

國立交通大學

電機與控制工程學系

碩士論文

以影像處理估測交通流量及其應用在獨立路口的

模糊適應性交通號誌管理之研究



Estimating Traffic Flow by Image Processing and its
Application to Fuzzy Adaptive Traffic Signal Control at
an Isolated Intersection

研究生：林其德

指導教授：林昇甫 博士

中華民國九十五年八月

以影像處理估測交通流量及其應用在獨立路口的模糊適應性
交通號誌管理之研究

Estimating Traffic flow by Image Processing and its Application to
Fuzzy Adaptive Traffic Signal Control at an Isolated Intersection

研究生：林其德

Student: Chi-De Lin

指導教授：林昇甫 博士

Advisor: Dr. Sheng-Fuu Lin

國立交通大學

電機與控制工程學系



Submitted to Department of Electrical and Control Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Engineering
National Chiao-Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Electrical and Control Engineering
August 2006
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年八月

以影像處理估測交通流量及其應用在獨立路口的模糊適應性交通號誌管理之研究

研究生：林其德

指導教授：林昇甫 博士

國立交通大學電機與控制工程學系

摘 要

交通資訊偵測以及適應性交通號誌管理，是現今智慧型交通系統(intelligent transportation system, ITS)的發展重心。將偵測到的交通資訊應用在獨立路口的適應性交通號誌管理上，可以動態地依照當時的交通狀況調整時相長度，減少該路口擁塞的情況發生。目前使用影像處理技術來偵測交通流量的研究相當受歡迎，但它們對交通資訊的偵測大都使用微觀尺度的量測，這對交通號誌管理的應用其實是不必要的；另外在適應性交通號誌管理的方面，由於具有動態變動的週期長度，所以在設計時常常不會考慮到最佳週期而使得週期過長。有鑑於此，本論文的主要目的是發展一套有效率的交通流量估測系統與具有適當週期長度的適應性號誌系統。

本論文的主要貢獻有三，第一，利用透視轉換(perspective transformation)得到前景像素總數與前景物件數目之間的關係，搭配預先建立好的橢圓行人樣版，可以大約地估測出行人穿越道上的人數。第二，利用前述的方法並配合影像紋理分析(texture analysis)，可以將道路或是特定車道上的車流程度以 $[0, 1]$ 之間的數表示。第三，提出一個以模糊推論系統(fuzzy inference system, FIS)為核心的模糊適應性交通號誌管理系統，並將最佳週期以及相對路口飽和度考慮於系統的設計當中。實驗顯示本論文所提出的影像處理演算法及模糊適應性號誌管理系統在不同的實驗場景之下皆有不錯的效果。

Estimating Traffic flow by Image Processing and its Application to Fuzzy Adaptive Traffic Signal Control at an Isolated Intersection

Student: Chi-De Lin

Advisor: Dr. Sheng-Fuu Lin

Department of Electrical and Control Engineering
National Chiao-Tung University

Abstract

Traffic information detection and adaptive traffic signal control are vital to the development of intelligent transportation system. The cycle length of a traffic signal controller can be adjusted dynamically by applying gathered traffic information to adaptive traffic signal control at the isolated intersection, thus the traffic jams can be reduced. Detecting traffic information by use of image processing has become a trend, however, most of the previous research use microscopic measurement, which is unnecessary in application to adaptive traffic signal control. For adaptive traffic signal control system, the topic of optimal cycle is rarely considered since it has various lengths in each cycle; therefore, a very phase could have an overlong phase time. In view of this, an efficient image processing algorithm is proposed to estimate traffic flow in this thesis. In addition, an adaptive traffic signal control system that takes optimal cycle into account is presented.

The contributions of this thesis may be summarized as follows. First, the relation of the number of foreground pixels and the number of foreground objects can be obtained by using perspective transformation. With the pre-constructed ellipse human template, the number of pedestrian on a crosswalk can be estimated approximately. Second, use the method mention above together with texture analysis of an image, the traffic flow can be normalized and represented by a number between 0 and 1. Third, a fuzzy adaptive traffic controller based on fuzzy inference system is proposed. The design of the system also takes optimal cycle and

relative saturation degree of different roads into consideration. The image processing algorithm and fuzzy traffic signal controller have been tested in various situations; the system shows promise and the experiment results are satisfactory.



誌 謝

首先要以最誠摯的謝意，感謝我的指導教授林昇甫博士，感謝他在研究上的啟迪與指導，以及細心校閱本論文的謬誤之處。同時也要感謝本實驗室的學長建焜、皇村、士哲、晉嘉、國育、弦澤、松傑；一起同甘共苦同學俊佑、哲綸、永耀、培家、威凱以及學弟們，由於他們熱心的協助與討論，使得研究過程中的困境能夠迎刃而解。還要感謝我的女友仲雯，與我從大學開始一路互相扶持、共同追求進步、一起成長。

最後要感謝我親愛的父母，感謝他們的養育之恩以及在我求學生涯中給我最大的鼓勵與支持，使我得以在精神與生活上無後顧之憂，順利完成學業。



目錄

中文摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iv
目錄	v
圖目錄	viii
表目錄	xiii
第一章 緒論	1-1
1.1 相關研究	1-1
1.1.1 交通資訊偵測	1-2
1.1.2 交通動線效率化	1-5
1.2 研究動機	1-6
1.3 論文架構	1-8
第二章 相關知識及理論	2-1
2.1 影像處理技術	2-1
2.1.1 成像幾何學	2-2



2.1.2	紋理分析	2-6
2.1.3	特徵選擇	2-9
2.1.4	形態學	2-11
2.2	模糊推論系統	2-13
2.2.1	模糊化機構	2-14
2.2.2	模糊規則庫	2-15
2.2.3	模糊推論引擎	2-16
2.2.4	去模糊化機構	2-16
2.3	交通系統概論	2-18
2.3.1	交通名詞與知識	2-18
2.3.2	韋伯斯特最佳週期定時號誌控制	2-22

第三章 交通資訊估測系統與模糊適應性交通號誌管理系統 **3-1**

3.1	系統概述	3-1
3.2	相機校正	3-3
3.3	行人估測系統	3-6
3.3.1	前景抽取	3-6
3.3.2	移除非人物件	3-6
3.3.3	估測行人數目	3-9
3.4	車流估測系統	3-12
3.4.1	影像前處理	3-12
3.4.2	特徵抽取	3-13
3.4.3	場景校正與模糊車流估測系統	3-17
3.5	模糊適應性交通號誌管理系統	3-19
3.5.1	適應性號誌管理策略	3-20
3.5.2	適應性號誌管理的模糊推論系統	3-22

第四章 實驗結果與分析	4-1
4.1 實驗機制	4-1
4.1.1 行人估測系統實驗機制	4-1
4.1.2 車流估測系統實驗機制	4-2
4.1.3 模糊適應性交通號誌管理系統實驗機制	4-2
4.2 實驗結果	4-9
4.3 實驗分析	4-35
4.3.1 以影像估測交通流量的實驗分析	4-36
4.3.2 模糊適應性交通號誌管理系統的實驗分析	4-37
第五章 結論	5-1
參考文獻	I



圖目錄

1.1. 利用前景邊界配合透視轉換偵測行人的例子。(a) 輸入影像；(b) 背景；(c) 前景邊界；(d) 偵測出的行人。.....	1-2
1.2. 利用前景像素的垂直投影偵測行人的例子。(a) 輸入影像；(b) 背景影像；(c) 前景影像；(d) 前景像素垂直投影的直方圖；(e) 偵測出的行人。.....	1-3
1.3. 使用車道灰階直方圖判斷車道上是否有車輛的例子。(a) 車道上沒有車輛的輸入影像；(b) 目標車道區的灰階圖；(c) 目標車道區的灰階圖分佈；(d) 車道上有車輛的輸入影像；(e) 目標車道區的灰階圖；(f) 目標車道區的灰階圖分佈。.....	1-3
2.1. 針孔相機模型。.....	2-2
2.2 相似三角形模型。.....	2-2
2.3 WCS 以及 CCS 的相對位置。.....	2-4
2.4 利用方塊物件求取相機參數的圖例。(a) 原始影像；(b) 影像的消失點、主要點、以及地平線。.....	2-5
2.5 計算相機位置高度的示意圖。.....	2-6
2.6 具有三個灰階的影像。.....	2-7
2.7 位置運算子 R 的選擇方式。.....	2-8
2.8 侵蝕運算。(a) 侵蝕前影像；(b) 結構元素；(c) 侵蝕後影像。.....	2-12
2.9 膨脹運算。(a) 膨脹前影像；(b) 結構元素；(c) 膨脹後影像。.....	2-12
2.10 模糊系統的基本架構。.....	2-14
2.11 歸屬函數。(a) Z 型；(b) 三角形；(c) S 型。.....	2-15
2.12 一個模糊推論過程的例子。.....	2-17
2.13 平均到達率 q 、平均紓解率 μ 與飽和流率 s 的關係。.....	2-19

2.14	損失時間 $l(l_s + l_e)$ 、有效綠燈時間 g 以及實際綠燈時間 G 之關係。	2-20
2.15	號誌化交通路口的車輛排隊模式示意圖。	2-21
2.16	考慮車輛隨機到達及損失時間的車輛排隊示意圖。	2-22
3.1	系統架構圖。	3-3
3.2	攝影機的架設方式。(a) 行人穿越道場景之架設；(b) 車道場景之架設； (c) 側視圖。	3-3
3.3	場景中消失點 V_y 與 V_z 的位置。(a) 行人穿越道場景；(b) 車道場景。	3-5
3.4	行人偵測系統的流程圖。	3-6
3.5	建立背景影像的圖例。(a)至(c) 用來建立背景影像的部份影像序列； (d) 建立的背景影像。	3-7
3.6	建立前景遮罩影像的圖例。(a) 輸入影像；(b) 背景影像；(c) 前景遮 罩。	3-8
3.7	將前景遮罩進一步處理的例子。(a) 原來的前景；(b) 將(a)中值濾波後 的影像；(c) 將(b)閉合後的影像。	3-8
3.8	移除影像中非人物件的例子。(a)-(b) 兩張連續輸入影像；(c) 移動邊 緣；(d) 處理過後的移動邊緣；(e) 除去行人穿越道上的非人物件的前 景影像。	3-10
3.9	相同物體從不同的位置投影在影像上具有不同面積的示意圖。	3-10
3.10	橢圓形行人樣版的示意圖。	3-11
3.11	車流估測系統的流程圖。	3-12
3.12	圖 3.12 彩色影像轉成灰階影像的例子。(a) 彩色影像；(b) 轉換後的 灰階影像。	3-13
3.13	規劃目標區域與嵌入目標區域的例子。(a) 在影像中規劃出的目標區 域；(b) 將輸入灰階影像目標的區域嵌入灰階背景影像。	3-14
3.14	計算特徵權重係數所用到的十張連續影像。	3-16
3.15	模糊車流估測系統的歸屬函數。(a) NP_{ratio} 的歸屬函數；(b) $Diff_{ratio}$ 的歸 屬函數；(c) IV_{degree} 的歸屬函數。	3-18
3.16	NP_{ratio} 、 $Diff_{ratio}$ 以及 IV_{degree} 之間的關係。	3-19
3.17	本論文提出的模糊適應性號誌控制系統的流程圖。	3-20
3.18	交流電流與變動車流的類比圖。(a) 交流電流；(b) 變動車流。	3-21

3.19 模糊適應性號誌管理系統的歸屬函數。(a) IV 的歸屬函數；(b) QL 的歸屬函數；(c) PL 的歸屬函數；(d) EXT 的歸屬函數。	3-23
3.20 給定 PL 為 0.1 時， IV 、 QL 以及 EXT 之間的關係。	3-25
3.21 給定 PL 為 0.5 時， IV 、 QL 以及 EXT 之間的關係。	3-25
3.22 給定 PL 為 0.9 時， IV 、 QL 以及 EXT 之間的關係。	3-25
4.1 模擬系統所執行的兩個時相。	4-3
4.2 十字形獨立號誌化路口的示意圖。	4-5
4.3 式子(4.2)所表示的啟動損失時間 l_s 對車道紓解率 μ 之影響。	4-5
4.4 第一種實驗情境。	4-7
4.5 第二種實驗情境。	4-7
4.6 第三種實驗情境。	4-7
4.7 第四種實驗情境。	4-8
4.8 第五種實驗情境。	4-8
4.9 第六種實驗情境。	4-8
4.10 行人估測系統在第一個場景的部份結果。	4-10
4.11 行人估測系統在第二個場景的部份結果。	4-11
4.12 行人估測系統在第三個場景的部份結果。	4-12
4.13 車流估測系統對第一個場景計算的前景比例 NP_{ratio} 、紋理差異 $Diff_{ratio}$ 以及估測出的車流程度 IV_{degree} 。	4-14
4.14 對應圖 4.13 的影像序列。(a) 幀 1；(b) 幀 200；(c) 幀 400；(d) 幀 600；(e) 幀 800；(f) 幀 1000；(g) 幀 1200；(h) 幀 1400；(i) 幀 1600；(j) 幀 1800；(k) 幀 2000；(l) 幀 2200。	4-14
4.15 車流估測系統對第二個場景的左轉車道計算的前景比例 NP_{ratio} 、紋理差異 $Diff_{ratio}$ 以及估測出的車流程度 IV_{degree} 。	4-15
4.16 對應圖 4.15 的影像序列。(a) 幀 1；(b) 幀 183；(c) 幀 365；(d) 幀 547；(e) 幀 729；(f) 幀 911；(g) 幀 1093；(h) 幀 1275；(i) 幀 1457；(j) 幀 1639；(k) 幀 1821；(l) 幀 2000。	4-15
4.17 第一種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-16

4.18 第一種模擬情境的東西向支道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-17
4.19 第一種模擬情境的行人到達及疏解曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。	4-18
4.20 第二種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-19
4.21 第二種模擬情境的東西向支道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-20
4.22 第二種模擬情境的行人到達及疏解曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。	4-21
4.23 第三種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-22
4.24 第三種模擬情境的東西向支道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-23
4.25 第三種模擬情境的行人到達及疏解曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。	4-24
4.26 第四種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-25
4.27 第四種模擬情境的東西向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-26
4.28 第四種模擬情境的行人到達及疏解曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。	4-27
4.29 第五種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間	

	(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-28
4.30	第五種模擬情境的東西向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-29
4.31	第五種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。	4-30
4.32	第六種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-31
4.33	第六種模擬情境的東西向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。	4-32
4.34	第六種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。	4-33



表目錄

3.1	模糊車流估測系統的模糊規則。	3-19
3.2	PL 為 few 時， IV 與 QL 相關的模糊規則。	3-24
3.3	PL 為 moderate 時， IV 與 QL 相關的模糊規則。	3-24
3.4	PL 為 dense 時， IV 與 QL 相關的模糊規則。	3-24
4.1	部分受測影像的前景像素、正規化前景像素以及估測人數。	4-13
4.2	模擬實驗的車輛路口總延滯(車-小時)。	4-34
4.3	模擬實驗的行人路口總延滯(人-小時)。	4-35
4.4	模擬實驗的車輛路口總延滯加上行人路口總延滯。	4-40



第一章

緒論

在現今的都會地區內，隨著工商業活動的頻繁、國民所得的提高促使了駕駛人汽機車持有率的不斷提升，然而隨著都市人口以及車輛數目的急遽增加，目前的交通系統遭遇了許多嚴重的問題，例如過多的車輛造成了交通阻塞，或是不恰當的駕駛造成了交通意外。**智慧型交通系統**(intelligent transportation system, ITS)就是為了因應上述的問題而提出的構想。根據參考文獻[1]的論述，ITS 的幾個主要目標包括：1) 交通流量監控及交通動線效率化[2],[3]；2) 自動駕駛車輛或輔助駕駛系統[4],[5]；以及 3)其他應用等等。

由於影像具有高搜尋範圍、高修改彈性以及價格低廉等優點，因此影像處理技術在交通資訊偵測上相當受到歡迎。在交通流量監控及交通動線效率化的應用上，主要的目的就是利用偵測得到的交通資訊，調整或是控制交叉路口號誌燈號的運作，使得各車道之路權得以適當地被分配，用路人可以安全、順暢地使用道路，並避免路口容量資源的浪費。過去的文獻主要是監控每條道路上車輛的流量，然而，除了車輛在使用道路外，行人也是使用道路的重要角色，故要達成交通動線的最佳化，實際上還必須要考慮行人穿越道上的行人流動。

1.1 相關研究

與交通流量監控或交通動線效率化的相關研究大致可分為兩大部分，一部分是偵測交通資訊，這類的研究又可再細分為對行人以及對交通載具的偵測，相關

文獻會在 1.1.1 節探討。另一部分則是以適應性交通號誌控制來達成交通動線效率化的目的，這將會在 1.1.2 節討論。

1.1.1 交通資訊偵測

在用影像來偵測行人的方面，近年來有相當多的研究。Zhao 等人[6]是利用背景相減法(background subtraction)得到前景，藉由形態學(morphology)提取前景的邊界(boundary)，接著配合透視轉換(perspective transformation)判斷邊界的形狀是否類似於人體的形狀以偵測行人，如圖 1.1 所示。Haritaolu 等人[7]也是利用背景相減法，將前景與背景分離，再將前景像素作垂直投影得到直方圖，若是直方圖的峰值在可能的影像人高範圍內，則代表在該位置有行人，如圖 1.2 所示，但是當輸入影像中某一個行人的下半身與另一名行人的上半身交疊在一起時，這樣的方法將會失敗。Pai 等人[8]利用前景的輪廓(contour)以及步行韻律(walking rhythm)對前景做辨識，以辨別偵測到的前景是否為行人。Jean 以及 Wu [9]使用時間差異法(temporal differencing)找出移動的像素，將移動像素和輸入影像的邊緣做交集運算(AND operation)可以得到移動的邊緣，對移動邊緣作橢圓偵測即可找出行人的人頭。Lin 等人[10]使用小波轉換(wavelet transform)提取人臉特徵，並使用支援向量機(support vector machine, SVM)作為分類器，這個方法可以較精確地偵測出大量的人頭數目，並且不需建立背景，只需要單一的輸入影像即可辦到；配合透視轉換則可以估測數百甚至數千人的行人數目。



圖 1.1 利用前景邊界配合透視轉換偵測行人的例子。(a) 輸入影像；(b) 背景；(c) 前景邊界；(d) 偵測出的行人。

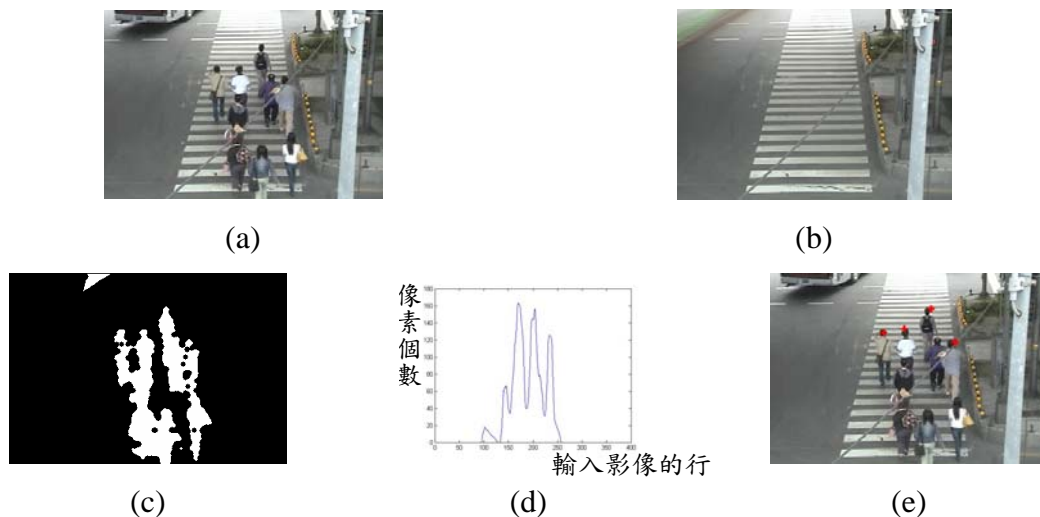


圖 1.2 利用前景像素的垂直投影偵測行人的例子。(a) 輸入影像；(b) 背景影像；(c) 前景影像；(d) 前景像素垂直投影的直方圖；(e) 偵測出的行人。

除了上述偵測各別行人的方法之外，有些文獻則是對影像中特定目標區域 (region of interest, ROI) 的行人數目或是密度做分類。Coianiz 等人[11]利用影像中移動的邊緣像素以及前景的像素作為輸入的特徵向量 (feature vector)，加以訓練後送入預先設定好的決策規則 (decision rules) 進行模糊圖形識別 (fuzzy pattern recognition, FPR) 而將人群數目分為無、少、一些、多以及非常多等五類。Marana 等人[12]利用灰階相依矩陣 (gray-level dependence matrix) 分析影像特定目標區域的紋理 (texture)，將抽取出的特徵向量利用神經網路 (neural network) 訓練後，將人群密度分為五類。Cho 等人[13]結合神經網路以及混合的全域學習 (hybrid global learning) 演算法對行人數目做分類。參考文獻[14]將影像分為數個區塊，利用前景在這些區塊中的分布情形計算熵 (entropy)，若所算出的熵大於某個臨界值，則稱場景中有許多行人。

在用影像方法來偵測交通載具的方面，參考文獻[15],[16]使用影像相減得到移動的特徵來偵測行進中的車輛，但是類似的偵測移動物體之方法在車輛靜止時將會失敗。Zhao 與 Nevatia[17]提出一個從高空影像偵測車輛的方法，這個方法使用車輛類似矩形的外型、前後擋風玻璃以及車輛的陰影當作特徵，實驗顯示具有不

錯的效果。Tsai 等人[18]利用 **Karhunen-Loeve 轉換**(Karhunen-Loeve transform, KL transform)，將影像的 R、G 以及 B 值轉換到另一個空間，經過這樣的轉換後，大部分的車輛顏色可以與背景分離開來，在留下可能是車輛的顏色後，接著比對這些候選區域是否有類似車子外型的邊緣，若找到類似邊緣則表示找到車輛。Wu 等人[19]利用小波轉換提取車輛的特徵，再進行**主要成分分析**(principal component analysis, PCA)留下最重要的幾個特徵，進行分類後定位出車道上的車輛。Sun 等人[20]則是使用 **Gabor 濾波器**(Gabor filter)對影像抽取特徵以作為車輛偵測之用。Song 和 Tai[21]利用**光流法**(optical flow)比對影像中兩個特定區塊之間的特徵，可以辨別出車輛轉彎或是直行。Kamijo 與 Sakauchi[22]利用**時空馬可夫隨機場**(spatio-temporal Markov random field, S-T MRF)可以同時追蹤十字路口的車與人。Iwasaki[23]將車道分配給數台攝影機，每台攝影機監看車道的某部分，利用這些車道區域影像之灰階直方圖分佈的標準差，可以判斷出該車道區域上是否有車輛佔據，進而計算出車輛停等的長度，如圖 1.3 所示。

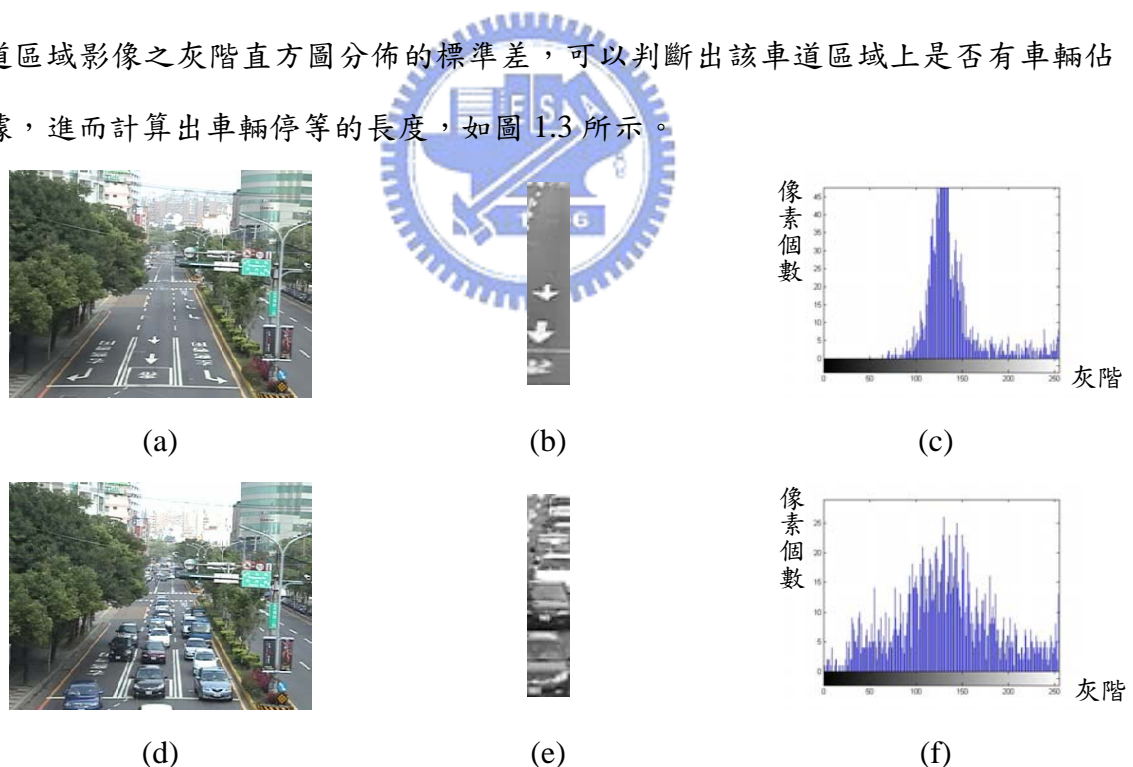


圖 1.3 使用車道灰階直方圖判斷車道上是否有車輛的例子。(a) 車道上沒有車輛的輸入影像；(b) 目標車道區的灰階圖；(c) 目標車道區的灰階圖分佈；(d) 車道上有車輛的輸入影像；(e) 目標車道區的灰階圖；(f) 目標車道區的灰階圖分佈。

1.1.2 交通動線效率化

交通與工商業的發展息息相關，因此如何管理交通動線使得它能有更高的效率一直是相當重要的研究議題。在適應性交通號誌的概念出現之前，已經有許多定時交通號誌控制方法被提出，而韋伯斯特最佳周期定時號誌控制[40]即為這個領域最具代表性的研究，它依照路段平均車流規劃出具有最小延滯時間的週期長度，再依照各路段的相對飽和度分配綠燈時間；這個方法到目前仍普遍地被應用在交通控制實務上，惟其定時的特性使得它沒辦法應付突然陡增的車流，故常在車流量突然增高時造成相當程度的路口延滯。

自從**模糊理論**(fuzzy theory)在 1965 年被提出後，提供了一套語言式分析的數學模式，可以將模糊不清的狀態或是資料用人類的先驗知識合理地量化、明確化，因此，常常被應用在參數複雜或難以數學模式化的系統上；交通系統由於隨機性高，而且突發的事件難以用數學公式描述，故近年來，許多適應性交通號誌控制都引入模糊理論來設計。

Pappis 與 Mamdani[24]利用模糊邏輯來控制雙邊(東-西、南-北)路段皆為單行道之獨立路口，並假設車輛到達率為**常態分配**(normal distribution)，其中採用之時相為簡單二時相，採用的模糊變數有四個，分別為時間、車輛抵達數目、車輛等候數目以及綠燈延長時間。Favilla 在[25]中比較以模糊理論為基礎的適應性號誌控制與以統計為基礎的適應性號誌控制，經模擬比較後指出以模糊理論為基礎的適應性號誌控制有較佳的控制績效。Báez [26]對於交通控制提供了一個以模糊邏輯為基礎的**時相連續器**(phase sequencer, PS)，可以決定下一個執行相位為何，以及何時該要執行下一個相位。Chiu 與 Chand[27]應用模糊邏輯控制來處理由六條雙向車道所形成的路網，每個路口獨立使用只由當地路口收集之交通資訊來調整其號誌時制參數，除此之外，每個路口也使用相同的模糊規則來調整其參數；其輸入參數有三個，分別為週期、**時比**(split)與**時差**(offset)，控制目的為使綠燈路口下的車流能維持良好之飽和度。Niitymäki 等人在[28]中介紹了兩個模糊控制系統以用於

交通號誌控制，一為模糊時相選擇器，另一個則為模糊綠燈延長器，兩者的運作皆是以挑選滿足最大相似性量度(similarity measure)的時相與時間進行。Niitymäki 與 Nevala 在[29]中討論了一般性的模糊號誌控制並呈現了相關結果，在與傳統號誌控制比較下，指出模糊控制績效較為良好。Chou 與 Teng[30]利用模糊理論的技術應用於號誌之控制，除了適用於任意路口及任意車道外，還可整合各個路口阻塞之情形，做出適當之號誌時差控制。Chiou 與 Lan[31]利用基因演算法(genetic algorithm, GA)挑選模糊推論系統的模糊規則以及歸屬函數，以同時達到將模糊系統的規則簡化並將歸屬函數客觀化的目的；簡化模糊規則的數目可以令系統在進行模糊推論的時候有較小的運算負擔，因而有較快的處理速度，但是這個方法相對的也因為被挑選出的模糊規則較少，輸入變數與輸出變數之間因而不能形成完整的模糊曲面，導致輸入變數為在某種特定情況下可能對應不到該有的模糊規則，因而使得效能退化。



1.2 研究動機

為了能夠偵測交通資訊並將其應用於適應性交通號誌控制，影像處理的演算法必須簡單而有效率，適應性號誌控制系統也必須能對瞬息萬變的交通狀況做適當的應變。

在對行人的偵測上，行人穿越道的行人在人多的情況下，通常會互相遮蔽，因此使用參考文獻[6]-[8]的方法將只能偵測到少數分散在人群周圍的行人；使用參考文獻[9]的方法來偵測人頭比較可以避免上述的問題，但是當拍攝的場景範圍很大而且有許多的前景物件時，相減的結果會是雜亂的圖樣而無法獲得有效的橢圓形邊緣，使用參考文獻[10]的方法可以穩健地偵測出影像中的人頭，但是此方法的計算量非常大，就目前的硬體設備而言並不能達到即時處理的要求；使用參考文獻[11]-[13]的方法可以把問題簡化，只對人群數目分類，但是這些方法由於特徵值與人數的關係函數需要由許多資料訓練而得，所以事前的準備相當耗時，而且每

當換了一個場景，系統就得重新訓練一次，這是相當不方便的。使用參考文獻[14]的方法只有在行人充份分散於影像中各個區域才有效，若行人集中於影像中的某區塊，則此方法會失敗。在對交通載具的偵測上，參考文獻[23]的方法須要在一個路段就設置多台攝影機，除了成本上的不經濟外，其灰階直方圖也容易受到雜訊的干擾；應用偵測移動物體的方法來偵測交通工具的相關研究相當多，類似的偵測方法[15]-[16]可以偵測出正在移動的車輛，但是當車輛靜止時或是影像中的物體過小時，這樣的方法將沒辦法達到預期的效果；參考文獻[17]-[22]使用微觀量測 (microscopic measurement) 的概念將影像中的每台車輛都辨識出來，但是這樣的方法在拍攝場景很廣且前景影像很小的情況下將會受到嚴厲的考驗；姑且不論偵測的效能為何，這樣的微觀量測在交通號誌控制的應用上是沒有必要的，就如交通警察指揮交通路口時，不會注意現在路口有幾輛車，只會注意現在路口的車是多是少；除此之外，這樣的方法也需要非常複雜的演算法來實現，可能使得系統沒辦法達到即時偵測的需求。在適應性號誌控制的發展上，參考文獻[24]-[31]雖然以動態的週期長度換取了較高的控制績效，但是鮮少考慮到最佳週期長度與路口相對飽和度的因素，故有時仍造成路口容量資源的浪費，因此效能仍有進一步提升的空間。

根據以上討論，發展一個適合於偵測交通資訊的演算法與可以與其配合的適應性交通號誌控制策略的確是面臨了許多挑戰。為了克服上述問題，本論文設計了一個有效率的影像處理演算法，可以約略地偵測出行人穿越道上的行人數目，並且將偵測到的路口車流多寡正規化，以 $[0, 1]$ 之間的數來表示(以 0 代表最少，以 1 代表最多)，而不是計算車輛的數目；為了與影像處理演算法部分配合，本論文提出的適應性交通號誌管理系統以模糊推論系統為核心，將影像所偵測得到的資訊模糊化，以減輕影像偵測方面的誤差與不確定性對系統造成的影響，之後以預先設定好的模糊規則庫來推論出明確的控制輸出來控制獨立路口的交通號誌。此外，週期長度以及路口相對飽和度也一併被考慮在內。為了了解本論文所提出的適應性交通號誌管理系統效能為何，本論文也將與與韋伯斯特最佳定時號誌控制

[40]與適應性基因模糊邏輯號誌控制[31]在相同的實驗條件下做比較。選擇參考文獻[40]來做比較的原因是因為它是目前普遍被使用在交通號誌控制實務上的定時號誌控制法，它的週期是依據預先調查得到的平均車流計算而得，所得出的週期長度在實際車流量與平均車流量差異不大的情況下，對於使用路口的所有車輛有最小的路口延滯時間，故與它比較可以了解所提出的方法相對於現行時制的控制效能差異。選擇參考文獻[31]來做比較的方法則是因為它的變數選擇以及主要架構與現存多數的適應性交通號誌控制系統之架構類似，而且其模糊規則與模糊函數皆經過用基因演算法達成樣本學習的最佳化過程，故與它比較可以了解所提出的方法與現存多數適應性交通號誌控制系統的控制績效何者較佳。

1.3 論文架構

本篇論文剩餘章節的安排如下：論文使用到的一些相關知識與理論會在第二章作簡要的描述，以影像為基礎的交通資訊估測系統及以模糊推論為基礎的適應性交通號誌控制系統會在第三章提出並且作詳細的說明，實驗結果及分析會詳列在第四章，最後第五章會作一些結論。

第二章

相關知識及理論

與本篇論文相關的知識以及理論將會在此章節作說明。我們將以影像處理技術發展用影像序列來估測交通流量資訊的系統，並建立一個以模糊推論系統為控制核心的交通號誌管理系統，此外，我們也需要一些交通系統的基本知識來衡量系統的控制效能。

一些影像處理的相關技術會在 2.1 節作個別的敘述，模糊推論系統會在 2.2 作說明，交通系統概論將在 2.3 作簡單的介紹。



2.1 影像處理技術

包括成像幾何學(imaging geometry)、紋理分析(texture analysis)、特徵選擇以及形態學的影像處理相關技術將會在此節說明。如何將相機影像平面上的座標對應到真實世界的三維座標上，對從影像平面中得到真實世界的三維資訊而言是相當重要的，為了達到這個目的，必須找出相機的內、外部參數，這些計算可由成像幾何學完成。紋理分析可以對影像特定區域定量地描述其對比度、一致性、相關性、熵以及能量等特徵。特徵選擇可以決定所抽取特徵的重要性。形態學運算可以用來對影像做初步的前處理。

成像幾何學會在 2.1.1 節探討，紋理分析在 2.1.2 節講解，特徵選擇在 2.1.3 節敘述，形態學在 2.1.4 節說明。

2.1.1 成像幾何學

最簡單的相機成像原理可用**針孔相機模型**(pinhole camera model)來說明[32]，它是一個理想的相機模型，如圖 2.1。藉由相似三角形，可以找出三維**世界座標系統**(world coordinate system, WCS)與相機**影像平面**(image plane)座標之間的關係，如圖 2.2，假設一個三維座標點為 (x, y, z) ，而它在影像平面上的投影座標為 (u, v) ，則三維及二維座標之間的關係可表示如下：

$$\begin{aligned}\frac{u}{f} &= \frac{x}{z}, \\ \frac{v}{f} &= \frac{y}{z},\end{aligned}\tag{2.1}$$

其中 f 為相機的**焦距**(focal length)。

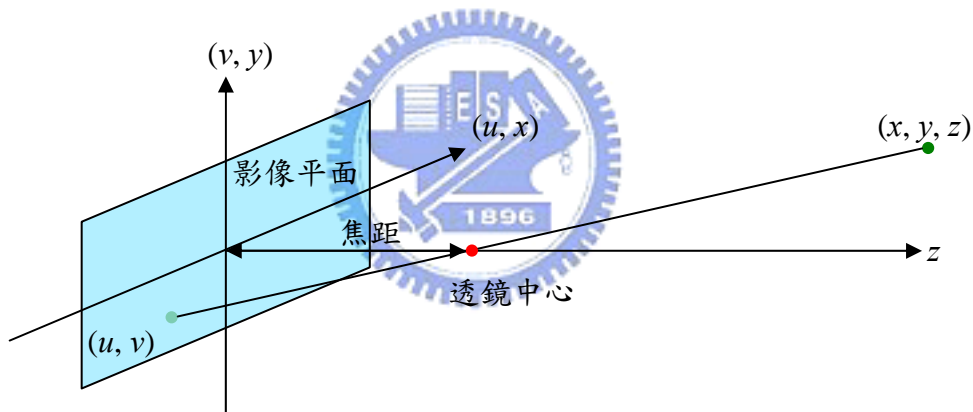


圖 2.1 針孔相機模型。

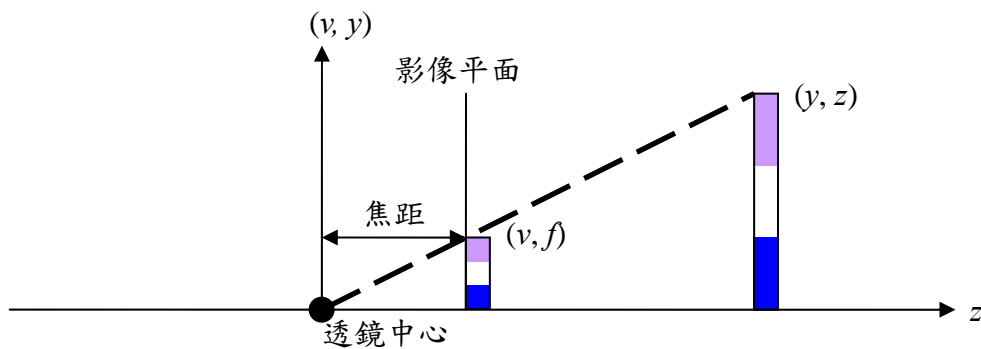


圖 2.2 相似三角形模型。

相機校正(camera calibration)的主要工作是要找出相機的內、外部參數。內部參數包含相機的焦距、主要點(principal point)、歪斜係數(skew coefficient)、以及失真[32]，這些參數值在拍攝時是固定的。外部參數包含WCS與相機座標系統(camera coordinate system, CCS)之間的位移及旋轉，這些參數值會隨著相機位置的不同而改變。三維及二維座標之間的關係可由一個 3×4 的透視轉換矩陣(perspective transformation matrix) M 表示，令 m_1 、 m_2 、 m_3 為 M 的三個列向量，令 $P=[x \ y \ z \ 1]$ 為WCS中一點的齊次座標(homogeneous coordinate)的向量形式，則它在影像平面上的座標 (u, v) 可以表示為：

$$\begin{aligned} u &= (m_1 \cdot P) / (m_3 \cdot P), \\ v &= (m_2 \cdot P) / (m_3 \cdot P). \end{aligned} \quad (2.2)$$

M 是一個由十一個相機參數所決定的矩陣，在此介紹一個簡化的模型[33]，只使用七個相機參數：焦距 f 、主要點 $p(u_0, v_0)$ 、平掃(pan)的角度 α 、俯仰(tilt)的角度 β 、平擺(yaw)的角度 γ 、以及 C_0 與 O 之間的距離 H_c ，如圖 2.3 所示，假設系統使用的是針孔相機模型，亦即歪斜係數為零以及無失真，令CCS(正交座標軸 C_X 、 C_Y 、以及 C_Z)的原點 C_0 (即透鏡中心)位於WCS(正交座標軸 X 、 Y 、以及 Z)的原點 O 的垂直正上方，也就是 C_0 在 Y 軸上，其中 X - Z 平面我們稱為地平面(ground plane)，而 α 為對著 Y 軸逆時鐘旋轉的角度， β 為對著 X 軸順時鐘旋轉的角度， γ 為對著 Z 軸順時鐘旋轉的角度， M 可以被簡化為：

$$\begin{aligned} M &= \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ R &= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\alpha \cdot c\gamma + s\alpha \cdot s\beta \cdot s\gamma & -c\beta \cdot s\gamma & -s\alpha \cdot c\gamma + c\alpha \cdot s\beta \cdot s\gamma \\ c\alpha \cdot s\gamma - s\alpha \cdot s\beta \cdot c\gamma & c\beta \cdot c\gamma & -s\alpha \cdot s\gamma - c\alpha \cdot s\beta \cdot c\gamma \\ s\alpha \cdot c\beta & s\beta & c\alpha \cdot c\beta \end{bmatrix}, \quad (2.3) \\ T &= [t_1 \ t_2 \ t_3]^T = [0 \ H_c \ 0]^T, \end{aligned}$$

其中 $c\alpha$ 、 $s\alpha$ 、 $c\beta$ 、 $s\beta$ 、 $c\gamma$ 以及 $s\gamma$ 分別代表 $\cos \alpha$ 、 $\sin \alpha$ 、 $\cos \beta$ 、 $\sin \beta$ 、 $\cos \gamma$ 以及 $\sin \gamma$ 。

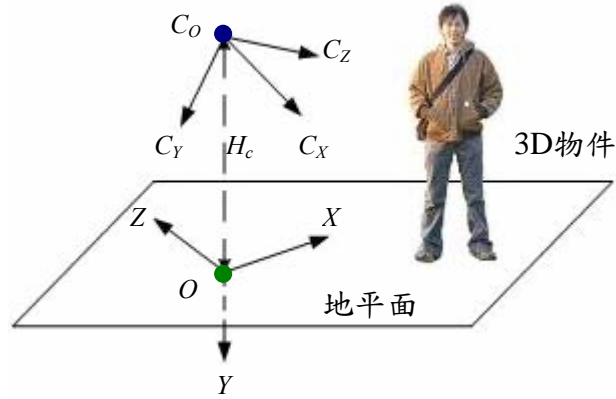


圖 2.3 WCS 以及 CCS 的相對位置。

根據參考文獻[33]，我們可以得到四個與成像幾何學相關的特性：

特性一：在 WCS 中的任意一組互相平行的直線其投影在影像平面上的影像會是通過一個共同點的直線群，這個點稱為它們的**消失點**(vanishing point)。由式子(2.2)以及(2.3)，可以得到消失點在影像平面的座標：

$$\left(f \cdot \frac{r_{11}a + r_{12}b + r_{13}c}{r_{31}a + r_{32}b + r_{33}c} + u_0, f \cdot \frac{r_{21}a + r_{22}b + r_{23}c}{r_{31}a + r_{32}b + r_{33}c} + v_0 \right), \quad (2.4)$$

其中 $[a \ b \ c]$ 是這組平行線的**方向向量**(direction vector)。假設我們以WCS的三個正交座標軸 X 、 Y 、以及 Z 分別作為三組平行線的方向向量，亦即令方向向量 $[a \ b \ c]$ 分別為 $[1 \ 0 \ 0]$ 、 $[0 \ 1 \ 0]$ 、以及 $[0 \ 0 \ 1]$ ，則三個方向的消失點座標 V_x 、 V_y 、以及 V_z 由式子(2.4)可以分別得到為：

$$\begin{aligned} V_x = (u_{V_x}, v_{V_x}) &= \left(f \cdot \frac{r_{11}}{r_{31}} + u_0, f \cdot \frac{r_{21}}{r_{31}} + v_0 \right), \\ V_y = (u_{V_y}, v_{V_y}) &= \left(f \cdot \frac{r_{12}}{r_{32}} + u_0, f \cdot \frac{r_{22}}{r_{32}} + v_0 \right), \\ V_z = (u_{V_z}, v_{V_z}) &= \left(f \cdot \frac{r_{13}}{r_{33}} + u_0, f \cdot \frac{r_{23}}{r_{33}} + v_0 \right), \end{aligned} \quad (2.5)$$

我們稱這三個消失點為互相正交的消失點。

特性二：以三個互相正交的消失點為端點形成的三角形，其**垂心**(orthocenter)即為主要點，如圖 2.4(b)所示。

特性三：在 WCS 中任意一平面上的任意許多組平行線，其消失點會在影像平面上形成一條直線，稱為**消失線**(vanishing line)。如果這些平行線都平行地平面，則其形成的消失線稱為**地平線**(horizon line)，如圖 2.4(b)所示。

特性四：水平線與地平線的夾角(圖 2.4(b)的 θ)等於平擺的角度 γ 。

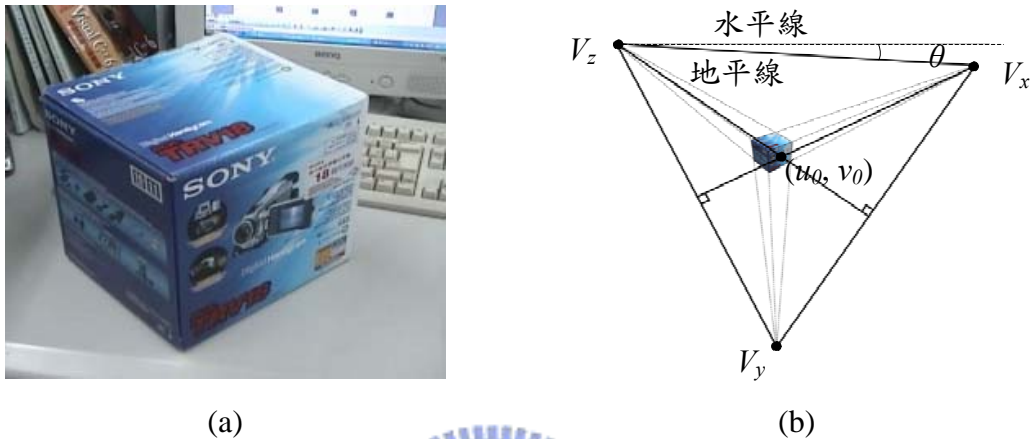


圖 2.4 利用方塊物件求取相機參數的圖例。(a) 原始影像；(b) 影像的消失點、主要點以及地平線。

以下逐步列出求取七個相機參數的步驟：

步驟一：利用 WCS 中的三組互相正交的平行線，求出三個互相正交的消失點 V_x 、 V_y 、以及 V_z 。

步驟二：由上述的特性二算出主要點座標。

步驟三：由上述的特性四算出平擺的角度 γ 。

步驟四：如果 γ 等於零，由式子(2.3)以及(2.5)可以得到：

$$u_{V_x} = f \cdot \cot \alpha / \cos \beta + u_0, \quad (2.6.1)$$

$$v_{V_x} = -f \cdot \tan \beta + v_0, \quad (2.6.2)$$

$$u_{V_y} = u_0, \quad (2.6.3)$$

$$v_{V_y} = f \cdot \cot \beta + v_0, \quad (2.6.4)$$

$$u_{V_z} = -f \cdot \tan \alpha / \cos \beta + u_0, \quad (2.6.5)$$

$$v_{V_z} = -f \cdot \tan \beta + v_0, \quad (2.6.6)$$

(2.6)

由式子(2.6.2)以及(2.6.4)，求得 f 為：

$$f = \sqrt{-(v_{V_x} - v_0)(v_{V_y} - v_0)}, \quad (2.7)$$

由式子(2.6.2)以及(2.7)，求得 β 為：

$$\beta = \tan^{-1}((v_0 - v_{V_x}) / f), \quad (2.8)$$

由式子(2.6.1)、(2.7)、以及(2.8)，求得 α 為：

$$\alpha = \cot^{-1}((u_{V_x} - u_0) \cos \beta / f), \quad (2.9)$$

根據交叉比不變性(cross ratio invariance)[34]，可以得到

$$\frac{H}{H_c} = 1 - \frac{d(x', c) \cdot d(x, v)}{d(x, c) \cdot d(x', v)}, \quad (2.10)$$

如圖 2.5，其中 v 是垂直地平面方向的消失點， H 是參考物件在 WCS 的高度， $d()$ 為兩個座標之間的距離，由式子(2.10)可求得 H_c ；如果 γ 不等於零，則將影像繞著影像原點旋轉 γ 角度，使水平線和地平線互相平行，得到的新影像平擺角即為零，因此可以利用以上步驟求得 f' 、 u'_0 、 v'_0 、 α' 、 β' 、 $\gamma' = 0$ 、以及 H'_c ，則原始影像的參數為 $f = f'$ 、 $u_0 = u'_0 \cos \gamma - v'_0 \sin \gamma$ 、 $v_0 = u'_0 \sin \gamma - v'_0 \cos \gamma$ 、 $\alpha = \alpha'$ 、 $\beta = \beta'$ 、 $\gamma = \gamma$ 、以及 $H_c = H'_c$ 。

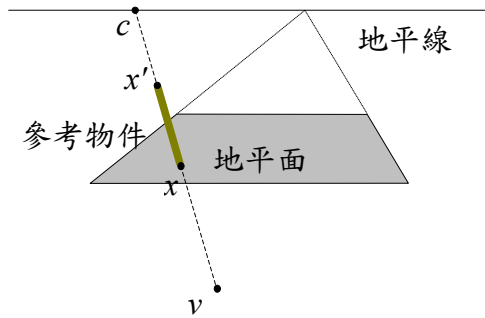


圖 2.5 計算相機位置高度的示意圖。

2.1.2 紋理分析

描述紋理最簡單的方法是利用一張影像或是影像中一個特定區域灰階直方圖分布的矩(moment)。假設 z 代表灰階的一個隨機變數，並令 $p(z_i), i=1, 2, \dots, L-1$ 是

直方圖對應於灰階 i 的倉(bin)，其中 L 影像的灰階數，則 z 對平均值的 n 階矩是

$$\mu_n(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i), \quad (2.11)$$


其中 m 是 z 的平均值，可以下式求得：

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i), \quad (2.12)$$

二階矩在紋理描述中尤其重要，它是灰階對比度的一個量測，可以用來建立相對平滑度的描述子。三階矩是直方圖歪斜程度的量測，四階矩是直方圖相對平坦度的量測。五階以上的矩並不容易和直方圖的形狀有關係，但它們提供了更進一步紋理內容的定量辨別方式。

僅僅運用影像灰階直方圖分布計算而得的紋理量測經常有限制性，因為它們並沒有包含像素間彼此相對位置的資訊。將這類的資訊納入紋理分析過程的一個方法是不僅要考慮灰階值的分布，還要考慮具有相等灰階或是接近相等的灰階之像素的位置[35]。

假設 R 是一個位置運算子， \mathbf{A} 是一個 k 階方陣，其元素 a_{ij} 是灰階值為 z_i 的在 R 所規定的位置上相對於灰階為 z_j 的點發生的次數， $1 \leq i, j \leq k$ 。例如，考慮具有下面三個灰階的一張影像： $z_1 = 0, z_2 = 1$ ，以及 $z_3 = 2$ ，其中影像如圖 2.6 所示：



0	2	2	2	1
2	1	2	1	0
1	1	0	2	0
0	0	2	1	2
1	1	0	2	1

圖 2.6 具有三個灰階的影像。

假設我們把位置運算子 R 定義為「 0° 且為中心像素旁邊的第一個像素」，則可以得出如下所示的 3 階方陣 \mathbf{A} ：

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 \\ 3 & 2 & 2 \\ 1 & 5 & 2 \end{bmatrix},$$

方陣中的元素 a_{ij} 是一個像素灰階為 z_i ，且右方的一個像素灰階為 z_j 所發生的次數。

\mathbf{A} 的維度嚴格地由輸入影像中的灰階數目所決定，所以，通常具有較多灰階數目的輸入影像會被重新量化為一個具有較少灰階數目的影像，以保證 \mathbf{A} 的大小是容易處理的。

設 n 是影像中滿足位置運算子 R 的總點對數，如果一個矩陣 \mathbf{C} 是將 \mathbf{A} 的每個元素除以 n 而形成的，則其元素 c_{ij} 是滿足 K 的一對像素之聯合機率(joint probability)估測值。矩陣 \mathbf{C} 被稱為灰階共生矩陣(gray-level co-occurrence matrix)。因為 \mathbf{C} 取決於 R ，所以可以透過選擇適當方向與距離的 R 來檢測特定紋理的出現， R 的選擇可以圖 2.7 來表示。

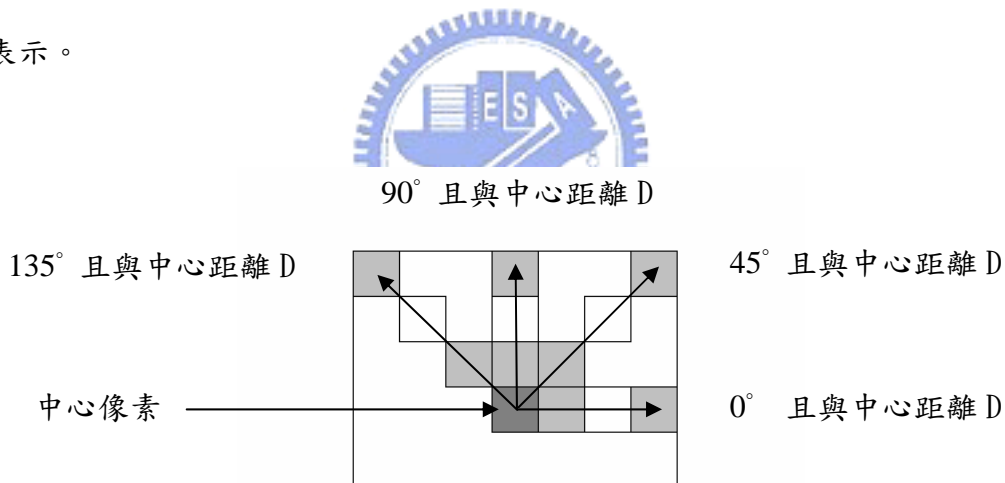


圖 2.7 位置運算子 R 的選擇方式。

一般而言，問題是分析一個由 R 決定的 \mathbf{C} 矩陣，以計算影像中特定區域的紋理內容。對這個目的有用的一些運算子包括下列式子：

1. 對比度(contrast)

$$\sum_i \sum_j |i - j|^2 c_{ij}, \tag{2.13}$$

2. 相關性(correlation)

$$\sum_i \sum_j \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)c_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}, \quad (2.14)$$

3. 能量(energy)

$$\sum_i \sum_j c_{ij}^2, \quad (2.15)$$

4. 一致性(homogeneity)

$$\sum_i \sum_j \frac{c_{ij}}{1 + |i - j|}, \quad (2.16)$$

5. 熵(entropy)

$$-\sum_i \sum_j c_{ij} \log c_{ij}. \quad (2.17)$$

2.1.3 特徵選擇

本節所討論的內容是參考參考文獻[36]的部分內容。特徵們的重要性往往是不一樣的，特徵選擇是特徵抽取過程中的重要步驟，透過這個步驟，所抽取的特徵們之相對重要性將可以被決定。從圖形識別的觀點來看，一個類別其特徵抽取結果的好壞，可以直接從類別裡特徵向量們的密集度來決定，若同一類別的特徵向量越密集，則特徵抽取的結果就越佳。假設在特徵向量為 n 維的特徵空間裡，一個可以代表上述概念的量度就是類別 C 的**集合內部距離**(intra-set distance)，經推導後可以被表示為：

$$D^2(C) = 2 \sum_{k=1}^n \sigma_k^2, \quad (2.18)$$

其中 σ_k 代表特徵向量們第 k 個分量的標準差。若一個類別的集合內部距離越小，則代表特徵向量的分布越密集，分類結果也就越好。

再次考慮一個在類別 C 內且具有 n 個分量的特徵向量 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ ，其每個分量 $x_i, 1 \leq i \leq n$ ，都代表將此向量分門別類的重要特徵，很直覺地，較不重要的

特徵分量我們可以給予較小的權重，這樣的觀念可以透過對原來的特徵向量進行線性映射，轉換到另外一個特徵向量空間而達成。考慮一個如下的權重矩陣(weight matrix)：

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.19)$$

使用這個權重矩陣可以將原有的特徵向量 \mathbf{x} 映射成新的特徵向量 $\mathbf{x}' = \mathbf{W}\mathbf{x}$ 。若我們將式子(2.19)更進一步地簡化成對角矩陣，如下所示：

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.20)$$

則新映射而成的類別 C' 其集合內部距離可以由下式求得：

$$D^2(C') = 2 \sum_{k=1}^n (w_{ii} \sigma_k)^2, \quad (2.21)$$

其中 σ_k 代表原來的特徵向量們第 k 個分量的標準差。為了要使式子(2.21)的右方達到最小化，我們還需要對權重係數 $w_{ii}, 1 \leq i \leq n$ ，加上一個限制條件。

假設對於權重係數給予下式的限制：

$$\sum_{i=1}^n w_{ii} = 1, \quad (2.22)$$

則將 $D^2(C')$ 最小化等同於將式子(2.23)最小化

$$A = 2 \sum_{i=1}^n (w_{ii} \sigma_i)^2 - \alpha \left(\sum_{i=1}^n w_{ii} - 1 \right), \quad (2.23)$$

因為式子(2.22)成立，所以將式子(2.23)對權重係數偏微分得到：

$$\frac{\partial A}{\partial w_{ii}} = 4w_{ii}\sigma_i^2 - \alpha = 0, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (2.24)$$

因此可以得到：

$$w_{ii} = \frac{\alpha}{4\sigma_i^2}, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (2.25)$$

加上式子(2.22)的限制條件，可以解得 α ：

$$\alpha = \frac{4}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}}, \quad (2.26)$$

再將式子(2.26)代入式子(2.25)，則所求的權重係數可以下式表示：

$$w_{ii} = \frac{1}{\sigma_i^2 \sum_i \sigma_i^{-2}}. \quad (2.27)$$

假設我們對權重係數給予的限制條件不是式子(2.22)而是下式：

$$\prod_{i=1}^n w_{ii} = 1, \quad (2.28)$$

則依照式子(2.23)到(2.27)的步驟，我們可以得到相對的權重係數：

$$w_{ii} = \frac{1}{\sigma_i \left(\prod_{i=0}^n \sigma_i \right)^{1/n}}, \quad (2.29)$$

從上式可以看出第 i 個權重係數的大小是與特徵向量們第 i 個分量的標準差成反比的，換句話說，標準差越大的特徵分量，即代表越不重要的特徵。

2.1.4 形態學

本節所討論的內容是參考參考文獻[37]的內容。形態學有許多各式各樣的運算可以用來處理物體的外形及結構。這些運算是使用在二值化影像。**侵蝕**(erosion)及**膨脹**(dilation)是兩種最基本的運算，**斷開**(opening)及**閉合**(closing)運算是侵蝕及膨脹這兩種運算的延伸，這四種運算會在此章節作說明。

首先介紹一些基本定義，設 A 和 B 是 Z^2 中的兩個集合，它們的分量分別為 $\mathbf{a}=(a_1, a_2)$ 以及 $\mathbf{b}=(b_1, b_2)$ ，則 A 平移 $\mathbf{x}=(x_1, x_2)$ ，用 $(A)_{\mathbf{x}}$ 表示之，定義為

$$(A)_{\mathbf{x}} = \{\mathbf{c} \mid \mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{x}, \mathbf{a} \in A\}, \quad (2.30)$$

B 的反射，用 \hat{B} 表示之，定義為

$$\hat{B} = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} = -\mathbf{b}, \mathbf{b} \in B\}, \quad (2.31)$$

A 的補集是

$$\bar{A} = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \notin A\}, \quad (2.32)$$

A 和 B 的差集表示為 $A-B$ ，定義為

$$\begin{aligned} A-B &= \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \in A, \mathbf{x} \notin B\} \\ &= A \cap \bar{B}. \end{aligned} \quad (2.33)$$

假設一影像的集合為 A ，且有一結構元素的集合為 B ，則 A 被 B 侵蝕記為 $A \ominus B$ ，定義為

$$A \ominus B = \{\mathbf{x} \mid (B)_{\mathbf{x}} \subseteq A\}, \quad (2.34)$$

圖 2.8 是一個侵蝕的例子，圖 2.8(a) 中灰色部分是影像的集合 A ，圖 2.8(b) 中灰色部分是結構元素的集合 B ，圖 2.8(c) 中灰色部份是侵蝕後的集合。

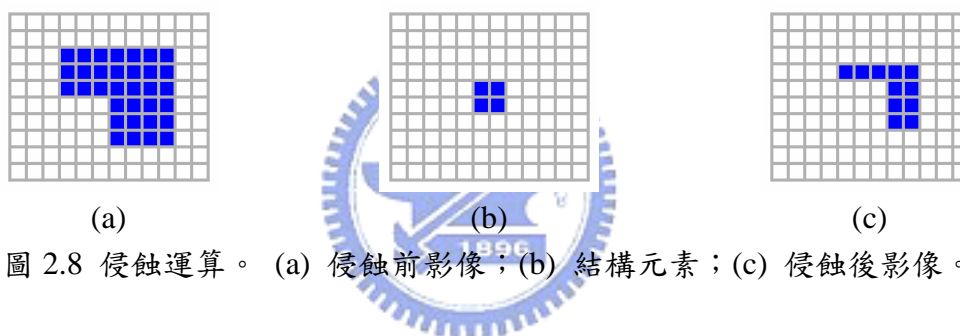


圖 2.8 侵蝕運算。(a) 侵蝕前影像；(b) 結構元素；(c) 侵蝕後影像。

假設一影像的集合為 A ，且有一結構元素的集合為 B ，則 A 被 B 膨脹記為 $A \oplus B$ ，定義為

$$A \oplus B = \{\mathbf{x} \mid (\hat{B})_{\mathbf{x}} \cap A \neq \Phi\}, \quad (2.35)$$

圖 2.9 是一個膨脹的例子，圖 2.9(a) 中灰色部分是影像的集合 A ，圖 2.9(b) 中灰色部分是結構元素的集合 B ，圖 2.9(c) 中灰色部份是膨脹後的集合。

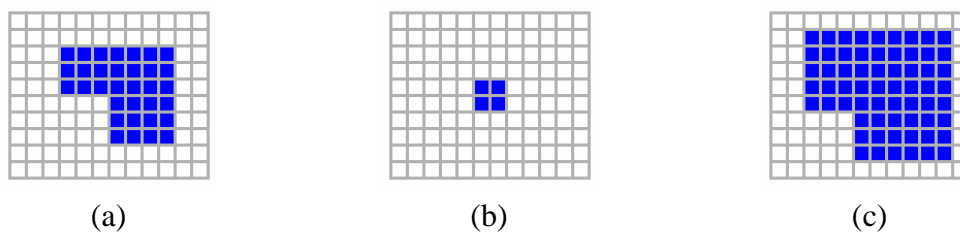


圖 2.9 膨脹運算。(a) 膨脹前影像；(b) 結構元素；(c) 膨脹後影像。

影像的斷開運算是由侵蝕運算及膨脹運算所組成。斷開運算可以定義成：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B, \quad (2.36)$$

其中 A 是影像的集合， B 是結構元素，它代表的意思為影像先經過侵蝕後再膨脹。

斷開運算可以用來消除物體突出的地方及雜訊。

閉合運算剛好與斷開運算相反，它可以定義成：

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B, \quad (2.37)$$

其中 A 是影像的集合， B 是結構元素，它代表的意思為影像先經過膨脹後再侵蝕。

閉合運算可以用來消除影像中的空洞及填滿空隙。

由於型態學運算提供了類似於空間域濾波(spatial filtering)的概念，所以也可以稱做形態學濾波(morphological filtering)。在此總結上述型態學運算與其對應的效果：膨脹運算可以延展影像的邊界；侵蝕運算可以將邊界收縮；斷開運算可以平滑輪廓，將狹長帶截斷，並消除孤立的雜訊點；閉合運算可以平滑輪廓，將狹窄的斷開處接合，以及填滿影像中的小洞。

2.2 模糊推論系統

模糊推論系統已廣泛地應用在於許多領域，如自動控制、圖形識別、以及決策分析，使用模糊系統有兩個主要的優點，第一個優點是不需要精確的數學模型，第二個優點是可以將人類專家的知識結合至系統的判斷上。一般來說，模糊系統的基本架構如圖 2.14 所示，根據參考文獻[38]的論述，可以分為四個主要的功能方塊，包括：1) 模糊化機構(fuzzifier)；2) 模糊規則庫(fuzzy rule base)；3) 模糊推論引擎(fuzzy inference engine)；以及 4) 去模糊化機構(defuzzifier)。模糊化機構的功能為將明確的外界輸入資料轉換成適當的語意式模糊資訊；模糊規則庫存放解決相關問題所需的知識及規則；模糊推論引擎藉由模糊推論的方式來模擬人類的思考決策模式以解決面對的問題；去模糊化機構的功能是將模糊推論引擎所推出的

模糊資訊轉回外界的明確數值。以上四個功能方塊的詳細解說如後。

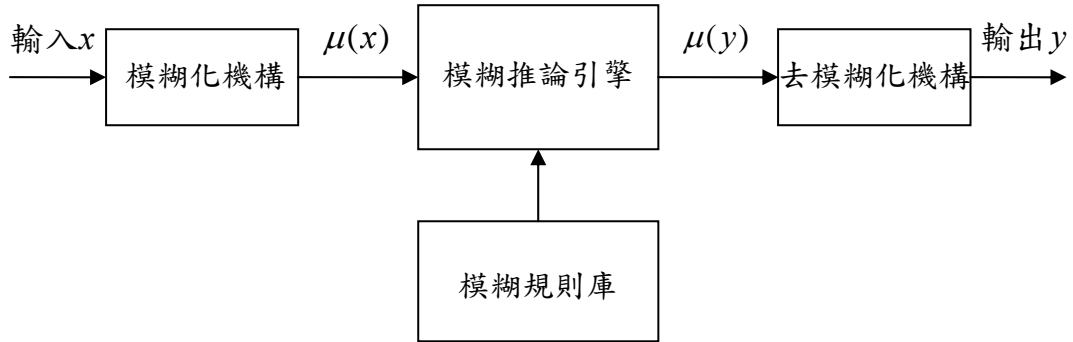


圖 2.10 模糊系統的基本架構。

2.2.1 模糊化機構

模糊化機構可以被視為一種映射，由明確的輸入空間映射至特定模糊集合空間[38]。我們可以定義在論域(universe of discourse) U 中的一個模糊集合(fuzzy set) A 為：

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}, \quad (2.38)$$

其中 $\mu_A(x)$ 是模糊集合 A 的歸屬函數(membership function)， $\mu_A(x)$ 代表論域 U 中元素 x 對模糊集合 A 的歸屬程度。通常歸屬函數的值是介於 0 與 1 之間，三個常見的歸屬函數 $\mu_A(x)$ 、 $\mu_B(x)$ 、以及 $\mu_C(x)$ 如圖 2.11，並定義如下：

1. Z 型歸屬函數：

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \leq x_0, \\ \frac{x-x_a}{x_0-x_a}, & \text{if } x_0 \leq x \leq x_a, \\ 0, & \text{if } x \geq x_a, \end{cases} \quad (2.39)$$

其中輸入為 x_0 時的歸屬值(membership value)為 $\mu_A(x_0) = 1$ ，如圖 2.11(a) 所示。

2. 三角形歸屬函數：

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \geq x_a \text{ or } x \leq x_b, \\ \frac{x-x_b}{x_0-x_b}, & \text{if } x_b \leq x \leq x_0, \\ \frac{x-x_a}{x_0-x_a}, & \text{if } x_0 \leq x \leq x_a, \end{cases} \quad (2.40)$$

其中 $\mu_B(x_0)=1$ ，如圖 2.11(b)所示。

3. S 型歸屬函數：

$$\mu_C(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq x_b, \\ \frac{x-x_b}{x_0-x_b}, & \text{if } x_b \leq x \leq x_0, \\ 1, & \text{if } x \geq x_0, \end{cases} \quad (2.41)$$

其中 $\mu_C(x_0)=1$ ，如圖 2.11(c)所示。

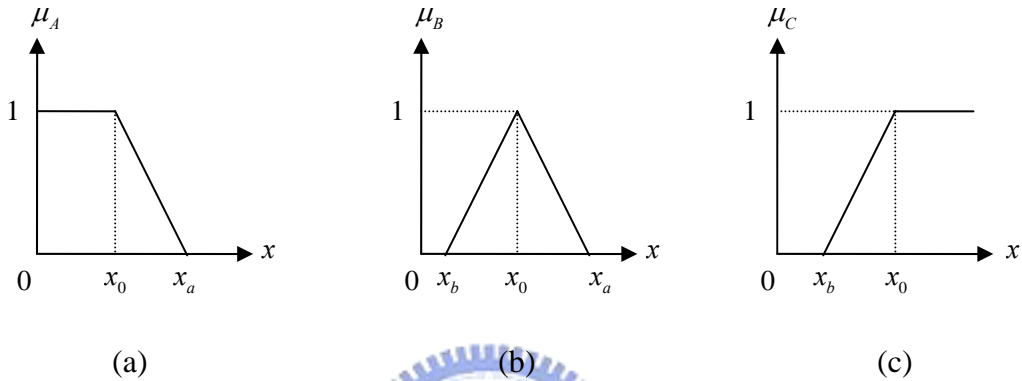


圖 2.11 歸屬函數。(a) Z 型；(b) 三角形；(c) S 型。

2.2.2 模糊規則庫

模糊規則庫是由一組以 IF-THEN 形式的模糊規則所組成，這組模糊規則是用以描述系統的輸入與輸出的關係，參考文獻[38]中對此有詳盡的說明。為了說明模糊規則及模糊規則庫的運作，首先我們需要定義**語意式變數**(linguistic variable)： $(x, U, \{T^1, T^2, \dots, T^k\}, \{\mu^1, \mu^2, \dots, \mu^k\})$ ，其中 x 是變數的名稱； U 是論域； T^i 是語意式變數的**語意值**(linguistic value)，令 $T(x) = \{T^1, T^2, \dots, T^k\}$ ，則 $T(x)$ 稱為 x 的**措詞集**(term set)； μ^i 是相對於 T^i 的歸屬函數。如果 x 是溫度，論域 U 定義於 $[0, 70]$ ，則措詞集可以是 $T(x) = \{\text{低}, \text{適中}, \text{高}\}$ 。

最常見的模糊規則型式有三種：語意式模糊規則、函數式模糊規則、以及 Tsukamoto 模糊規則，以下列出本論文使用的語意式模糊規則：

$$R^i: \text{IF } x \text{ is } A_i, \dots, \text{AND } y \text{ is } B_i, \text{ THEN } z \text{ is } C_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2.42)$$

其中 x, \dots, y 以及 z 是語意式變數， A_i, \dots, B_i 以及 C_i 是相對於 x, \dots, y 以及 z 的語意值， x, \dots, y 以及 z 的論域分別是 U, \dots, V 以及 W 。

2.2.3 模糊推論引擎

模糊推論引擎是模糊系統的核心，它可以藉由近似推論或模糊推論的進行得到一推論出來的模糊資訊，用來模擬人類的思考決策[38]。以下藉由一個簡單的例子說明模糊推論的過程：

輸入： x is A and y is B

模糊規則 R^1 ：IF x is A_1 AND y is B_1 , THEN z is C_1

模糊規則 R^2 ：IF x is A_2 , AND y is B_2 , THEN z is C_2 (2.43)

輸出： z is C

假設兩輸入的模糊集合皆為模糊單點(fuzzy singleton)，兩個模糊規則的啟動強度(firing strength)可以分別表示為：

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad \text{and} \\ \alpha_2 &= \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0), \end{aligned} \quad (2.44)$$

根據 Mamdani 所提出的**最小值推論法**(minimum implication rule)，最後推論出模糊集合 C ，其歸屬函數為：

$$\mu_c(z) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(z)], \quad (2.45)$$

以上的 \wedge 及 \vee 在此分別代表取最小值運算及取最大值運算。以上模糊推論過程如圖 2.12 所示。

2.2.4 去模糊化機構

去模糊化機構是將經過模糊推論之後產生的結論轉換為一明確數值的過程

[38]。採用不同的模糊規則，推論出來的結果型式會不同，語意式模糊規則經由模糊推論引擎推論出來的結果是一模糊集合。常見的去模糊化的方法是中心面積法 (center of area defuzzifier, COA) 以及最大平均法 (mean of maximum defuzzifier, MOM)。本論文採用中心面積法，當論域為離散時，其明確輸出值由以下式子得出：

$$z_{COA} = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_C(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N \mu_C(z_i)}, \quad (2.46)$$

其中 N 代表輸出的量化數 (quantization level)， z_i 代表第 i 個量化值，以及 $\mu_C(z_i)$ 代表 z_i 屬於模糊集合 C 的歸屬值。

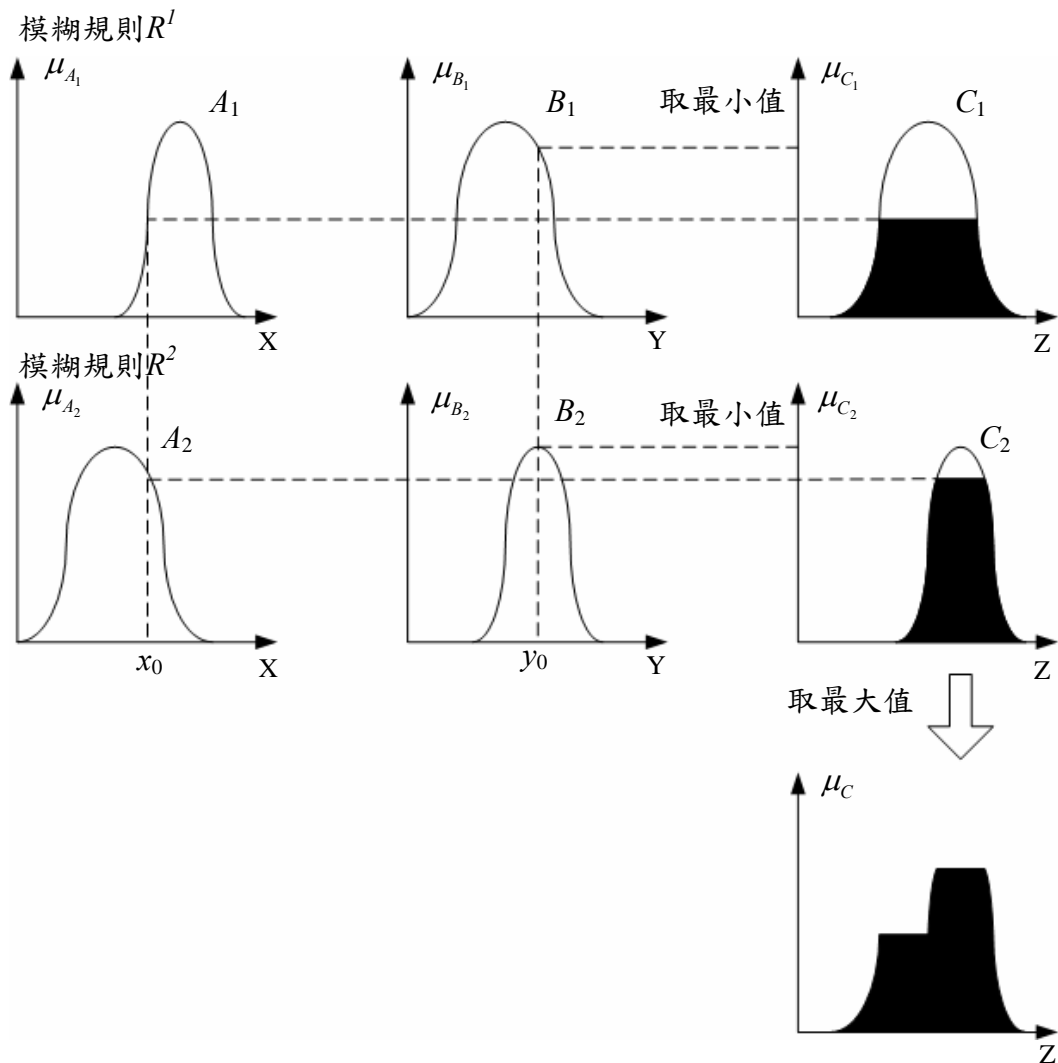


圖 2.12 一個模糊推論過程的例子。

2.3 交通系統概論

交通系統是一個龐大且複雜的動態系統，所以以適當的數學模式來描述交通系統是非常重要的。一些交通名詞及其定義將在 2.3.1 節介紹，並說明號誌化交叉路口之路口總延滯(total delay)的計算方式[39]；此外，在適應性交通燈號控制出現之前，如何將定時號誌控制最佳化也是一個相當重要的研究題目，韋伯斯特最佳周期定時號誌控制(Webster optimal cycle fixed timing)[40]是這個領域最經典的方法，除了目前普遍地被使用在交通控制實務上外，這個方法也常被當成衡量交通號誌控制績效的依據。韋伯斯特最佳周期定時號誌控制將在 2.3.2 節說明。

2.3.1 交通名詞與知識

本節所介紹的內容為參考參考文獻[39]之部分內容。一般而言，號誌設計是由幾個基本要素所組成。紅燈時間(red time)表示禁止車流進入交叉路口之時間，以 R 表示；綠燈時間(green time)為允許車輛進入交叉路口之時間，以 G 表示；黃燈時間(amber time)為仍允許車流進入之時間，但是必須以在黃燈結束前車輛完全離開交叉路口為原則，一般約設為 3~5 秒，以 A 表示；全紅時間(all red)即各方向在某一短暫時間內皆出現紅燈之情形以期達到清除交叉路口之目的，以 AR 示之。面對同一管制方向，同一顏色燈號循環一週所需之時間，稱為週期(cycle)；將週期分為幾個部份，每一部份指示某方向交通之行進或停止，稱為時相(phase)。

將每日劃分為若干時段，每一時段根據預先設計好的控制策略，以固定週期有規則地重複出現各種時相來控制交通的行進或停止，稱為定時式交通號誌控制(fixed timing traffic signal control)；反之，適應性交通號誌控制(adaptive traffic signal control)則為能因應交通狀況之迅速變化，依需求調整時相長度或是時相種類的智慧型號誌控制機制。

假設一個車道的車輛平均到達率(average arrival rate)為 q ，車道的平均紓解率(average departure rate)與飽和流率(saturation flow rate)分別為 μ 與 s ，則它們之間的

關係可以圖 2.13 表示。

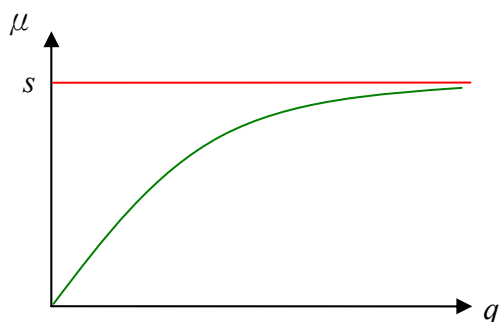


圖 2.13 平均到達率 q 、平均紓解率 μ 與飽和流率 s 的關係。

在車流紓解時，當車道的紓解率達到飽和流率的某個臨界程度以上，我們便可以說車道是可以有效率地紓解車流，一般來說，這個臨界值大約在 0.5 左右，這段時間被稱為**有效綠燈時間**(effective green time)，以 g 表示。在綠燈時間開始時，由於車輛從靜止時啟動速度較慢，所以車道的紓解率並不能馬上達到飽和流率的某個特定臨界值，這段車道沒有辦法有效紓解車流的時間，被稱為**開始損失時間**(starting lost time)，通常以 l_s 表示；在黃燈時間開始後，由於只有已經越過停止線的車輛被紓解，所以車道亦沒有有效地紓解車流，這段時間被稱為**結束損失時間**(ending lost time)，以 l_e 表示；將 l_s 與 l_e 合併起來，則我們可以得到損失時間 l ：

$$l = l_s + l_e, \quad (2.47)$$

有效綠燈時間 g 可以由下式計算而得：

$$g = G + A - l, \quad (2.48)$$

圖 2.14 可以表示上述名詞之間的關係。另外，從圖 2.14 中也可以看出，圖中的綠燈時間並沒有充分地被利用，由於座標的橫軸代表時間，縱軸代表每單位時間紓解的車流，我們可以注意到陰影區代表實際紓解的車流，所以，陰影區和虛線所圍成的面積差就代表這段綠燈時間所能夠紓解的額外車流。

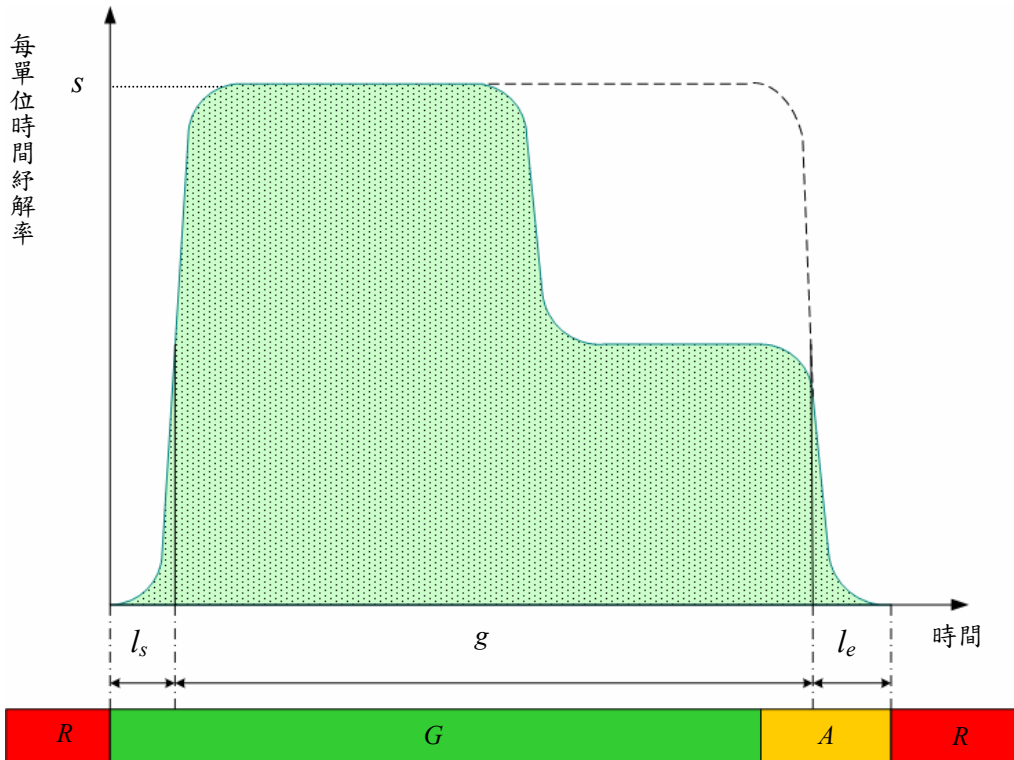


圖 2.14 損失時間 l ($l_s + l_e$)、有效綠燈時間 g 以及實際綠燈時間 G 之關係。

圖 2.15 表示一個號誌化交通路口的車輛排隊模式示意圖(queuing diagram)，它可以被用來計算路口總延滯 TD 以衡量號誌控制的績效。從圖中下式可以輕易地被看出：

$$qTQ = \mu(TQ - R), \quad (2.49)$$

其中 TQ 為車道上有車輛在排隊的時間，經過簡單的化簡， TQ 可以由下式表示：

$$TQ = \frac{\mu R}{\mu - q}, \quad (2.50)$$

NQ 代表的是車道上有車輛在排隊的時間內所紓解的車流，可以用下式表示：

$$NQ = q \cdot TQ, \quad (2.51)$$

路口總延滯 TD 可以由下式得出：

$$TD = \frac{NQ \cdot R}{2}, \quad (2.52)$$

其單位為車輛數與時間的乘積，若用圖形表示即為圖 2.15 中的陰影部份，路口總延滯要是越大，則表示陰影區域越大，車輛紓解曲線越不能逼近車輛到達曲線，

號誌控制效能就越差；反之，路口總延滯要是越小，則表示陰影區域越小，車輛紓解曲線越能逼近車輛到達曲線，號誌控制效能就越佳。

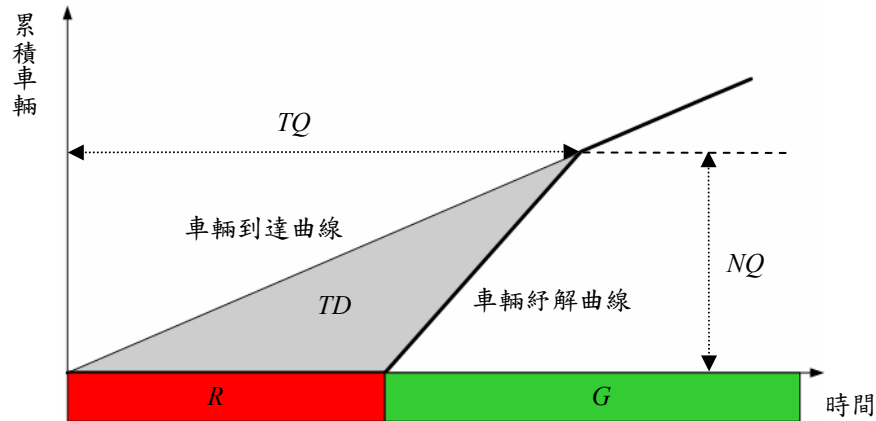


圖 2.15 號誌化交通路口的車輛排隊模式示意圖。

圖 2.15 是假設車輛的到達是均勻的，而且並沒有考慮到損失時間的情況，在這樣的假設下，路口總延滯可以透過式子(2.52)計算而得；但是實際上車輛到達的情況並不會是均勻的，而是符合某種特定機率分布；加上考慮開始損失時間後，車輛排隊模式的圖形會如圖 2.16 所示，車輛到達曲線並不是一條固定斜率的直線，而是隨著車輛到達率變動的曲線，除此之外，車輛紓解曲線在綠燈時間剛開始時會是非線性的弧形，切線斜率在損失時間內漸增而最後達到飽合流率。式子(2.52)並沒有辦法處理這樣的情況，但是我們可以回想，路口總延滯的定義其實就是車輛到達曲線與車輛紓解曲線間的差，所以若我們把車輛到達曲線當成與時間有關的函數 $Q(t)$ ，把車輛紓解曲線當成與時間有關的函數 $R(t)$ ，計算開始的時間與結束的時間分別為 t_s 與 t_e ，則路口總延滯 TD 可以由下式計算得到：

$$TD = \int_{t=t_s}^{t=t_e} (Q(t) - R(t)) dt, \quad (2.53)$$

或是當時間間隔為離散時，可由其離散版本求得：

$$TD = \sum_{t=t_s}^{t_e} (Q(t) - R(t)), \quad (2.54)$$

這樣一來，路口總延滯的計算就不會受到車輛隨機到達以及忽略損失時間所造成的影響。

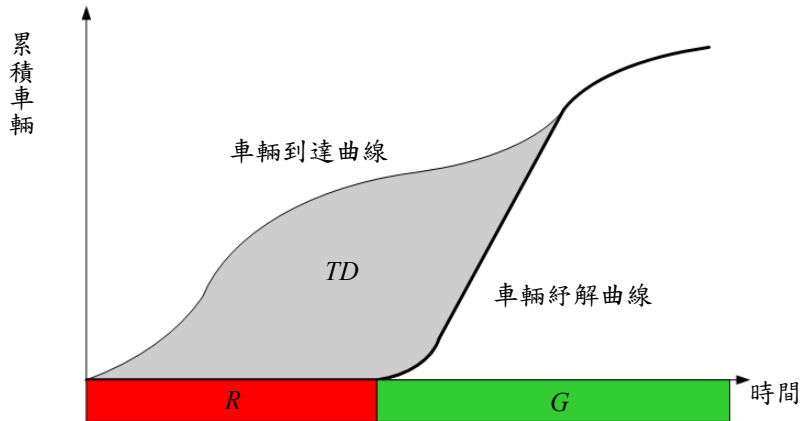


圖 2.16 考慮車輛隨機到達及損失時間的車輛排隊示意圖。

2.3.2 韋伯斯特最佳週期定時號誌控制

韋伯斯特將交叉路口總延滯計算公式對週期微分，得到具有最小延滯的週期 C_o [40]。 C_o 可以下列的公式計算而得：

$$C_o = \frac{1.5(nl + \sum AR) + 5}{1 - (y_1 + y_2 + \dots + y_n)} = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum y_i}, \quad (2.55)$$

其中 n 為時相數目， l 為每一時相之損失時間， AR 為全紅時間， L 為各時相總損失時間， y_i 為時相 i 時之交通流量與飽和流量比值。在算出最小延滯週期後，接著可以計算總有效綠燈時間 g_E ：

$$g_E = C_o - L - \sum A_i, \quad (2.56)$$

其中 A_i 為每時相之黃燈時間。最後，依照車道的飽和程度等比例分配有效綠燈時間 g_{Ei} 給每個時相：

$$g_{Ei} = \frac{y_i}{\sum y_i} g_E, \quad 1 \leq i \leq n. \quad (2.57)$$

最後可以依照式子(2.48)計算出每個時相的綠燈時間 G_i 。

第三章

交通資訊估測系統與模糊適應性交通號誌管理系統

交通資訊偵測以及適應性交通號誌管理都是相當受到重視的議題，由第一章的探討可以知道目前存在許多的相關文獻，但是大部分的方法都是對影像中的場景進行微觀量測，亦即將影像中的每個行人，或是每部車輛都加以識別接著進行追蹤的工作，這樣的方法在管理交通動線的應用上其實是沒有必要的，原因主要有三個：1) 在管理交通動線時，我們並不用實際去計算路口到底有多少車輛要通過，或是有多少車輛在等待著要通過，僅僅只要有多或少這種語意式的概念，就可以分辨出路口的用路需求量，進而可以達成交通動線管理的目的；2) 在管理交通動線時，我們並不用去追蹤行人或是車輛，在追蹤的過程中我們需要預測行進路徑，而預測行進路徑常常是為了避免用路人之間的碰撞而發生意外，但是目前的預測演算法都只能用目前及以前所蒐集的統計資料對下一個狀態(state)做預測，若以攝影機為感測器的話，則是對 0.1 秒(10 fps)或是 0.0333(30 fps)秒後作預測，在這樣短的時間裡，即使預測系統預測到碰撞的發生，在通知用路人後，用路人也很難在極短的時間裡作出適當的反應，因此並不能達到先知先覺的功用；3) 微觀量測需要非常複雜的演算法來實現，但是演算法越是複雜，則計算上的效率便越差；除此之外，路口的行人姿態以及車輛外型多變而不固定，在這樣的情況下，微觀量測的方法更是遭遇到重大的考驗。有鑑於上述種種原因，本論文設計出一個交通流量估測系統，可以約略估測行人數目、判別路口車流多寡，並提

出一個以模糊推論系統為核心的適應性交通號誌管理系統來與之配合，詳細的內容將在此章節說明。

在章節 3.1 中會概述整個系統的流程與原理。在 3.2 節中會介紹相機校正的方法。在 3.3 節會探討估測行人穿越道上行人數目的行人估測系統。在 3.4 節中會介紹估測車道上車輛多寡的車流估測系統。在 3.5 節會講解以模糊推論系統為核心的模糊適應性號誌控制系統。

3.1 系統概述

圖 3.1 為系統的架構，整個系統的流程可以分成四個部份。第一個部份為相機校正，利用行人穿越道以及車道的圖形特性可以很容易地得到相機的內、外部參數，藉由相機的內、外部參數可以求得真實世界中的物件投影在影像平面上的長度，也可以求得影像中的物件在真實世界中的位置及長度。對於每一個行人穿越道或是車道的場景而言，相機校正只需要手動地建構一次，整個交通資訊估測系統有關於影像深度的參數即可根據相機的內外部參數自動建立。第二部份是行人估測系統，藉由從輸入影像中抽取前景並搭配使用透視轉換，我們可以得到前景像素總數與行人數目的關係，搭配預先建立好的行人樣版，行人的數目便可約略地被估計出來。第三部分是車流估測系統，我們同樣利用透視轉換得到前景像素數目與前景多寡的關係，並抽取影像中目標區域的紋理參數，藉由這兩種特徵，車流的多寡可以被推論出來。第四部份則是模糊適應性交通號誌管理系統，它接受行人估測系統以及車流估測系統所估測出來的資訊，交由模糊推論系統推論出適當的時相延長時間。

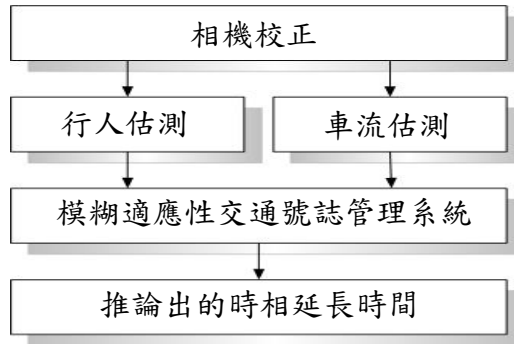


圖 3.1 系統架構圖。

3.2 相機校正

本系統在相機的架設上有一個特別的設定，即相機是架設在高處往下俯瞰且相機鏡頭的方向是與行人穿越道以及車道方向平行，如圖 3.2 所示。這樣的安排有兩個好處，第一個好處是從高處俯瞰對相機來說可以有較大的搜尋範圍，並且也可以避免整個場景被某個大物件所遮蔽住；第二個好處是這樣的安排，讓我們可以很容易地從場景中找到特殊的物件來校正相機，省略了實地去找特徵點的煩瑣步驟。

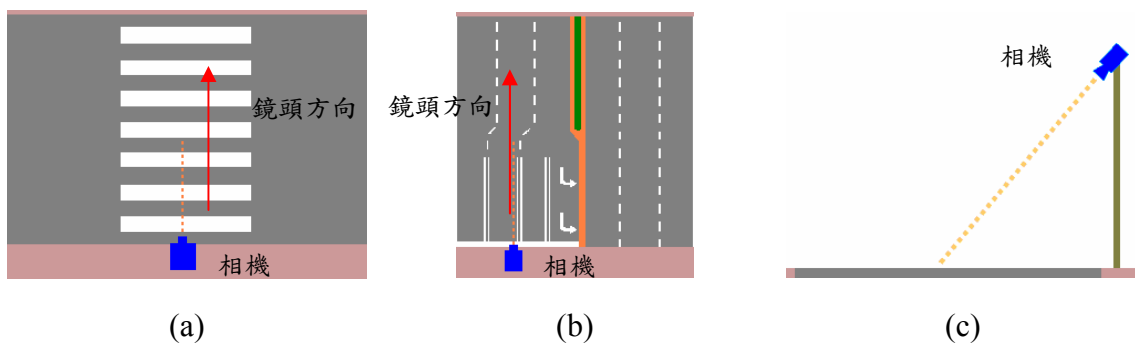


圖 3.2 攝影機的架設方式。(a) 行人穿越道場景之架設；(b) 車道場景之架設；(c) 側視圖。

章節 2.1.1 中說明了相機校正的方法，並且介紹了一個用到七個相機參數(焦距 f 、主要點 $p(u_0, v_0)$ 、平掃角 α 、俯仰角 β 、平擺角 γ 、以及相機所在位置的高度 H_c)

的模型，其CCS及WCS的相對關係可參考圖 2.3。基於上述模型，此章節提出一個合理且更簡化的模型。我們作了以下假設：1) 設定 $p(u_0, v_0)$ 為影像平面中心，且 v_0 位於影像高度的一半，如圖 3.3；2) $\gamma=0$ ；3) $\alpha=0$ 。根據行人穿越道以及車道的圖形特性可以很容易地得到消失點 V_y 以及 V_z ，如圖 3.3，利用行人穿越道或是車道兩側的平行線延伸可以得到消失點 $V_z(u_{V_z}, v_{V_z})$ ，且由式子(2.6.5)可以得到 u_0 等於 u_{V_z} ，利用不同行人的身體傾斜線或是場景中的直立物體可以得到另一個消失點 $V_y(u_{V_y}, v_{V_y})$ 。由式子(2.6.4)以及(2.6.6)可以求得焦距 f 為：

$$f = \sqrt{-v_{V_y} \cdot v_{V_z}}. \quad (3.1)$$

由式子(3.1)以及(2.6.6)可以求得為：

$$\beta = \tan^{-1}(-v_{V_z} / f). \quad (3.2)$$

為了求得 H_c ，可以令參考物件為影像平面中的任意一位行人，則由影像中行人頭頂的座標、影像中行人腳底的座標、以及估測的行人身高，由式子(2.10)即可求得 H_c 。經由以上假設及推導得到簡化後的透視轉換矩陣 M 為：

$$M = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & H_c \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.3)$$

得到透視轉換矩陣 M 後，我們便可以利用它來進行透視轉換，將二維與三維空間中的座標互相對應。為了方便表示，我們將式子(3.3)的透視轉換矩陣 M 表示為

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ 0 & m_{32} & m_{33} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

假設 $\mathbf{x} = [x, y, z, 1]^T$ 為在世界座標上的一點，則我們可以利用式子(3.5)來計算它投影在影像平面上的座標 $\mathbf{u} = [u, v, 1]^T$ ：

$$\begin{aligned} u &= (m_1 \cdot \mathbf{x}) / (m_3 \cdot \mathbf{x}), \\ v &= (m_2 \cdot \mathbf{x}) / (m_3 \cdot \mathbf{x}), \end{aligned} \quad (3.5)$$

假設 $\mathbf{u} = [u, v, 1]^T$ 為影像平面上的一個座標點，則由式子(2.2)以及(3.4)可以得到 x 與 z 如下列所示：

$$\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} b_{11} &= -m_{11}, \\ b_{12} &= u \cdot m_{33}, \\ b_{21} &= 0, \\ b_{22} &= v \cdot m_{33} - m_{23}, \\ c_1 &= -u \cdot m_{32} \cdot y, \\ c_2 &= (-v \cdot m_{32} + m_{22}) \cdot y + m_{24}, \end{aligned} \quad (3.6)$$

其中 y 無法由式子(3.6)中計算而得，必須要自行假設。

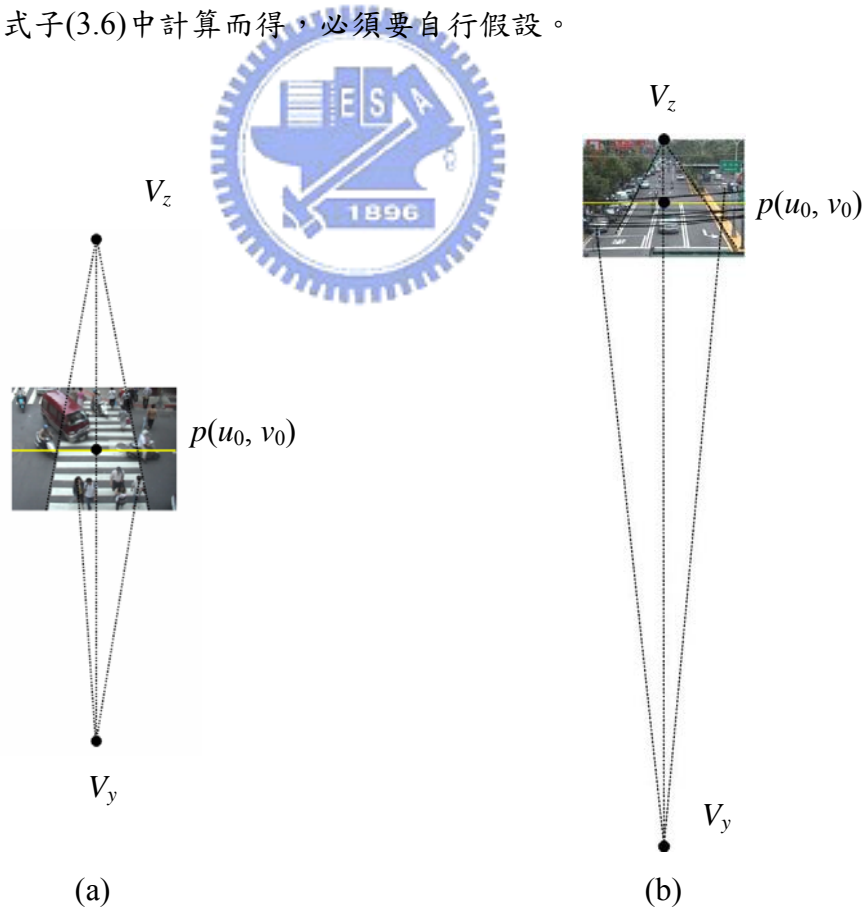


圖 3.3 場景中消失點 V_y 與 V_z 的位置。(a) 行人穿越道場景；(b) 車道場景。

3.3 行人估測系統

3.3.1 節會說明前景的取得方式。抽取出的前景裡，充滿著許多非人的物件，這些部分必須被移除以免影響系統估測的正確性，這會在 3.3.2 節敘述。3.3.3 節會討論估測行人穿越道上人數的方法。行人估測系統的流程圖如圖 3.4 所示。

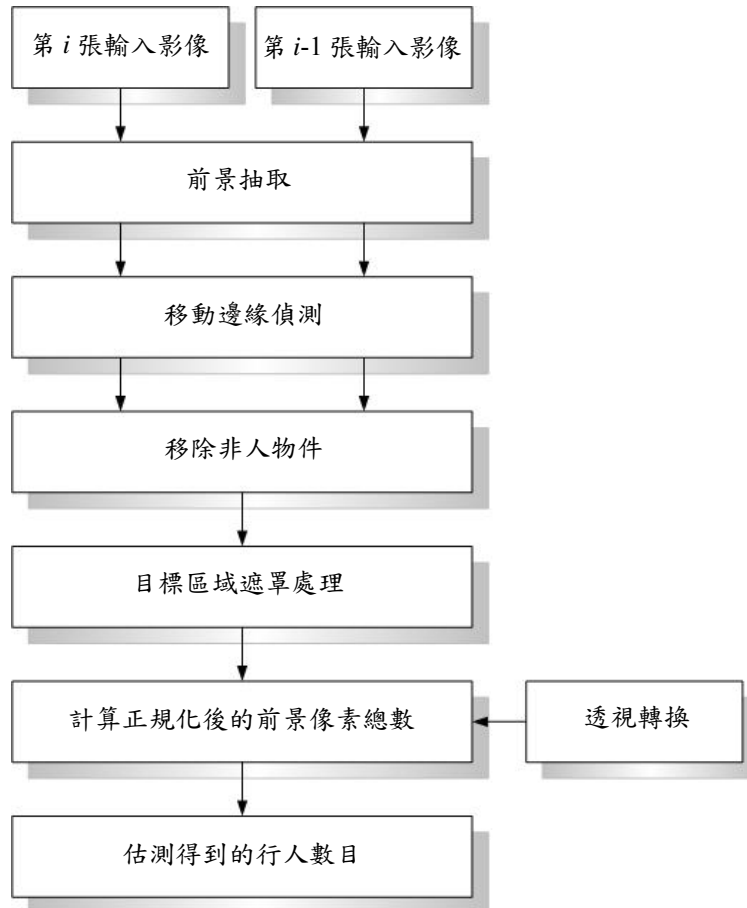


圖 3.4 行人偵測系統的流程圖。

3.3.1 前景抽取

本篇論文擷取前景的方法為背景相減法，這樣的方法必須先建立背景影像，背景影像 I_b 的建立可以使用以下演算法：

$$I_b(u, v) = \text{median}(I_k^{(i)}(u, v)), i = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (3.7)$$

其中 k 是 r 或 g 或 b ，分別代表 RGB 彩色模型的 R、G、以及 B 色彩空間， $I_b(u, v)$

代表背景影像上 (u, v) 點的颜色在 k 色彩空間的值， $I_k^{(i)}(u, v)$ 代表第 i 個輸入影像在 (u, v) 點的颜色在 k 色彩空間的值， n 是要建立背景影像所需要的影像序列數目， $\text{median}()$ 代表對 n 個輸入影像在 (u, v) 點的颜色取中值。一個建立背景影像的例子如圖 3.5 所示。



圖 3.5 建立背景影像的圖例。(a)至(c) 用來建立背景影像的部份影像序列；(d) 建立的背景影像。

對輸入影像與背景影像作比較的結果可以用前景遮罩影像 Im 表示， Im 是一個二值化的影像，可由下列式子求得：

$$Im(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{if } \|I(u, v) - Ib(u, v)\| > \tau_f, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\|I(u, v) - Ib(u, v)\| = \sqrt{(I_r(u, v) - Ib_r(u, v))^2 + (I_g(u, v) - Ib_g(u, v))^2 + (I_b(u, v) - Ib_b(u, v))^2}, \quad (3.9)$$

其中 τ_f 是一個適當的臨界值(threshold)，式子(3.8)的意義是當輸入影像與背景影像在 (u, v) 點的範數(norm)大於某一臨界值，則該點為前景，並標示為 1，一個取得前景遮罩影像的例子如圖 3.6 所示。由 Im 可以得到前景 Ip 的定義如下：

$$Ip(u, v) = \begin{cases} I(u, v), & \text{if } Im(u, v) = 1, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3.10)$$

亦即 Ip 只有定義在 Im 為 1 的像素點，其餘 Im 為 0 的像素點則被視為背景的一部份。

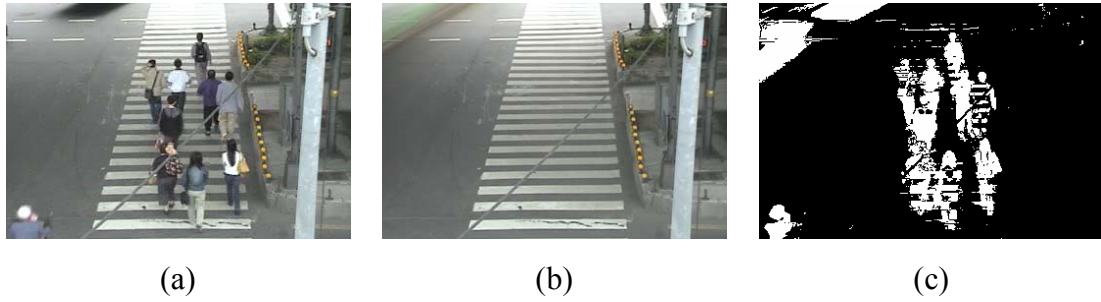


圖 3.6 建立前景遮罩影像的圖例。(a) 輸入影像；(b) 背景影像；(c) 前景遮罩。

物體反射的顏色在不同光源的情況下會不同，因此一個固定的場景在不同的時刻的背景影像也會不同，為了解決這個問題可以建立幾個光源強度不同的背景影像，另外一種常見的方式則是採用即時更新背景的技巧，可以參考[41]。隨著光源強度以及物體顏色的不同，上述的 τ_f 的最佳值也會不同，我們可以將 τ_f 視為光源強度 V 的函數，經由統計可以得到兩者的關係式 $\tau_f(V)$ 。除了上述方法，也可以利用白平衡演算法移除輸入影像的色偏[42]後再進行前景抽取。本篇論文的 τ_f 設為 50，實驗結果顯示在各個場景的效果都可以令人接受。

前景遮罩一開始被抽取出後，除了真正的前景外，尚有許多的雜訊也一併被錯誤地當成前景，使得前景遮罩影像破碎而且雜亂不堪。為了使抽取出來的前景影像更完整且具體化，我們先使用中值濾波器(median filter)除去孤立的雜訊點，接著再用一個圓盤形且半徑為三個像素大小的結構元素將其閉合，如此就可以得到較完整的前景影像。處理的過程如圖 3.7 所示。

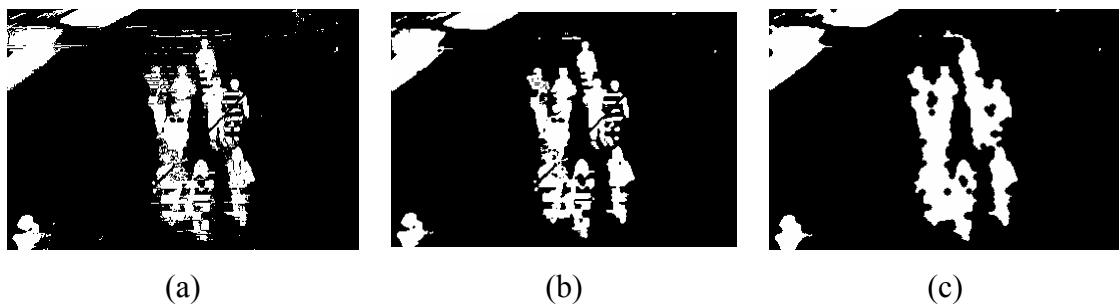


圖 3.7 將前景遮罩進一步處理的例子。(a) 原來的前景；(b) 將(a)中值濾波後的影像；(c) 將(b)閉合後的影像。

3.3.2 移除非人物件

完成了前景抽取的步驟後，前景影像仍可能包含許多非人物件的像素，這些非人物件可能是轎車、貨車、客運、機車或是自行車。因為我們的目的是要估測在行人穿越道上的行人，這些屬於交通工具的非人物件必須從影像中被去除。要從複雜場景中將交通工具辨識出來是一個相當具有挑戰性的題目，一般來說，如第一章中所介紹的圖形識別技術[15]-[22]可以解決這個問題，但是這樣的方式可能需要許多時間來對系統作訓練，或是需要非常複雜的演算法來完成即時的特徵比對。

本論文採用一個具有高效率且非常簡單的方法來移除場景中的非人物件。首先，我們注意到在行人穿越道場景中行人與交通工具最大的不同就是移動速度，要是我們拿兩張連續輸入影像的前景遮罩來做影像相減，很容易便可以發現交通工具的移動邊緣像素比起行人的移動邊緣像素多了很多，如圖 3.8(c)所示。現在我們想要保留交通工具的移動邊緣並消去行人的移動邊緣，所以我們再度運用中值濾波器來濾掉行人微小的移動邊緣而留下交通工具較明顯的移動邊緣，接著使用圓盤形且半徑為五個像素大小的結構元素將其閉合，以連接幾個充分接近的部份成為一個大的部份，如圖 3.8(d)所示。藉著索引這張邊緣影像，交通工具便可以從影像中被認出，於是大部分屬於交通工具的前景像素便可以消去，如圖 3.8(e)所示。不可避免地，極少部分屬於行人的像素也會被消去，但這對我們最後的估測結果並不會有顯著的影響。

3.3.3 估測行人數目

在完成移除行人穿越道上的非人物件後，剩餘的前景像素就是由正在通過行人穿越道的行人以及行人穿越道外的交通工具所構成，一個簡單的前景目標區域遮罩處理可以清除掉我們所不想要的區域，只留下行人穿越道上的前景像素。直覺上我們可能會認為：若剩餘前景像素的數目越多，則行人的數目便越多，但是

這樣的想法在許多的情況往往是錯誤的。如圖 3.9 所示，一個相同外型物體，從不同的世界座標位置投影在影像座標平面，所佔據的面積大小並不相同，較大的橢圓是一個橢圓體較靠近相機所投影的結果；較小的橢圓則是相同橢圓體較遠離相機所投影的結果，圖 3.9 中的橫線則代表世界座標中的等距線。這也告訴了我們，前景像素的個數與行人穿越道上的行人數目並沒有成正比，所以，我們必須找出一個方法來得到前景像素總數與行人數目的關係。

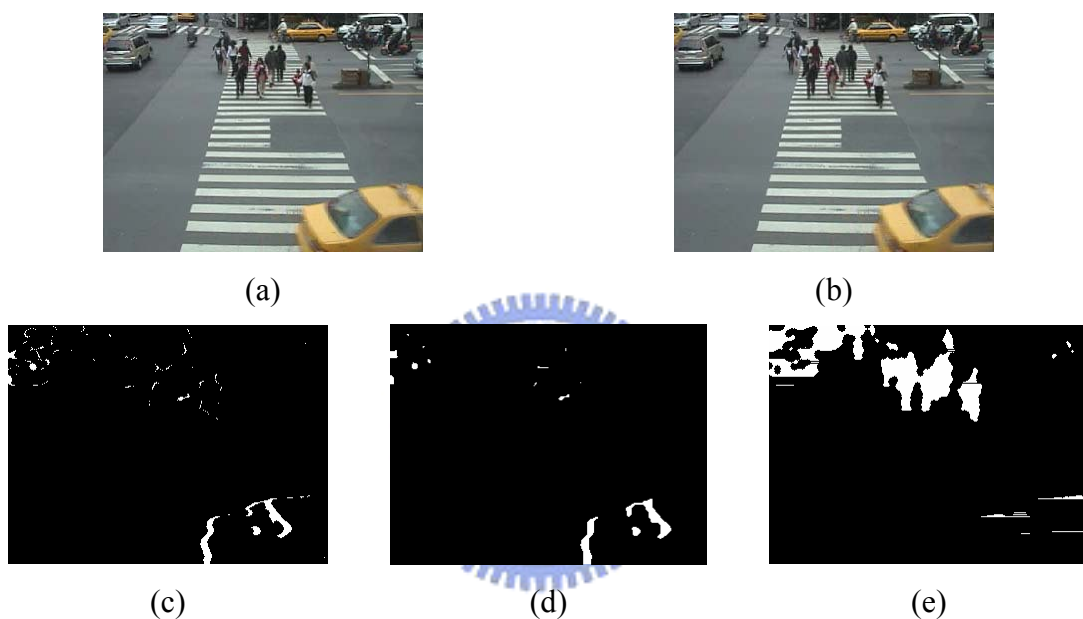


圖 3.8 移除影像中非人物件的例子。(a)-(b) 兩張連續輸入影像；(c) 移動邊緣；(d) 處理過後的移動邊緣；(e) 除去行人穿越道上的非人物件的前景影像。

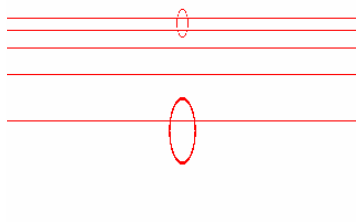


圖 3.9 相同物體從不同的位置投影在影像上具有不同面積的示意圖。

為了要得到前景像素總數與前景物件個數之間的關係，我們對影像平面中的

每一個像素 (u, v) 定義其**正規化增益**(normalized gain) $ng(u, v)$ ：

$$ng(u, v) = \frac{[P(P^{-1}(u_0, v_0, L), 2L) - P(P^{-1}(u_0, v_0, L), 0)]^2}{[P(P^{-1}(u, v, L), 2L) - P(P^{-1}(u, v, L), 0)]^2}, \quad (3.11)$$

其中 $P^{-1}(i, j, k)$ 表示將影像座標點 (i, j) 以給定的高度 k 進行反透視轉換到世界座標系統；同樣地， $P(P^{-1}(i, j, k), q)$ 則表示將世界座標 $P^{-1}(i, j, k)$ 以給定的高度 q 進行透視轉換到影像座標系統中； u_0 和 v_0 則是在可以在影像平面中任意選擇的參考點，在本論文中， (u_0, v_0) 則是選擇在影像的正中央。式子(3.11)的構想主要是要避免當一個圓形或是橢圓形被投影在影像平面中不同位置時所產生的面積變動。接下來我們所關心的便不再是前景像素的數目，而是計算前景影像中每個前景像素乘上其正規化增益後的總和，同時，一個中心落在 (u_0, v_0) 且高度為 160 公分的橢圓形行人樣版也被建立，如我們可以在圖 3.10 看到的一般，行人的前景像素大約佔橢圓樣版面積的 70% 到 80%，所以我們便可以用下式來大約地估測行人穿越道上的行人數目 N ：

$$N = \text{round} \left(\frac{\sum_{u,v} c(u, v) \cdot ng(u, v)}{0.75 \cdot \pi \cdot A \cdot B} \right), \quad (3.12)$$

$$c(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{if } I_p(u, v) = 1, \\ 0, & \text{if } I_p(u, v) = 0, \end{cases}$$

其中 $\text{round}()$ 表示將分數量化到最接近的整數， I_p 代表處理過的前景影像， A 與 B 分別為橢圓形行人樣版的長軸與短軸，在本論文中 B 被設定成 $0.4A$ 。



圖 3.10 橢圓形行人樣版的示意圖。

3.4 車流估測系統

3.4.1 節會說明系統所需要的影像前處理。3.4.2 節會介紹特徵抽取的方法。3.4.3 節會討論利用模糊推論系統估測車道上車流多寡的方式。車流估測系統的流程圖如圖 3.11 所示。

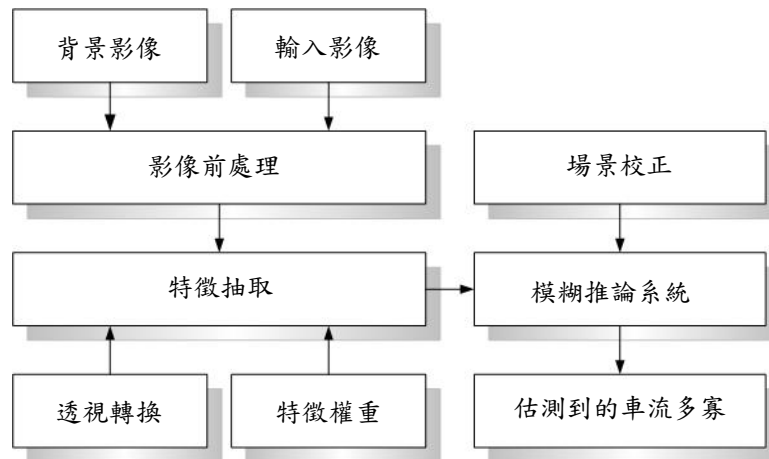


圖 3.11 車流估測系統的流程圖。

3.4.1 影像前處理

在介紹車流估測系統前，我們先介紹所需使用到的影像前處理。因為我們將對輸入影像的目標區域抽取紋理特徵，而使用灰階共生矩陣抽取紋理特徵的條件就是輸入影像需為灰階影像，所以我們首先必須要將相機擷取到的彩色影像轉為灰階影像。將彩色輸入影像 I 轉為灰階影像 I_g 的一個簡單方法是將彩色影像的 R、G 還有 B 值平均，如下式所示：

$$I_g(u, v) = \frac{1}{3}I_r(u, v) + \frac{1}{3}I_g(u, v) + \frac{1}{3}I_b(u, v), \quad (3.13)$$

其中 $I_r(u, v)$ 、 $I_g(u, v)$ 以及 $I_b(u, v)$ 分別為輸入彩色影像座標 (u, v) 的 R、G 以及 B 值。圖 3.12 顯示了一個將彩色影像轉為灰階的例子。

得到灰階影像後，我們須在影像中規劃出目標區域，目標區域的選取可以是整個道路，也可以是道路中的特定車道，如圖 3.13(a) 所示。接下來我們把灰階輸

入影像中目標區域的部份嵌入灰階背景影像中的目標區域，形成新的一張灰階輸入影像，如圖 3.13(b)所示。這個步驟的目的是為了讓新的灰階輸入影像與灰階背景影像僅僅只有在目標區域有所不同，這樣的話，灰階背景影像與前處理過的灰階輸入影像紋理之間的差異，就完全是由我們所關心的目標區域所主宰，不會被其他我們所不在意的區域影響而影響到紋理特徵抽取的結果。



圖 3.12 彩色影像轉成灰階影像的例子。(a) 彩色影像；(b) 轉換後的灰階影像。

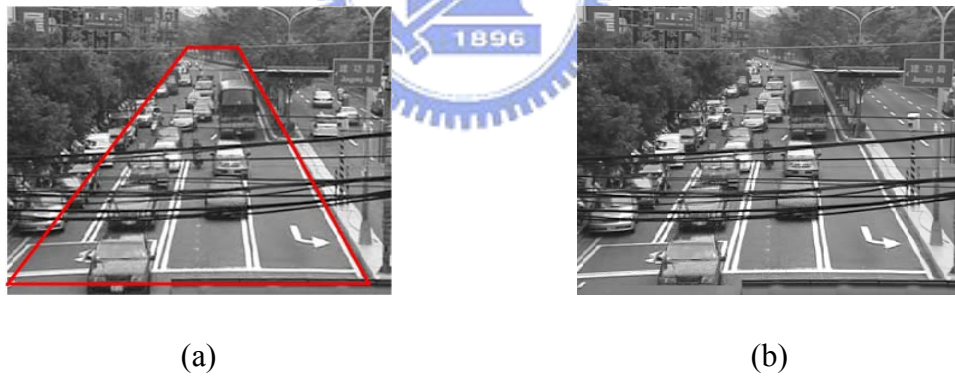


圖 3.13 規劃目標區域與嵌入目標區域的例子。(a) 在影像中規劃出的目標區域；(b) 將輸入灰階影像的目標區域嵌入灰階背景影像。

3.4.2 特徵抽取

車流估測系統中，系統需要抽取兩個特徵以供判別車流多寡，一個是正規化後的前景像素，以 NP 表示；另一個則是與背景的紋理差異，以 $Diff$ 表示，相關說明如下。

要辨識場景中車道上的車流多寡，最直觀的想法就是比較影像中前景物件的多少，使用與 3.3.1 節相同的方法，我們可以將前景與背景分離開來，此時的前景物件因為都是使用道路的交通工具，所以並不需要加入額外的步驟來移除不必要的前景；得到前景影像 I_p 後，我們可以搭配透視轉換來對它計算正規化像素總數 NP ：

$$NP = \sum_{u,v} c(u,v) \cdot ng(u,v),$$

$$c(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{if } I_p(u,v) = 1, \\ 0, & \text{if } I_p(u,v) = 0, \end{cases} \quad (3.14)$$

其中 $ng(u,v)$ 為影像座標點 (u,v) 的正規化增益。對每張輸入影像抽取特徵 NP 可以得到前景像素與前景物件之間的關係，使得比較不同影像前景多寡的工作變得單純，若 NP 較大則代表前景物件較多；相反地，若 NP 較小則代表前景物件較少。

計算出 NP 的好處是能客觀地分辨出影像中目標區域的前景多寡，但是僅僅分辨出前景多寡是不夠的。考慮以下的情況：在綠燈時相執行中，在場景裡若有同樣多的車輛，但是一個場景的車輛較接近停止線，另一個場景的車輛則遠離停止線，若我們在此時終止綠燈時間，則在車輛較接近停止線的情形下，排隊車輛會快速累積，車輛停等的時間也就因此而拉長；相反地，在車輛遠離停止線的情形下，車輛還需往前行進一段距離才停止，因此車輛停等排隊等待紓解的時間會短得多，所以我們會認為車輛較接近停止線的情形有比較大的用路需求。由上述說明我們可以了解到，我們還需要抽取一個能表示出影像中前景位置的特徵。

我們很容易注意到，當前景位於影像中較前方位的時候，前景是較大、較清楚且對比較強的；當前景位於影像中較後方位的時候，前景是較小、較模糊且對比較差的，這樣的發現給了我們抽取灰階影像目標區域紋理特性當作特徵的想法。抽取紋理特徵的工具是利用 2.1.2 節所介紹的灰階共生矩陣；為了不失一般性，位置運算子 R 定義為「 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 及 135° 且為中心像素旁邊的第一個像素」；抽取的特徵包括對比度 Cts 、相關性 Cor 、能量 Eng 、一致性 Hom 以及熵 Etp 。對灰階輸入影像以及灰階背景影像抽取特徵可分別得到四組具有五個分量的特徵向量，

每一組向量代表一個方向的特徵抽取結果，特徵向量中的每一個分量代表一個紋理特徵的計算量度。若將輸入影像 I 的 0° 方向所抽取之特徵向量以 \mathbf{I}_0 表示，其分量之一的對比度以 $ICts_0$ 表示，相關性以 $ICor_0$ 表示，則依此類推，與輸入灰階影像 I 有關的四組特徵向量可以下式表示：

$$\begin{aligned}\mathbf{I}_0 &= [ICts_0 \quad ICor_0 \quad IEng_0 \quad IHom_0 \quad IEpt_0]^T, \\ \mathbf{I}_{45} &= [ICts_{45} \quad ICor_{45} \quad IEng_{45} \quad IHom_{45} \quad IEpt_{45}]^T, \\ \mathbf{I}_{90} &= [ICts_{90} \quad ICor_{90} \quad IEng_{90} \quad IHom_{90} \quad IEpt_{90}]^T, \\ \mathbf{I}_{135} &= [ICts_{135} \quad ICor_{135} \quad IEng_{135} \quad IHom_{135} \quad IEpt_{135}]^T,\end{aligned}\quad (3.15)$$

同樣地，與輸入灰階影像 B 有關的四組特徵向量可以下式表示：

$$\begin{aligned}\mathbf{B}_0 &= [BCts_0 \quad BCor_0 \quad BEng_0 \quad BHom_0 \quad BEpt_0]^T, \\ \mathbf{B}_{45} &= [BCts_{45} \quad BCor_{45} \quad BEng_{45} \quad BHom_{45} \quad BEpt_{45}]^T, \\ \mathbf{B}_{90} &= [BCts_{90} \quad BCor_{90} \quad BEng_{90} \quad BHom_{90} \quad BEpt_{90}]^T, \\ \mathbf{B}_{135} &= [BCts_{135} \quad BCor_{135} \quad BEng_{135} \quad BHom_{135} \quad BEpt_{135}]^T,\end{aligned}\quad (3.16)$$

這麼多的特徵向量在使用上並不方便，所以我們利用式子(3.17)來將它們簡化：

$$f_std = \sqrt{\frac{(If_0 - Bf_0)^2 + (If_{45} - Bf_{45})^2 + (If_{90} - Bf_{90})^2 + (If_{135} - Bf_{135})^2}{4}}, \quad (3.17)$$

式子(3.17)的意義為計算所求的某個特徵分量 f 在四個給定的方向上，輸入影像相對於背景影像的標準差，其中 f 依序以 Cts 、 Cor 、 Eng 、 Hom 以及 Etp 代入則可以得到 Cts_std 、 Cor_std 、 Eng_std 、 Hom_std 以及 Etp_std ，將這五個特徵分量之標準差合併起來可以得到新的特徵向量 \mathbf{F} ：

$$\mathbf{F} = [Cts_std \quad Cor_std \quad Eng_std \quad Hom_std \quad Etp_std]^T, \quad (3.18)$$

假設若以灰階背景影像所求得的紋理特徵為基準點，則特徵向量 \mathbf{F} 就代表了目前輸入影像的紋理特徵偏離了這個基準點的量度。

我們雖然已經將特徵從四組二十個簡化為一組五個，但是目前若要使用特徵向量 \mathbf{F} 則仍然不太恰當，原因是我們所抽取的特徵們其所對應的值域各不相同，若是直接使用，則可能會被其中某個值域範圍較大的特徵分量所主宰，因而失去其他特徵的價值；這樣的問題可以藉由給予特徵適當的權重來改善，相關內容已

於 2.1.3 中討論過。在本論文裡，我們選取影像序列中的十張連續影像，計算它們個別的特徵向量 \mathbf{F} ，再利用這些資訊與 2.1.3 節中所討論的方法求得每一個分量的權重；選擇的十張連續影像以靜態影像為宜。隨著選取影像序列的不同，計算而得的權重係數也會跟著不同，但是應該都會呈現固定的大小關係。



圖 3.14 計算特徵權重係數所用到的十張連續影像。

圖 3.14 為被選中用來計算特徵權重係數矩陣 \mathbf{W} 的十張連續影像，式子(3.19)是在式子(2.22)的限制下，計算出的權重係數矩陣 \mathbf{W}_1 ：

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} 0.002 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0104 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8666 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1218 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.001 \end{bmatrix}, \quad (3.19)$$

經過 \mathbf{W}_1 映射後，特徵空間的集合內部距離從 10^{-4} 的數量級縮小到 10^{-8} 的數量級。式子(3.20)則是在式子(2.28)的限制下計算出的權重係數矩陣 \mathbf{W}_2 ：

$$\mathbf{W}_2 = \begin{bmatrix} 0.1366 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8.5246 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.1965 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2879 \end{bmatrix}, \quad (3.20)$$

經過 \mathbf{W}_2 映射後，特徵空間的集合內部距離從 10^{-4} 的數量級縮小到 10^{-5} 的數量級。從 \mathbf{W}_1 與 \mathbf{W}_2 我們可以看出，能量以及像素之間的一致性是最重要的兩個特徵，尤其是能量；其他三個特徵的重要性相對起來則是低得多。

由於經過 \mathbf{W}_1 映射的特徵空間其集合內部距離遠小於經過 \mathbf{W}_2 映射的特徵空間之集合內部距離，因此，我們選擇 \mathbf{W}_1 作為這個場景的權重矩陣 \mathbf{W} ，將輸入影像抽取出的特徵向量 \mathbf{F} 經過 \mathbf{W} 的映射後，各個分量便是同等重要；取其**第一範數**(one norm)，便可以將特徵向量 \mathbf{F} 化為一個純量，得到紋理特徵 $Diff$ ：

$$Diff = \|\mathbf{WF}\|_1, \quad (3.21)$$

其中 $\|\cdot\|_1$ 表示對向量取第一範數。

3.4.3 場景校正與模糊車流估測系統

由於每個路口的車道配置不同，車道容量也不同，所以我們在對道路估測車流前，必須先對每個拍攝場景進行校正工作。校正的方法很簡單，我們從影像序列中挑選一張道路嚴重阻滯的影像，接著對它進行特徵抽取，將得到的正規化前景像素 NP 以 NP_{\max} 表示；紋理特徵 $Diff$ 以 $Diff_{\max}$ 表示，分別將這兩個參數當作特徵抽取時的上界，因此我們可以對每張輸入影像計算 NP 與 NP_{\max} 的比值 NP_{ratio} ，以及 $Diff$ 與 $Diff_{\max}$ 的比值 $Diff_{ratio}$ ：

$$\begin{aligned} NP_{ratio} &= \frac{NP}{NP_{\max}}, \\ Diff_{ratio} &= \frac{Diff}{Diff_{\max}}, \end{aligned} \quad (3.22)$$

在場景校正過後，將對輸入影像抽取的特徵轉化為 NP_{ratio} 以及 $Diff_{ratio}$ ，便可以將這兩個參數送入模糊車流估測系統來估測車流。

模糊車流估測系統並不去真正算出車輛數目、車輛速度等微觀尺度量度，而只是判斷路口車流多寡的程度，將車流的多寡正規化為 $[0, 1]$ 之間的數，越接近 0 則表示車流越少，對於在號誌控制的應用上，則表示延長執行時間的需要越小，越接近 1 則代表車流越多，延長執行時間的需要越大。模糊車流估測系統有兩個輸入參數，分別為 NP_{ratio} 以及 $Diff_{ratio}$ ，它們的值域都是 $[0, 1]$ ；系統輸出只有一個，為車流程度 IV_{degree} ，值域為 $[-0.2, 1.2]$ ，這樣的設定是為了在去模糊化的時候，輸出

的值可以充分落在 0 與 1 之間。若輸出大於 1，則將之視為 1；若輸出小於 0，則將之視為 0。 NP_{ratio} 有三個措詞集，分別為多(many)、中(median)以及少(few)； $Diff_{ratio}$ 也有三個措詞集，分別為大(large)、中(median)以及小(small)； IV_{degree} 則有五個措詞集，分別為最高(highest)、較高(higher)、中(median)、較小(smaller)以及最小(smallest)。這三個變數的歸屬函數如圖 3.15 所示。

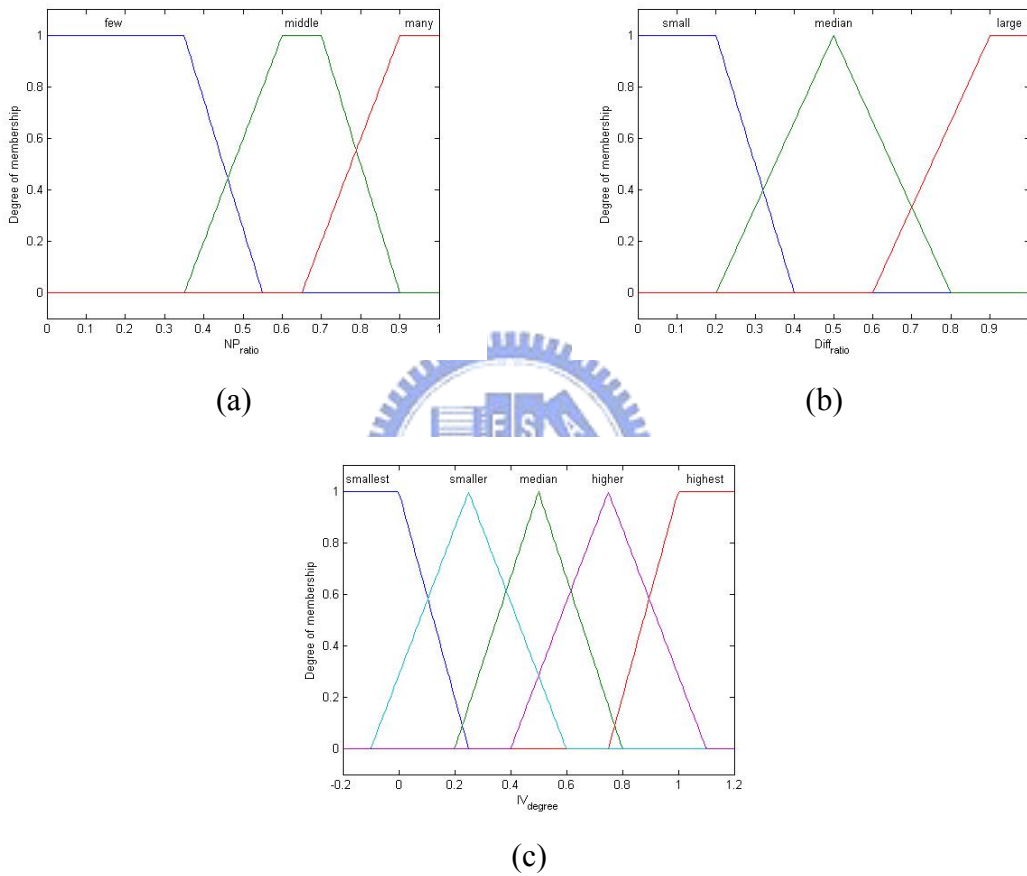


圖 3.15 模糊車流估測系統的歸屬函數。(a) NP_{ratio} 的歸屬函數；(b) $Diff_{ratio}$ 的歸屬函數；(c) IV_{degree} 的歸屬函數。

模糊推論系統的架構已在 2.2 節中介紹過，本論文使用的推論方法為 Mamdani 最小值推論法，模糊規則的形式為語意式模糊規則，去模糊化的方法為面積中心法，模糊車流估測系統的模糊規則共有九條，詳列在表 3.1 內，輸入與輸出之間的關係則可以從圖 3.16 中的曲面看出。這九條模糊規則的意義是：當影像中的前景

物件數目越多，而且灰階輸入影像與灰階背景影像在目標區域內的紋理差異越大，則推論出的車流程度就越大。這個模糊車流估測系統除了可以估測綠燈號誌下車流的多寡，亦可以應用於紅燈號誌下停等車輛多寡的判斷，同樣也可以把停等車輛程度化為 $[0, 1]$ 之間的數，越接近 0 表示停等車輛越少；越接近 1 則表示停等車輛越多。

表 3.1 模糊車流估測系統的模糊規則。

$Diff_{ratio}$ \ NP_{ratio}	few	median	many
small	smallest	smaller	median
median	smaller	median	higher
large	median	higher	highest

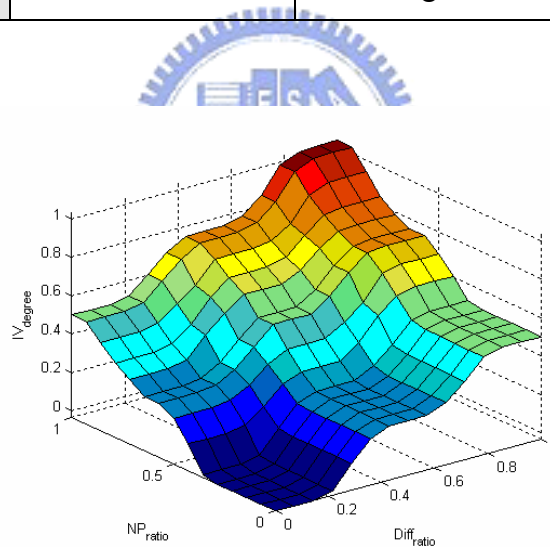


圖 3.16 NP_{ratio} 、 $Diff_{ratio}$ 以及 IV_{degree} 之間的關係。

3.5 模糊適應性交通號誌管理系統

在傳統定時號誌管理系統的設計裡，最佳週期長度是一個非常重要的參數，在對某特定路段的特定時間裡進行路口調查後，最佳週期便可以依照車流量被計算出來；反之在適應性號誌管理系統的發展裡，由於系統具有動態的執行時間，所以最佳週期長度的問題往往不被考慮在設計的過程中。本論文嘗試將最佳週期

的概念帶入適應性號誌管理系統的設計中，期望可以使適應性號誌管理系統具有更佳的控制績效。適應性號誌管理策略將在 3.5.1 節說明，而號誌管理系統的核心模糊推論引擎則在 3.5.2 節介紹。本論文提出的模糊適應性號誌控制系統的流程圖如圖 3.18 所示。

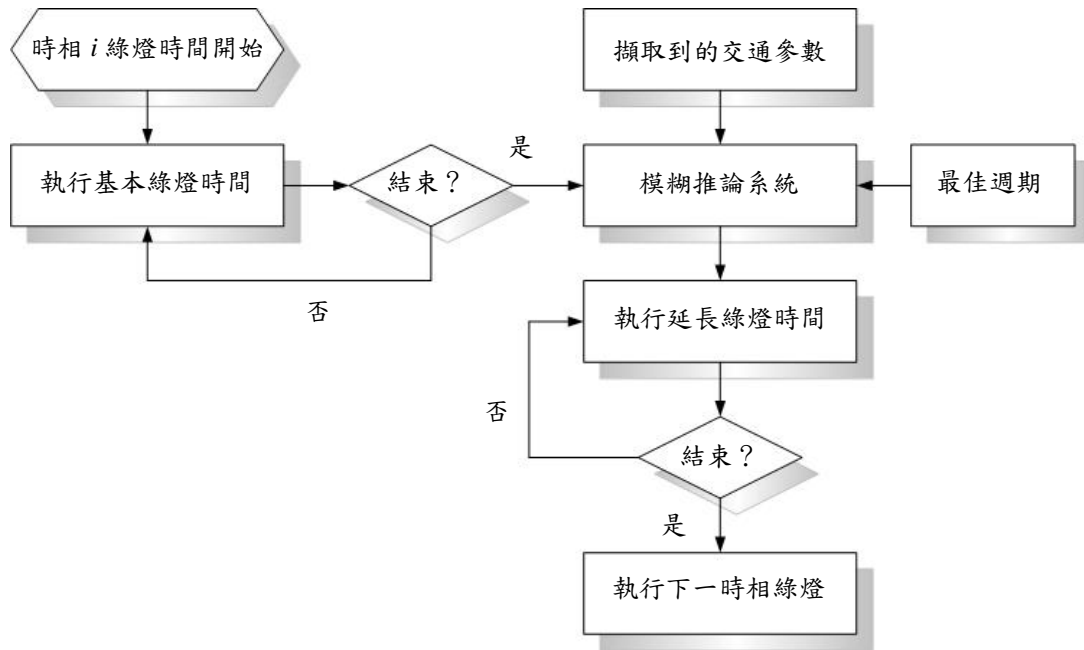


圖 3.17 本論文提出的模糊適應性號誌控制系統的流程圖。

3.5.1 適應性號誌管理策略

適應性交通號誌管理系統能隨著交通流量的變動，動態地調整時相的執行時間，這是傳統定時號誌管理系統所辦不到的，所以一般來說適應性交通號誌管理系統在交通控制實務的應用上往往都有比定時號誌系統更好的績效。適應性交通號誌一般是使用特定的偵測器偵測路口的交通資訊，輸入變數常為車輛數、車輛到達率、車輛排隊長度或是路段飽和度，最常見的控制輸出則是時相延長的時間；最普遍被使用的號誌管理方法是對系統給定一個最小綠燈時間以及最大綠燈時間，在某時相執行的時間內，一旦達到最小綠燈時間，則依據偵測器所蒐集的資料判斷綠燈的延長時間，接著便執行判斷出來的綠燈時間，一旦又達到了延長的

綠燈時間，則系統便再次判斷，如此反覆進行，直到達到最大綠燈時間，或是判斷出的延長時間為零。這樣的方法固然給予了號誌管理系統動態執行的能力，但是卻沒有考慮到所謂最佳週期的問題，使得路口資源可能在週期過長的情況下被浪費。

一般定時號誌系統是應用平均車流量來規劃最佳週期的長度，但是實際上車流是時多時少的，因此控制績效受此限制而無法有所突破；但是變動的車流就像是交流電流可以看成是平均值為零的交流電流加在其直流成份上一般(如圖 3.18(a))，亦可以看成是平均值為零的變動車流加上平均車流量(如圖 3.18(b))。因此若系統可以讓綠燈執行時間根據平均車流所規劃出的最佳週期為根本，再依照實際車流變動而適當地增減執行長度，則可能可以讓適應性號誌控制系統的控制績效有所突破。

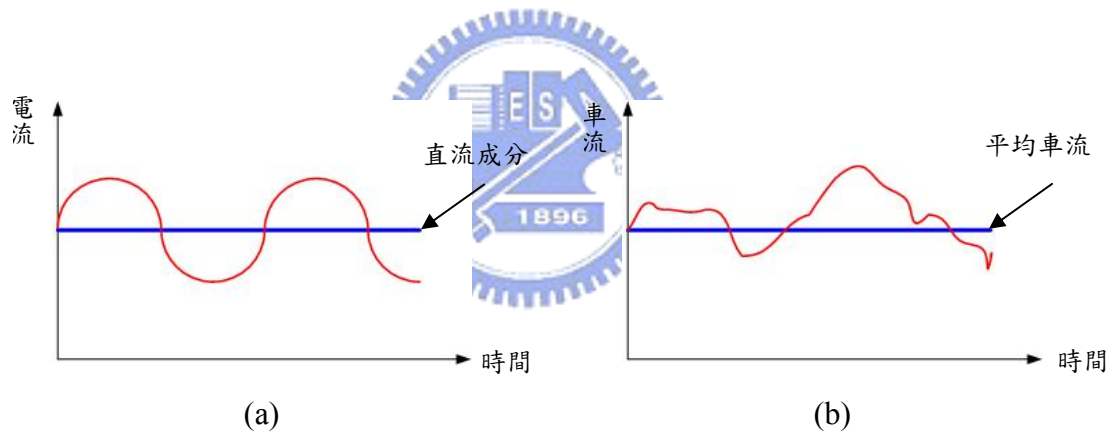


圖 3.18 交流電流與變動車流的類比圖。(a) 交流電流；(b) 變動車流。

在本論文中，最佳週期長度的計算是使用韋伯斯特最佳週期計算公式，相關內容已經於 2.3.2 節中介紹。在求出最佳定時週期並得到每時相的最佳定時綠燈時間 G_i , $1 \leq i \leq n$ 後，我們便可以依照 G_i 來規劃模糊適應性號誌管理系統的基本綠燈時間與延長執行時間。第 i 個時相的基本綠燈時間 BGT_i 被設定為 G_i 長度的 0.8 倍：

$$BGT_i = 0.8 \cdot G_i, \quad (3.23)$$

給予模糊適應性號誌管理系統較 G_i 短的基本綠燈時間可以讓系統在用路需求小的時候較快地切換到下一個執行時相，減少路口容量資源的浪費；第 i 個時相的延長

綠燈時間 EGT_i 被設定為 G_i 長度的 1.7 倍：

$$EGT_i = 1.7 \cdot G_i \cdot EXT, \quad (3.24)$$

而至於延長程度 EXT 的決定，則是要由路口攝影機偵測到的交通參數送給以模糊推論系統為核心的號誌管理系統做推論，如此一來，時相的綠燈時間便可以在最佳綠燈時間的 0.8 倍到 2.5 倍間彈性地被調整，以應付不斷變動的車流。不同於許多其他適應性號誌管理系統在一個執行時相內需要推論許多次，本論文發展的適應性號誌管理系統由於執行時間是架構於預先計算的最佳週期上，所以我們只在基本綠燈時間結束後推論一次，在延長執行時間結束後，則轉換到下一個執行時相。

3.5.2 適應性號誌管理的模糊推論系統

一般的適應性號誌管理系統，通常只以車流參數做為系統決策的輸入，然而行人穿越道上的行人也是使用道路的重要因素之一，因此本論文亦將其納入考量。本論文用於管理適應性號誌的模糊推論系統有三個輸入，一個輸出。第一個是綠燈號誌下的車流程度，以 IV 表示，值域為 $[0, 1]$ ；第二個是紅燈號誌下停等車輛程度，以 QL 表示，值域為 $[0, 1]$ ，這兩個參數都可以用 3.4 節所介紹的模糊車流估測系統得到；第三個輸入是行人穿越道上行人多寡的程度，以 PL 表示，值域為 $[0, 1]$ ，藉由 3.3 節所介紹的行人估測系統我們可以求得行人穿越道上約略的人數 N ，接著把它除以主觀設定的最大人數 N_{max} 便可以得到 PL ：

$$PL = \begin{cases} 1, & \text{if } N \geq N_{max}, \\ \frac{N}{N_{max}}, & \text{if } N < N_{max}, \end{cases} \quad (3.25)$$

輸出為時相延長程度，以 EXT 表示，值域為 $[-0.2, 1.2]$ ，這樣的設定是為了在去模糊化時，輸出的值可以充分落在 0 與 1 之間。若輸出大於 1，則將之視為 1；若輸出小於 0，則將之視為 0。輸入 IV 有三個措詞集，分別是大量(heavy)、適中(moderate)、少量(slight)；輸入 QL 有三個措詞集，分別是長(long)、中(median)、短(short)；輸入 PL 也有三個措詞集，分別是密集(dense)、適中(moderate)、少數

(few)；輸出 *EXT* 共有七個措詞集，分別是最長(longest)、較長(longer)、長(long)、中(middle)、短(short)、較短(shorter)、最短(shortest)。這四個參數的歸屬函數如圖 3.19 所示。

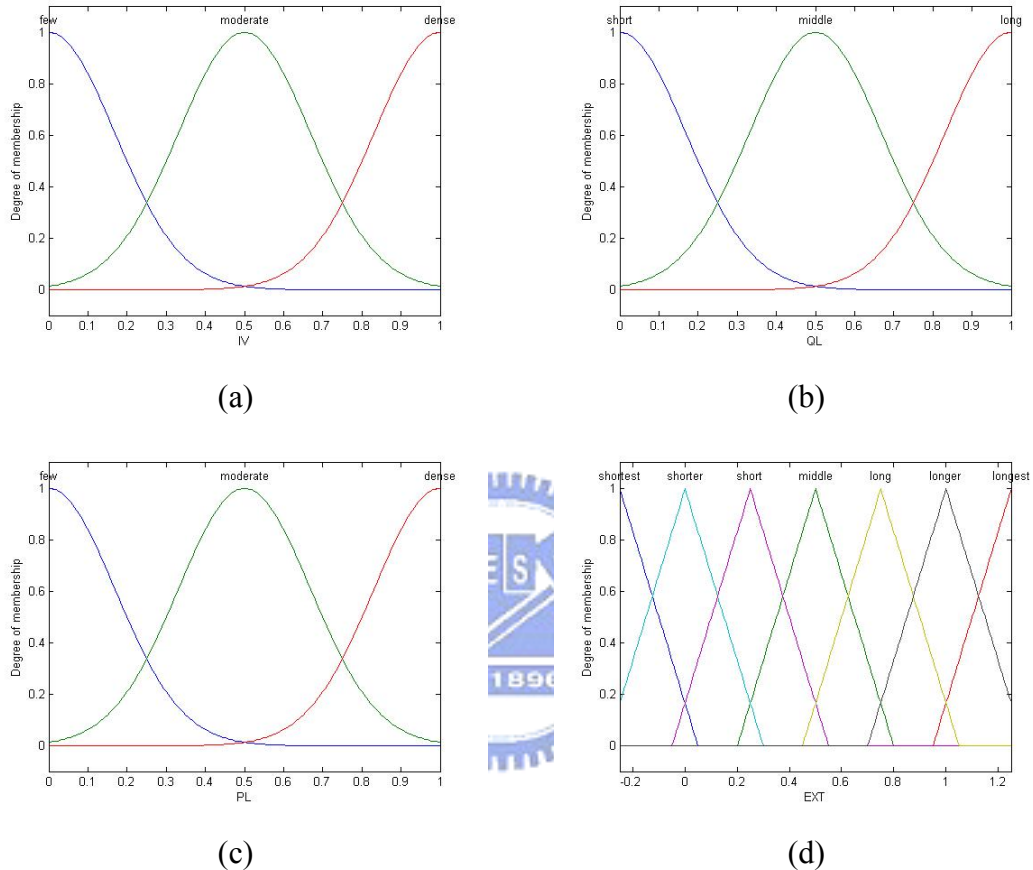


圖 3.19 模糊適應性號誌管理系統的歸屬函數。(a) *IV* 的歸屬函數；(b) *QL* 的歸屬函數；(c) *PL* 的歸屬函數；(d) *EXT* 的歸屬函數。

本論文使用的推論方法為 Mamdani 最小值推論法，模糊規則的形式為語意式模糊規則，去模糊化的方法為面積中心法，模糊車流估測系統的模糊規則共有二十七條。由於三個輸入參數與一個輸出參數無法用平面關係表示出來，所以表 3.2 列出的是當 *PL* 為密集時，*IV* 與 *QL* 相關的九條模糊規則；表 3.3 列出的是當 *PL* 為適中時，*IV* 與 *QL* 相關的九條模糊規則；表 3.4 列出的是當 *PL* 為少數時，*IV* 與 *QL* 相關的九條模糊規則；這二十七條模糊規則所表示的意義是：當綠燈號誌下的

通行車流越多，紅燈號誌下的停等車數越少，且行人穿越道上的人數越多，則綠燈的延長程度就越大；此外，輸入與輸出之間的關係也以類似的方式表示，可以從圖 3.20 至圖 3.22 中的曲面看出：當 PL 越大時， EXT 就越大；當 IV 越大時， EXT 就越大；當 QL 漸減時，則 EXT 就漸增。

表 3.2 PL 為 few 時， IV 與 QL 相關的模糊規則。

$QL \backslash IV$	slight	moderate	heavy
short	short	middle	long
middle	shorter	short	middle
long	shortest	shorter	short

表 3.3 PL 為 moderate 時， IV 與 QL 相關的模糊規則。

$QL \backslash IV$	slight	moderate	heavy
short	middle	long	longer
middle	short	middle	long
long	shorter	short	middle

表 3.4 PL 為 dense 時， IV 與 QL 相關的模糊規則。

$QL \backslash IV$	slight	moderate	heavy
short	long	longer	longest
middle	middle	long	longer
long	short	middle	long

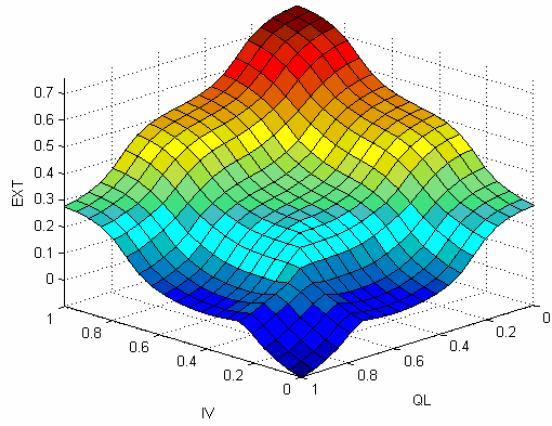


圖 3.20 給定 PL 為 0.1 時， IV 、 QL 以及 EXT 之間的關係。

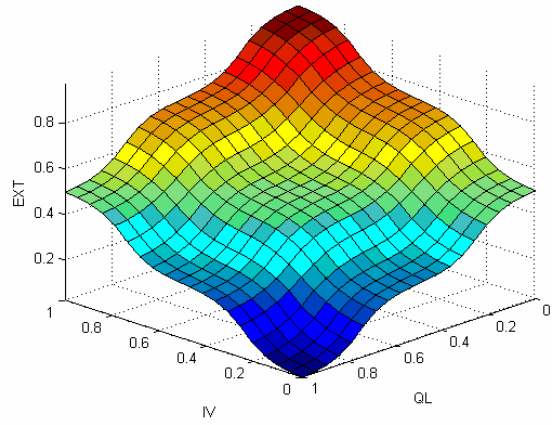


圖 3.21 給定 PL 為 0.5 時， IV 、 QL 以及 EXT 之間的關係。

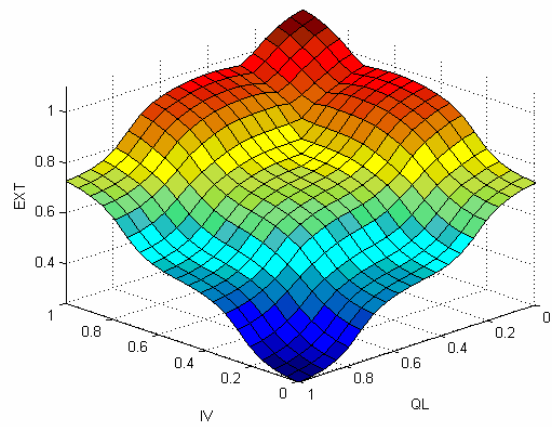


圖 3.22 給定 PL 為 0.9 時， IV 、 QL 以及 EXT 之間的關係。

第四章

實驗結果與分析

在此章節中要討論本論文所提出的以影像為基礎之交通資訊估測系統及模糊適應性交通號誌控制系統，在 4.1 節中會說明用來測試系統效能所採用的實驗機制，在 4.2 節中會顯示實驗的結果，在 4.3 節中會對實驗結果作分析。

4.1 實驗機制

4.1.1 節以及 4.1.2 節將分別說明行人估測系統以及車流估測系統的實驗設備、實驗環境以及效能評估的方法，4.1.3 節將會說明適應性號誌管理系統的模擬方法，系統參數的設定以及效能評估的方式。

4.1.1 行人估測系統實驗機制

行人估測系統所使用的數位攝影機(digital camera, DV)型號是 SONY DCR-TRV 18，攝影機架設的方式如同圖 3.2(a)以及圖 3.2(c)所示，影像來源為數位攝影機經過影像擷取卡擷取後儲存的影像序列，輸入影像解析度為 320x240 像素，24 位元的彩色影像；在中央處理處為 Athlon 64 3000+ 1.8G Hz，記憶體為 1G MB 的個人電腦上執行，每秒可處理 10-15 幅影像，端視前景像素的多寡而定。系統在兩個不同的場景下作測試，對於每個場景，我們都從影像序列中隨機地選出一百張影像來做實驗。假設受測的影像共有 n_i 張，其中第 i 張受測影像經系統所估測出來的行人數目為 N_i ，又該張受測影像經手動計算而得的實際行人數目為 N_{MCi} ，則我

們可以用下式來評估系統對這 n_t 張受測影像所估測的效能：

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_t} (N_i - N_{MCi})^2}{n_t}}, \quad (4.1)$$

式子(4.1)的意義在於計算估測而得的人數 N_i 對於手動計算的實際人數 N_{MCi} 之標準差，所以要是 σ_N 越小，則表示估測的效果越好。

4.1.2 車流估測系統實驗機制

車流估測系統所使用的實驗設備及影像來源皆與行人估測系統相同，攝影機架設的方式則如圖 3.2(b)以及 3.2(c)所示；在與前述相同的個人電腦上執行，處理速度可達每秒 8-12 幅影像。由於車流估測系統的輸出為程度化為[0, 1]之多寡概念，故並沒有辦法用客觀的量度來評估系統的效能，在 4.2 節我們將會把影像序列的車流估測結果以圖形畫出，並依照一定的時間間隔標出影像編號，以人眼目視衡量之。



4.1.3 模糊適應性交通號誌管理系統實驗機制

本論文提出的模糊適應性交通號誌管理系統在建構時有幾項基本的設定需要說明，交通參數設定是依照其一般常見的數值所設，並非絕對，亦可以視情況稍加更改。在時相設定方面，系統在模擬時為「簡單兩時相」，如圖 4.1 所示；在道路幾何特性方面：系統考慮的是擁有四個鄰近路段之十字形獨立號誌化路口，每路段的車道數皆設定雙向三車道，並且車道寬都相同，在每個路段上皆設置一行人穿越道，如圖 4.2 所示；在車輛屬性方面：一般具有混合車種的路段在模擬時須先將車輛種類依照各自的小客車當量(passenger car equivalent, PCE)轉換為相當於小客車的小客車當量數(passenger car unit, PCU)，在本論文中，則假設車輛交通當量轉換已經完成，故只考慮小客車出現在道路上之情形；在清道時間方面：由於

黃燈時車輛仍可以進入路口，故在模擬系統的建構上將其併入綠燈時間，只考慮全紅時間，全紅時間的設定為三秒；在交通系統參數設定方面：每車道的飽和流率設定為 0.5(車/每秒)，每條人行道的飽和流率設為 30(人/每秒)；在損失時間的設定方面：由於系統將黃燈時間合併於綠燈時間，故只考慮啟動損失時間 l_s 所帶來的影響，啟動損失時間 l_s 對車道紓解率 μ 的影響是以下式來模擬：

$$\mu(t, a, b) = \begin{cases} 0, & \text{if } t < a, \\ 2\left(\frac{t-a}{b-a}\right)^2, & \text{if } a \leq t \leq \frac{a+b}{2}, \\ 1-2\left(\frac{t-b}{b-a}\right)^2, & \text{if } \frac{a+b}{2} \leq t \leq b, \\ 1, & \text{if } t > b, \end{cases} \quad (4.2)$$

其中 t 表示時間， a 表示綠燈時間開始的時間點， b 為車道紓解率 μ 達到飽和流率時的時間點， $[(a+b)/2]-a$ 則表示啟動損失時間的長度。式子(4.2)所表示的啟動損失時間 l_s 對車道紓解率 μ 之影響可以圖 4.3 表示，本論文設定每時相啟動損失時間為五秒；在車輛及行人的到達率方面：車輛到達率為依照某特定時段平均車流為平均值，並且符合普爾松分布(Poisson distribution)的隨機變數，行人到達率則固定為平均值為 0.5(人/每秒)，並且符合指數分布(exponential distribution)的隨機變數；在模擬時間方面：為了避免模擬時間太短而看不出控制績效，系統的模擬時間設定為兩小時。

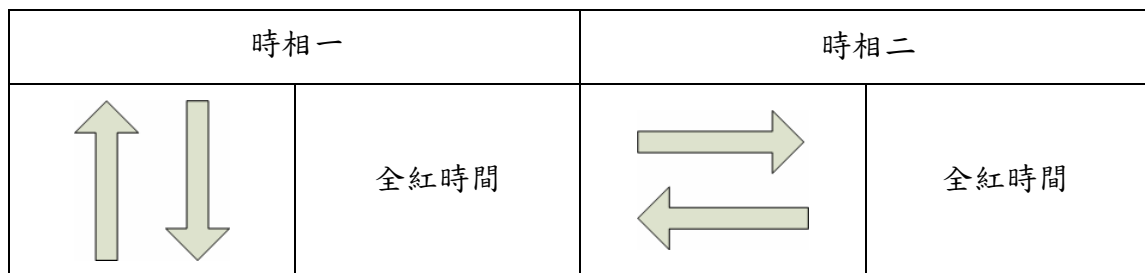


圖 4.1 模擬系統所執行的兩個時相。

模擬系統的主要目的是要與用攝影機所估測得到的交通資訊作配合，但是由

於實際硬體的限制，我們並沒有辦法同時得到四個路段以及四條行人穿越道的影像，有鑑於此，人車資料皆由個人電腦依照特定機率產生，所以，如何將電腦產生的人車資料與影像所得的交通資訊做適當的聯結，是一個相當重要的問題。在3.4節中曾說明車流估測系統需要手動校正一次，同樣地，在模擬系統中也需要做類似的校正，在模擬系統中，我們主觀地將每條車道的最大容量設為20(輛/每車道)，因此每路段 n_l 條車道的最大容量就是 $20 \times n_l$ 輛小客車，若某一路段停等的車輛 n_{qi} 超過這個數值，則該方向的的停等程度 QL_i 則為1，若 n_{qi} 小於 $20 \times n_l$ 台小客車，則依其相對於 n_l 車道最大容量的比例計算 QL_i ，如下所示：

$$QL_i = \begin{cases} 1, & \text{if } n_{qi} \geq 20 \times n_l, \\ \frac{n_{qi}}{20 \times n_l}, & \text{if } 0 \leq n_{qi} < 20 \times n_l, \end{cases} \quad (4.3)$$

又因為在紅燈號誌下共有兩個路段的車輛在停等，故我們會得到這兩個路段的車輛停等程度，假設為 QL_i 以及 QL_j ，則為了不失一般性，模擬系統會取其平均來當作輸入參數 QL ：

$$QL = \frac{QL_i + QL_j}{2}. \quad (4.4)$$

在車流估測系統中，車輛會因為離攝影機遠近不同而影響到車流程度 IV ，所以我們在模擬系統中也必須適當地突顯這個特性。由於車輛在每個時間點的到達率是在進行模擬前就依照機率分布預先產生好的，所以我們可以藉著給予在某個特定時間點到其後十秒間的車輛到達率 q_t 到 q_{t+9} 由大到小不同的權重來突顯這個性質，因此，在模擬系統中，某一路段的車流程度 IV_i 被如下定義：

$$IV_i = (n_{qi} + 2.3q_t + 1.8q_{t+1} + 1.4q_{t+2} + 1.2q_{t+3} + q_{t+4} + 0.8q_{t+5} + 0.6q_{t+6} + 0.4q_{t+7} + 0.3q_{t+8} + 0.2q_{t+9}) / (20 \times n_l), \quad (4.5)$$

同樣地，因為在綠號誌下共有兩個路段的車輛在通行，故我們會得到這兩個路段的車流程度，假設為 IV_i 以及 IV_j ，則為了不失一般性，模擬系統取其平均來當作輸入參數 IV ：

$$IV = \frac{IV_i + IV_j}{2}. \quad (4.6)$$

模擬系統的最後一個輸入行人多寡程度 PL 的計算則是將兩條正在通行的行人穿越道上之人數主觀地各除以 30，得到 PL_i 與 PL_j ，再將兩者平均：

$$PL = \frac{PL_i + PL_j}{2}. \quad (4.7)$$

在模擬系統建構完成後，尚且需要一個性能指標來評估所建構的系統對於交叉路口之控制績效，本論文使用參考文獻[39]所定義之路口總延滯作為性能指標；基本上，在相同資料樣本上，路口總延滯越小，則代表車輛通過曲線越逼近車輛到達曲線，控制績效就越好，反之若路口總延滯越大，則代表車輛通過曲線越不能跟上車輛到達曲線，控制績效就越差。

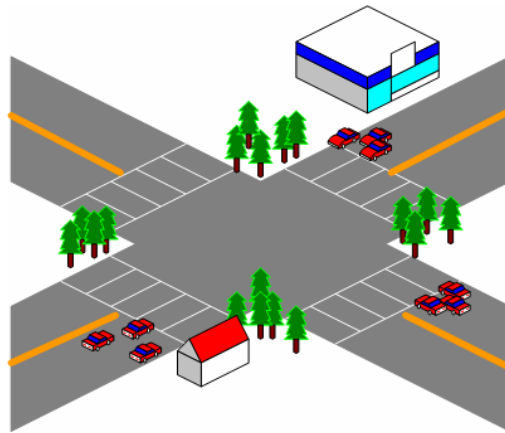


圖 4.2 十字形獨立號誌化路口的示意圖。

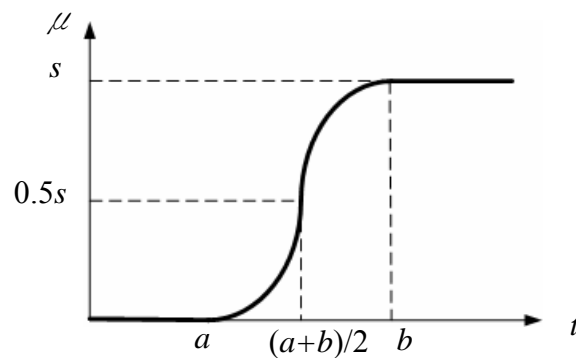


圖 4.3 式子(4.2)所表示的啟動損失時間 l_s 對車道紓解率 μ 之影響。

模擬系統在六種情況下接受測試，皆以南北向為幹道，東西向為支道，實際

的車輛到達率則是依照模擬時間內每個時段不同的平均值隨機變動。第一種情況為各車道皆為低流量，南北向平均車輛到達率為 0.12(車/每秒)，東西向平均車輛到達率在模擬時間內為 0.1(車/每秒)，在模擬時間內各車道車流量如圖 4.4 所示；第二種情況為中低流量，南北向平均車輛到達率為 0.2(車/每秒)，東西向平均車輛到達率在模擬時間內為 0.1(車/每秒)，在模擬時間內各車道車流量如圖 4.5 所示；第三種情況是南北向為高流量，東西向為低流量，南北向平均車輛到達率為 0.25(車/每秒)，東西向平均車輛到達率在模擬時間內為 0.1(車/每秒)，在模擬時間內各車道車流量如圖 4.6 所示；第四種情況為各車道皆為中流量，南北向平均車輛到達率為 0.2(車/每秒)，東西向平均車輛到達率在模擬時間內為 0.15(車/每秒)，在模擬時間內各車道車流量如圖 4.7 所示；第五種情況是南北向為高流量，東西向為中流量，南北向平均車輛到達率為 0.25(車/每秒)，東西向平均車輛到達率在模擬時間內為 0.15(車/每秒)，在模擬時間內各車道車流量如圖 4.8 所示；第六種情況為各車道皆為高流量，南北向平均車輛到達率為 0.25(車/每秒)，東西向平均車輛到達率在模擬時間內為 0.2(車/每秒)，在模擬時間內各車道車流量如圖 4.9 所示。每種實驗情境皆進行五次實驗，以這些資料來統計其控制績效。在車輛到達率的變動之設計上，實驗的三種情況皆非常嚴苛，原因在於相對於許多模擬實驗將一方車流完全固定，只變動其中一方向的車流來說，本實驗的流量設計有許多此消彼長的情形，故更能顯示出控制效能的差異性。本論文的適應性交通號誌管理系統將在這六種情況下，與韋伯斯特最佳週期定時號誌控制[40]以及適應性基因模糊邏輯號誌控制系統[31]做比較；由於每次實驗所依照機率分布產生的人車資料都會不同，所以控制績效也不盡相同，然而一個好個交通號誌管理系統除了要有好的控制績效外，對於交通流量的變動尚必須有好的控制穩定性，故比較的項目除了車輛路口總延滯(total vehicle delay, TVD)與行人路口總延滯(total pedestrian delay, TPD)外，我們將另外再比較它們個別的標準差。

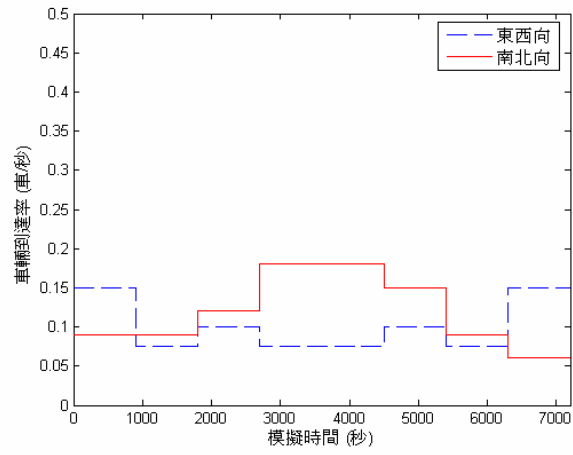


圖 4.4 第一種實驗情境。

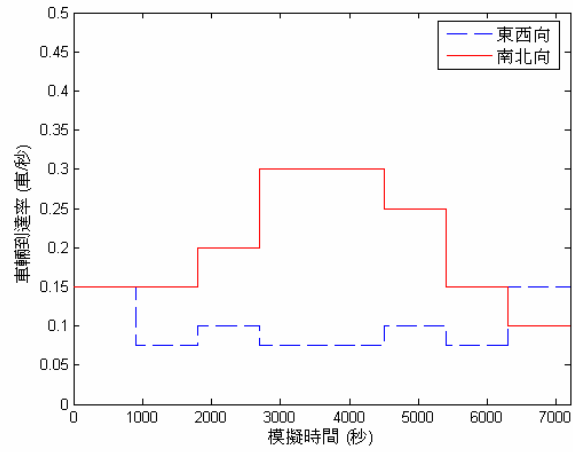


圖 4.5 第二種實驗情境。

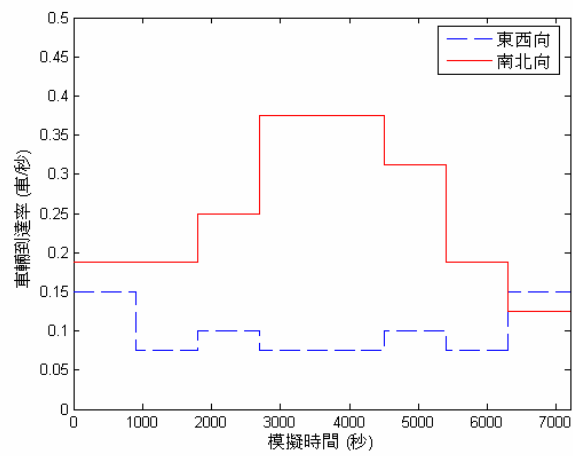


圖 4.6 第三種實驗情境。

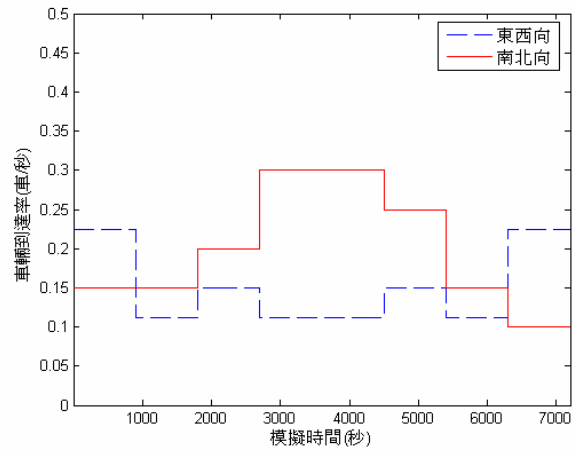


圖 4.7 第四種實驗情境。

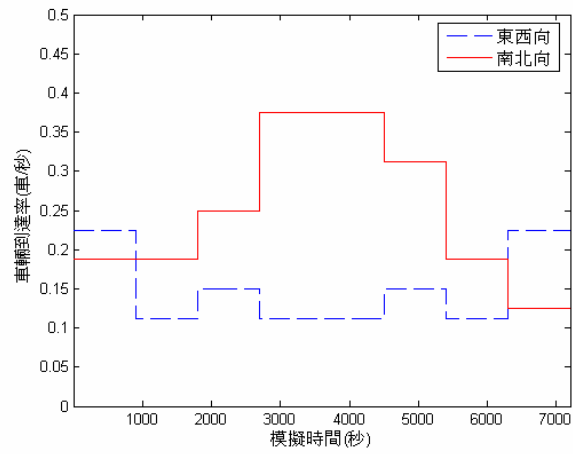


圖 4.8 第五種實驗情境。

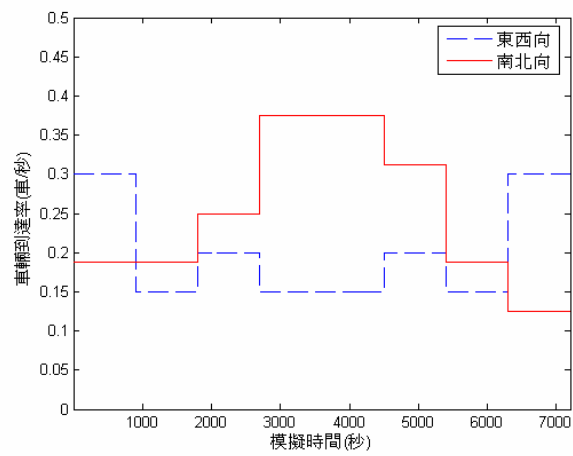


圖 4.9 第六種實驗情境。

4.2 實驗結果

圖 4.10 至圖 4.12 為對三個場景(八線道、四線道、雙線道)隨機選取影像做行人估測的部份影像及其處理過程，第一欄的影像為輸入影像，第二欄的影像為抽取出的前景，第三欄影像為除去非人物件的影像，第四欄為最後留下之目標區域內的前景像素。表 4.1 列出圖 4.10 至圖 4.12 中受測影像的前景像素值、正規化後的前景像素值以及估測出的人數。行人估測系統對第一個場景隨機選取的一百張影像，其估測人數對實際人數的標準差 σ_N 依照式子(4.1)計算出的結果為 1.13；對第二個場景隨機選取的一百張影像，其 σ_N 值為 1.29；對第三個場景隨機選取的一百張影像，其 σ_N 值為 1.04；若將這三個場景受測的三百張影像合併計算其 σ_N 值，則計算出的 σ_N 為 1.15。圖 4.9 為車流估測系統對第一個實驗影像序列中三車道所估測出來的車流程度 IV_{degree} ；圖 4.11 為車流估測系統對第二個實驗影像序列中左轉車道所估測出來的車流程度 IV_{degree} ， IV_{degree} 越接近 1 表示車流越多，越接近零 0 表示車流越少，在圖中另外標示出的兩條曲線為推論車流程度的兩個特徵 NP_{ratio} 與 $Diff_{ratio}$ 。圖 4.10 與圖 4.12 為分別對應圖 4.9 與圖 4.11 的影像序列。圖 4.13、圖 4.14、圖 4.16、圖 4.17、圖 4.19 以及圖 4.20 為各種模擬情境下，路口的車輛到達曲線以及車輛紓解曲線；圖 4.15、圖 4.18 以及圖 4.21 為各種模擬情境下，路口的行人到達曲線以及紓解曲線，其中圖 4.13(a)、圖 4.14(a)、圖 4.16(a)、圖 4.17(a)、圖 4.19(a)以及圖 4.20(a)皆因為曲線之間相當密集，故以較放大的尺寸於顯示於圖 4.13(b)、圖 4.14(b)、圖 4.16(b)、圖 4.17(b)、圖 4.19(b)以及圖 4.20(b)，因此只能顯示出模擬時間其中一段。表 4.2 為每個情境及每個參與比較的方法實驗五次所得到的車輛路口總延滯；表 4.3 則為每個情境及每個參與比較的方法實驗五次所得到的行人路口總延滯。

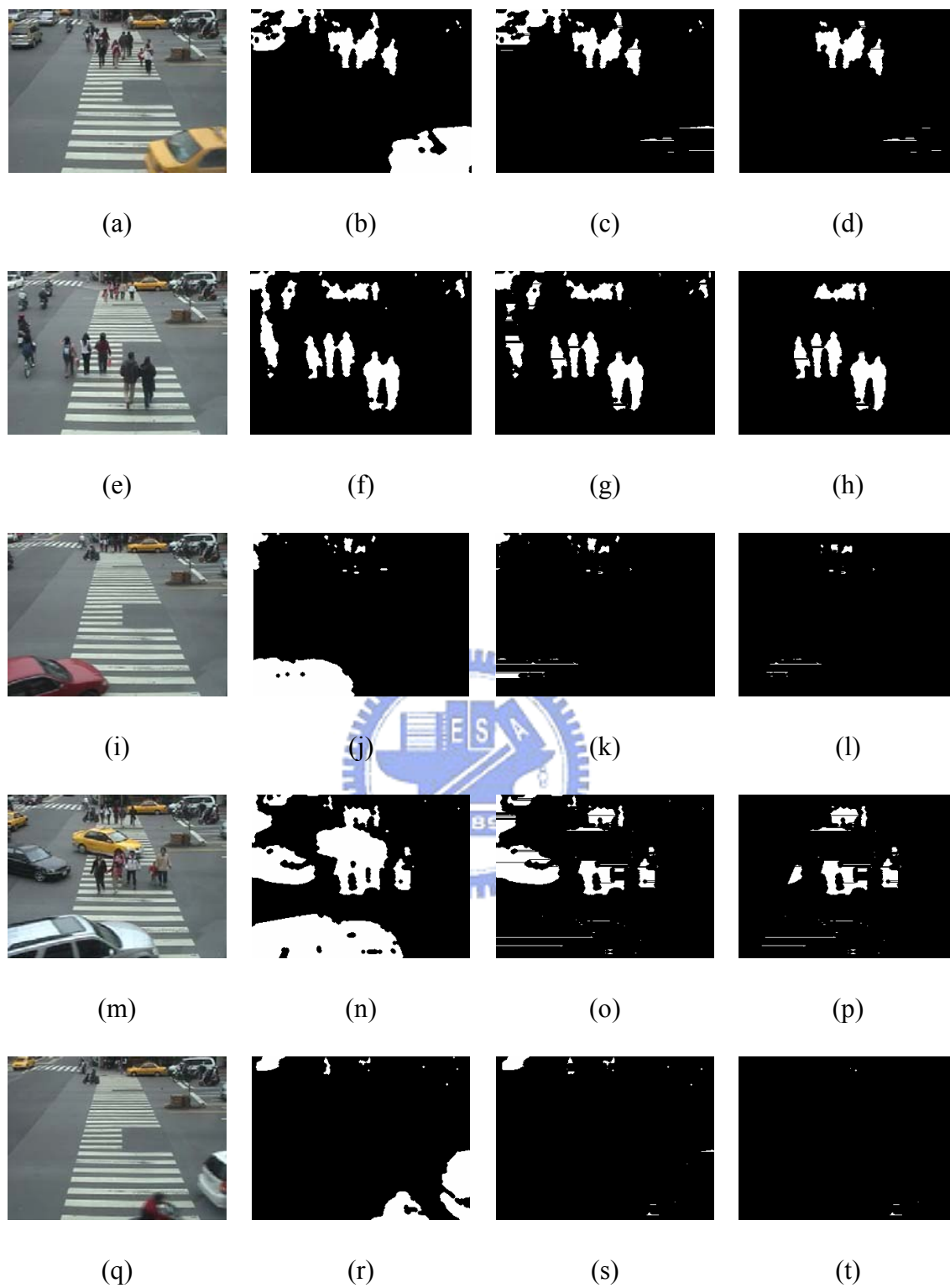


圖 4.10 行人估測系統在第一個場景的部份結果。

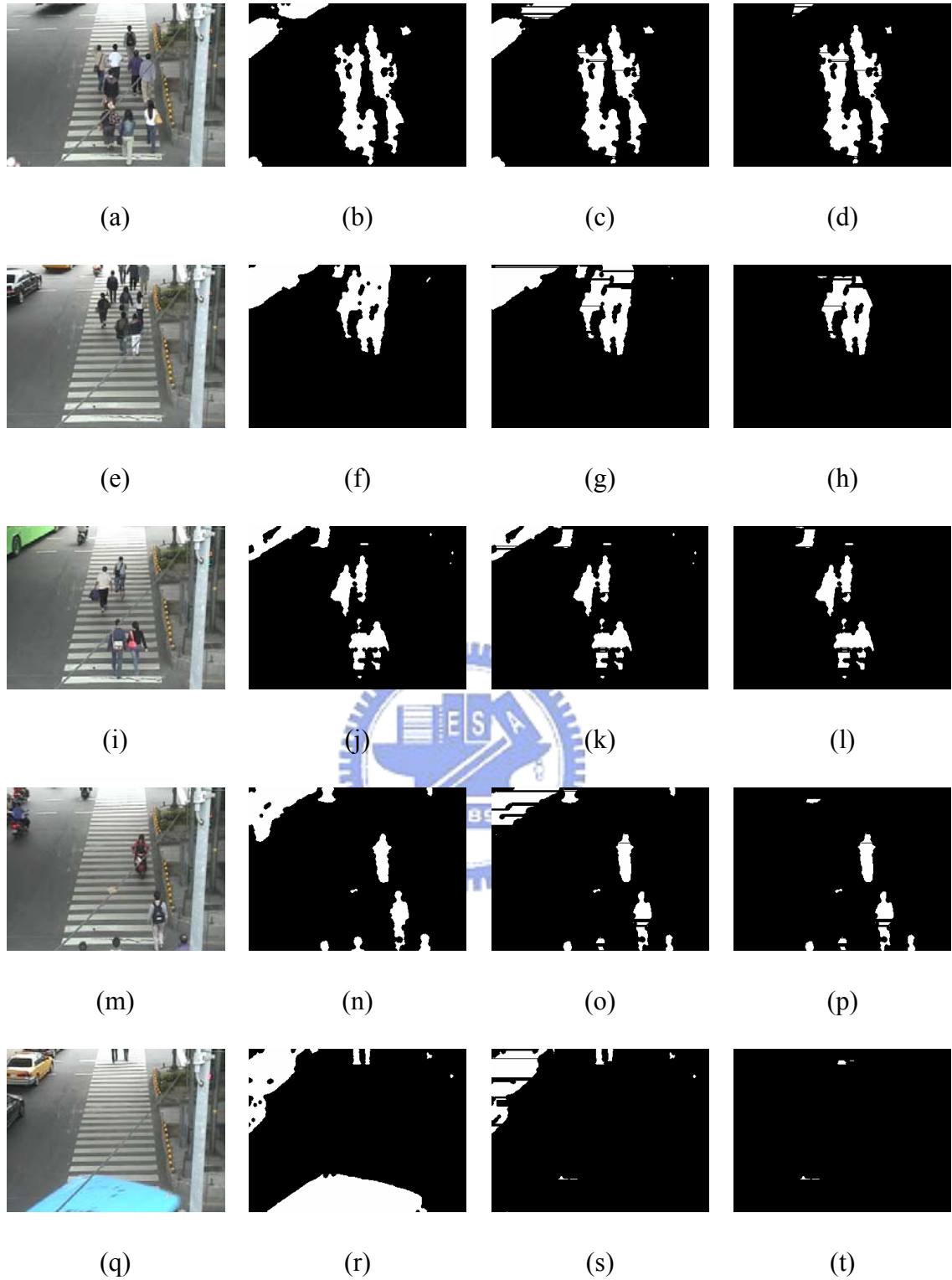


圖 4.11 行人估測系統在第二個場景的部份結果。

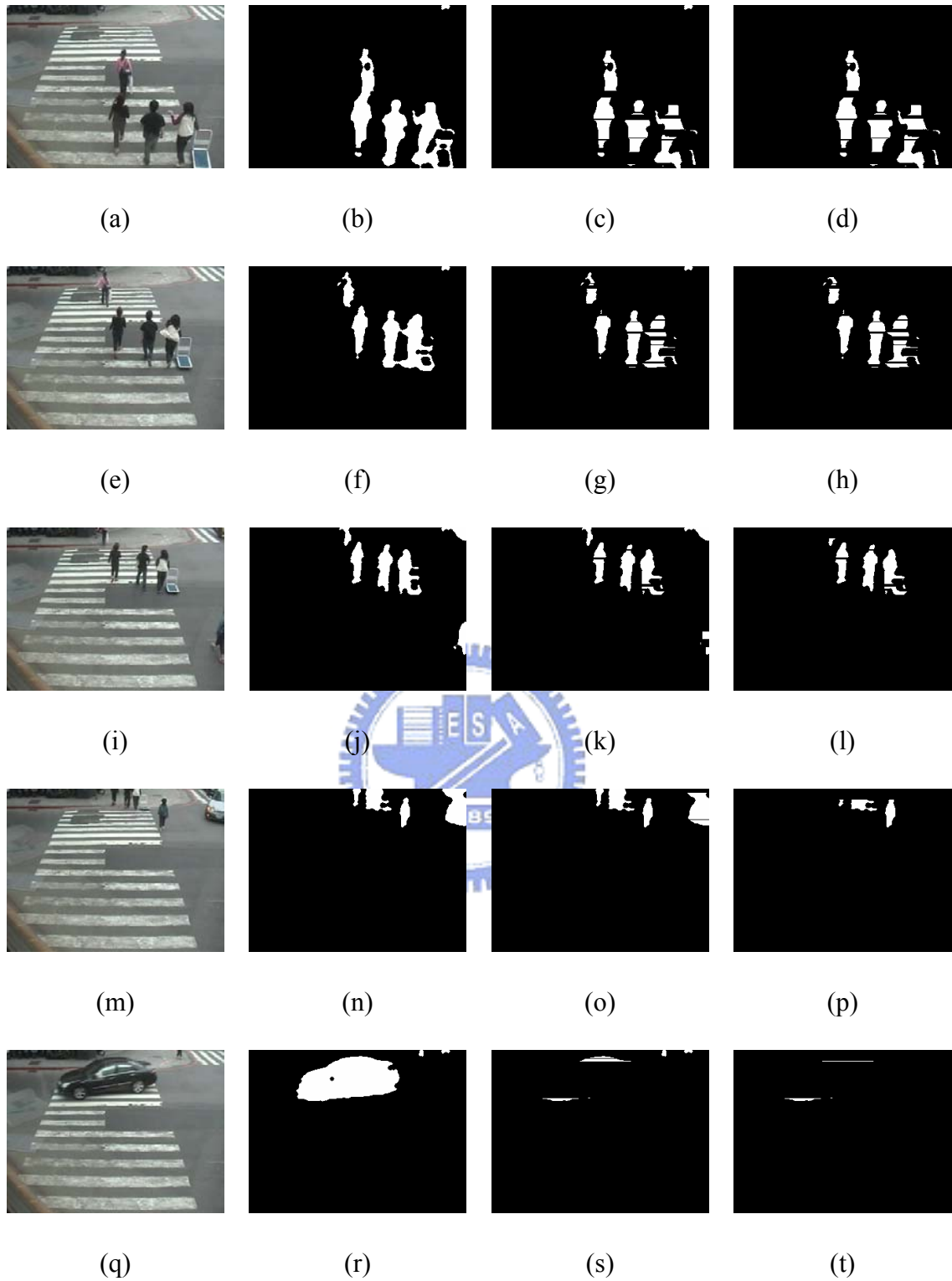


圖 4.12 行人估測系統在第三個場景的部份結果。

表 4.1 部分受測影像的前景像素、正規化前景像素以及估測人數。

影像	前景像素總數	正規化前景像素總數	估測到的人數
圖 4.10(a)	3359	8111	10
圖 4.10(e)	6192	8904	11
圖 4.10(i)	384	1176	1
圖 4.10(m)	4113	6892	9
圖 4.10(q)	49	44	0
圖 4.11(a)	8827	8237	10
圖 4.11(e)	4804	6746	9
圖 4.11(i)	3946	4026	5
圖 4.11(m)	3021	2628	3
圖 4.11(q)	189	123	0
圖 4.12(a)	5313	4343	4
圖 4.12(e)	3606	4271	4
圖 4.12(i)	2596	3560	3
圖 4.12(m)	856	1459	1
圖 4.12(q)	216	352	0

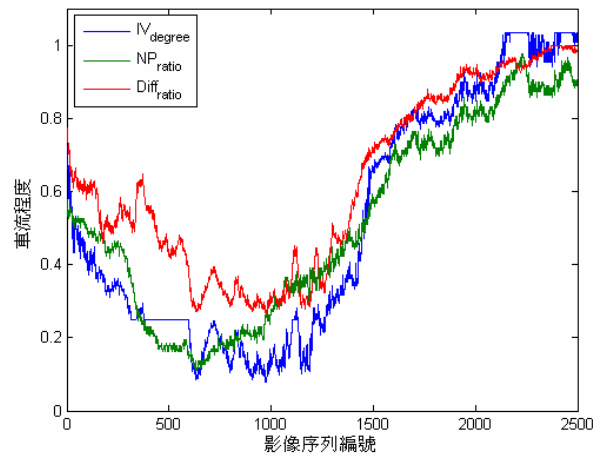


圖 4.13 車流估測系統對第一個場景計算的前景比例 NP_{ratio} 、紋理差異 $Diff_{ratio}$ 以及估測出的車流程度 IV_{degree} 。

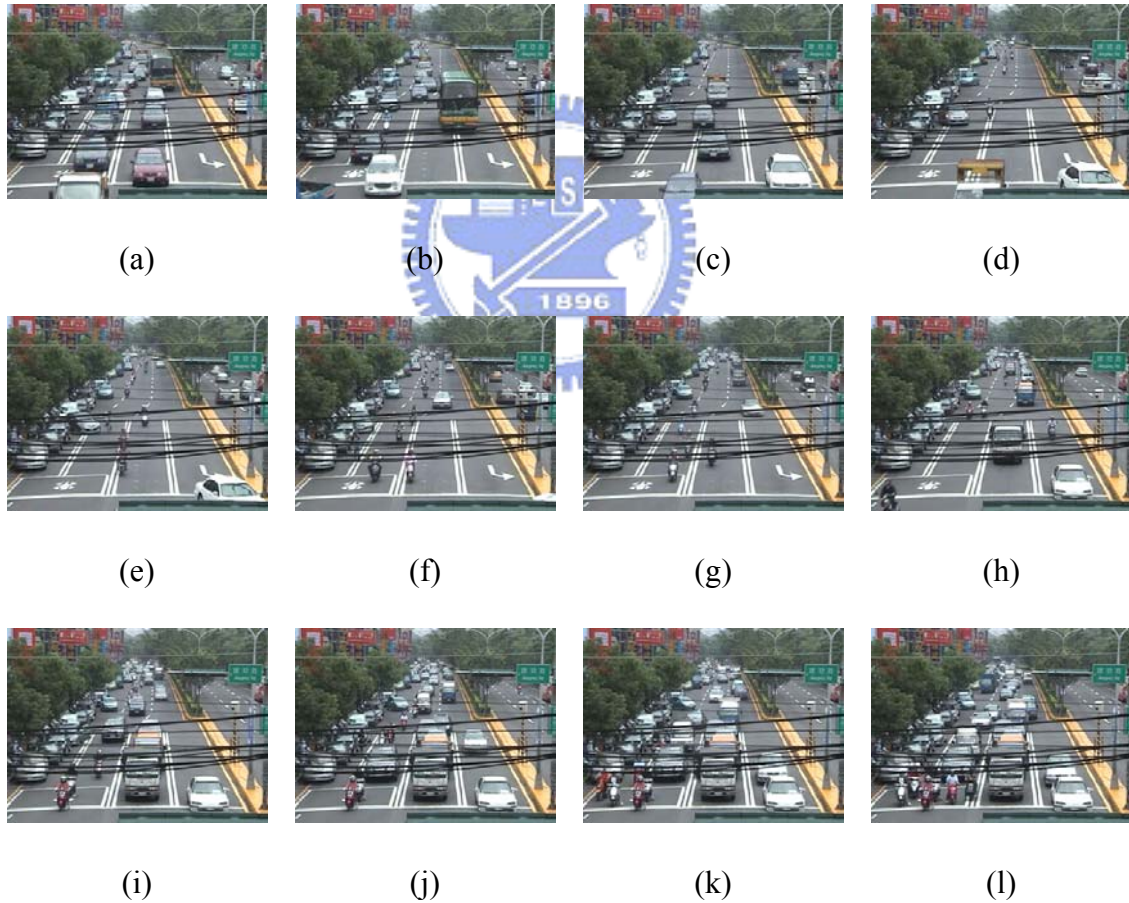


圖 4.14 對應圖 4.13 的影像序列。(a) 幀 1；(b) 幀 200；(c) 幀 400；(d) 幀 600；(e) 幀 800；(f) 幀 1000；(g) 幀 1200；(h) 幀 1400；(i) 幀 1600；(j) 幀 1800；(k) 幀 2000；(l) 幀 2200。

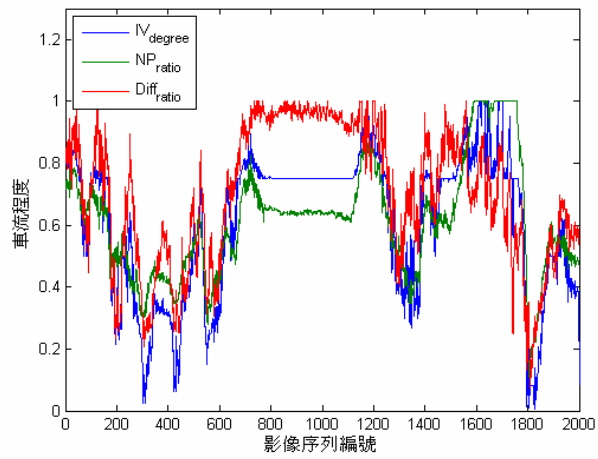


圖 4.15 車流估測系統對第二個場景的左轉車道計算的前景比例 NP_{ratio} 、紋理差異 $Diff_{ratio}$ 以及估測出的車流程度 IV_{degree} 。

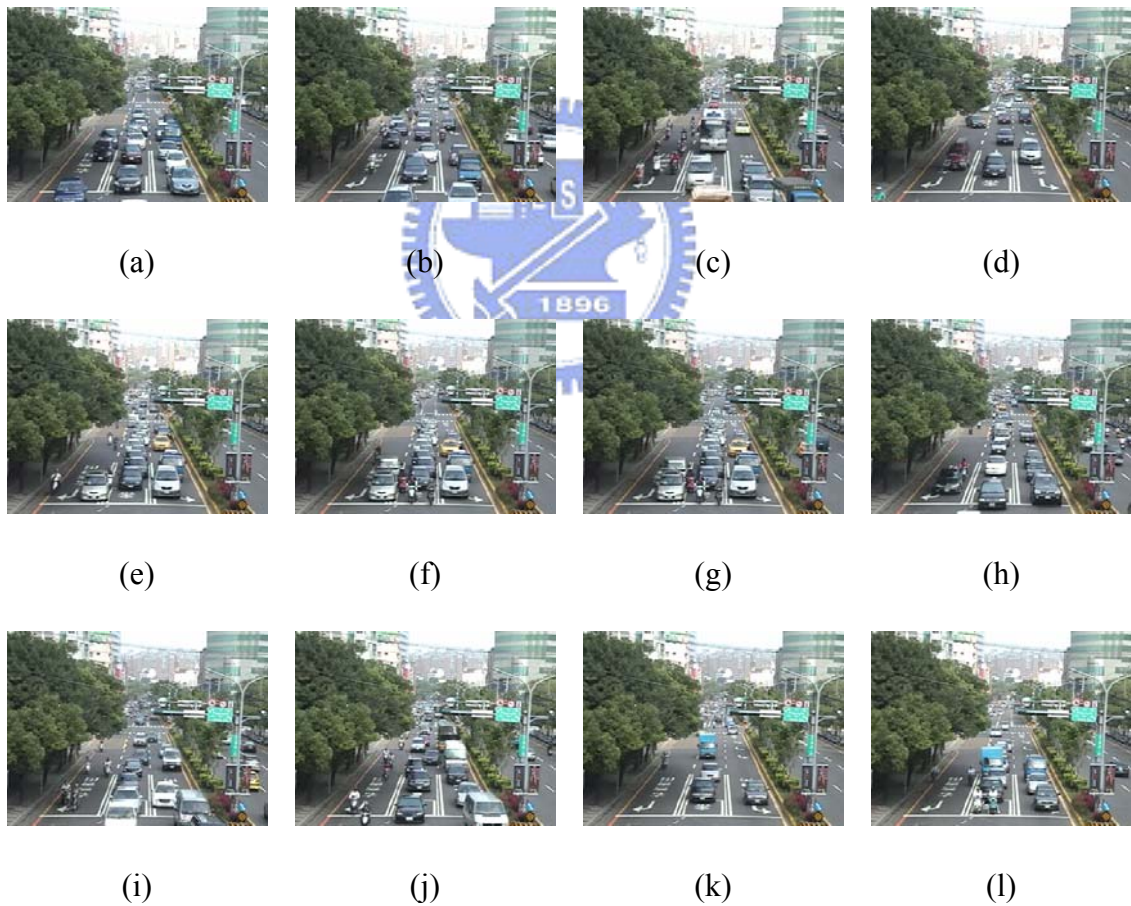
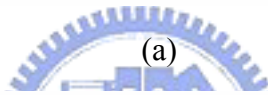
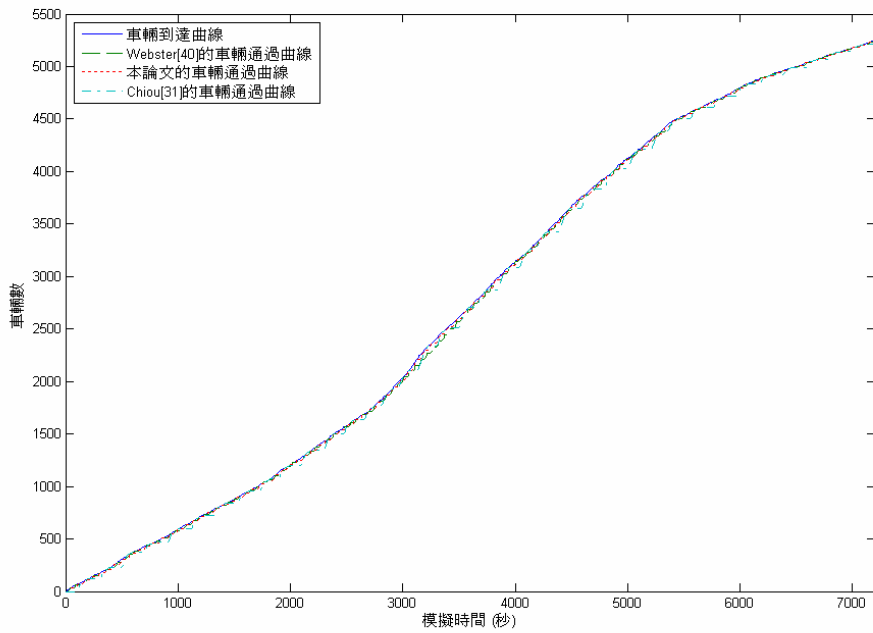
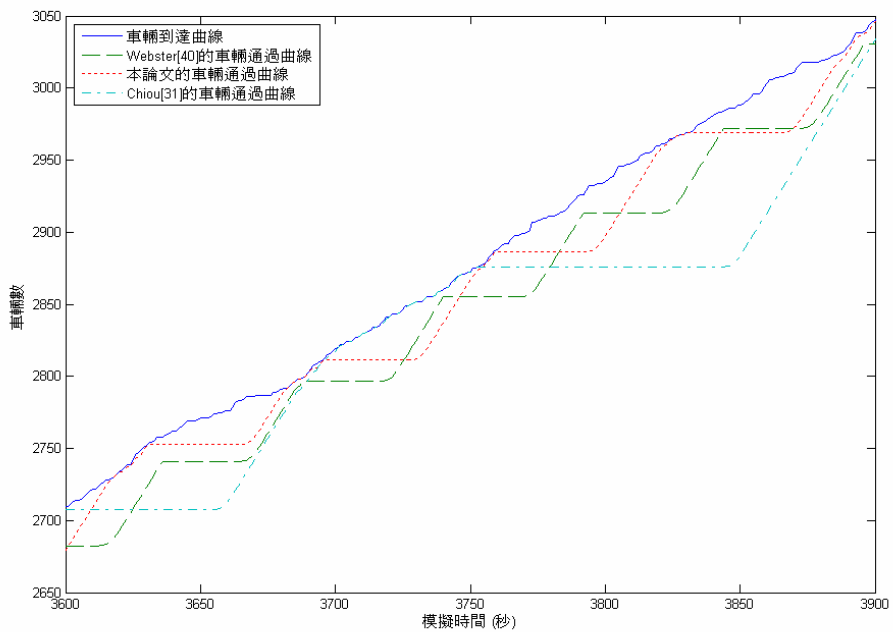


圖 4.16 對應圖 4.15 的影像序列。(a) 幀 1；(b) 幀 183；(c) 幀 365；(d) 幀 547；(e) 幀 729；(f) 幀 911；(g) 幀 1093；(h) 幀 1275；(i) 幀 1457；(j) 幀 1639；(k) 幀 1821；(l) 幀 2000。

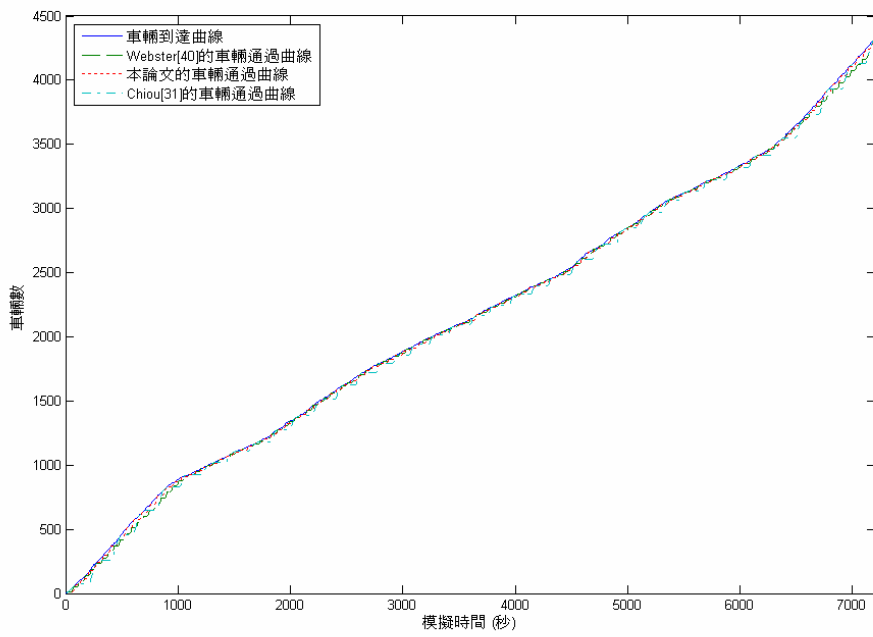


(a)

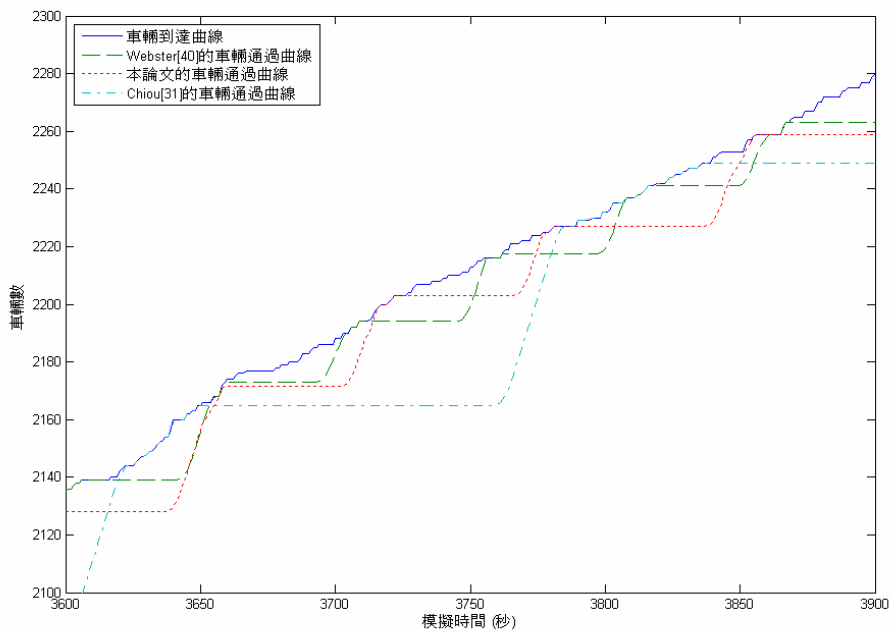


(b)

圖 4.17 第一種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

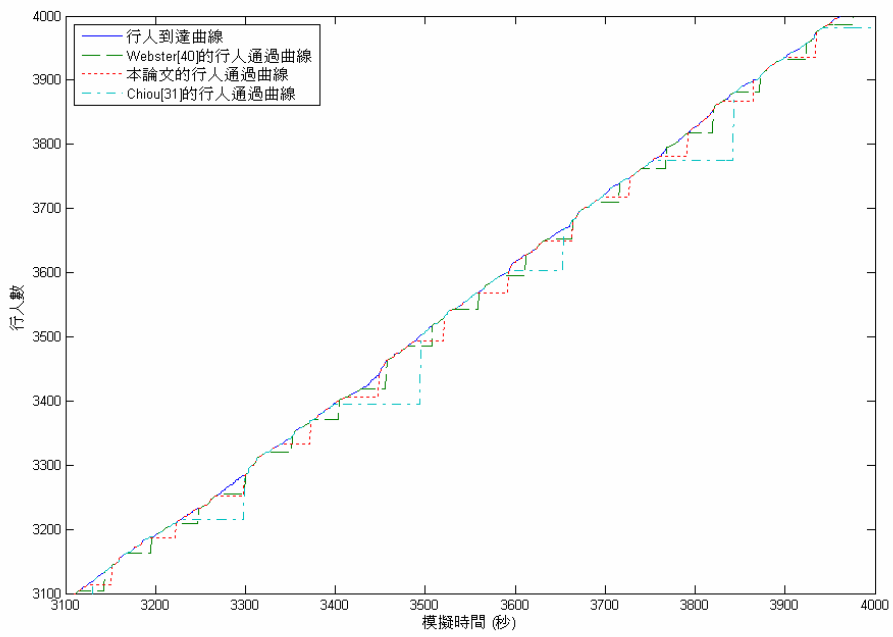


(a)

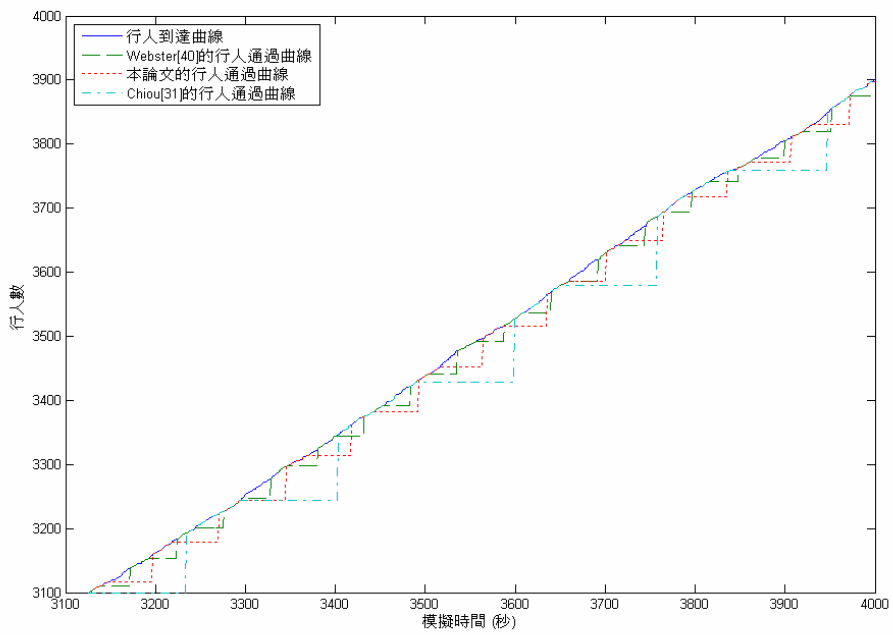


(b)

圖 4.18 第一種模擬情境的東西向支道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

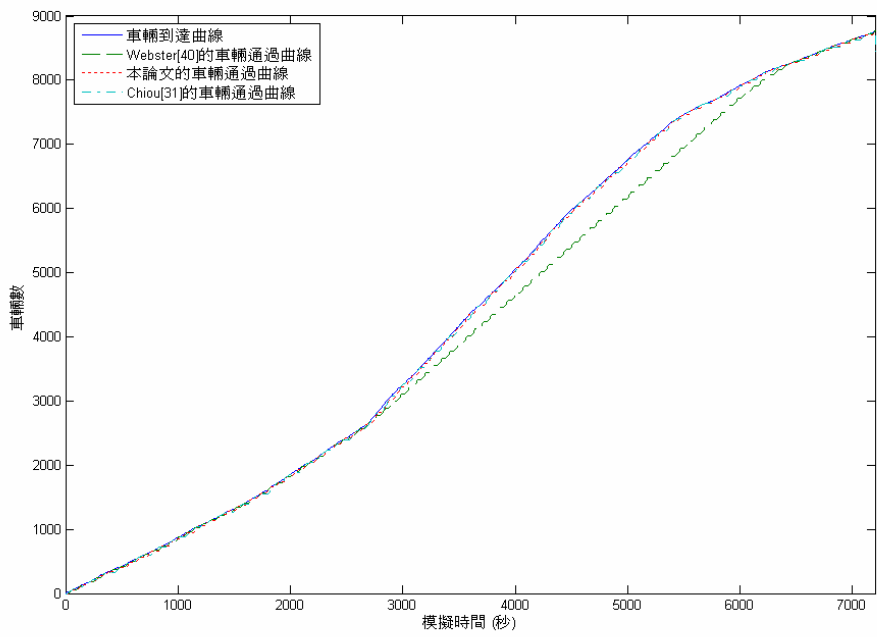


(a)

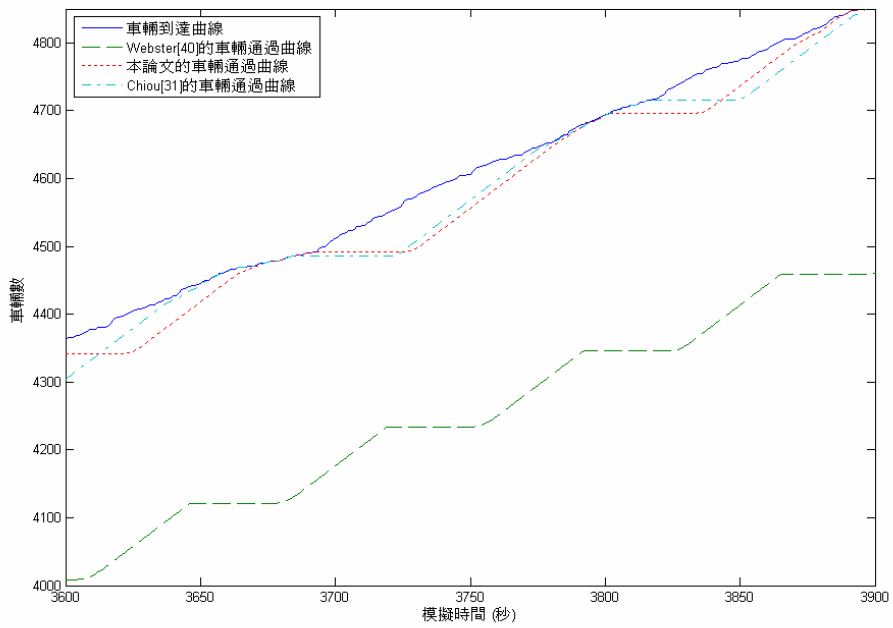


(b)

圖 4.19 第一種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。

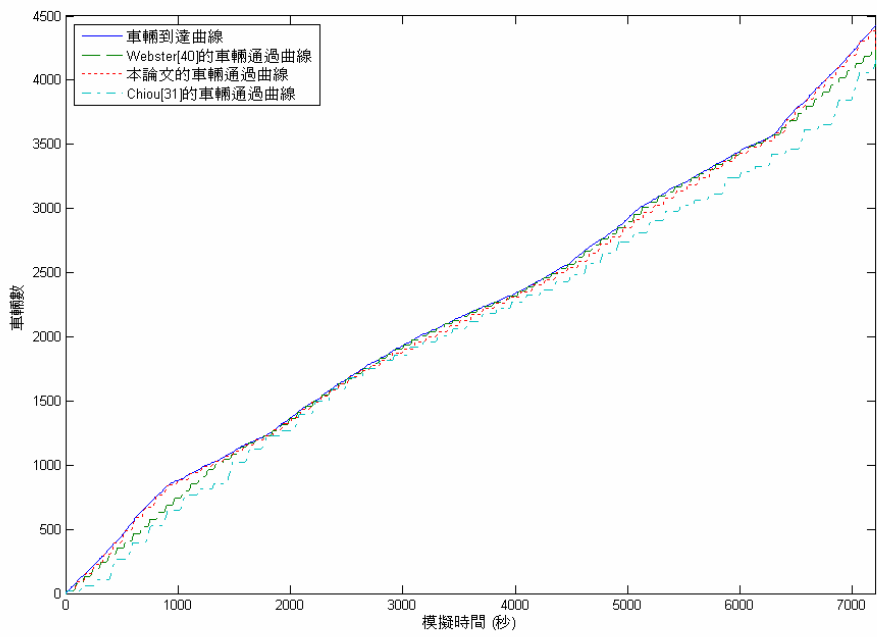


(a)

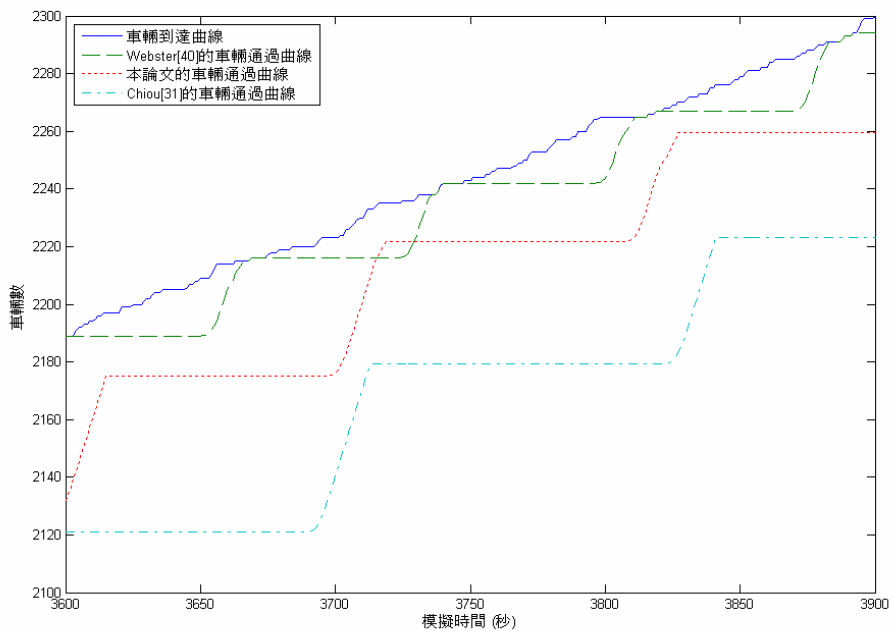


(b)

圖 4.20 第二種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

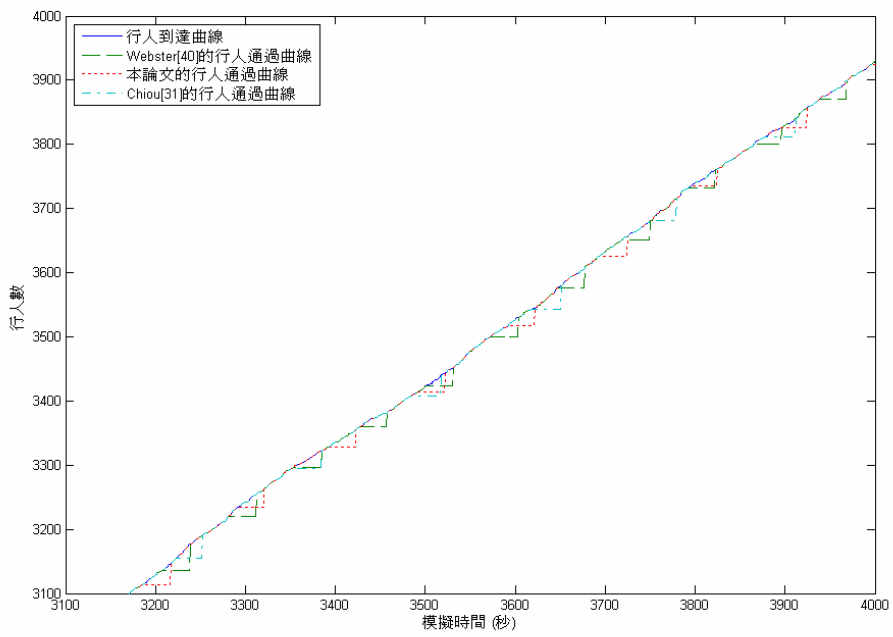


(a)

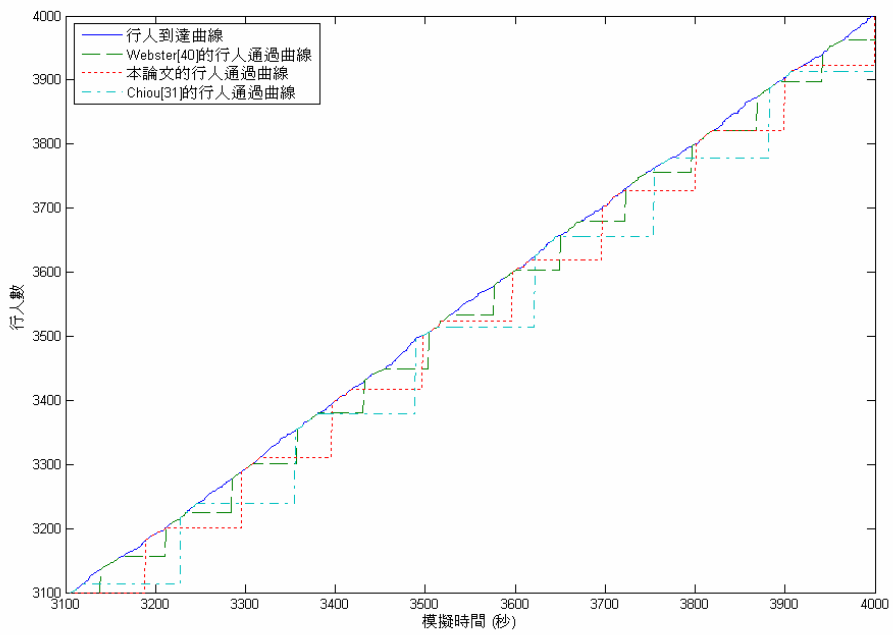


(b)

圖 4.21 第二種模擬情境的東西向支道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

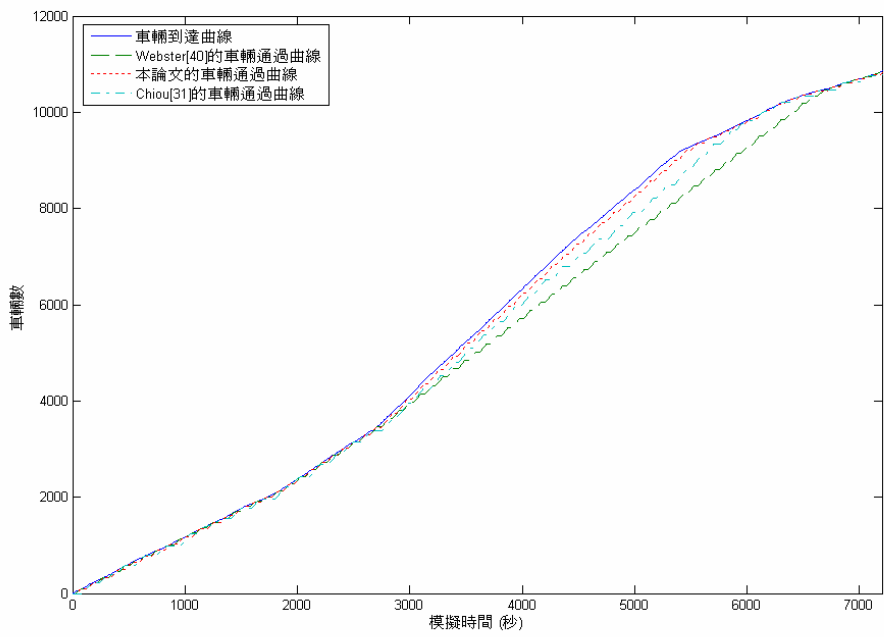


(a)

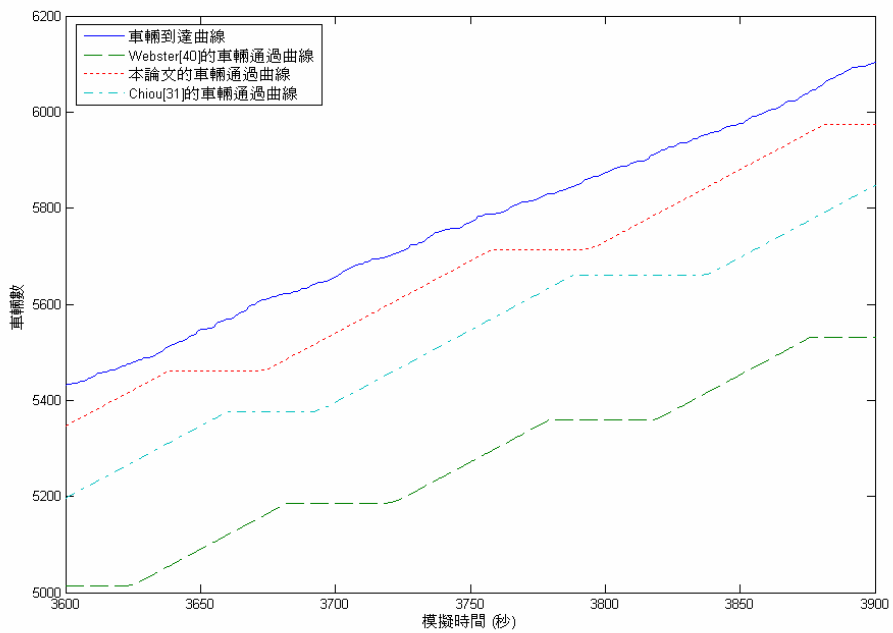


(b)

圖 4.22 第二種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。

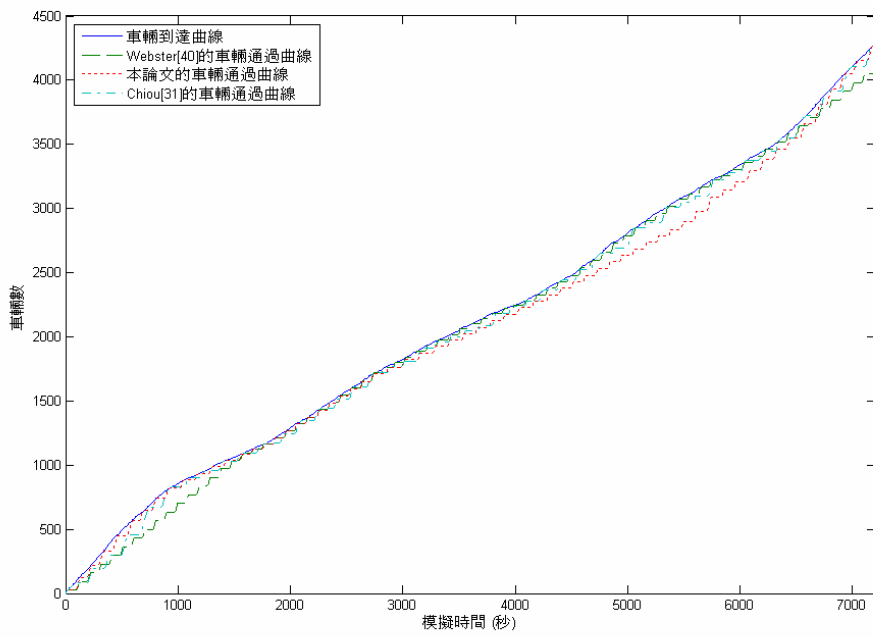


(a)

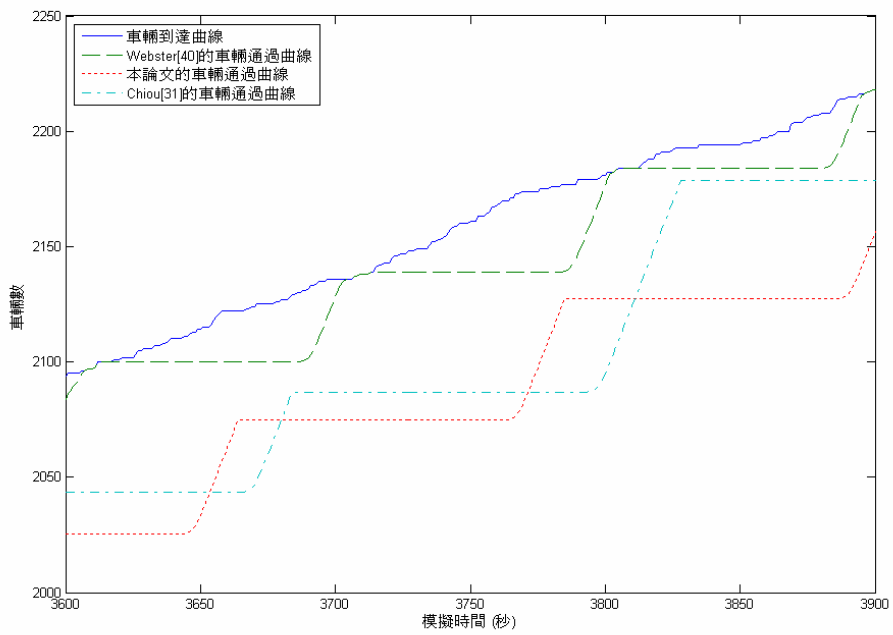


(b)

圖 4.23 第三種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

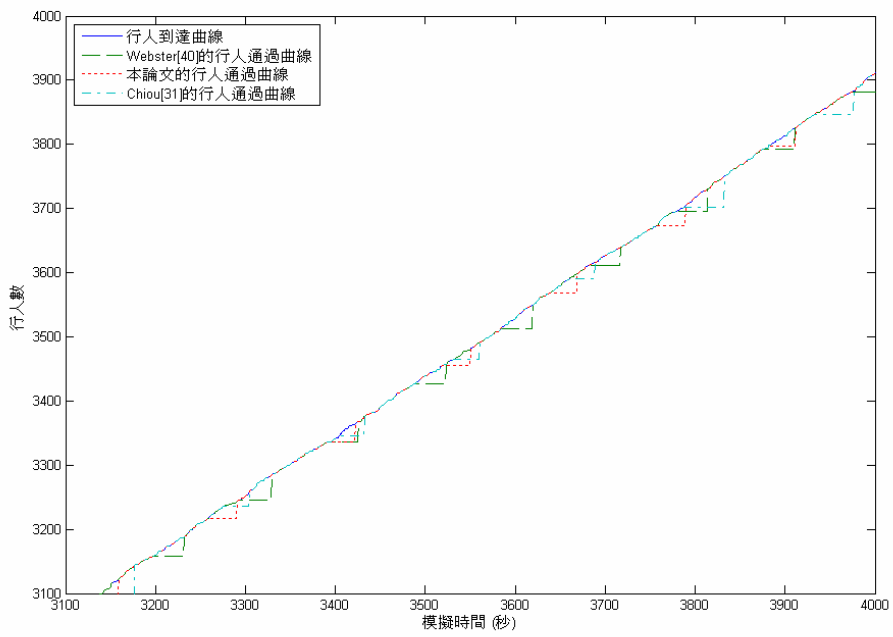


(a)

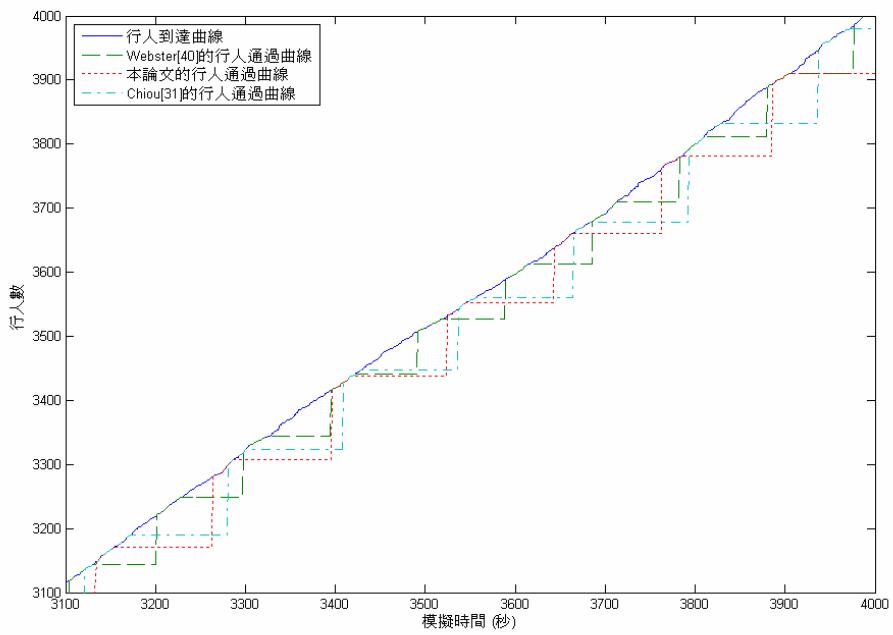


(b)

圖 4.24 第三種模擬情境的東西向支道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

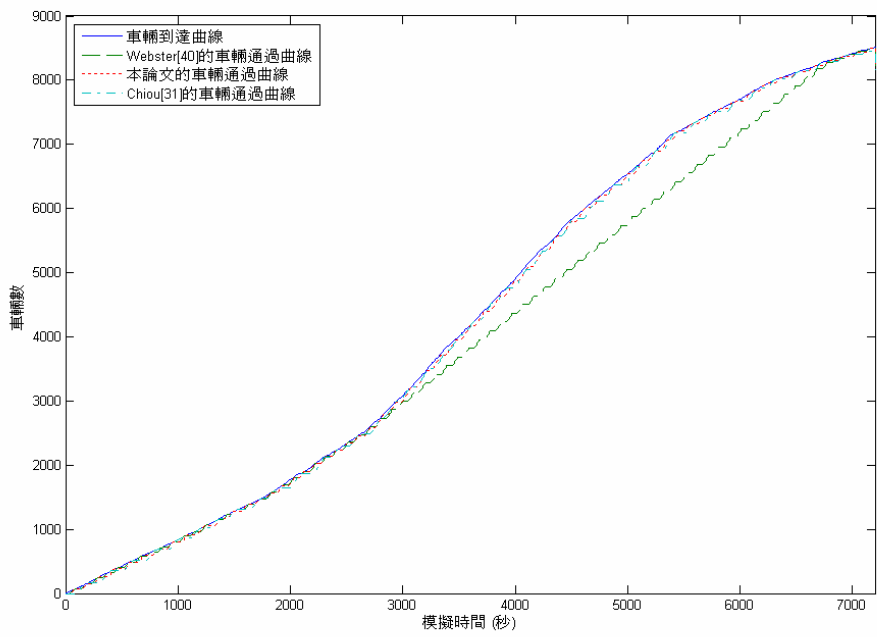


(a)

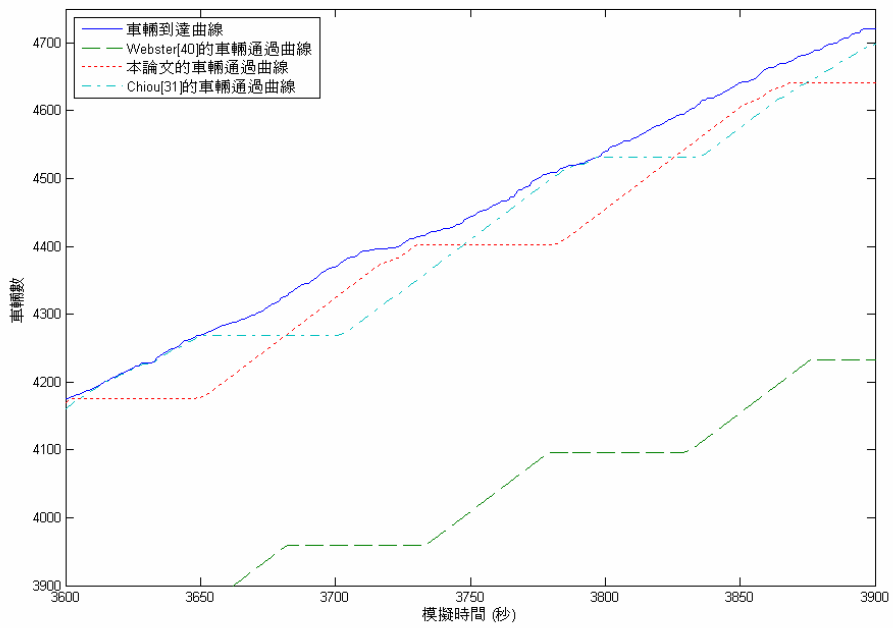


(b)

圖 4.25 第三種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。

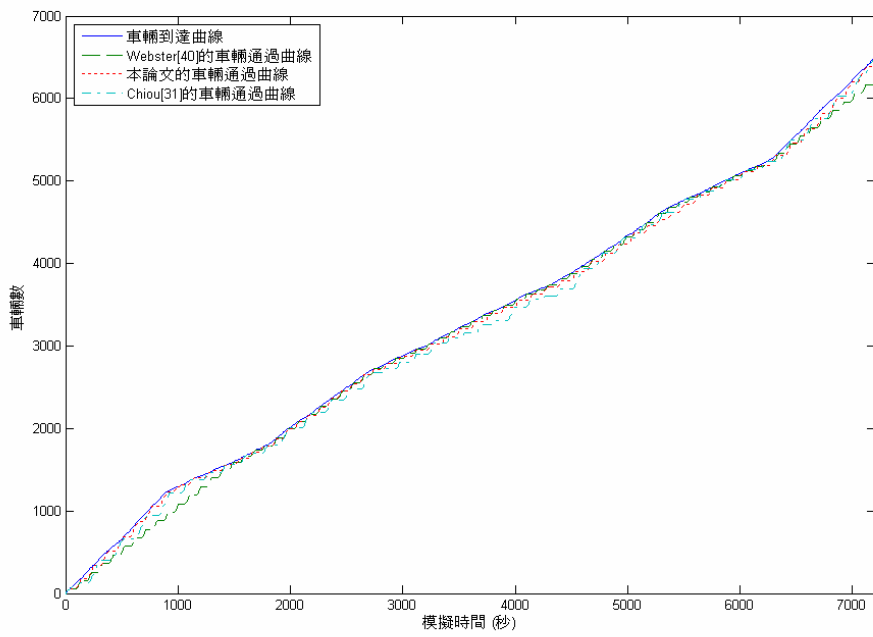


(a)

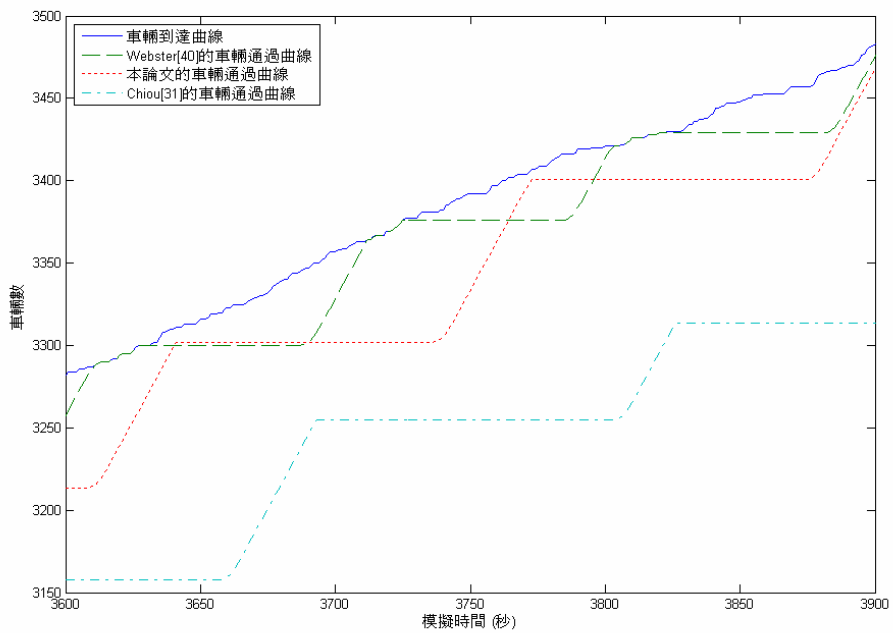


(b)

圖 4.26 第四種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

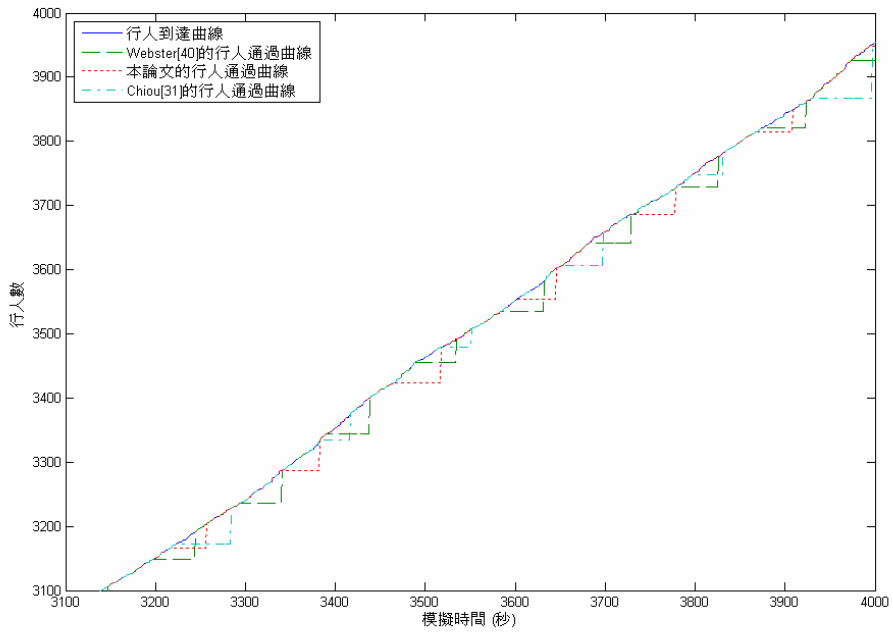


(a)

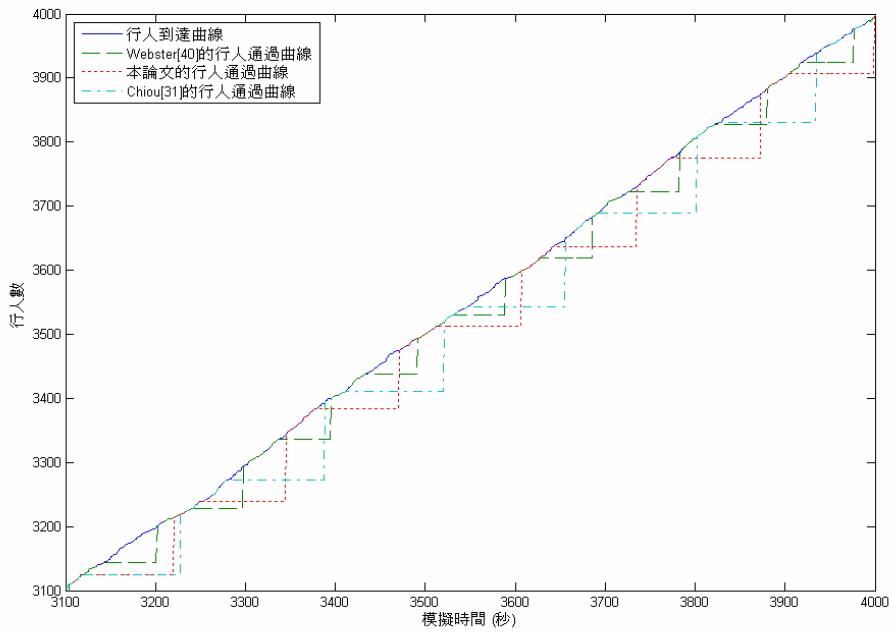


(b)

圖 4.27 第四種模擬情境的東西向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

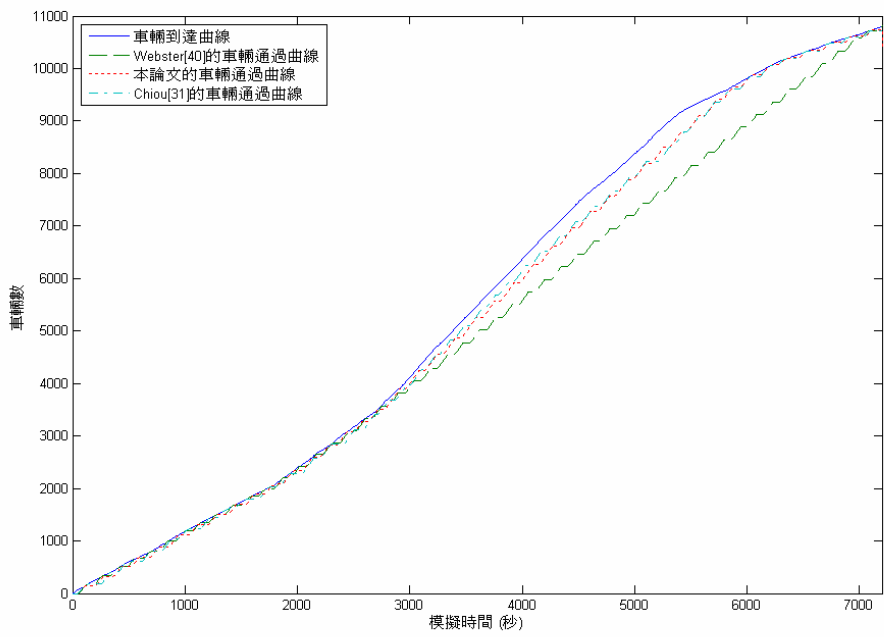


(a)

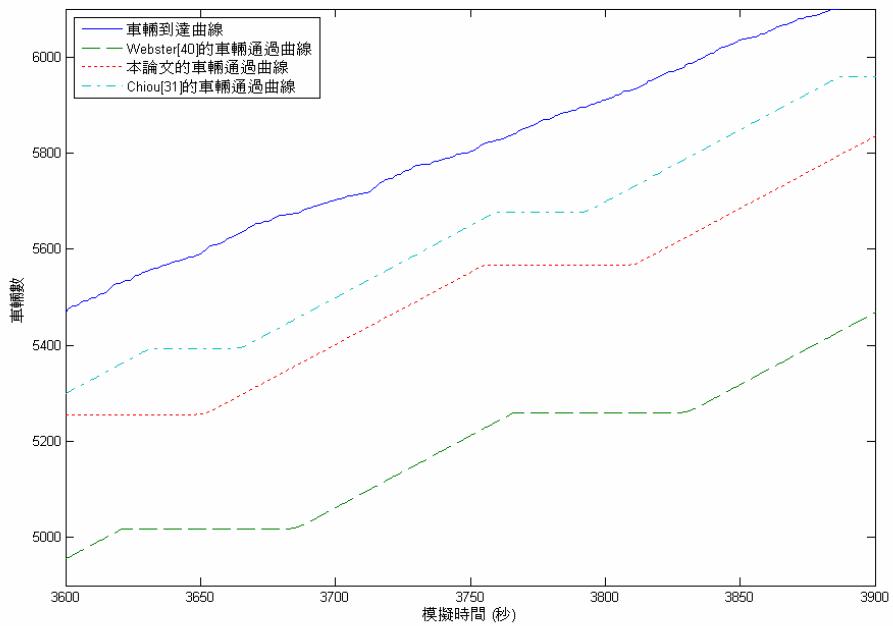


(b)

圖 4.28 第四種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。

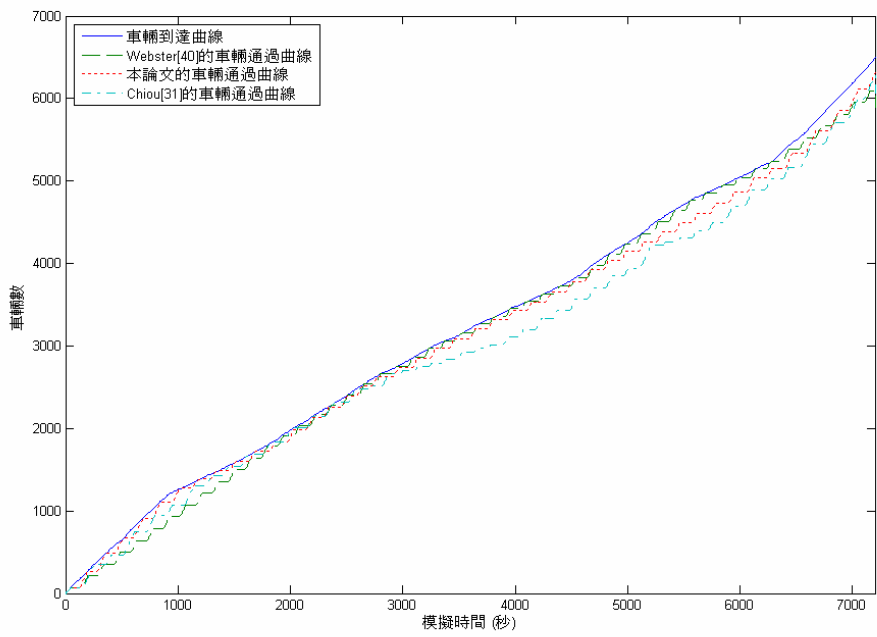


(a)

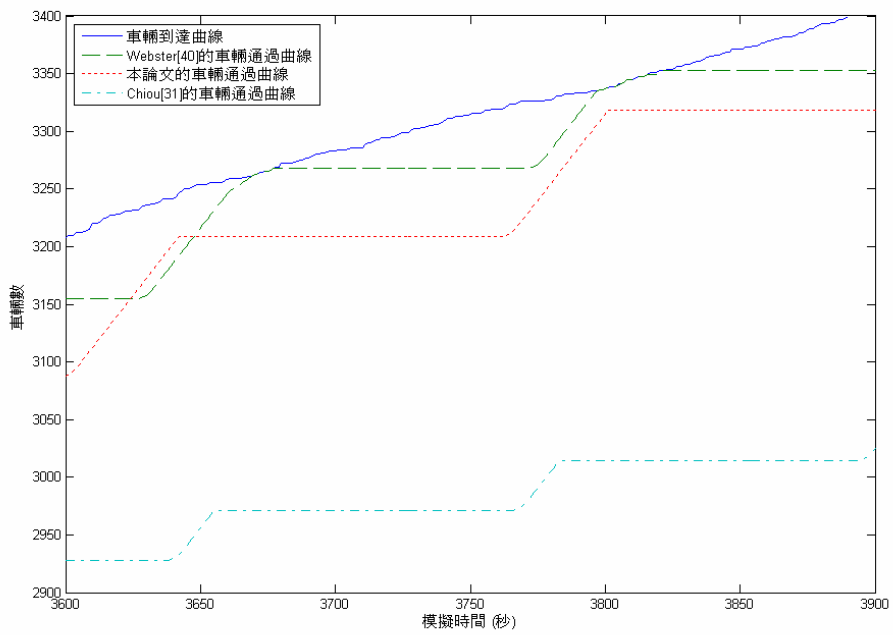


(b)

圖 4.29 第五種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

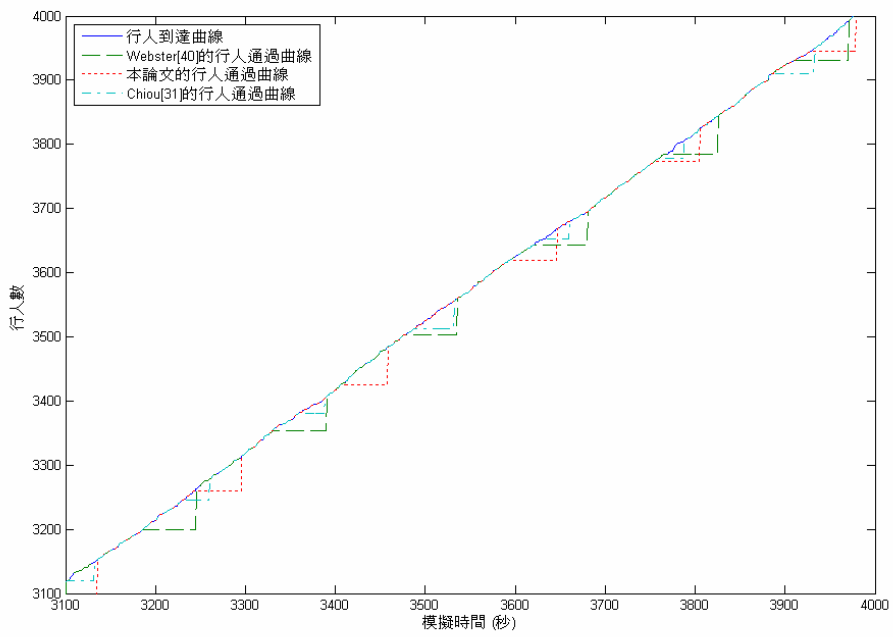


(a)

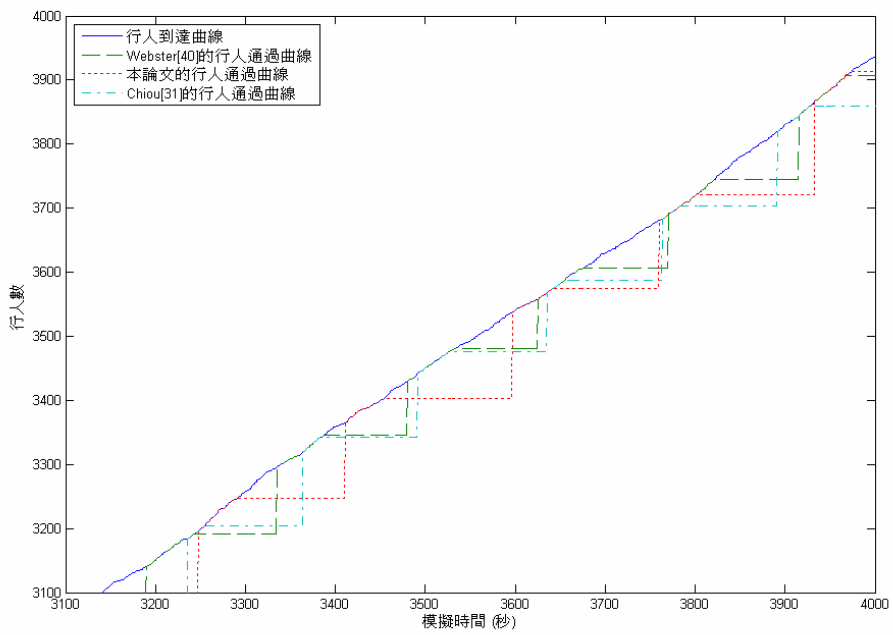


(b)

圖 4.30 第五種模擬情境的東西向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

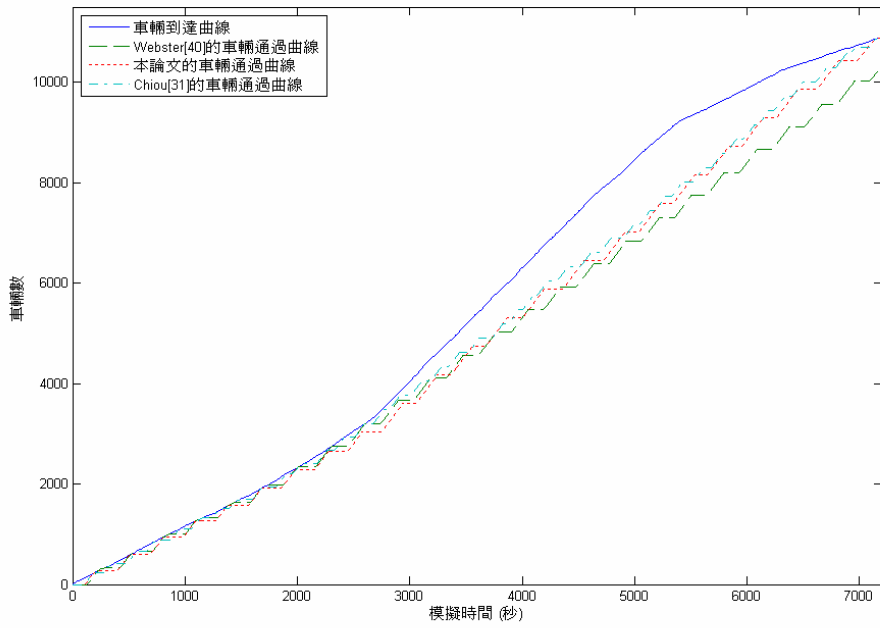


(a)

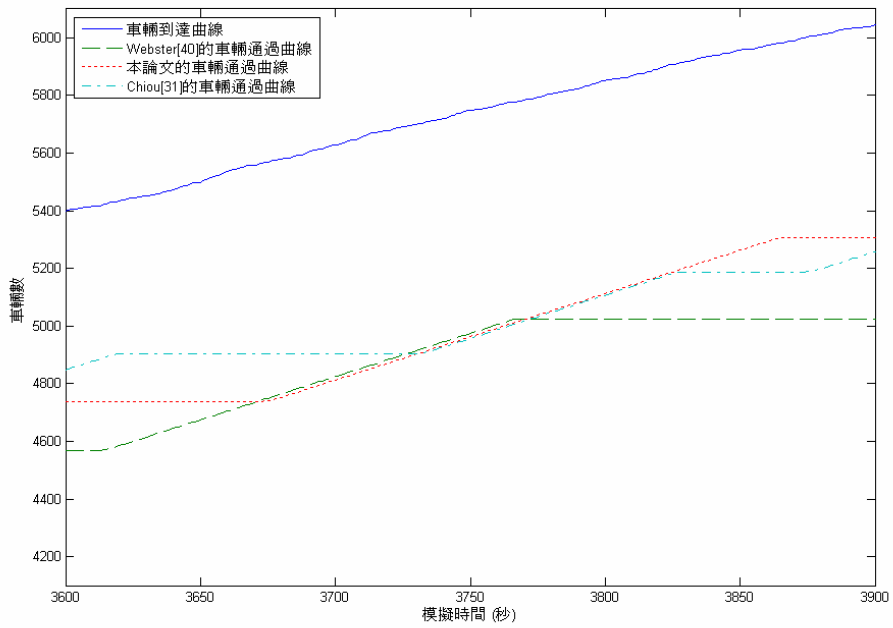


(b)

圖 4.31 第五種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。

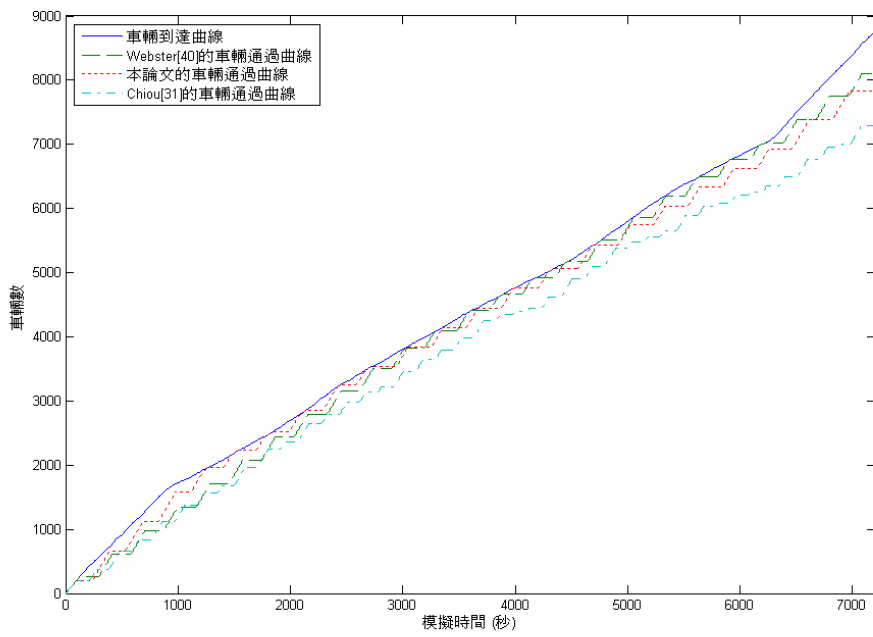


(a)

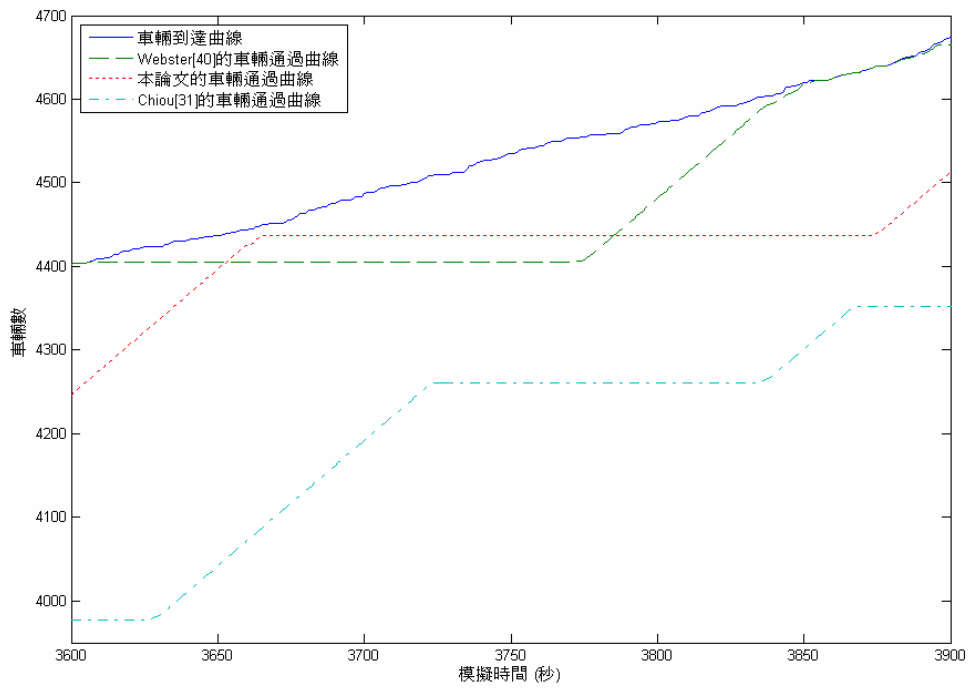


(b)

圖 4.32 第六種模擬情境的南北向幹道之車輛到達及疏解曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏解曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。

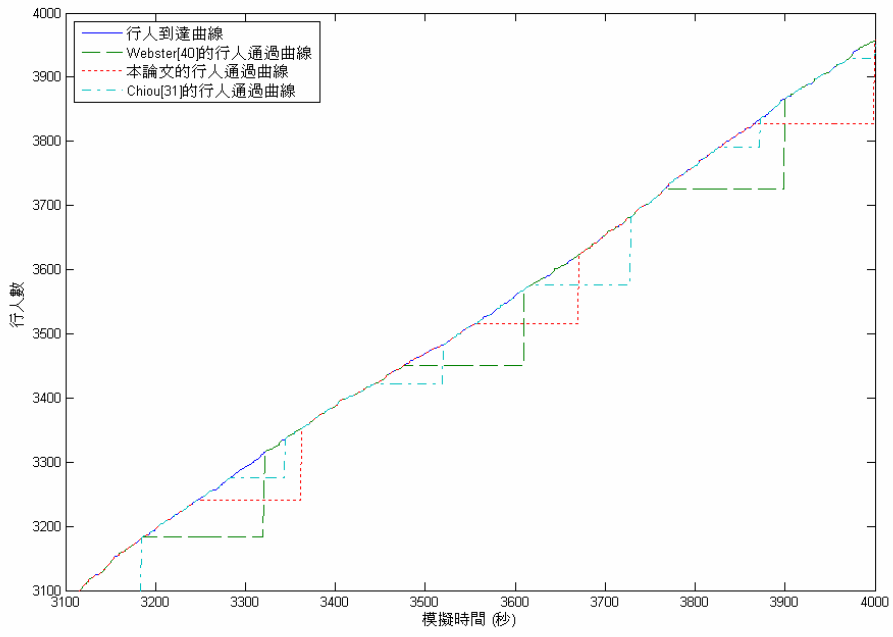


(a)

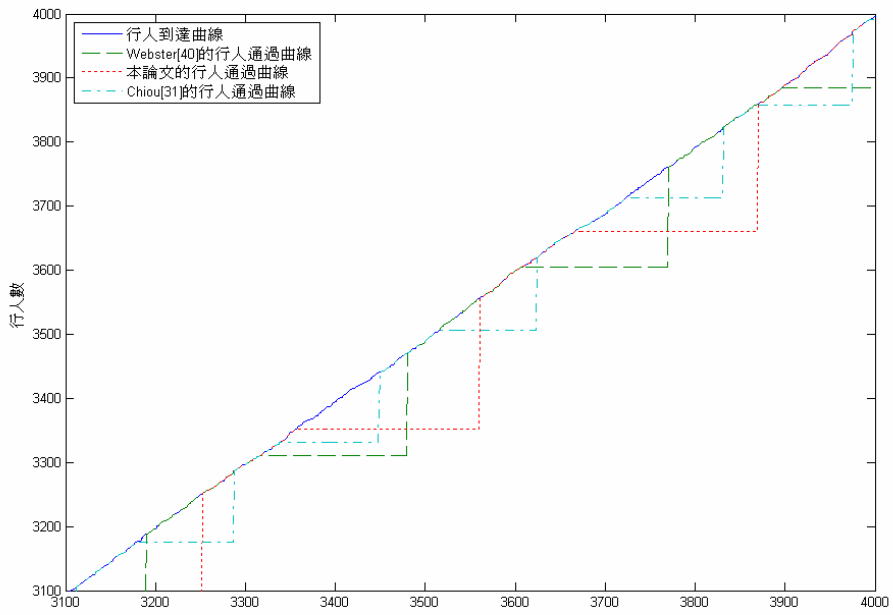


(b)

圖 4.33 第六種模擬情境的東西向幹道之車輛到達及疏散曲線。(a) 模擬時間(兩小時)內的車輛到達及疏散曲線；(b) (a)圖之其中五分鐘的細部放大圖。



(a)



(b)

圖 4.34 第六種模擬情境的行人到達及疏散曲線。(a) 南北向行人穿越道；(b) 東西向行人穿越道。

表 4.2 模擬實驗的車輛路口總延滯(車-小時)。

情境	方法	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	實驗五	平均值	標準差
一	Webster[40]	52.30	57.89	59.44	51.67	57.89	55.83	3.58
	Chiou[31]	129.22	167.34	129.08	121.87	105.64	130.63	22.66
	本論文	47.44	48.59	49.53	46.13	49.55	48.25	1.47
二	Webster[40]	359.30	428.68	496.69	463.33	474.31	444.46	53.57
	Chiou[31]	249.13	302.43	330.60	382.14	257.63	304.39	54.72
	本論文	101.12	158.38	103.10	95.55	97.22	111.07	26.62
三	Webster[40]	834.62	838.50	842.75	727.26	697.80	788.19	69.90
	Chiou[31]	455.14	459.75	441.31	364.15	353.69	414.81	51.60
	本論文	397.96	405.89	409.03	334.23	329.65	375.35	39.87
四	Webster[40]	797.86	824.38	789.23	691.71	696.42	759.92	64.52
	Chiou[31]	308.64	305.69	286.73	225.65	289.08	283.16	33.59
	本論文	214.59	192.40	199.27	149.48	157.79	182.71	27.88
五	Webster[40]	1203.1	1239	1117.7	1335.8	1229.4	1225	78.24
	Chiou[31]	813.41	1012.8	708.80	973.44	934.76	888.64	125.24
	本論文	575.21	604.28	519.25	709.87	651.10	611.64	72.67
六	Webster[40]	1727.7	1603.6	1754.2	1829.7	1851.5	1753.3	98.17
	Chiou[31]	1894.1	2039.2	1837.2	1982.9	2169.7	1984.6	129.58
	本論文	1556.5	1348.6	1433.7	1500.1	1386.6	1445.1	84.11

表 4.3 模擬實驗的行人路口總延滯(人-小時)。

情境	方法	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	實驗五	平均值	標準差
一	Webster[40]	33.21	33.44	33.61	32.93	33.32	33.30	0.26
	Chiou[31]	99.72	98.54	98.67	100.31	98.57	99.16	0.81
	本論文	46.03	45.93	46.23	45.32	45.78	45.86	0.35
二	Webster[40]	46.10	46.98	45.61	46.28	46.35	46.26	0.49
	Chiou[31]	95.18	98.37	96.47	96.17	96.94	96.63	1.17
	本論文	63.05	67.00	64.58	65.86	65.71	65.24	1.49
三	Webster[40]	61.85	62.42	62.50	62.50	62.00	62.20	0.28
	Chiou[31]	99.51	98.04	98.18	100.45	98.62	98.96	1.01
	本論文	75.08	74.18	74.91	73.76	74.07	74.40	0.57
四	Webster[40]	56.85	56.74	56.15	56.35	56.79	56.58	0.31
	Chiou[31]	103.07	105.23	101.47	102.55	104.41	103.35	1.49
	本論文	71.07	74.52	73.63	75.02	74.09	73.66	1.54
五	Webster[40]	83.27	82.25	82.67	82.76	83.75	82.94	0.58
	Chiou[31]	101.18	101.20	100.12	102.21	102.47	101.44	0.94
	本論文	103.53	100.55	99.06	100.93	102.57	101.33	1.76
六	Webster[40]	154.82	151.36	151.40	153.95	154.54	153.21	1.70
	Chiou[31]	103.36	102.08	100.25	105.16	103.18	102.81	1.81
	本論文	174.67	173.13	170.97	175.54	175.99	174.06	2.04

4.3 實驗分析

用影像處理演算法估測交通資訊的實驗結果將在 4.3.1 節討論，模糊適應性交通號誌管理系統在六個實驗場景的實驗結果與分析將在 4.3.2 節中討論。

4.3.1 以影像估測交通流量的實驗分析

從行人估測系統估測人數對實際人數的標準差 σ_N 值我們可以知道，行人估測系統對於實驗場景裡所估測的行人平均來講，大約會比場景中真正的人數多一個或是少一個，這樣的估測結果對偵測交通流量的應用來說是令人滿意的，因為我們在控制號誌燈號時，並不會去細數到底有多少人在行人穿越道上。圖 4.10(a)以及圖 4.10(a)對於傳統的行人偵測系統會是困難的挑戰，因為影像中的人物有一定程度地互相遮蔽，但是使用本論文的方法仍可以得到不錯的估測結果。在場景估滿了人且嚴重地阻滯了半個身體或是更多的情況之下，行人估測系統的效能可能會衰退，但是若是應用在取得交通資訊供本論文所提出的模糊適應性交通號誌控制系統上，這個問題則不會出現，原因有二個：1) 若估測場景中的人數過多且估測得到的人數已超過我們主觀設定的最大人數 N_{max} ，則即使估測的結果已經不準確了，模糊適應性交通號誌系統會把輸入參數行人程度 PL 設為 1，因此模糊交通號誌控制系統便不會受到估測不準確性的影響；2) 由於行人穿越道的紓解率很大(行人穿越道行人飽和流率設為 30(人/秒))，故一般在模糊號誌管理系統需要擷取交通資訊做推論時，行人穿越道已經過了具有最大用路需求的時段，因此行人穿越道上的行人並不多。此外，需要附帶一提的是圖 4.10(a)與圖 4.10(e)中的行人是同一群人，但是一張影像為行人較靠近行人穿越道兩側，一張則是行人較接近行人穿越到中央；從表 4.1 可以看出，兩張影像的前景像素相差很多 (3359 及 6129)，但是經過計算正規化前景像素的步驟後，兩張影像的正規畫前景像素就變得接近了 (8111 和 8904)，因此兩張影像在前景像素相差很多的情況下，得到了非常接近的估測結果(10 與 11)，這就顯示了我們做相機校正求得透視轉換矩陣以得到前景像素總數與前景物件的關係的成果。

從圖 4.13 與圖 4.15 我們可以看出車流程度 IV_{degree} 、前景特徵 NP_{ratio} 以及紋理特徵 $Diff_{ratio}$ 間的相互關係。 NP_{ratio} 隨著場景中的車輛多寡變動，車的總數越多則越接近 1，車的總數越少則越接近 0。 $Diff_{ratio}$ 則隨著場景中的車輛多寡以及遠近變動，

若是場景中車輛多且距相機較近，則 $Diff_{ratio}$ 會較接近 1，如圖 4.13 中幀 2000 至幀 2500；若是場景中的車流正在紓解時，則因為靠近相機的車輛紓解後遠離相機的車輛又接踵而至，目標區域內的車輛也在同時紓解及到達，如此不斷循環使得 $Diff_{ratio}$ 會因為車輛距離相機的位置以及目標區域內的車輛多寡而忽大忽小，如圖 4.13 中幀 1 到幀 1400，又如圖 4.15 中幀 1 至幀 600、幀 1300 至幀 1800；若是場景中的車輛正在停等，則 $Diff_{ratio}$ 會因為車輛靠近相機而有一定程度的大小，且因為車輛沒有移動， $Diff_{ratio}$ 也不會有劇烈變化，如圖 4.15 幀 800 至幀 1200。至於 IV_{degree} 則是這兩個特徵經過車流偵測的模糊推論系統推論出的車流程度，若是兩個輸入的特徵都接近 1，則 IV_{degree} 也會接近 1；若是兩個輸入的特徵都接近 0，則 IV_{degree} 也會接近 0；若兩個輸入特徵一大一小，則兩個特徵會互補，使得推論出的 IV_{degree} 介於其間。

4.3.2 模糊適應性交通號誌管理系統的實驗分析

在模糊適應性交通號誌管理系統的模擬上，比較表 4.2、圖 4.17 與圖 4.18 可以發現，三個參與比較的方法都能夠有效地處理交通流量低時的車流，但是 Chiou 的方法[31]由於基本週期太長，造成在低交通流量時路口資源的浪費；再比較表 4.2、圖 4.20 與圖 4.21 之模擬情境二我們可以了解到，Webster 所提出的定時號誌控制方法[40]對於不斷變動的車輛到達方式完全沒辦法處理，因而在南北向幹道造成了一定程度的路口總延滯，Chiou 的方法[31]對主要幹道有相當好的紓解效果，但是主要幹道的綠燈時間與支道的綠燈時間卻不成比例，造成支道的路口總延滯增加。這是因為 Chiou 的系統在執行幹道綠燈時間時會不停地推論出延長的時間，支道在系統沒有考慮路口相對飽和度的情形下便被忽略，加上這個方法只偵測綠燈方向下的車量到達率，並沒有考慮到綠燈方向下的阻滯車輛數目，故即使在綠燈方向下仍有許多車輛未紓解完，系統仍只參考車輛到達率來推論延長時間，導致延長的時間往往不夠紓解綠燈方向下阻滯的車輛；但是由於它對於幹道的車流

紓解得很好，故總和來說 Chiou 的控制績效在模擬情境二仍然較 Webster 的最佳週期定時號誌控制要來得好。本論文提出的方法考慮到最佳週期以及路口相對飽和度的設定，故在模擬情境二能夠適當地分配綠燈時間給各時相，達到良好的控制績效。接著比較表 4.2、圖 4.23 與圖 4.24 之第三種模擬情境，我們可以從圖 4.23(b) 中看到，由於模擬情境三中極高的南北向流量，使得三種參與比較的方法皆在交通尖峰期沒辦法完全紓解南北向車流，但本論文在南北向幹道具有最小的車輛路口總延滯，其次為 Chiou 的方法，最大的則是 Webster 的定時控制法；又我們從圖 4.24(b) 中可以看到 Webster 的方法在東西向路口具有最小的路口延滯，其次則是 Chiou 的方法，最差的則是本論文的方法；有這樣的結果並不代表 Webster 的方法是好的交通號誌管理系統，因為 Chiou 與本論文的方法在南北向車流尖峰時將綠燈時間分給了南北向的綠燈時相，因而在東西向路口造成了較 Webster 的方法大的車輛路口總延滯，這是一個權衡下的結果，以犧牲流量小的時相之綠燈時間來換取較小的流量尖峰路口之路口延滯，由此可知，本論文以及 Chiou 所提出的方法確實具有動態調整時相執行長度的能力。接著比較表 4.2、圖 4.26 與圖 4.27 之第四種模擬情境，從圖 4.26(a) 中我們可以看到 Chiou 以及本論文的方法都可以將南北向幹道的車流紓解，從圖 4.27(b) 中可以看到 Chiou 的方法因為與模擬情境二相同的原因而具有較大的車輛路口總延滯，總和來說，在本實驗情境下控制績效由最好到最差依序是本論文的方法，Chiou 的方法以及 Webster 的方法。第五種模擬情境的結果類似模擬情境四的實驗結果，但是因為南北向幹道的平均車流較高，所以各個方法相對的車輛路口總延滯也都增加不少。第六種模擬情境的路口飽和度已經將近完全飽和，固不論利用這三種方法的哪一種來管理交通號誌都避免不了產生極大的路口總延滯，值得一提的是，由於模擬情境六超高的車流量，所以使得 Webster 所規劃出的最佳週期綠燈時間超越了 Chiou 的單一時相最大綠燈時間，所以 Chiou 的方法在這個實驗情境下因為最大綠燈時間不夠長、沒有考慮相對路口飽和度以及忽略綠燈方向下的阻滯車輛等原因而成為控制績效最差的方法，總和來說，在本實驗情境下控制績效由最好到最差依序是本論文的方法，

Webster 的方法以及 Chiou 的方法。

Chiou 的方法有較長之基本時相週期，應用於流量較大的路口能突顯其優於定時交通號誌管理的控制績效，但是應用於流量超大的路口反而又受限於預先設定的最大綠燈時間而使得控制效能變差；本論文在設計模糊適應性交通號誌管理系統時考慮了最佳週期以及路口相對飽和度的問題，使得本論文提出的方法有更佳的控制績效。從表 4.2 中的平均值以及標準差兩欄可以看出本論文的方法在參與比較的三者裡具有最佳的控制績效與控制穩定度。

在行人於路口的延滯方面，從表 4.3 中的平均值以及標準差兩欄可以看出交通號誌系統的週期越長，則行人於路口的延滯就越大；至於行人路口總延滯的標準差則都非常小，三者對於行人路口總延滯的控制穩定度幾乎沒有太大的差別。

在對於整個路口所有用路人(行人以及車輛)的延滯方面，將表 4.2 以及表 4.3 的內容彙整於表 4.4 後可以看出本論文所提出的模糊適應性號誌控制系統除了在模擬情境一因為行人路口總延滯的影響使得所有用路人於路口的總延滯略高於韋伯斯特最佳周期定時控制之外，在其他實驗場景對所有使用路口的用路人所造成之路口總延滯是參與比較的三者裡最小的，除此之外，本論文所提出的方法在所有的實驗場景也具有最穩定的控制績效。

最後我們要探討的是，行人程度 PL 對於模糊適應性交通號誌管理系統輸出的影響。行人在路口的流動性較車子大許多，因此行人穿越道的紓解率相較於車道來說非常大，停等的行人通常在綠燈時間開始不久就疏解一空，接下來通過行人穿越道的就是零零星星的行人；所以在本論文提出的系統在進行模糊推論時，行人穿越道已經過了它在該時相內最大用路需求的時刻，所以用此時行人穿越道上的人數來當作決定延長時間的參數之一似乎是有點過當，在推論時也會受到在行人穿越道上較少數目的行人之影響，使得推論出的延長時間變短，導致在遭遇高流量的車流時，有時推論出的延長綠燈時間仍不足以立即紓解車流，因此在此建議在發展獨立號制化交叉路口號誌控制系統時，可以不用特別考慮行人的流動來做為適應性號誌管理系統的輸入；但是行人總延滯的大小會與號誌的週期長短有

關，故在設計適應性號誌管理系統時，應該注意週期時間的長短，以免過長的週期使得行人停等的時間拉長。

表 4.4 模擬實驗的車輛路口總延滯加上行人路口總延滯。

情境	方法	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	實驗五	平均值	標準差
一	Webster[40]	85.51	91.33	93.05	84.60	91.19	89.14	3.81
	Chiou[31]	228.94	265.88	227.75	222.18	204.21	229.79	22.47
	本論文	93.47	94.52	95.76	91.45	95.41	94.12	1.74
二	Webster[40]	405.4	475.66	542.3	509.61	520.66	490.73	53.43
	Chiou[31]	344.31	400.8	427.07	478.31	354.57	401.01	54.83
	本論文	164.17	225.38	167.68	161.41	162.93	176.31	27.53
三	Webster[40]	896.47	900.92	905.25	789.76	759.8	850.44	69.64
	Chiou[31]	554.65	557.79	539.49	464.6	452.31	513.77	51.15
	本論文	473.04	480.07	483.94	407.99	403.72	449.75	40.29
四	Webster[40]	854.71	881.12	845.38	740.06	753.21	814.90	63.84
	Chiou[31]	411.70	410.92	388.20	328.20	393.50	386.51	34.21
	本論文	285.67	266.92	272.90	224.50	231.87	256.37	26.74
五	Webster[40]	1286.4	1321.3	1200.4	1418.6	1313.1	1308.0	78.23
	Chiou[31]	914.59	1140.0	808.92	1075.7	1037.2	995.28	132.67
	本論文	678.75	704.83	618.31	810.80	753.67	713.27	73.19
六	Webster[40]	1882.5	1755	1905.6	1983.6	2006.0	1906.5	99.21
	Chiou[31]	1997.5	2141.3	1937.5	2088.1	2272.9	2087.5	130.26
	本論文	1731.2	1521.7	1604.7	1675.6	1562.6	1619.2	84.62

第五章

結論與未來發展

交通流量偵測以及交通動線的優化都是在智慧型交通系統非常受到重視的議題，目前存在許多的相關文獻，但是在偵測交通資訊方面，大部分的文獻都著眼於微觀尺度的量測，也就是辨識出交通工具或是行人後進行追蹤，但是這樣的作法在適應性交通號誌管理系統的應用上是沒有必要的，因為管理交通號誌需要的只是一個交通流量大或小的概念，而不用實際去計算出路口的人數或是車輛數，甚至進一步去追蹤它們；有鑑於此，本論文提出了一個可以有效率判別行人穿越道上約略人數以及判斷特定車道上車流多寡的方法：藉由運用透視轉換得到影像平面與世界座標的關係，我們可以從偵測出的前景搭配行人樣版估測約略的行人數目；這樣的方法配合紋理特徵也可以估測出特定車道上車流多寡，實驗顯示皆有不錯的效果。在交通動線優化的方面，大部分的文獻都著眼於發展具有動態執行時相長度之能力的適應性交通號誌管理系統，在本論文中，也設計了一個以模糊推論系統為核心的模糊適應性交通號誌管理系統，本系統的特點在於除了具有動態執行時相長度的能力外，在設計的過程中也考慮了一般適應性交通號誌管理系統不會考慮的最佳週期長度與相對路口飽和度，此外，這個模糊適應性交通號誌系統還可以與前面所敘述的影像處理方法做結合，以攝影機為偵測器蒐集交通資訊後交由模糊適應性交通號誌管理系統推論出時相延長時間，實驗顯示本論文所提出的適應性交通號誌管理策略具有良好的控制績效而且具有良好的控制穩定性，可以應付瞬息萬變的車流。

在未來的發展上，可以利用基因演算法客觀地再詳加挑選系統的模糊規則以及變數的歸屬函數，並且發展模糊時相選擇器，適當地選擇下一個該要執行的時相，合宜地調整時相的執行時間；並可以在連續路口或是區域路網獨立地運用本論文所提出的模糊適應性號誌控制系統，以期達到交通動線管理的最佳化。



參考文獻

- [1] F. Y. Wang, P. B. Mirchandani, and N. Zheng, “Advances and Trends in Research and Development of Intelligent Transportation Systems: An Introduction to the Special Issue,” *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 222-223, Dec. 2004.
- [2] B. Maurin, O. Masoud, and N. P. Papanikolopoulos, “Tracking All Traffic: Computer Vision Algorithms for Monitoring Vehicles, Individuals, and Crowds,” *IEEE Trans. on Robotics & Automation*, vol. 12, no. 1, pp. 29-36, March 2005.
- [3] L. Y. Deng, N. C. Tang, D. L. Lee, C. T. Wang, and M. C. Lu, “Vision Based Adaptive Traffic Signal Control System Development,” *Int’l Conf. Advanced Information Networking and Applications*, vol. 2, pp. 25-30, Taipei, Taiwan, 2005.
- [4] J. E. Naranjo, C. Gonzalez, J. Reviejo, R. Garcia, and T. Pedro, “Adaptive Fuzzy Control for Inter-Vehicle Gap Keeping,” *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, no.3, pp. 132-142, Sept. 2003.
- [5] A. Escalera, J. M. Armingol, J. M. Pastor, and F. J. Rodriguez, “Visual Sign Information Extraction and Identification by Deformable Models for Intelligent Vehicles,” *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 57-68, June 2004.
- [6] T. Zhao and R. Nevatia, “Tracking Multiple Humans in Complex Situations,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 9, pp. 1208-1221, Sept. 2004.

- [7] I. Haritaoglu, D. Harwood, and L. S. Davis, "W4: Real-Time Surveillance of People and Their Activities," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 8, pp. 809-830, Aug. 2000.
- [8] C. J. Pai, H. R. Tyan, Y. M. Liang, H.Y. Mark Liao, and S.W. Chen, "Pedestrian Detection and Tracking at Crossroad," *Proc. IEEE int'l Conf. Image Processing*, vol. 2, pp. 101-104, Sept. 2004.
- [9] J. H. Jean and R. Y. Wu, "Adaptive Visual Tracking of Moving Objects Modeled with Unknown Parameterized Shape Contour," *IEEE int'l Conf. Networking, Sensing and Control*, vol. 1, pp. 76-81, Taipei, Taiwan, 2004.
- [10] S. F. Lin, J. Y. Chen, and H. X. Chao, "Estimation of Number of People in Crowded Scenes Using Perspective Transformation," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 31, no. 6, pp. 645-654, Nov. 2001.
- [11] T. Coianiz, M. Boninsegna, and B. Caprile, "A Fuzzy Classifier for Visual Crowding Estimates," *IEEE int'l Conf. Neural Networks*, vol. 2, pp. 1174-1178, Nagoya, Japan, 1996.
- [12] A. N. Marana, S. A. Velastin, L. F. Costa, and R. A. Lotufo, "Estimation of Crowd Density Using Image Processing," *IEE Colloquium Image Processing for Security Applications*, pp. 11/1-11/8, 1997.
- [13] S. Y. Cho, T. W. S. Chow, and C. T. Leung, "A Neural-Based Crowd Estimation by Hybrid Global Learning Algorithm," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 29, no. 4, pp. 535-541, Aug. 1999.
- [14] Y. Iwasaki, "A Measurement Method of Pedestrian Traffic Flows by Use of Image Processing and its Application to a Pedestrian Traffic Signal Control," *Proc. IEEE int'l Conf. Intelligent Transportation System*, pp. 310-313, Oct. 1999.
- [15] R. Cucchiara, P. Mello, and M. Piccardi, "Image Analysis and Rule-based Reasoning for Traffic Monitoring," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation System*, vol. 3,

no. 1, pp. 37-47, March 2002.

- [16] G. L. Foresti, V. Murino, and C. Regazzoni, "Vehicle Recognition and Tracking from Road Image Sequences," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 1, pp. 301-318, Jan. 1999.
- [17] T. Zhao and R. Nevatia, "Car Detection in Low Resolution Aerial Image," *Proc. IEEE int'l Conf. Computer Vision*, vol. 1, pp. 710-717, July 2001.
- [18] L.W. Tsai, J. W. Hsieh, and K. C. Fan, "Vehicle Detection Using Normalized Color and Edge Map," *IEEE int'l Conf. Image Processing*, vol. 2, pp. 598-601, Sept. 2005.
- [19] J. Wu, X. Zhang and J. Zhou, "Vehicle Detection in Static Road Images with PCA- and- Wavelet-based Classifier," *IEEE int'l Conf. Intelligent Transportation System*, pp. 740-744, Oakland, C.A., USA, Aug. 2001.
- [20] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller, "On-road Vehicle Detection Using Evolutionary Gabor Filter Optimization," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation System*, vol. 6, pp. 125-137, June 2005.
- [21] K. T. Song and J. C. Tai, "Image-Based Turn Ratio Measurement at Road Intersection," *IEEE int'l Conf. Image Processing*, vol. 1, pp. 1077-1080, Sept. 2005.
- [22] S. Kamijo and M. Sakauchi, "Simultaneous Tracking of Pedestrians and Vehicles by the Spatio-Temporal Markov Random Field Model," *IEEE int'l Conf. System, Man, and Cybernetics*, vol. 4, pp. 3732-3737, Oct. 2003.
- [23] Y. Iwasaki, "An Image Processing System to Measure Vehicular Queues and an Adaptive Traffic Signal Control By Using The Information of The Queues," *IEEE int'l Conf. Intelligent Transportation System*, pp.195-200, Nov. 1997.
- [24] C. P. Pappis and E. H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction," *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics*, pp. 707-717, 1977.
- [25] J.Favilla, A. Machion, and F. Gomide, "Fuzzy Traffic Control: Adaptive Strategies," *Second IEEE int'l Conf. Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 506-511, April 1993.

- [26] G. Beauchamp-Baez, E. Rodriguez-Morales, and E.L. Muniz-Marrero, "A Fuzzy Logic Based Phase Controller for Traffic Control," *Proc. Sixth IEEE int'l Conf. Fuzzy Systems*, vol. 3, pp. 1533-1539, July 1997.
- [27] S. Chiu and S. Chand, "Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic," *Second IEEE int'l Conf. Fuzzy Systems*, vol. 2, pp. 1371-1376, March 1993.
- [28] J. Nittymäki, T. Kosonen, and R. Nevala, "Fuzzy Traffic Signal Control in Major Arterials," *Proc. IEEE int'l Conf. Intelligent Transportation System*, pp. 346-351, Aug. 25-29, 2001.
- [29] J. Nittymäki and R. Nevala, "Fuzzy Adaptive Traffic Signal Control- Principles and Results," *IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference*, vol. 5, pp. 2870-2875, 2001.
- [30] C. H. Chou and J. C. Teng, "A Fuzzy Logic Controller for Traffic Junction Signals," *Information Sciences*, vol. 143, pp. 73-97, 2002.
- [31] Y. C. Chiou and L. W. Lan, "Adaptive Traffic Signal Control with Iterative Genetic Fuzzy Logic Controller," *Proc. IEEE int'l Conf. Networking, Sensing, and Control*, vol. 1, pp. 287-292, March 2004.
- [32] D. A. Forsyth and J. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
- [33] F. Lv, T. Zhao, and R. Nevatia, "Self-Calibration of a Camera from Video of a Walking Human," *Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 562-567, Quebec, Canada, 2002.
- [34] A. Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman, "Single View Geometry," *Int'l Journal Computer Vision*, 40(2), pp. 123-148, 2000.
- [35] R. M. Haralick, "Statistical and Structural Approaches to Texture," *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, no.5, pp. 786-804, May 1979.
- [36] M. Friedman and A. Kandel, *Introduction to Pattern Recognition*. London, UK:

Imperial College, 1999.

- [37] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- [38] C. T. Lin and C. S. George Lee, *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- [39] A. D. May, *Traffic Flow Fundamentals*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.
- [40] F. V. Webster, *Traffic Signal Settings*. London, UK: Road Research Laboratory, Technical Paper, no. 39, 1958.
- [41] S. M. Bhandarkar and X. Luo, "An Efficient Background Updating Scheme for Real-Time Traffic Monitoring," *IEEE Int'l Conf. Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 6, pp. 859-864, Parma, Italy, 2004.
- [42] H. K. Lam, O. S. Au, and C. W. Wong, "Automatic White Balancing Using Standard Deviation of RGB Components," *Proc. Int'l Symposium, Circuits and Systems*, vol. 3, pp. 921-924, Vancouver, Canada, 2004.

