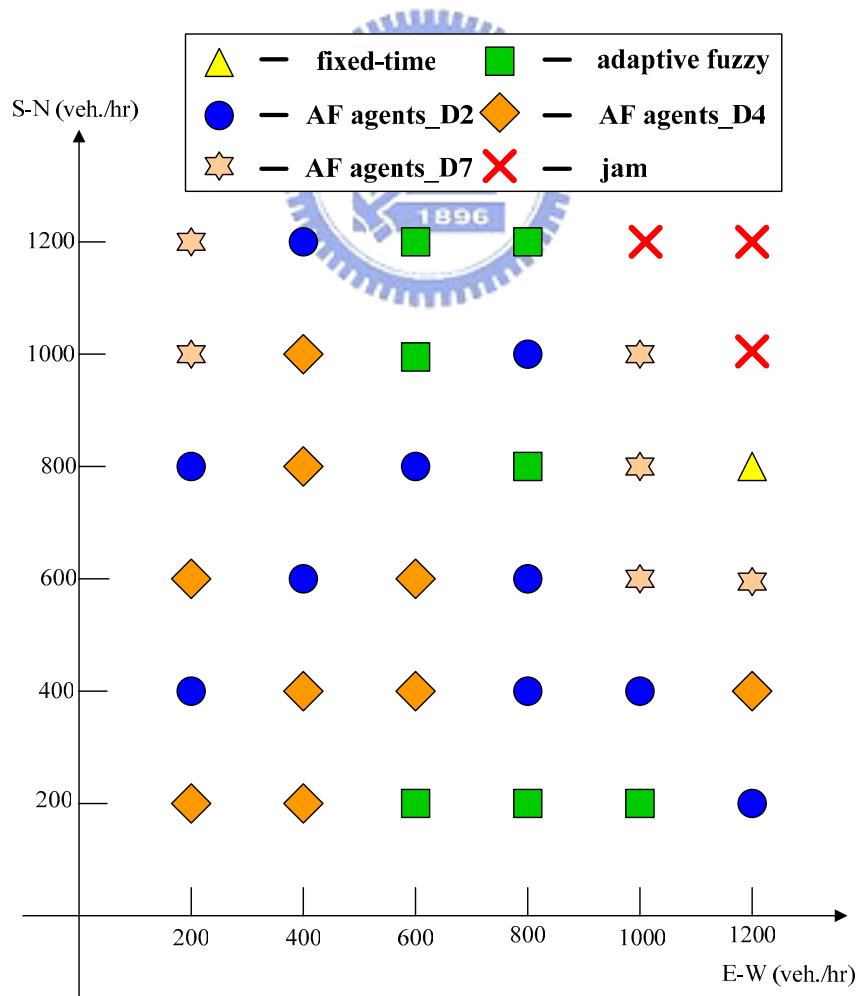


圖 4.5 控制器於固定車流下的綜合比較圖

由圖 4.5 可以看出 AF agents_D4 在東西向與南北向的車流量皆在 600 veh./hr 以下時，能有最佳的控制效果，於 36 個車流狀態中佔有 11 個。而 AF agents_D7 依舊是對車流量較大時，才能發揮它的作用，於 36 個車流狀態中佔有 6 個，但相對而言，當路網車流量過大時，容易出現產生車輛產生不完全的錯誤訊息。對於 AF agents_D2 的控制方式，在圖 4.5 中，仍保持了一定的佔有率，於 36 個車流狀態中佔有 10 個，這樣的控制方式仍在中等車流情況下，發揮最大的效用。令人感到興趣的是，秒差增加進而成為最佳控制點，所取代多為圖 4.3 中控制效果就較佳的 AF agents，而此種控制方式具有 2 秒交換訊息的延遲，故於此節中更名為 AF agents_D2，以便與其他時間差控制器做比較。因此增加秒差的控制方式並不會取代舊有適應模糊控制的最佳點，仍在 36 個車流狀態中佔有 7 個。因此，在 4.3.3 節中，將結合 AF agents_D2 與 AF agents_D4，模擬其控制成效。

4.3.3 結合不同秒差控制於固定車流下的模擬結果

從圖 4.5 得知各種秒差變號的設計多是取代適應模糊代理人的控制方式，因此為了使控制器能處理更多的車流模式，所以在此將 AF agents_D2 與 AF agents_D4 的兩種控制方法做統合，藉此保留住 AF agents_D4 在處理低車流量下的優勢，並增加 AF agents_D2 對於中等車流狀態時的處理能力。

Method: 由於 AF agents_D4 的控制方式較適合輕流量，因此 CTA 會藉由判斷車輛入口端的停等長度來決定使用何種控制方法，如下圖 4.6 藍色區塊。不同的區塊分別代表每個控制器的 stage，若 CTA 所獲得的資訊為車輛停等長度小於一半的道路線長度(約 100 公尺)，因為此時的車流量較低，所以 CTA 會決定以 AF agents_D4 作為控制方式。相反地，若 CTA 所獲得的資訊為車輛停等長度已超過一半的道路線長度，則 CTA 會決定以 AF agents_D2 的形式作為各個 LTA 運算的法則。在此將這個結合兩個控制方法的控制器稱之為 AF agents_D2/D4。

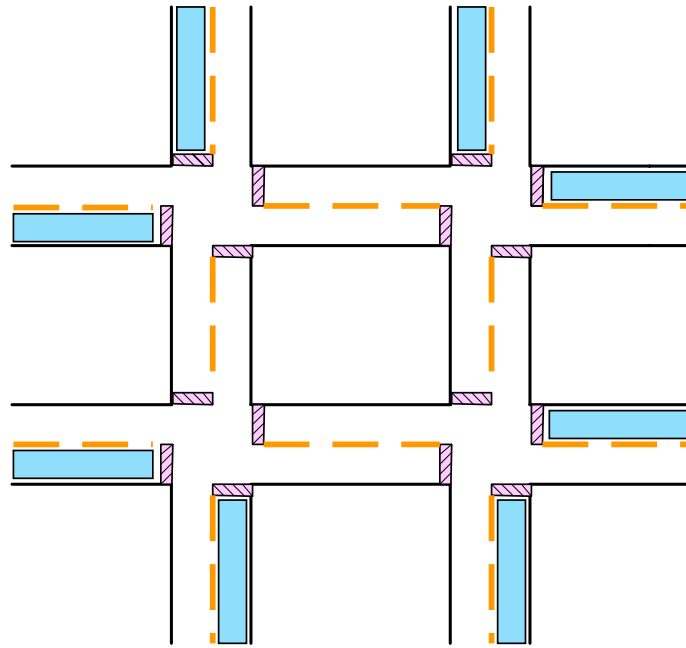


圖 4.6 車輛入口端的停等長度

利用上述的方法將兩控制器做結合後，模擬於固定車流下此控制器的控制功效，如下表 4.21。

表 4.25 AF agents_D2/D4 於固定車流模式下的延滯時間

S-N \ E-W	200	400	600	800	1000	1200
200	106.7	113.6	124.7	136.3	153.7	209.2
400	116.4	125.1	134.5	150.8	184.9	242.5
600	126.8	137.8	149.7	173.5	221.5	354.7
800	142.4	152.3	170.8	216.8	340.1	846.5
1000	188.7	183.8	233.3	347.5	724.1	X
1200	215.2	260.7	365.8	591.7	X	X

比較上述所介紹過的七種控制方法：固定時制、車輛觸動式、適應模糊控制、AF agents_D2、AF agents_D4、AF agents_D7 與 AF agents_D2/D4，於固定車流的 36 種狀況下，何者是最佳的控制方法，如圖 4.7。

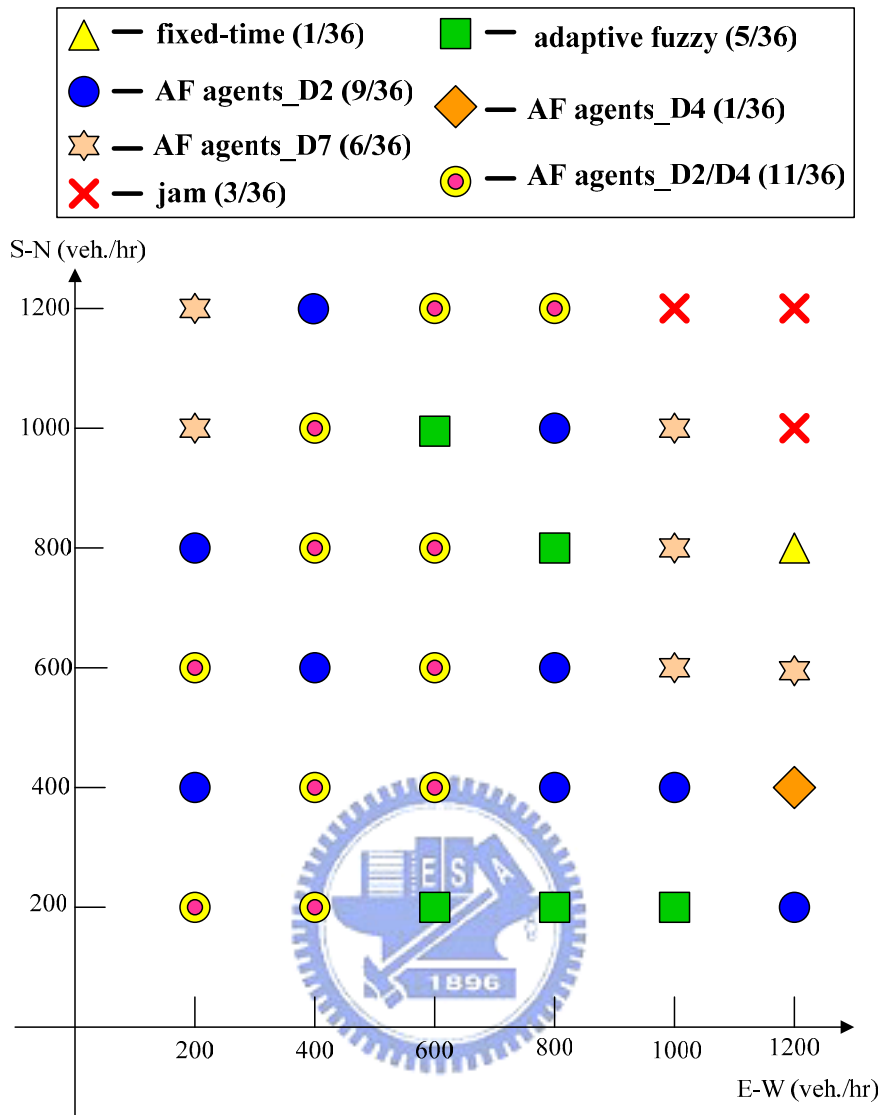


圖 4.7 AF agents_D2/D4 與其他控制器於固定車流下的綜合比較圖

AF agents_D2/D4 的控制方式除了取代了大多數 AF agents_D4 於低車流量下的最佳控制點外，還增加了處理南北向為 1200 veh./hr 的能力。再觀察表格中綠色的數值，這些數值雖然不是最短的延滯時間，但與最佳的控制方法相較，僅多出 0.2 秒的延滯時間。若以中低流量 800 veh./hr 以下 16 個狀況來看，AF agents_D2/D4 佔了 8 個最佳控制點，AF agents_D2 佔了 5 個，而適應模糊控制佔了 3 個；因此，為了處理多樣的固定車流，AF agents_D2/D4 的控制方式會是最佳的控制選擇。

最後，我們將利用適應模糊控制以及 AF agents_D2/D4 兩種控制方法，比較代理人協調機制對於交通路網於固定車流下的影響，下表 4.26 為適應模糊控制利用(2-3)式，求出相對固定時制的改善率，表 4.27 則為 AF agents_D2/D4 相對固定時制的改善率。

表 4.26 適應模糊控制於固定車流模式下的延滯時間改善率

S-N \ E-W	200	400	600	800	1000	1200
200	38.5 %	36.8 %	38.8 %	39.4 %	46.7 %	52.7 %
400	35.0 %	34.7 %	32.4 %	31.3 %	39.6 %	26.6 %
600	32.7 %	32.0 %	29.6 %	28.0 %	36.1 %	32.9 %
800	30.7 %	32.6 %	30.9 %	25.6 %	41.4 %	-185.3 %
1000	39.3 %	43.7 %	47.7 %	71.9 %	-52.9 %	
1200	50.5 %	70.1 %	67.3 %	65.0 %		

平均改善率 = 30.97 %

表 4.27 AF agents_D2/D4 於固定車流模式下的延滯時間改善率

S-N \ E-W	200	400	600	800	1000	1200
200	42.1 %	40.6 %	36.7 %	31.7 %	46.1 %	52.7 %
400	37.5 %	36.6 %	33.9 %	33.2 %	37.9 %	29.6 %
600	35.7 %	33.9 %	31.0 %	28.5 %	38.5 %	30.8 %
800	33.7 %	33.9 %	32.5 %	23.0 %	37.9 %	-39.5 %
1000	34.3 %	45.8 %	46.2 %	71.4 %	42.0 %	
1200	52.0 %	71.2 %	68.5 %	65.7 %		

平均改善率 = 38.86 %

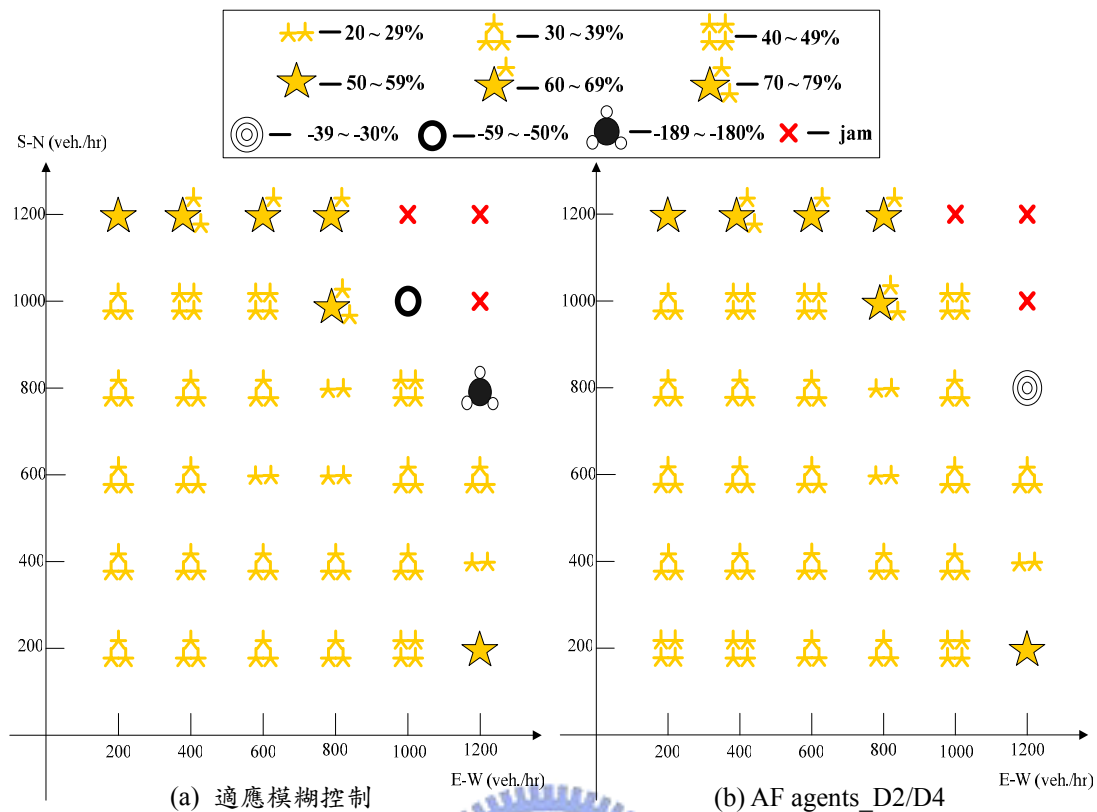


圖 4.8 適應模糊控制與 AF agents_D2/D4 於固定車流下的改善率比較圖

將表 4.26 與 4.27 整理出圖 4.8，適應模糊控制與 AF agents_D2/D4 於固定車流下的改善率比較圖，圖 4.8(a)適應模糊控制的改善率分布圖中，可以觀察在 36 個固定的車流狀況中，除了 3 個高流量的壅塞情況外，改善率在 20~29% 的有 4 個，在 30~39% 的有 18 個，40~49% 的有 3 個，50~59% 的有 2 個，60~69% 的有 2 個，70~79% 的有 2 個，但在 36 個車流狀況中，有兩個情形沒有改善——東西向為 1200 veh./hr；南北向為 800 veh./hr 與東西向和南北向皆為 1000 veh./hr，反而使延滯時間拉長。

再觀察圖 4.8(b) AF agents_D2/D4 的改善率分布圖中，可以觀察在 36 個固定的車流狀況中，除了 3 個高流量的壅塞情況外，改善率在 20~29% 的有 3 個，在 30~39% 的有 17 個，40~49% 的有 6 個，50~59% 的有 2 個，60~69% 的有 2 個，70~79% 的有 2 個，但在 36 個車流狀況中，也存在一個情形沒有改善的情形(東西向為 1200 veh./hr；南北向為 800 veh./hr)。但是，綜合以上所言，發現 AF agents_D2/D4 維持 AF agents_D4 處理低車流量時的優勢，以及發揮 AF agents_D2 處理中高車流

的優點，當車流量在(E-W, S-N)=(200, 200)、(400, 200)、(600, 600)、(1000, 1000)與(1200, 800)等控制點時，AF agents_D2/D4 的改善效果最為明顯，特別是當(E-W, S-N)=(1000, 1000)時，適應模糊控制已無法處理此種車流狀況，但 AF agents_D2/D4 卻能減少 42.0%的延滯時間。進一步比較 AF agents_D2/D4 與適應模糊控制的相對改善率，如下表 4.28 所示。

表 4.28 AF agents_D2/D4 相對適應模糊控制的改善率

S-N \ E-W	200	400	600	800	1000	1200
200	5.9 %	6.0 %	-3.4 %	-2.7 %	-1.1 %	0 %
400	3.9 %	2.9 %	2.2 %	2.8 %	-2.8 %	4.2 %
600	4.5 %	2.8 %	2.0 %	0.7 %	3.7 %	-3.1 %
800	4.4 %	2.0 %	2.3 %	-2.7 %	-6.0 %	51.1 %
1000	-8.3 %	3.7 %	-2.9 %	-1.5 %	62.1 %	
1200	3.2 %	3.8 %	3.7 %	2.1 %		

整體而言，AF agents_D2/D4 充分發揮代理人溝通協調的優勢，使交通路網的延滯時間大幅降低，而與適應性模糊控制相較，AF agents_D2/D4 的延滯時間改善率平均提高了 4.4%。

第五章 結論與未來發展

5.1 結論

本文研發出 adaptive fuzzy agents 的控制方式，達到了一般交通警察獨立控制路口所不具有的優點，透過 adaptive fuzzy agents 的溝通機制，以協調各路口間的號誌決策，使得路網的延滯時間減少，車輛的流動率增加。

本研究在交通路網控制從單一路口至雙路口代理人協調，再擴充至一個小型的區域路網四個路口，歸納出以下的結論：

1. 在單一路口比較固定時制、車輛觸動式、模糊控制與適應模糊控制等方法的改善成效，從表 2.6-2.7 得知模糊適應控制方法對於車流量為 Light、Heavy 與 Peak 三種情形皆能有 30% 以上的改善率。此適應模糊控制方法相當於取代交通警察在各路口做出智慧型判斷的功能。
2. 於多重路口下比較固定時制、車輛觸動式、模糊適應控制方法與 adaptive fuzzy agents 四種控制方式：
 - a. 雙路口：由表 3.6 得知 adaptive fuzzy agents 的控制方式在南北向車流為 600~1000 veh./hr 時皆為最佳的方法，路網平均延滯時間改善 39.1% 以上。而於南北向車流為 400 veh./hr 與 Peak 的情形下，adaptive fuzzy agents 與適應模糊控制方法的改善率相近。
 - b. 2×2 交通路網：由表 4.7 看出適應模糊控制方法僅於東西向與南北向車流量皆為 Peak 的情形時，改善率與 adaptive fuzzy agents 相似；但在其他車流量下，甚至將車流量峰值提升至 1200 veh./hr 時，adaptive fuzzy agents 對於路網延滯時間皆有最大的改善率。

3. 本論文成功的使用 VISSIM 設計一個完整的交通路網，並利用 VisVAP 設計各路口的適應模糊控制方法，使各路口號誌具有智慧型決策的能力。除此之外，VISSIM 建立各路口間的通訊通道，並與 VisVAP 內部函數搭配使用，以實現 multi-agent systems 的溝通機制，證實 adaptive fuzzy agents 能有效的改善多重路口的交通問題。

5.2 未來發展

1. 目前的研究仍是就單純的小型路網做探討，但在未來的發展可以利用多代理人系統易於擴充的特性，建立一個大型的交通路網，並設立一個全區的交通代理人(GTA)負責統合區域內各個 CTA 的訊息，使多代理人系統應用於交通路網上的架構更趨於完整。
2. 目前提出的控制器雖已能處理不少交通車流問題，但由於交通路網是個時變及非線性的複雜系統，許多不確定的因素仍影響著控制的結果，因此在未來的發展上應該考量如何設計出一個穩定性更高，能處理更多突發狀況的控制器。
3. 由於交通依舊與民生息息相關，因此如何將此系統落實於現實生活中，並結合個人通訊設備等，都將是未來能積極發展的目標。

参考文献

- [1] C. Diakaki, M. Papageorgiou and K. Aboudolas, “ A Multivariable Regulator Approach to Traffic-responsive Network-wide Signal Control,” *Control Engineering Practice*, vol. 10, pp. 183-195, 2002.
- [2] Y. Wakasa, K. Iwaoka and K. Tanaka, “Modelling and Robust Control of Traffic Signal Systems,” *Proc. of European Control Conference 2003*, Cambridge, U.K., pp. 1-6, 2003.
- [3] Y. Wakasa, K. Hanaoka, K. Iwaoka and K. Tanaka, “Controllability of Network-wide Traffic Signal Systems and State-feedback Controller Tuning,” *Proc. of 11th World Congress on ITS*, Nagoya, Japan, pp. 1-12, 2004.
- [4] A. Messmer and M. Papageorgiou, “Route Diversion Control in Motorway Networks via Nonlinear Optimization,” *IEEE Trans. Control Systems Technology*, vol. 3, pp. 144-154, 1995.
- [5] A. Messmer and M. Papageorgiou, “Optimal Freeway Network Control via Route Recommendation,” *Proc. of the 5th Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, Yokohama, Japan, pp. 297-302, 1994.
- [6] D. Kaur and E. Konga, “Fuzzy Traffic Light Controller”, *Proc. of the 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Louisiana, USA, pp.1507~1510, 1994.
- [7] H. Taşkin and R. Gümüştaş, “Simulation of Traffic Flow System and Control Using Fuzzy Logic”, *Proc. of the 12th IEEE Int. Symposium on Intelligent Control*, Istanbul, Turkey, pp.325-330, 1997.
- [8] K.K. Tan, M. Khalid, and R. Yusof, “Intelligent Traffic Lights Control by Fuzzy Logic”, *Malaysian Journal of Computer Science*, VOL.9, No.2, pp.29-35, 1996.

- [9] M. Khalid, S. C. Liang, and R. Yusof, "Control of a Complex Traffic Junction using Fuzzy Inference", *Proc. of the 5th Asian Control Conference*, Melbourne, Australia, pp. 1544-1551, 2004.
- [10] J. H. Lee and L. K. Hyung, "Distributed and Cooperative Fuzzy Controllers for Traffic Intersections Group", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Part C, VOL. 29, NO. 2, pp. 263-271, 1999.
- [11] W. Hong, Y. Wang, X. Mu, and Y. Wu, "A Cooperative Fuzzy Control Method for Traffic Lights", *Proc. of the 4th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Oakland, USA, pp. 185-188, 2001.
- [12] J. R. Clymer, "Simulation of a Vehicle Traffic Control Network Using a Fuzzy Classifier System", *Proc. of the 35th Annual, Simulation Symposium*, California, USA, pp.285-291, 2002.
- [13] *VISSIM User Manual-Version 4.00*, June 2004.
- [14] J. Favilla, A. Machion, and F. Gomide, "Fuzzy Traffic Control: Adaptive Strategies", *Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, San Francisco, USA, pp.506-511, 1993.
- [15] Q. Lin, B. W. Kwan, and L. J. Tung, "Traffic Signal Control using Fuzzy Logic", *Proc. of 1997 International IEEE on Systems, Man, and Cybernetics, Computational Cybernetics and Simulation*, Florida, USA, pp. 1644-1649, 1997.
- [16] N. H. Gartner, F. J. Pooran, and C. M. Andrews, "Implementation of the OPAC Adaptive Control Strategy in a Traffic Signal Network", *Proc. of the 4th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Oakland, USA, pp. 195-200, 2001.
- [17] A. Hegyi, et., "A Fuzzy Decision Support System for Traffic Control Centers", *Proc. of the 4th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Oakland, USA, pp. 358-363, 2001.

- [18] R.L. Kelsey, K.R. Bisset, Simulation of traffic flow and control using fuzzy and conventional methods. In: Jamshidi, M. (Ed.), *Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 262-278, 1993.
- [19] J. France and A. A. Ghorbani, "A Multiagent System for Optimizing Urban Traffic," *Proc. of IEEE/WIC International Conference Intelligent Agent Technology*, Halifax, Canada, pp. 411-414, 2003.
- [20] J. Lu and L. Cao, "Congestion Evaluation from Traffic Flow Information Based on Fuzzy Logic", *Proc. of the 6th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Shanghai, China, pp. 50-53, 2003.
- [21] C. Lu, W. Wei, Y. Tan, "Traffic Variable Estimation and Traffic Signal Control Based on Soft Computation", *Proc. of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Washington, USA, pp.1045-1050, 2004.
- [22] 吳政衍, Multi-Agent 駕駛輔助系統, 國立交通大學 電機與控制工程學系 碩士論文, 2004
- [23] 李尚玲, Multi-Agent 全天駕駛輔助系統, 國立交通大學 電機與控制工程學系 碩士論文, 2005
- [24] Z. S. Yang, X. Chen, Y. S. Tang, and J. P. Sun, "Intelligent Cooperation Control of Urban Traffic Network", *Proc. of the 4th Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, China, pp. 1482-1486, 2005.
- [25] F. Y. Wang, "Agent-Based Control for Networked Traffic Management Systems", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 20, 2005, pp. 92-96.