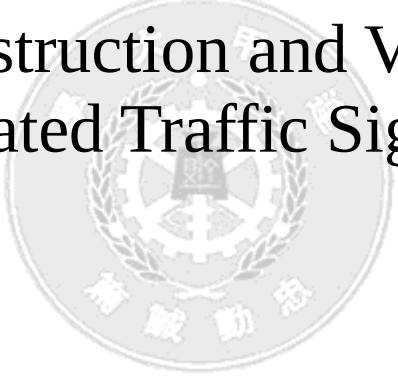


逢甲大學
運輸科技與管理學系碩士班
碩士論文

半觸動號誌控制模式之建構與驗證
Model Construction and Validation for
Semi-Actuated Traffic Signal Control

The logo of Feng Chia University is a circular seal. It features a central emblem with a gear-like design and a cross-like shape. The emblem is surrounded by a wreath. The outer ring of the seal contains the university's name in Chinese characters: "逢甲大學" (Feng Chia University) at the top and "勤誠敬恕" (Qin Cheng Jing Shu) at the bottom.

指導教授:林良泰
研 究 生:張佑鴻

中 華 民 國 一 百 零 一 年 七 月

中文摘要

本研究為探討在幹支道流量差異大且支道流量不穩定之路口，其適合之控制策略。首先以文獻回顧之方式，探討各種號誌控制策略之控制邏輯、參數設定及其優劣。經比較後發現半觸動號誌控制最為符合所欲解決交通問題之控制策略。為模擬在半觸動號誌控制下之車流情況，在無相關之套裝軟體情況下，便自行撰寫模擬軟體並模擬不同的情境，以平均延滯時間最為績效指標。由模擬結果得出在(V/C)值=0.8~0.5時，當幹支道流量差異在10:1、9:1和8:1時其路口平均延滯會遞增，而當幹支道比例為10:2和10:3時，其路口平均延滯反而遞減，其原因為支道的平均延滯減少造成使幹道平均延滯增加，使得路口平均延滯減少的現象；而當V/C值小於0.5時，隨著幹支道差異縮小，路口平均延滯越大。因此半觸動號誌控制在V/C值0.5以上，當幹支道流量比為10:1、9:1和8:1時，可有效改善路口績效；而在V/C值為0.4時，如幹支道流量比差異在10:1以上，同樣能利用半觸動號誌改善路口績效。本研究並將此控制邏輯實際應用在台中市路口上驗證績效，針對不同的V/C值，分別選擇市區道路和郊區道路，結果發現在市區道路上的路口，由於受限於上下游路口號誌的影響，加上與上下游距離的街廓過短，導致非但沒有改善現況交通，反而形成一個瓶頸路口，反觀位於郊區的路口，透過半觸動號誌控制，有效改善支道有效綠燈時間的浪費，並縮短幹道的平均延滯時間，改善現階段所面臨的交通問題。

關鍵詞：半觸動號誌控制、飽和度、平均延滯時間



目錄

中文摘要.....	i
目錄.....	ii
圖目錄.....	vi
表目錄.....	v
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究內容與目的.....	1
1.3 研究方法.....	1
1.4 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 號誌控制策略.....	3
2.1.1 定時號誌控制.....	3
2.1.2 動態查表控制.....	4
2.1.3 動態計算控制.....	4
2.1.4 觸動號誌控制.....	4
2.1.5 適應性號誌控制.....	6
2.1.6 小結.....	7
2.2 半觸動號誌控制策略之偵測器選擇及佈設位置.....	10
2.2.1 車輛偵測器種類.....	11
2.2.2 車輛偵測器種類小結.....	14
2.2.3 車輛偵測器佈設位置.....	16
2.2.4 車輛偵測器佈設位置小結.....	16
2.3 半觸動號誌控制之應用及績效評估進行探討.....	16
2.3.1 國外文獻.....	17
2.3.2 國內文獻.....	18
2.3.3 小結.....	19
2.4 綜合評析.....	20
第三章 模式邏輯建構.....	22
3.1 模式建構.....	22
3.1.1 模式基本假設.....	22
3.1.2 半觸動號誌控制架構.....	25
3.1.3 控制架構系統分析.....	29
3.2 模擬軟體撰寫.....	31
3.2.1 定時號誌控制軟體.....	31
3.2.2 半觸動號誌控制軟體.....	34
3.3 軟體確認驗證.....	37
第四章 模擬分析與驗證.....	42
4.1 定時號誌控制情境模擬分析.....	42
4.2 半觸動號誌控制情境模擬分析.....	45
4.3 定時號誌控制和半觸動號誌控制模擬分析結果比較.....	50

4.4 小結	54
第五章 實地驗證.....	58
5.1 半觸動號誌控制系統路口選定	58
5.1.1 實作路口選定.....	58
5.1.2 驗證實施路口說明.....	61
5.2 半觸動號誌控制系統績效評估	63
5.2.1 路口交通量調查.....	64
5.2.1.1 實施前.....	64
5.2.1.2 實施後.....	65
5.2.2 延滯調查與績效.....	67
5.2.3 小結.....	71
第六章 結論與建議	73
6.1 結論	73
6.2 建議	74
參考文獻.....	76
中文文獻	76
英文文獻	77



圖目錄

圖 1.1-1 研究流程圖	2
圖 2.1-1 觸動控制示意圖	5
圖 2.1-2 交控策略之應用層級架構圖	10
圖 2.2-1 環路線圈式車輛偵測器及佈設示意圖	11
圖 2.2-2 紅外線車輛偵測設置方法及偵測範圍	12
圖 2.2-3 影像式車輛偵測系統	14
圖 3.1-1 影像式偵測器架設位置	24
圖 3.1-2 影像式偵測器偵測區塊示意圖	25
圖 3.1-3 半觸動號誌控制流程圖	26
圖 3.1-4 半觸動號誌控制架構圖	28
圖 3.1-5 半觸動號誌控制架構系統分析圖	30
圖 3.2-1 定時號誌控制模擬程式示意圖	31
圖 3.2-2 定時號誌路口燈號示意圖	32
圖 3.2-3 定時號誌東西向幹道示意圖	32
圖 3.2-4 定時號誌南北向支道示意圖	32
圖 3.2-5 定時號誌車輛停等數示意圖	33
圖 3.2-6 定時號誌交通量輸入示意圖	33
圖 3.2-7 定時號誌其他未歸類數據示意圖	34
圖 3.2-8 半觸動號誌控制模擬程式示意圖	34
圖 3.2-9 半觸動號誌路口燈號示意圖	35
圖 3.2-10 半觸動號誌東西向幹道示意圖	35
圖 3.2-11 半觸動號誌南北向支道示意圖	36
圖 3.2-12 半觸動號誌車輛停等數示意圖	36
圖 3.2-13 半觸動號誌交通量輸入示意圖	37
圖 3.2-14 半觸動號誌其他未歸類數據示意圖	37
圖 4.4-1 半觸動和定時號誌平均延滯績效結果比較圖	54
圖 4.4-2 半觸動號誌控制路口平均延滯績效結果	55
圖 4.4-3 半觸動號誌控制幹道平均延滯圖績效結果	56
圖 4.4-4 半觸動號誌控制支道平均延滯圖績效結果	57
圖 5.1-1 半觸動號誌實作替選路口位置示意圖	59
圖 5.1-2 半觸動號誌路口示意圖	62
圖 5.2-1 忠明路-忠義街路口事前轉向交通量示意圖	64
圖 5.2-2 東山路-民德橋路口事前轉向交通量示意圖(平日昏峰)	65
圖 5.2-3 東山路-民德橋路口事前轉向交通量示意圖(假日昏峰)	65
圖 5.2-4 忠明路-忠義街路口事後轉向交通量示意圖	66
圖 5.2-5 東山路-民德橋路口事後轉向交通量示意圖(平日昏峰)	67
圖 5.2-6 東山路-民德橋路口事後轉向交通量示意圖(假日昏峰)	67

表目錄

表 2.1-1 號誌控制策略之比較	9
表 2.2-1 車輛偵測器特性比較之比較	15
表 2.3-1 半觸動號誌控制模擬與績效指標	19
表 3.3-1 MAPE 法評估標準	38
表 3.3-2 定時號誌控制下東山路-民德橋口簡要	38
表 3.3-3 半觸動號誌控制下東山路-民德橋口簡要	39
表 3.3-4 定時號誌模擬驗證結果	40
表 3.3-5 半觸動號誌模擬驗證結果	41
表 4.1-1 V/C 值和幹支道流量比對照表	42
表 4.1-2 飽和度 0.8 下定時號誌模擬結果	43
表 4.1-3 飽和度 0.7 下定時號誌模擬結果	43
表 4.1-4 飽和度 0.6 下定時號誌模擬結果	44
表 4.1-5 飽和度 0.5 下定時號誌模擬結果	44
表 4.1-6 飽和度 0.4 下定時號誌模擬結果	45
表 4.2-1 飽和度 0.8 下半觸動號誌模擬結果	46
表 4.2-2 飽和度 0.7 下半觸動號誌模擬結果	47
表 4.2-3 飽和度 0.6 下半觸動號誌模擬結果	48
表 4.2-4 飽和度 0.5 下半觸動號誌模擬結果	49
表 4.2-5 飽和度 0.4 下半觸動號誌模擬結果	50
表 4.3-1 飽和度 0.8 定時號誌與半觸動號誌績效改善表	51
表 4.3-2 飽和度 0.7 定時號誌與半觸動號誌績效改善表	51
表 4.3-3 飽和度 0.6 定時號誌與半觸動號誌績效改善表	52
表 4.3-4 飽和度 0.5 定時號誌與半觸動號誌績效改善表	53
表 4.3-5 飽和度 0.4 定時號誌與半觸動號誌績效改善表	53
表 5.1-1 半觸動號誌實作替選替選路口一覽表	59
表 5.1-2 路口篩選表	61
表 5.1-3 路口特性表	63
表 5.2-1 忠明路-忠義街口平均停等延滯事前調查表	68
表 5.2-2 東山路-民德橋口平均停等延滯事前調查表	68
表 5.2-3 忠明路-忠義街口平均停等延滯事後調查表	69
表 5.2-4 東山路-民德橋口平均停等延滯事後調查表	69
表 5.2-5 忠明路-忠義街口半觸動設置前後績效比較表	70
表 5.2-6 東山路-民德橋口半觸動設置前後績效比較表	71

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

過去在號誌時制的設計上大多探討幹道續進最佳、延滯最小等議題，但這些時制設計的路口多是針對都會區道路進行分析，而在都會區與郊區銜接的道路路口卻鮮少文獻去探討。臺灣各縣市普遍存在著都會區道路與鄉鎮區道路銜接路口，因交通流量不穩定變化，且幹、支道交通流量差異懸殊，往往存在著無法明確該以何種號誌控制進行車流管控，來達到有效率且安全之困擾。若以定時號誌進行管控，會發現支道有時沒有車輛停等，而造成號誌效率不彰；若是利用閃光號誌進行管控，對於支道要通過路口需自行尋找幹道車輛間的間距來執行，對於安全上產生許多潛在性危險；若以適應性控制來進行管控，雖可解決定時時制效率的問題，以及閃光號誌安全上的問題，但因適應性控制設備造價相當昂貴且維護不易，在執行上有其相當的困難度。

因此本研究希望能建構一合適的控制模式來解決幹、支道流量差異大且支道不穩定流量下之路口時制設計，不僅透過自行開發軟體來驗證本研究控制模式，更透過實地路口的執行來驗證本研究之實用性與執行成效。

1.2 研究內容與目的

本研究目的乃建構一適合之控制模式，用於解決幹、支道交通流量差異大，且支道流量不穩定之路口，在不同的 V/C 值和幹、支道流量比例下，明確定義本研究適用範圍，以提升該路段服務水準並提升該路口安全性，其主要研究項目如下：

1. 回顧相關控制模式文獻，規劃出適用本研究之號誌設計模式。
2. 建構控制邏輯運算式。
3. 利用 Visual Basic 2010 程式語言撰寫模擬程式，以模擬驗證路口交通狀況與績效
4. 定義本模式可適用的範圍，如幹、支道流量差異值、V/C 比值等。
5. 將模式邏輯實際應用於真實路口進行實地驗證，以了解實地應用性。
6. 提出本研究之具體結論與建議。

1.3 研究方法

本研究方法有以下三點，分別為：

1. 文獻回顧
參考相關文獻資料，發展適用於在不同情境下之半觸動號誌控制邏輯。
2. 交通狀況模擬
使用 Visual Basic 2010 程式語言撰寫模擬程式，在不同交通情況

下模擬路口的半觸動號誌控制模式。

3. 實地驗證

將所構建之半觸動號誌控制邏輯，實際運用在台中市的路口上，以路口平均停等延滯做為績效評估指標。

1.4 研究流程

本研究之進行流程如圖 1.1-1 所示。

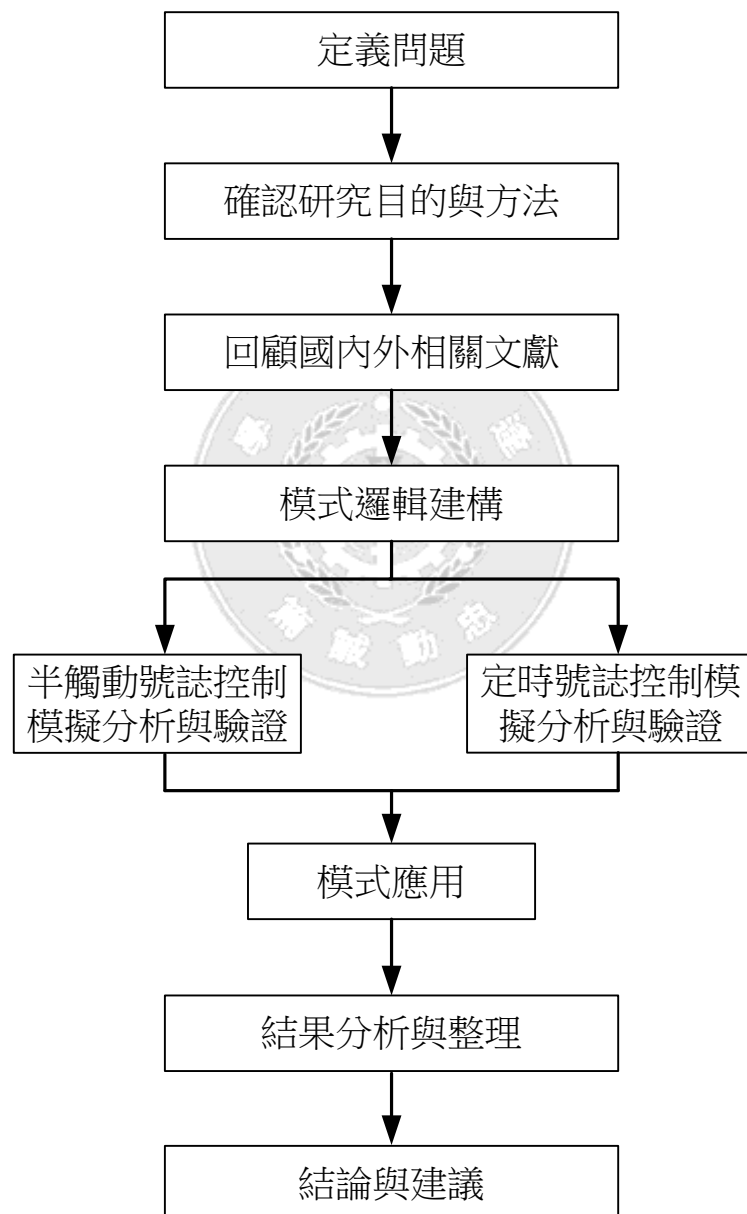


圖 1.1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

臺灣許多縣市在都會區和鄉鎮區的道路連接處，普遍存在著幹、支道交通量差異大的情形，如以 TOD 群組號誌控制處理此路口，雖然在安全上能保障用路人順利通過路口，但卻也造成效率的降低；而若以閃光號誌控制，雖然效率提升，卻也降低了用路者的安全，在此情況下。便必須考慮如何兼顧兩種情況，選擇適當的交通控制策略。為此，本章節將分成三大部份，第一部份針對常見的交通號誌控制策略進行回顧，藉以選擇適當之交控策略；第二部份將探討半觸動號誌控制策略之偵測器選擇及佈設位置；第三部分則針對半觸動之應用及績效評估進行探討。

2.1 號誌控制策略

以下將介紹國內外較為廣泛使用之五種號誌控制策略(交通部運輸研究所，1986； Traffic control system handbook，2005)：

2.1.1 定時號誌控制

定時號誌控制 (Pretimed control) 經由歷史資料、工程師經驗法則以及號誌時制模擬軟體(如國內學界及業界常用的Synchro和TRANSYT-7F)，研擬出在一天中各個不同時段之最佳時制計劃。藉由交控中心或派員至路口，將時制計劃建檔於路口控制器中，定時號誌控制便依照不同時段，執行固定之週期、時相長度與時相數，不須仰賴車輛偵測器即能運作，因此其路口的設置與維護成本較觸動號誌控制和適應性號誌控制低。定時號誌適用於交通量穩定或有規律變化之地點，對於尖峰時間的車流狀況能夠舒解得當，並且容易與街道上或同一地區的號誌配合連鎖控制，令駕駛人於行駛上達到續進的目的。林良泰(1987) 提出續進可能值 (progression possibility) 的觀念，續進可能值主要指上游路段車流以平均行駛速率行駛至下游路口時，仍為綠燈的可能性。研究中以兩週期長度最小公倍數作為評估的時段，透過逐秒微調的窮舉方式，求出在最小共同週期內，續進最大的時差循環。林良泰等人(2001)探討群組間相鄰兩路口連鎖的問題，由於兩群組間相鄰兩路口連鎖不當時，易造成上游路段交通壅塞，嚴重影響整體路網績效，研究中並建立程序性的群組間時差制定流程，以最大續進可能值為績效指標，並考量最小總停等延滯。定時號誌需配合時段的劃分，劃分出在不同的時段對應其適合的時制計劃表，一般藉由交通工程師之經驗法則判定，陳乃萁(2008)提出K-means 集群分析法，做為時段劃分之參考依據，透過Synchro軟體和TSIS軟體的模擬，並在台中市和台北市實際的驗證，以車輛平均延滯時間做為績效評估依據，結果顯示K-means演算法之劃分績效優於現行運作方式。因為定時號誌無使用車輛偵測器取得車流資訊，對於突如其來的車流變化，無法應對，系統整體上欠缺運作之彈性。

2.1.2 動態查表控制

動態查表控制 (Dynamic Table Look-Up or Dynamic Pattern-Matching Traffic Control) 策略為利用偵測器蒐集交通資訊，於一段時間後傳回控制中心，經由流量預測程序，配合相關準則加以運算及判定，最終再由預先設計完成之時制計畫表中，選擇一套最適之時制計畫，再由控制中心傳送至路口控制器，或由路口控制器自行計算而選擇適當之時制計畫。時制計畫表之設計乃根據相關之交控軟體，依據路口各方向之流量、V/C 值，配合時制軟體之執行找出相對應且最合理之時制計畫適用範圍，並考慮實際需要，決定時制計畫表之大小。

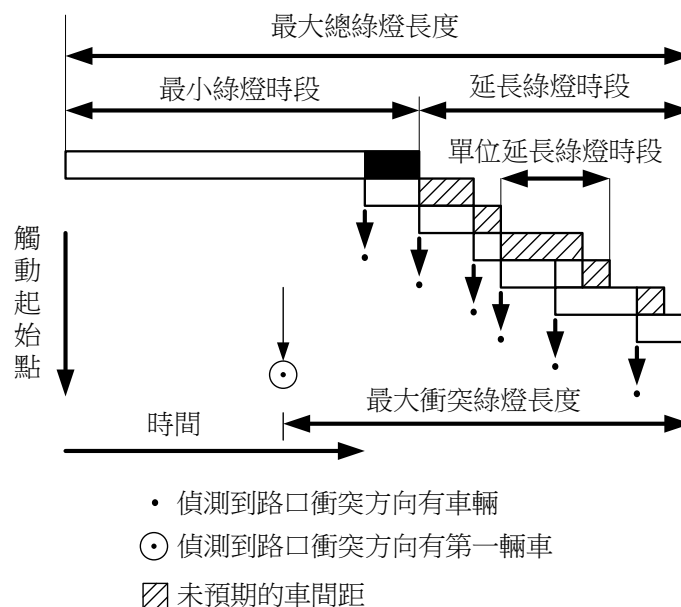
2.1.3 動態計算控制

動態計算控制 (Dynamic Timing Computation or Dynamic Pattern-Computing Traffic Control) 策略的運作程序類似於動態查表控制策略，其主要差異在於新時制計畫產生方式之不同。動態計算乃經由車輛偵測器蒐集交通資訊，於一段時間後傳回控制中心，經過流量預測程序，作為線上時制分析軟體之輸入資料，再經由其快速運算後產生新時制計畫，於下個控制時段送至路口控制器加以執行。何志宏(2001)指出動態查表與動態計算皆適用於流量波動較大且不穩定之路段或路網，而兩者最大的差別在於動態查表適用於群組中路口較多的群組，此因路口數多時，若採動態計算，運算時間甚長。

2.1.4 觸動號誌控制

觸動號誌控制 (Actuated control) 主要用於交通量變化顯著且無規律，或主要道路和次要道路交通量懸殊之地點，藉由設於道路上之偵測器偵測車輛到達狀況，依據所收集到的車流資料，調整綠燈時間，即時變換燈號。在主要道路和次要道路交通量相差懸殊，且次要道路交通量變化甚大之地點，其偵測器僅設於次要道路上，主要道路為常綠狀態，僅當次要道路有通行需求時才將綠燈權給次要道路使用，稱為「半觸動號誌控制」(semi-actuated control)；若各道路交通量相近但變化甚大且不規律之地點，其偵測器設於所有道路上，稱為「全觸動號誌控制」(full-actuated control)。

圖2.1-1(FHWA,2005)為觸動控制的基本運作概念圖，當觸動時相綠燈大於最小綠燈限制時，得依照車輛之觸動增加一單位延長綠燈時段，支道最小綠燈長度是為了保障路段上從偵測器偵測位置到停止線所有車輛可以通過此路口，而單位延長時段則是讓車輛可以從偵測器偵測位置到達停止線的時間長度。另外，最小綠燈長度加上總延長時間不得超過最大綠燈長度之限制，以保障另外一個時相之路權。於是，時相的長度介於最小綠燈長度到最大綠燈長度之間。



資料來源：FHWA(2005)、楊礪凱(2010)

圖 2.1-1 觸動控制示意圖

觸動控制的特點即為最小綠燈時間、延長時間會隨著偵測器觸動情況改變，使得每次綠燈時比時間都不一定，造成觸動控制不適合用在網路連鎖號誌控制系統中。

觸動號誌控制因應車流變化，不斷改變綠燈時間，造成週期不固定，但對最大綠燈和最短綠燈時間加以限制。觸動號誌控制有幾個控制要素，分別為最大綠燈時間、最短綠燈時間、最大停等紅燈時間、最長停等秒數及單位延長時間，這些參數初期就須設定。

當綠燈時間即將結束前，車輛觸動偵測器，控制器即自動將綠燈時間延長，而每一次延長一單位時間，倘若車輛不斷觸動偵測器，則延長到最大綠燈即停止或是直到無車輛通過即停止，此為單位延長時間。為確保行人不論車流量多寡的情況下均能安全通過路口，因此必須設定最小綠燈時間。

一般而言，觸動號誌控制是否能夠達到降低延滯，解決壅塞問題，有三個重要基本時制參數：(交通部運輸研究所，1986；Traffic control system handbook，2005)

- (1) 基本時段：使位於偵測器位置到路口停止線間車輛完全紓解所需時間。
- (2) 單位延長時間：允許車輛從壓佔偵測器後，順利通過路口所需時間，若欲使號誌控制效率最大，單位延長時間盡可能設短些。單位延長時段可視為一個間距的測量設計，只要車輛連續通過偵測器之間距小於所設定的單位延長時段，就可延長路權，但以最大綠燈為上限。因此時段長度為偵測器與停止線位置之距離長除以車輛平均速度。國內之號誌規劃手冊將單位延長時段之範圍訂為

3~5 秒，一般之設計為4 秒。

- (3) 最大綠燈時段：其目的是對綠燈時間加以限制，避免其他方向車輛產生溢流或過於擁擠的現象。其決定方法為：最長綠燈時段=綠燈時段 $\times$ (1.25~1.50)，其中綠燈時段為在定時號誌下，所計算出最佳週期之綠燈時間。1974年Walter E. Schwanhauser 提出一個原則，即儘可能使最大綠燈長些，以及使單位延長時間短些。

2.1.5 適應性號誌控制

適應性號誌控制(adaptive control)系統其控制原理如同觸動號誌控制系統，主要透過假設在路口幹、支道上之偵測器，收集即時車流資料，將資料傳回路側號誌控制電腦後，針對該路口之週期、時比、時差進行調整。如同觸動號誌控制除了無固定週期外，亦無固定之時比和時差，隨時依路口車流現況進行調整，相較於定時號誌控制中的動態查表或是動態計算等控制方法，無法在特殊情況(如：特殊節慶、車禍等)下做即時改變，適應性號誌控制能較有彈性的去應用發揮，使其產生之時制計畫符合當下之車流狀況。也因為能即時獲得交通資訊，因此十分仰賴車輛偵測器取得即時車流資訊，在路口最少需設置四處車輛偵測器，而其架設位置和準確度，關係到整個控制系統的運作效率，因此建置成本較定時號誌控制的路口來得高。

目前為止已有多種適應性控制策略被發展出來，就決策邏輯而言，可分為兩大類型：二元決策過程以及程序性決策過程，二元決策過程是指將號誌控制時間，分割成短至二秒之極小連續時段，在每個短暫時段中，只決定目前綠燈時間是否延長或中止之決定，其依據為根據延長一個短時段綠燈時間所可能獲致的利益，與本時段綠燈時間結束後中止所可能導致的損失，從事損益權衡分析 (trade-off Analysis) 之結果；程序性決策過程是指將最佳化時制決策的考慮時段延長至未來某段較長的期間(如50秒至100秒)，並將此段時段劃分為若干小時段，決策時所考慮的問題不僅在本時段結束後是否終止目前綠燈，還包括在該較長期間之任何時段結束現行綠燈，以及後續綠燈時相又應延長多久的多元決策問題。這兩種決策過程所產生的控制邏輯分別有以下幾種邏輯：

(1)二元決策過程

作者	年代	方法
Miller	1963	Miller's Algorithm 米勒演算法
Vincent et al	1986	Modernised Optimised Vehicle Actuation, MOVA 現代化最佳之車輛觸動邏輯
Lin	1988	Traffic Optimization Logic, TOL 交通最佳化邏輯
Hong et al	2001	Dynamic Intersection Signal Control Optimization, DISCO 動態路口號誌控制最佳化
Mirchandani and Head	2001	A real-time traffic signal control system : architecture, algorithms, and analysis ,RHODES
交通部運輸研究所	2006	Computerized Dynamic Traffic Control System-III, COMDYCS-III 第三代電腦化全動態交通控制系統

(2)程序性決策過程

作者	年代	方法
Gartner	1983	Optimization Policies for Adaptive Control, OPAC 適應控制之最佳化策略
Hong and Panos	2004	Traffic adaptive control for oversaturated intersections ,TACOS

Lee et al.(2005)建立一適應性控制邏輯，用PARAMICS模擬三個路口，以旅行時間延滯做為績效評估依據，並比定時控制比較。其結果顯示適應性控制在低流量時所產生之延滯績效，比定時號誌之控制績效減少約12%，而在中、高流量時績效改善反而較不明顯。

陳建德(1989)以旅行時間延滯作為比較定時控制、全觸動控制和適應性控制之運作績效。其結果顯示在低流量時，全觸動號誌最佳；中流量時，全觸動號誌與適應性號誌績效相近；高流量時，適應性控制之績效高於觸動控制。此外，當兩方向之流量分配差異較大時，在高流量的情況下，觸動控制遠勝於定時控制。

2.1.6 小結

在定時號誌控制、動態查表控制、動態計算控制、觸動號誌控制與適應性號誌控制五種都市交通號誌控制系統中，定時號誌控制根據歷史車流資料以離線(off-line)作業方式產製每一時段之最佳時制計劃，每一時段皆具有固定之週期、時相長度與時相數，不須仰賴車輛偵測器即能運作，因此設置與維護成本較低，並且容易與街道上或同一地區的號誌配合連鎖，且在確定的條件下能夠處理尖峰時車流狀況，但當車流型態突然發生變化時，時制計劃無法即時調整，系統整體上欠缺運作之彈性。

動態查表控制預先利用交控軟體針對可能出現之交通狀況建立一套時制計劃資料庫，設置於主控電腦或控制器中。依照車輛偵測器回傳之交

通資訊，就其時制計劃資料庫中選擇與該流量型態最為接近之時制計劃，據以施行控制，較定時號誌控制彈性，但此方法無法做到即時，對於某些交通量變化較大的路口，能提供的改善效果有限。

動態計算控制將事先校估之時制計劃最佳化套裝軟體設置於控制中心電腦中連線運作，再將偵測器所傳回之當時交通狀況資訊，經過分析、統計與預測程序產生預測流量後，再運用前述軟體進行線上運算，儘可能在短時間內(如 5 至 15 分鐘)計算出整套時制計劃。

觸動號誌控制與適應性號誌控制藉由所設置偵測器以取得觸動資料或是即時車流資料，因此適用於車流變化量較大、車流量差距懸殊以及路口流量變化時常不規律之路口。當中適應性號誌控制對偵測器的精確度與設置地點較觸動號誌控制更為要求，整體上而言採用觸動號誌控制與適應性號誌控制的路口的建設成本也較定時號誌控制來的高。針對五種都市交通號誌控制系統，包括定時號誌控制、動態查表、動態計算、觸動號誌控制與適應性號誌控制透過表2.1-1將其優缺點呈現出來。

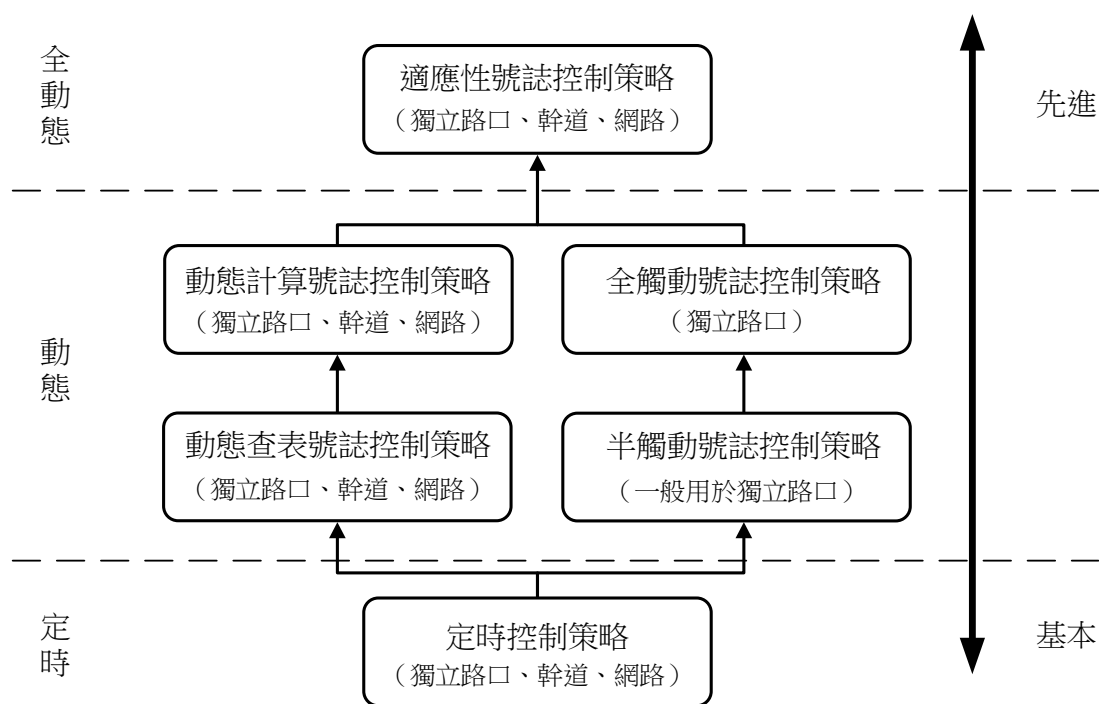


表 2.1-1 號誌控制策略之比較

	定時號誌控制	動態查表	動態計算	觸動號誌控制		適應性號誌控制
				半觸動號誌	全觸動號誌	
車輛偵測器	非必要；僅收集歷史車流資料，供離線產製時制計劃之用。	有；需藉由幹、支道上之車輛偵測器取得交通資訊。	有；需藉由幹、支道上之車輛偵測器取得交通資訊。	有；需藉由支道上之車輛偵測器取得交通資訊。	有；需藉由幹、支道上之車輛偵測器取得交通資訊。	有；至少需 4 組以上取得交通資訊以及預測車流量等資訊。
適用範圍	適用於交通量穩定或變化有規律之地點。	適用於交通量變化大且不穩定的路口。	適用於交通量變化大且不穩定的路口。	適用於幹、支道交通量相差懸殊，且支道交通量變化甚大之地點。	適用於各道路交通量相近但變化甚大且不規律之地點。	適用於車流量變化較大且路口流量變化時常不規律之情況
優點	設置與維護成本在五種系統中最低；容易與街道上臨近路口配合連鎖。	對於交通狀況和事件變化有一定之運作彈性，具有流量預測的功能。	相較於動態查表，對於交通需求的變化彈性較高，較能反應出特殊事件之流量異常狀況不受限於時制計畫表中固定的套數。	可依照路口車流特性，在最小與最大綠燈時間之間浮動調整綠燈時間。		可根據車流量高低調整路口綠燈時比，在五種系統中最具彈性。
缺點	無法對即時流量變化採取相對應之更動。	無法即時因應流量變動，需收集一段時間之交通資料。	因需經過軟體計算，相較於動態查表的時制產生較慢。	最小綠燈時間受偵測器設置點之影響，當路口間距過短時不適合使用。		設置成本高昂；對車輛偵測器的精確度與設置地點較為要求。
時制計劃產製方式	根據歷史資料、經驗法則以及號誌時制模擬軟體，依車流特性劃分時段後離線產製。	透過車輛偵測器所得到的資料，線上選擇適合之時制。	透過車輛偵測器所得到的資料，快速運算後產生新的時制。	根據到達車輛觸動偵測器的情況，來決定延長綠燈，長度介於最小綠燈與最大綠燈時間之間。		無固定週期、時比與時差，隨時因應當下之車流情況調整。

資料來源：交通部運輸研究所，1986；Traffic control system handbook，2005 及本研究整理

交通部運研所於民國90年進行號誌控制邏輯之標準化研究(何志宏，2001)，其主要應用於交控中心之控制決策，以系統分析方法加以檢討，研擬標準化之交通控制流程與交控邏輯，以及相對應的控制參數與門檻水準。其提出各種交控策略之應用層級架構如圖2.1-2所示，其中門檻之決定是由模擬績效決定，即時模擬流量計算延滯容易產生較大之誤差，並且也會花費許多時間，此種方法屬於決策前之工作，不適合在號誌控制器進行。



資料來源：何志宏(2001)

圖 2.1-2 交控策略之應用層級架構圖

本研究主要針對幹、支道交通量差異大且流量不穩定之路口進行研究，定時號誌根據不同的時段執行預設的時制計劃表，而動態查表控制需事先收集交通資訊，並由資料庫挑選適合之時制計劃表，動態計算亦需收集交通資訊，再經由電腦計算後產生新的時制計劃表，以上三種策略均無法做到即時處理交通狀況，因此本研究不將上述控制策略做為研究對象；全觸動號誌控制和適應性號誌控制均在路口的四個方向分別裝設偵測器，藉以收集交通資訊，並即時下達控制策略改變時比、時差和週期等。對於路口各方向之交通狀況能徹底掌握，適用於各種型態之路口，但在成本上的花費卻是一大負擔，惟本研究僅需針對支道進行交通資訊收集，在考量設備成本的情況下，不選擇上述二種策略進行研究；半觸動號誌控制適用在幹、支道交通量差異懸殊之路口，僅針對支道設置偵測器，當有車輛觸動，才將綠燈通行權給予支道。不僅對交通狀況應變具有一定程度的彈性，並且在設置成本也較全觸動和適應性低，因此將以半觸動號誌控制做為研究對象，藉以改善上述問題。

2.2 半觸動號誌控制策略之偵測器選擇及佈設位置

由上節表 2.1-1 得知，在執行半觸動號誌控制時，必須藉由車輛偵測器，於支道收集相關交通資訊傳回電腦後，經控制邏輯判斷再下達指令至路口，因此本節將介紹幾種常見的偵測器，並針對偵測器設置位置進行探討，以挑選出最適當之偵測器。以下將分別對偵測器種類和佈設位置予以

介紹：

2.2.1 車輛偵測器種類

透過偵測器獲取全天 24 小時之交通資訊，做為執行半觸動控制策略的依據，本節將針對環路線圈(Inductive Loop)、微波(Microwave)、紅外線(Infrared Light Vehicle Detector)和影像偵測(Video Detection System)等偵測技術作一簡單的介紹，並根據各類型偵測器的優缺點逐一比較(Traffic control system handbook, 2005；黃智建, 2007)。

1. 環路線圈車輛偵測器

環路線圈車輛偵測器以金屬環路線圈埋設於路面下，藉由車輛經過時因車身鐵材所造成的電感量的變化，可測出該車道之流量及佔有率。同時利用車輛通過兩組環路線圈的時間差，可求得車速及車長，甚至利用車長可做車種之判別。圖 2.2-1 即為環路線圈車輛偵測器以及其佈設之示意圖。



資料來源：美國加州柏克萊大學PATH計畫網頁

資料來源：中華技術

圖 2.2-1 環路線圈式車輛偵測器及佈設示意圖

環路線圈由於埋設於車道下，在設置較不影響視覺美觀，具備高精準的偵測效果，且行之多年技術成熟，因此廣受採用。但其缺點在於施工時，須長時間封閉車道。若是在車流量大的路段，應考慮在夜間或離峰時間施工以減少對車輛運行造成影響。

2. 微波雷達車輛偵測器

在美國FHWA的報告“Detection Technology for IVHS”中說明雷達偵測器運作方式為：利用雷達天線發射出電磁波之後，當有物體（車輛）經過時，則會將波反射回來，再由雷達偵測器接收並計算處理。因此，雷達偵測器需要有發射器、接收器、收發的天線與運算單元（訊號處理器）。

在美國聯邦通訊委員會（Federal Communications Commission, FCC）中規定，應用於交通偵測器之雷達波段有三種：10.5GHz（X-band）、24.0GHz（K-band）與34.0GHz（Ka-band）。上述所有的這些波段都是屬於微波，所以雷達式車輛偵測器有時也稱為微波雷達式車輛偵測器。

現行運用於交通管理功能上的微波雷達式車輛偵測器可分為兩種型

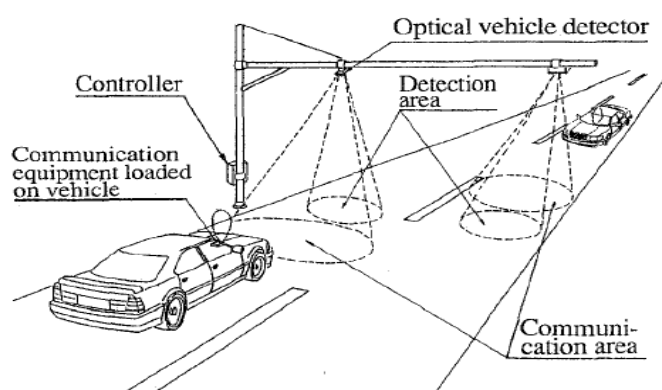
式：一種為都卜勒式(Doppler)，另外一種為時間差式(True Presence)偵測器。都卜勒式偵測器在偵測範圍內發送一固定頻率的電磁波，再由傳回之波頻演算出車速，惟都卜勒效應無法應用於靜止之車輛，故並不適合裝設於十字路口或「停止」標誌處。而時間差式偵測器，主要原理係發射一FM微波(Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW)，藉由車輛反射微波計算其間之時間差，求得車輛與偵測器之距離。微波式車輛偵測器之設置方式可分為側射式(Side-Fired)與俯瞰式(Forward looking)兩種。

由於微波雷達偵測器的特性在碰上鋼結構建築時會產生較大的反射訊號，此時若有車輛經過其中時會令偵測器產生誤判，故不適合於鋼樑橋上使用。微波式車輛偵測器之設置方式可分為側射式(Side-Fired)與俯瞰式(Forward looking)兩種。

3. 紅外線車輛偵測器

紅外線系統(Infrared Light System)自1991年起日本即開始實驗用來管理及偵測車流量及交通突發狀況。M.Yoshida(1993)指出紅外線車輛偵測系統可以有效監控道路車流量以及經由車輛車輛偵測器及車輛本身的電波溝通(Electric Wave Communication)，提供相關的行車即時資訊給道路使用者。

紅外線車輛偵測器具有指向性，在偵測角度上有特定的範圍限制。圖2.2-2中呈現出紅外線偵測器配置位置及偵測範圍，其偵測器多設置於車道上方90度的仰角，在偵測過程中容易產生死角，故難以取得其偵測範圍所及之外的車流資料。而紅外線車輛偵測器的裝設位置多架設於橫跨整個車道的門架上或其他交通號誌桿上，以現有道路規劃是否已有足夠的號誌桿，亦或是需要另外架設新的號誌桿來架設此設備，未來仍須進一步成本及預算的評估。



資料來源：M. Yoshida(1993)

圖 2.2-2 紅外線車輛偵測設置方法及偵測範圍

紅外線式車輛偵測器主要分為被動式及主動式兩類，茲針對兩種類別做說明：

1. 被動式紅外線車輛偵測器

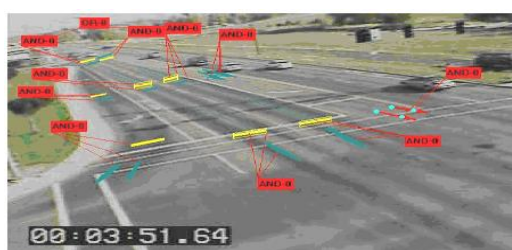
被動式紅外線車輛偵測器只能在其偵測區域內偵測出車輛停止情形及車流量，偵測器本身不發射任何能源，鏡頭上的光子(Photon)探測器可依車輛行駛後對路面偵測區域所產生的光子變化做出反應。由於紅外線光譜的特性，因此空氣中的水氣、霧、雨水及下雪等會對此類偵測器的精準度帶來影響。若偵測器與偵測區的距離在6公尺內，則上述天候狀況對交通偵測的影響不大。

2. 主動式紅外線車輛偵測器

主動式紅外線偵測器之原理類似前述的時間差式微波車輛偵測器。由LED或是雷射二極體發射紅外線至路面上一特定感測區域，當有來車時，部分發射出去的紅外線波(約900 nm之波長)將會被反射回偵測器，由矩陣式感光元件接收，感光元件矩陣可分為一維或二維矩陣。一維矩陣最常被應用，可偵測車輛出現、車速、佔有率等資料；二維矩陣則可取得車輛影像，利用影像處理技術偵測車流資料，此類方式除攝影技術與影像式車輛偵測器不同外，其餘特性近乎相同。目前警方所使用之雷射測速器亦屬於主動式紅外線偵測器，其波長為904 nm之近紅外線，光束集中、散射角度小，美國製之產品其紅外線強度受到美國食品藥物管理局(FDA)之管制，因此其功率控制在不會傷害肉眼之範圍內。

4. 影像式車輛偵測器

影像擷取車輛偵測系統簡稱「影像式車輛偵測器」，目前已經廣泛的應用在美國、英國與日本等都會區中，在國內台北、台中等地區亦有採用。主要由閉路電視攝影機、終端控制器和影像處理器等設備組成。如圖 2.2-3 所示，影像式車輛偵測器利用路口所架設的攝影機以及系統中所預先規劃的車輛偵測區域來偵測及監控即時交通車流及突發交通事件，透過影像處理器分析由電視攝影機所拍攝而得之數位化影像，依像素(Pixel)的明暗度變化來演算出各種交通資料，包括車流量、車速、車長等。從過去的實例得知潮濕路面的反光及其它事物的陰影會對偵測效果帶來一定的影響，但從影像處理技術多方位的特性考量(如可用單一設備探測多條車道，或是同時分析多組攝影機拍得的畫面資料等)，影像處理仍是一個符合經濟效益的選擇。P.G, Michalopoulos.與 R, Jacobson.(1993)發現透過影像式車輛偵測器所取得車流資訊得以研擬出合適的交控策略，並能有效的管理有架設影像式車輛偵測器的號誌化路口。



資料來源：Tung, L.-W. (2006)

圖 2.2-3 影像式車輛偵測系統

根據交通部運研所(2009)的研究成果得知現今影像式車輛偵測器已經克服以往在惡劣氣候及夜間偵測時所帶來的缺點，在準確度上亦達到九成。在過去的研究中，郭志文(1998)採用影像即時辨識車流的方式作為影像分析之基礎元件，而彩色影像所能提供之資訊亦遠較於灰階影像來得多(約多出 70%)，可提高車流影像辨識的正確性。而藉由透過彩色影像處理技術，克服以往利用灰階影像所面臨的各種偵測上的限制，如氣候的影響、日/夜間光線變化的影響與因過大的車流量而產生車輛影像重疊或因車輛和道路背景的灰階影像色值接近，導致車流辨識的不準確性等，可減少影像資料處理量與車流辨識的時間，提高即時線上處理能力。但就成本面上影像式車輛偵測器器材成本仍稍高於紅外線車輛偵測器，考量到設置成本的前提下需加以詳細評估其設置以後對整體所產生的效益。

2.2.2 車輛偵測器種類小結

針對以上所述各式車輛偵測器進行評析，環路線圈在佈設成本上最低、技術最純熟且不易受天候影響，其缺點為在佈設與保養上皆需封閉車道開挖路面，造成車輛運行的不便；微波雷達在設置保養皆不需要封閉車道且可同時偵測多車道，其缺點為無法偵測停止車輛以及會受到鋼骨結構建物影響；被動紅外線式只能針對車輛停止情形和車流量做偵測，當偵測器和偵測區距離大於 6.1m 時其精準度會受外在因素影響；主動紅外線式與影像式兩類型偵測器均有著提供影像以及同時偵測多車道的能力，但影像式偵測器具有可根據路口需求隨時改變擷取影像範圍內偵測區之大小、區位及形狀的能力，相較於其他種類的偵測器在設置上更具有彈性，然而在建置成本較為高昂是其缺點。不同類型的偵測器所收集之交通資訊與系統功能上皆有所差異，以下透過表 2.2-1 將各類型偵測器之功能與優缺點呈現。

表 2.2-1 車輛偵測器特性比較之比較

偵測器種類		環路線圈偵測器	微波雷達偵測器	主動式紅外線偵測器	影像式偵測器
功能	車輛數	V	V	V	V
	百分比	V	V	V	V
	車輛佔有率	V	V	V	V
	車輛速率	V	V	V	V
	車輛種類	V	V	V	V
	等候線長度	V		V	V
	車輛轉向			V	V
佈設成本		低-中	低-中	低-中-高	低-中-高
優點		◆偵測技術受肯定穩定性高，較不受氣候影響 ◆系統發展多年，技術成熟 ◆單位成本低	◆可觀測多車道 ◆當偵測相對距離較短下較不受天候影響 ◆安裝及維修不會阻礙交通 ◆具擴充性及再使用性	◆日夜間皆適用 ◆在霧中較可見光波長感應器為佳 ◆成像可為事件管理監控使用 ◆安裝及維修不會阻礙交通	◆經過處理，傳送較少資料量，使處理速度加快 ◆成像可為事件管理監控使用 ◆可觀測多車道外，並依需求隨時改變影像範圍內偵測區之大小、區位及形狀 ◆安裝及維修不會阻礙交通
缺點		◆安裝維修時需封閉車道 ◆容易由於路面溫度上升而影響設備的準確度 ◆降低鋪面的壽命 ◆偵測範圍受限於偵測器的大小與形狀 ◆線圈易受重車擠壓破壞	◆都卜勒偵測器無法偵測到停等車輛 ◆可能會受到鋼結構建物影響(如鋼樑橋) ◆應用於多車道時，可能因車輛遮蔽而誤判	◆鏡面須保持清潔以避免影響準確度 ◆保養設備時需封閉車道 ◆太陽光之閃動，會對紅外線訊號產生干擾 ◆受霧及雨中所含之水氣、煙、灰塵等之影響	◆日夜間須使用不同之處理邏輯 ◆門架易受強風影響 ◆轉換時段內可能產生資料誤差 ◆對大氣的模糊物體及對比的天候敏感 ◆夜間或天候不良時需輔助照明設備

資料來源：Traffic control system handbook(2005)、黃智建(2007)、陳炯宇(2010)與本研究整理

本研究在於改善幹、支道交通量差異大及支道流量不穩定之路口績效，並期望於模式建構完成後能實際運用在路口上，因此在挑選偵測器時，有以下限制：以不破壞路面及不妨礙交通的前提下，不考慮使用環路線圈偵測；因為控制邏輯中需考慮車輛靜止時停等秒數，故排除使用微波雷達偵測器，而主動式紅外線偵測器因為易受到天氣好壞的影響(霧、雨天、煙、灰塵等)，在台灣多變的氣候中較不適用；基於上述的考量，最後選擇影像式偵測器。且因其具備影像識別功能，將來更可依需求擴充其功能，如車牌辨識、犯罪緝補等。

2.2.3 車輛偵測器佈設位置

在上一小節說明偵測器的種類及優缺點。本節將針對在半觸動控制策略下偵測器佈設位置做一說明如下：

- (1) Traffic Control Systems Handbook(1985)中提及在美國國內用以交控使用之偵測器分為小區域偵測和大區域偵測。小區域偵測又稱點偵測，主要在臨近路口的停止線前佈設一組或多組偵測器，目的乃作為觸動號誌時制決定之用，並可依操作需求改變其與停止線間的距離。大區域偵測主要包括長型偵測、連續短偵測及左轉車道偵測。分別能用以觸動號誌時制決定、獲得車輛通過時間與車輛間距及提升交叉路口交通容量並減少綠燈時間損失。
- (2) 鄭元正(2004)利用偵測器偵測路段壅塞程度之後，據以調整時相秒差，以紓解壅塞之車流，提昇通過路口之車輛數，並降低延滯之停等時間。
- (3) 蔡宜勳(2005)研究指出偵測器應佈設在主要幹道與次要幹道所形成的路口的臨近路段，或由於其所在地理位置處於特殊交通產生點，或是需要特殊號誌控制的路口。例如：半觸動控制僅於支道上設置偵測器，並設置於幹支道交通量相差頗大的路口，而全觸動控制則在所有的臨近路段各方向都必須佈設足夠的偵測器，且在各方向交通量變化很顯著的路口。
- (4) 陳彥政(2008)研究指出，設置影像式偵測器時，會受到路口大小、相機設定、車輛大小以及車輛速度所影響。攝影鏡頭的角度會影響到偵測的準確度，而車輛體積越大，準確度越高，故以機車來說是最難偵測且最易偵測錯誤的。

2.2.4 車輛偵測器佈設位置小結

在上一小節中回顧車輛偵測器種類之相關文獻，並整理其優缺點後針對本研究之需求選擇使用影像式車輛偵測器收集相關交通資訊，包括有車輛停等時間、等候線長度等。因此在設置影像式車輛偵測器時，需使其能偵測停止線後的車輛運行情況。由文獻中得知偵測器設置位置以及鏡頭角度，對於交通資訊的取得影響甚大，因此在設置時需避免鏡頭被遮擋並保持淨空之狀態。故本研究將考慮路口實際狀況，裝設偵測器，並以由上而下從支道停止線往後俯瞰為原則。

2.3 半觸動號誌控制之應用及績效評估進行探討

本節將針對半觸動號誌之績效評估以及其應用進行回顧，半觸動號誌採用績效指標有停等百分比、停等延滯、等候線長度、停等數等，以下為國內外相關之半觸動號誌控制文獻：

2.3.1 國外文獻

- (1) Stephen, C.L. & Joe, L. (1996) 認為單一路口應依整點時間將全日劃分成 24 個時段，再分析各時段之交通量，以具體確認可行之控制策略。研究顯示在尖峰時段以定時號誌較觸動與半觸動控制策略為佳，同時將控制時段區分為 24 個時段也較傳統定時號誌僅劃分為三套時制的方式為佳。
- (2) Chung-Yee Lee (2001) 提出一個分析方法 SASAM (Semi-actuated Signal Analytical Method)，評估在低流量下的獨立路口和連鎖路口之半觸動號誌的停等百分比和平均延滯。使用機率理論和隨機程序去考慮在半觸動號誌控制下的各種週期長度和綠燈時間。並和定時號誌控制做比較，結果顯示，當支道交通量在 300vph 以上時，兩者績效無明顯差異。而當支道交通量低於 300vph 時，可明顯看出半觸動號誌優於定時號誌。模擬的結果比較證明此方法是有效的。
- (3) Mirchandani and Head (2001) 在比較適應性控制和半觸動控制時，利用 Real-time Hierarchical Distributed Effective System (RHODES) 系統輸入即時量測的車流量，使網路的車流達到最佳化控制之模式，與半觸動控制比較延滯績效，其結果顯示 RHODES 系統之延滯績效不論在低流量或高流量情境下，皆比半觸動控制佳 30%~50%。
- (4) Maria de Lurdes Simões; Paula Milheiro-Oliveira and Américo Pires da Costa (2010) 提出一個微觀的隨機模擬模型，使用 Awesim 模擬語言模擬並驗證在獨立號誌路口下半觸動號誌的多種組合運作情境。在每個時相中評估，最大綠燈時間的影響以及單位延長綠燈時間分配。模式輸出的有效估計資料包括，總車輛延滯、平均綠燈時間和平均週期長度。最佳化號誌時制，和設定單位延長綠燈時間是有關的。結果顯示半觸動號誌的績效在尖峰期間和定時號誌是相似的。在流量相當低或變化大的情況下，使用半觸動控制確實是適當的，因為它能在每個需要的時刻立即調整綠燈時間，使得車輛有較低的延滯。開發完成的模擬程式能夠去計算出，在半觸動號誌路口最佳化控制策略中，真實且合理的近似值。這個模擬程式提供一個有用工具去分析車輛觸動號誌績效和駕駛人隨機到達類型，允許交通工程師去實驗幾種規劃，不只是交通量還有各種控制值的設定(最小綠燈、單位延長時間、最大綠燈)和偵測器和到停止線的相關位置。也可以分析交通異質性和不同服務水準。
- (5) Peihua Liu, Quan Yu, Jian Rong, Xiaoming Liu, and Jinguang Liu (2010) 等人提出半觸動號誌演算法運用在行人和自行車和左轉車輛的交互影響，在兩時相的交叉路口。本文分析左轉車輛和行人，腳踏車的衝突特點，並且盡最大的努力去研究可接受間距在北京市懷柔區實地研究蒐集資料。根據左轉車輛抵達和離開的平衡原則，以 HCM2000 (Highway Capacity Manual 2000) 最小綠燈時間模型為基礎，建立半觸動控制的最小綠燈間距演算模式，彌補左轉車輛因為和行人、自行車

交叉時產生的損失時間。實例研究證明在中國北京市懷柔區迎賓路和福樂街口，經由新的演算法計算得到的新時制計畫更適合行人和自行車多的路口情況。整個路口總延滯時間降低了 37.8%而且服務水準由 C 改善為 B。

2.3.2 國內文獻

- (1) 陳建德(1989)利用車輛經偵測器到達路口之旅行時間，及車輛到達型態與離開路口的型態，以 SLAM II 模擬語言建構以及評估定時控制、觸動控制以及 SAST 等三種控制策略，並以平均延滯作為績效之指標。結論顯示觸動控制策略於低流量時較佳，SAST 於高流量時較佳。
- (2) 陸立德(1990)，利用一個幹道架構之交通模式，以模擬語言構建定時、交通觸動、適應性 SAST 三種號誌控制模式，在不同的交通狀況下，進行三種號誌控制之模擬分析，以平均延滯與停等百分比做為評估系統績效之指標，比較三種號誌控制策略之績效。模擬結果得出，三種號誌控制方式之延滯值均隨流量增加而增加，以定時號誌控制方式最為明顯；比較三種控制方式之績效，發現以半觸動控制績效最佳，適應性其次，定時控制最差。
- (3) 交通部運輸研究所(2001)，公路容量手冊以停等延滯評估獨立路口服務水準之指標。而車輛停等為基礎之指標，係為號誌化路口間距不長時，幹道或網路之作業可能嚴重的受到停等車隊之影響，所以停等車隊之長度是評估市區號誌化路口及幹道的一重要指標。
- (4) 朱小鈴君(2004)以單一指標-停等延滯模擬及評估定時時制、半觸動控制、動態計算控制以及適應性控制之運作績效，探討在幹道 V/C 值大於支道 V/C 值的車流情境下之適用時機，並以各種號誌控制邏輯相對於定時控制之改善程度，在成本效益考量下探討較為經濟並適用之號誌控制邏輯，其結果顯示現在支道 V/C 小於 0.3 以下，唯有動態計算績效較定時控制佳，改善百分比達 30%；在幹道飽和度 0.5 以上，則半觸動控制、動態計算控制及適應性控制之運作績效皆優於定時控制，其中半觸動控制運作績效最佳；若支道的 V/C 值介於 0.3 至 0.7 之間，且幹道 V/C 大於 0.5 時，半觸動控制與適應性控制之運作績效相差是在約 10%以下；倘若成本考量下，僅能設置一台偵測器，使用觸動控制與定時控制切換，在支道 V/C 大於 0.5，以及支道 V/C 介於 0.3~0.5 間且幹道 V/C 大於 0.7 時，使用觸動較為適合，其改善程度約可達到 20%至 30%左右。
- (5) 岳中鼎(2009)在模擬不同情境下的 VD 設置距離、VD 數量、時相以及流量發現，VD 設置的越多則所獲得的效益越佳，但在較不擁塞的行車方向增加 VD 時，卻反而造成較擁擠方向的行車效率降低；而在不同的流量下 VD 的設置距離亦不相同，以尖峰小時 600PCU/HR 來說最佳設置距離為 50M；另外也指出獨立運作下之全觸動控制號誌較連鎖式觸動控制號誌之效率為佳。

2.3.3 小結

由上述文獻可知，關於半觸動號誌控制相關研究，在目前較主流的車流模擬軟體如 Synchro、TSIS 等中並無法提供使用者在車流參數上的設定例如車輛停等時間、最小綠燈時間、等候線長度等，大多需配合自行開發的模擬程式運行。由文獻中得知，許多文章只提到運用程式模擬，得出績效並和定時號誌或其他控制策略進行比較，而並未將控制邏輯實地套用在現實路口，和原控制策略進行績效比較，如下表 2.3-1 所示。本研究將撰寫模擬程式模擬驗證，並實際套用在台中市路口中，以平均延滯、停等百分比和幹道總通過量，做為績效指標，藉以驗證其績效值。

表 2.3-1 半觸動號誌控制模擬與績效指標

學者	績效評估方法	模擬方法	實地驗證
Chung-Yee Lee	停等百分比、平均延滯	模擬(SASAM)	無
Mirchandani and Head	平均延滯	模擬(RHODES)	無
Maria de Lurdes Simões et al.	總車輛延滯、平均綠燈時間、平均週期長度	自製Awesim模擬語言	無
Peihua Liu et al.	總控制延滯、服務水準	半觸動號誌演算法	有
陳建德	平均延滯	SLAM II 模擬語言	無
陸立德	平均延滯、停等百分比	自製模擬軟體	無
朱小鈴	停等延滯	自製模擬軟體	有
※本研究	平均延滯	自製模擬軟體	有

資料來源：本研究整理

2.4 綜合評析

針對都會區與鄉鎮間道路交會處，所產生幹、支道交通流量差距甚大之問題，經回顧國內外文獻，目前較為廣泛應用的交通控制策略有定時號誌、動態查表、動態計算、觸動式號誌及適應性號誌，觸動式號誌分為全觸動和半觸動，而適應性號誌也區分二元決策過程和程序性決策過程兩種型態。定時號誌控制被普遍應用在國內各地，其具備有成本低、易連鎖、設置簡單、維護容易等優點。因其為經由套裝模擬軟體或交通工程師之經驗，將預先最佳化後之時制計畫輸入於各路口控制器中，不斷循環執行，故對於突如其來或不穩定的交通變化缺乏彈性。因此而有了動態的概念產生，為解決此問題交通工程師提出動態查表和動態計算。此兩種策略均需藉由車輛偵測器收集交通資訊，前者經電腦判斷後從資料庫中選擇適合之時制計畫；後者則由電腦計算後產生新的時制計畫，但缺點是由收集交通資訊至執行新時制計畫需耗費的時間最少約 15 分鐘，對於某些特定路口或情況，其反應時間太慢。因此便發展出觸動式控制和適應性控制，觸動式控制可區分為半觸動和全觸動。其中全觸動和適應性控制，功能極為相似，均在路口各方向設置車輛偵測器，藉由收集交通資訊即時調整綠燈時間，反應交通狀況，故無固定之週期限制，唯獨全觸動一般用於獨立路口；適應性則較多應用於路段進行路口連鎖控制，因此亦無固定之時比和時差。兩者最大的缺點即是偵測器設置成本昂貴，特別是適應性控制，視情況及需求須設置至少 4 組以上偵測器。但對於解決路口各方向交通量變化大且不穩定之情況，成效卓著。半觸動號誌僅需在支道裝設偵測器，針對支道車流的變化進行綠燈時間的改變，亦無固定週期之限制。因此特別適用在幹支道交通量差異懸殊，且支道不穩定之路口。在此狀況下相較於全觸動和適應性更能節省設備成本。在考量安全、效率和成本的情況下，由文獻回顧中得出最適合之交通策略為半觸動號誌控制。

在設置半觸動號誌控制之路口需配合使用車輛偵測器收集交通資訊，因此針對車輛偵測器種類進行探討，半觸動號誌控制必須藉由車輛偵測器收集相關交通資訊，而目前較常見之車輛偵測器有環路線圈、微波、紅外線式和影像式。環路線圈偵測器其優點為精準度高，且因埋設於地底下，較不易影響環境的美觀；相對於缺點即是因需佈設在地底下，而造成施工較不易，必須長時間封閉車道，且容易遭重車輾壓破壞。微波式偵測器優點為可用於偵測多車道、偵測距離相對較短時不易受到氣候影響；缺點為無法偵測停等車輛且於多車道偵測時，可能因車輛遮擋而誤判。紅外線式偵測器可分為被動式和主動式，被動式礙於技術問題僅可偵測車輛停止情形和車流量；主動式則另可偵測車速、佔有率的資料。其優點為安裝維修較不會影響交通，但卻容易受到氣候因素干擾其準確度。影像式偵測器可用於偵測多車道、安裝維修較不會影響交通、在交通資訊的收集包含有車流量、等候線長度、車速等，在夜間或天候不良時準確度較低。本研究需

利用車輛偵測器收集車輛停等時間和車輛停等數量做為半觸動號誌控制邏輯的判斷依據，並以不破壞路面影響交通的情況下，進行車輛偵測器之選擇，基於上述之理由，因此本研究選擇使用影像式偵測器作為半觸動號誌控制之路側設施。在不影響交通運行、不破壞路面及需要偵測車輛停止時間功能等限制下，以影像式偵測器最為適用。

偵測器設置位置是否適當，亦會影響偵測的準確性，本研究針對所欲收集之交通資訊(車輛停等時間及數量)，探討偵測器最適合設置之位置，以能偵測由停止線開始後方之車輛為優先考量，並以不被遮擋鏡頭為基準，故最適合裝設之角度為由上往下俯瞰車道最佳。陳彥政(2008)指出影像式偵測器於偵測時會受到路口大小、攝影機設定、車輛大小以及車速快慢影響，鏡頭角度亦會影響其準確度。因此在設置時應盡量避免鏡頭遭到遮擋。為了獲得車輛停等時間和車輛停等長度之交通資訊，故本研究在影像式偵測器設置時，會以由上往下俯視為原則，從停止線往後方偵測，以求得到較好的視野，增加其準確率。

過去得知現今常用的套裝軟體(如 Synchro 或 TSIS 等)無法針對半觸動號誌在一些參數設定及輸入時進行模擬(如本研究提到的車輛停等時間和車輛停等數量等)，大部分必須配合自行撰寫程式以滿足當地之車流特性，另外在對績效評估上，多數學者以平均延滯、停等百分比等做為績效指標，少數學者則以總車輛延滯、平均綠燈時間、平均週期長度等做為績效指標，而許多學者，在建構新的邏輯後，往往僅針對模式邏輯進行電腦模擬，得出結果後再進行分析討論，甚少能將所得結果實際應用在現實路口中。針對此點，本研究將建構一套半觸動控制邏輯並自行撰寫模擬程式以平均延滯做為績效指標，並於模擬分析後之結果實際應用在台中市路口中，以驗證本研究之控制邏輯是否能確實改善幹、支道流量差異大，且支道流量不穩定之路口。

第三章 模式邏輯建構

臺灣許多縣市在都會區和鄰近鄉鎮地區的道路連接處，常會發現其幹、支道流量差異甚大的問題，特別是在某些 T 字型路口，傳統的定時號誌控制策略，常造成路口的有效綠燈時間無法被充分利用，導致號誌設置的效率不彰；而若改用閃光號誌控制，雖然解決有效綠燈的問題，卻也產生用路人是否能安全通過路口的隱憂。因此，為解決此一問題，本研究將由上節所述之號誌控制策略中選擇以半觸動號誌控制做為研究對象，訂定適當之控制策略邏輯。配合影像式車輛偵測器，蒐集支道所需交通資訊，經控制邏輯判斷後，進而去控制路口的號誌改變。在本控制邏輯將蒐集在幹道綠燈期間，支道車輛停等數量和停等秒數，以及在支道綠燈期間，欲通過支道的車輛數，藉由此三種交通資訊控制支道綠燈的長度。本研究以平均延滯做為路口績效指標。

3.1 模式建構

本節針對半觸動號誌控制模式之基本假設、建構、邏輯予以說明：

3.1.1 模式基本假設

對於本研究之模式，以下將分別針對道路幾何、號誌時制和影像式偵測器選擇與佈設予以說明：

◆ 道路幾何：

- (1) 本研究路口為一 T 字型路口，道路配置為幹道雙向雙車道 20 公尺、支道雙向單車道 12 公尺。
- (2) 本研究為一獨立路口，不受上下游路口號誌影響，亦即不考慮號誌連鎖。
- (3) 本研究路口之幹道和支道流量差異懸殊。
- (4) 本研究車輛到達間距以指數分配(exponential distribution)產生(即卜瓦松分配 Poisson distribution)。
- (5) 為簡化問題故本研究之先期交通資訊不考慮機車的影響。

◆ 號誌時制：

- (1) 參考台中市路口時制，其黃燈設置時間平均為 3 秒，全紅時間平均為 2 秒，故本研究參考其時間，設定黃燈 3 秒和全紅 2 秒，清道時間為黃燈加全紅時間合計共 5 秒。
- (2) 在半觸動號誌控制下無固定週期之限制，幹道綠燈為常綠，因幹道並無裝設偵測器，故無法計算幹道紅燈時由停止線至偵測器距離的停等車輛數，所需疏解的車輛時間。因此本研究參考台中市全日時制計畫表，其週期在 60-180 秒之間，以台中市最小週期時

間 60 秒為幹道最小綠燈時間，應當足以疏解幹道紅燈停等車輛。

- (3) 支道起始綠燈時間不固定，由所收集的交通資訊，經控制邏輯計算而定。根據公路容量手冊(2001)指出綠燈始亮時，應將啟動延誤時間考慮在內，而一台車輛通過路口平均所需要的秒數為 2 秒，因此可得出支道起始綠燈秒數為啟動延滯 4 秒+2 秒 x 停等車輛數 (n)，因此支道上起始綠燈時間為 4+2n 秒。
- (4) 支道紅燈時最大可容忍停等車輛數為 4 輛，本研究假設偵測器偵測長度為 20 公尺，則可偵測最長停等車輛數即為 20/6=3.33(假設車輛於等候時，車頭間距為 6 公尺)，即最大停等車輛數為 4 輛。
- (5) 為避免支道紅燈時車輛停等時間過長，導致駕駛人不耐久候而闖紅燈、紅燈右轉等違規事項，因此需設定一最長等候時間。本研究參考台中市全日時制計畫表，其週期在 60-180 秒之間，在此條件下將此等候紅燈時間設為最小週期 60 秒的一半，故假定支道車輛最大可容忍停等時間為 60/2=30 秒。
- (6) 支道最小綠燈時間必須滿足下列兩種需求，一為車輛之需求，即車輛通過路口的時間，二為行人之需求，即行人得以安全通過路口之時間，因此，最小綠燈長應取兩者之較長者。車輛需求部分，由於支道綠燈時間決定於支道車輛停等數，故每次所需綠燈時間不盡相同。因此本研究將著重在行人得以安全通過路口的條件下，設定最小綠燈時間。因此參考交通部運研所「交通號誌規劃手冊」(1986a)第八章之行人橫越街道所需最短綠燈時間，考慮行人起步延誤，行人穿越道長度、行人步行速率與黃燈時間，計算公式如下：

$$G_{ped,min} = D + \frac{W}{V_p} - A$$

其中，

D：最後通過該路口之行人起步延誤， $D \geq 5$ (秒)

W：行人穿越道長度，於此設支道寬度(公尺)

V_p ：行人步行速率，一般採用 1.2(公尺/秒)

A：黃燈時間(秒)

得出支道最小綠燈為 $5 + \frac{20}{1.2} - 3 \cong 20$ (秒)

- (7) 支道最大綠燈時段：其目的是對綠燈時間加以限制，避免其他方向車輛產生溢流或過於擁擠的現象。其決定方法為：最長綠燈時段=綠燈時段×(1.25~1.50)，其中綠燈時段為在定時號誌下，所計算出最佳週期之綠燈時間。參考台中市全日時制計畫表，其週期在 60-180 秒之間，取最小週期 60 秒下，其綠燈時間為 25 秒，因此本研究假定支道最大綠燈為 $25 \times 1.25 \div 30$ 秒。
- (8) 單位延長時間：允許車輛從壓佔偵測器後，順利通過路口所需時間，若欲使號誌控制效率最大，單位延長時間盡可能設短些。單位延長時段可視為一個間距的測量設計，只要車輛連續通過偵測

器之間距小於所設定的單位延長時段，就可延長路權，但以最大綠燈為上限。因此時段長度為偵測器與停止線位置之距離長除以車輛平均速度。

$$G_{ext} = \frac{d + l}{V}$$

其中：

G_{ext} ：支道單位延長綠燈時段(秒)

d ：偵測器偵測位置到停止線距離(公尺)

l ：平均車輛長度(公尺)

V ：車輛臨近路口速度(公尺/秒)

故單位延長時間即為 $\frac{20+5}{12} \approx 2(\text{秒})$

本研究藉由影像式偵測器取得所需交通資訊，以下針對其佈設理由做說明：

- (1) 將影像式偵測器，架設於支道號誌燈桿上，從上往下由停止線往後俯照 20 公尺，如下圖 3.1-1 所示：

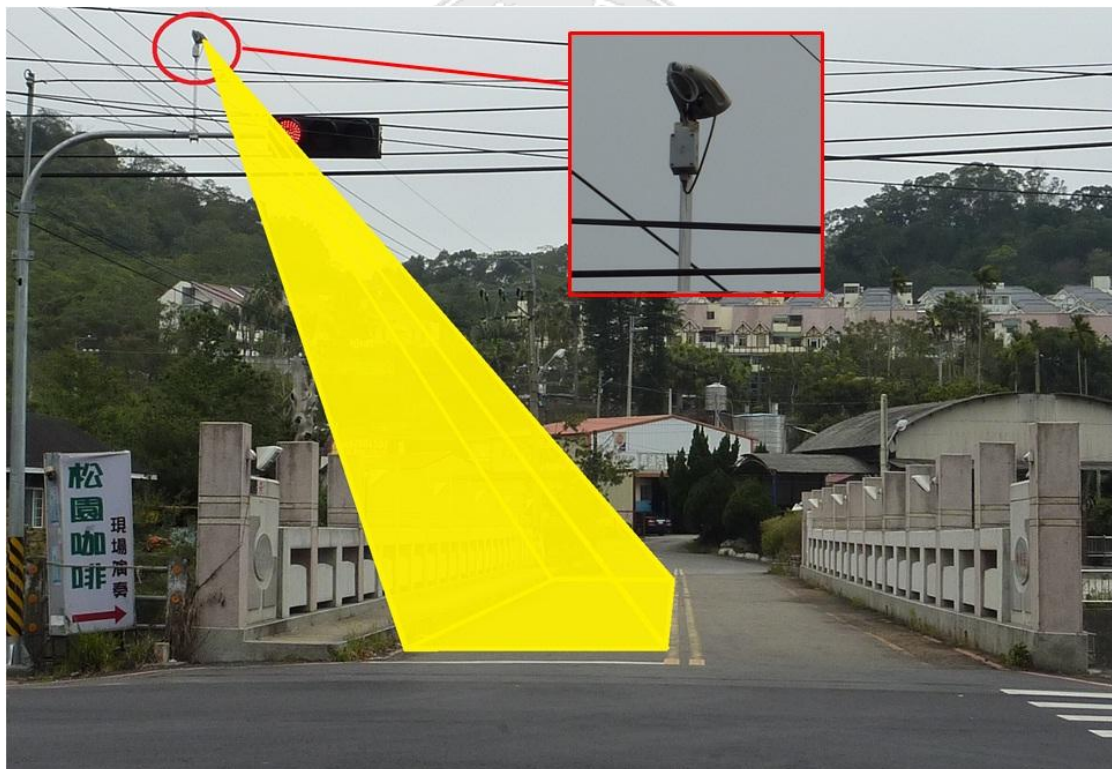


圖 3.1-1 影像式偵測器架設位置

- (2) 偵測器主要收集交通資訊為車輛停等數量以及車輛停等於車道上的起始時間和結束時間，再藉由程式計算出其停等時間，於畫面上分成兩區塊，短區塊偵測第一輛車輛停等時間；長區塊偵測車輛停等數量，如下圖 3.1-2 所示：

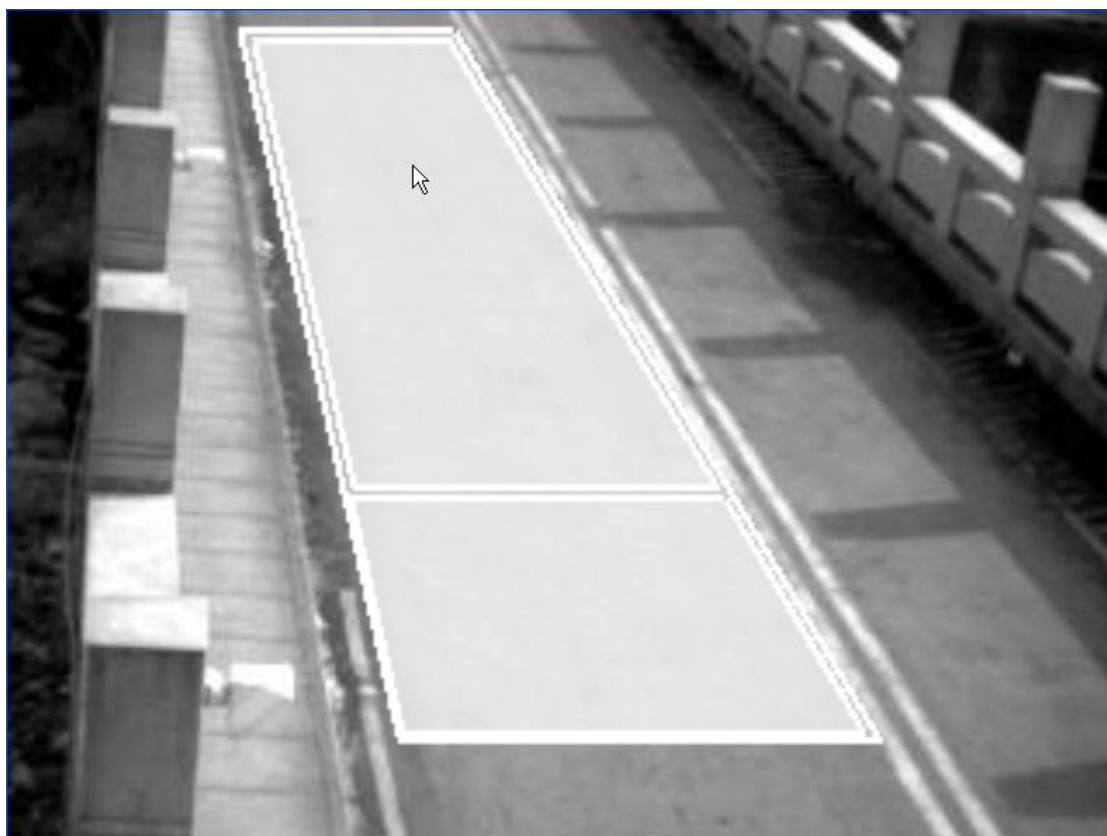


圖 3.1-2 影像式偵測器偵測區塊示意圖

3.1.2 半觸動號誌控制架構

半觸動控制(Semi-Actuated Control)，即在次要道路臨近路口處設置偵測器，當有車輛觸動時，路權才會轉移給次要道路之車輛，這類型的控制適合應用在流量相差懸殊且交通量不穩定之道路型態上。

本研究參考吳悅慈(2002)所提之半觸動號誌控制流程，如圖 3.1-3 所示，其流程分為第一部分幹道綠燈下，支道感應車輛的判斷決策，即編號 1~3，以及第二部分支道綠燈下，支道感應車輛抵達是否延長綠燈時間的決策，即編號 4~7，此兩大部分。在此半觸動號誌控制邏輯中僅依據幹道綠燈時間是否經過最小綠燈時間做為判斷門檻，亦即每當支道車輛到達，若幹道綠燈經過最小綠燈時間即放行支道車輛，其優點為支道車輛所需停等紅燈時間少，缺點為幹道車輛綠燈時間會受到支道車輛到達的頻率多寡，影響其綠燈時間。為使車流量大之幹道車輛能更加順暢的通過路口，增加其幹道綠燈時間，在本研究中將另外加入兩項判斷準則，即為支道車輛停等紅燈時間以及支道車輛停等車輛數，當同時滿足幹道最小綠燈時間以及支道最大可容忍停等時間或是最大可容忍停等車輛數其中一項時，支道方能獲得綠燈通行權，藉由較為嚴謹的判斷門檻，使得支道有效綠燈時間，更能被充分使用，在增加支道紅燈時間的同時，延長幹道綠燈時間。

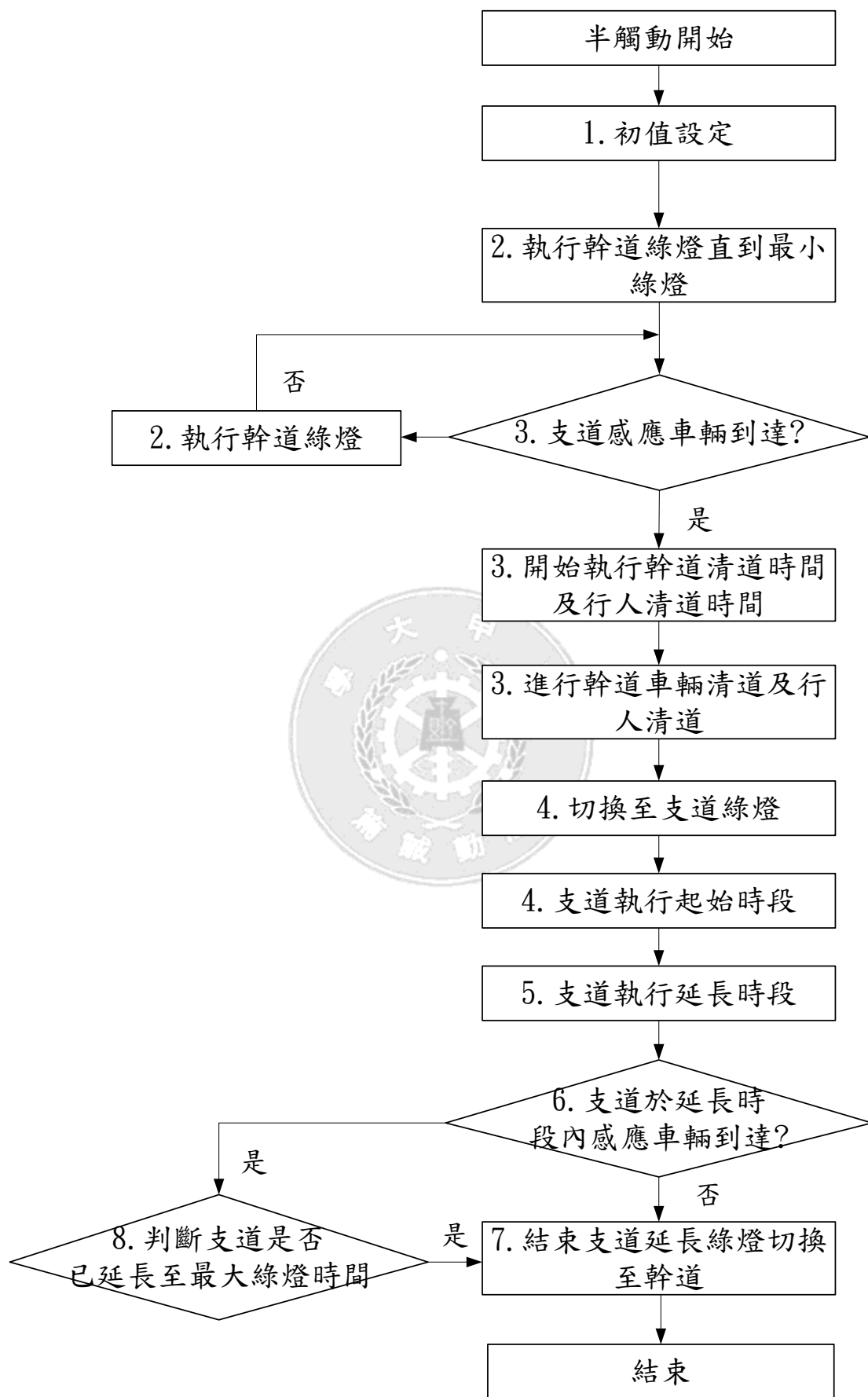


圖 3.1-3 半觸動號誌控制流程圖

本研究經整理半觸動號誌控制流程後將新邏輯的架構呈現如下：

- (1) 將車輛偵測器裝設於次要道路上，在達到車輛通行需求時，才將幹道上的綠燈，轉換給支道使用。
- (2) 於幹道上設定最短綠燈時間，亦即保障幹道上的車輛擁有優先通行的權利，於每次的綠燈時間都能通過若干車輛後，才將綠燈時間轉換給支道；避免在支道上的車輛到達路口太過零散，甚至無車輛到達，而造成綠燈時間的浪費。
- (3) 於支道上設定最大停等車輛數，當偵測器偵測停等車輛數達到設定標準，則將主要道路之綠燈轉換給次要道路使用。(本研究訂定)
- (4) 於支道上設定車輛最大停等時間，因次要道路車輛到達頻率不一，避免次要道路上停等車輛未達偵測器設定之停等數量標準，導致停等時間過長，而限制之。(本研究訂定)
- (5) 支道車輛的最大停等車輛數和最大停等時間此二條限制條件，當任一條件門檻成立即會開放綠燈通行權給予支道使用，但前提為幹道已達最短綠燈時間之情況下，方為之。(本研究訂定)
- (6) 根據公路容量手冊指出綠燈始亮時，應將啟動延誤時間考慮在內，而一台車輛通過路口平均所需要的秒數為 2 秒，因此可得出支道開放綠燈秒數為啟動延滯(4 秒) + 2 秒 $\times$ 停等車輛數(n)，支道上的綠燈起始時間為 $4+2n$ 秒。
- (7) 當支道綠燈時，如果有車輛到達，則延長 ΔT 秒(每車 2 秒)。當支道綠燈開放時間到達最大綠燈時間，依然有車輛持續通過時，仍須將綠燈時間轉回給幹道使用，待支道滿足車輛最小停等時間或最長停等車輛數及主要道路最短綠燈時間的條件時，才再次將綠燈時間轉回給支道使用。
- (8) 各方向應設定清道時間，以清理由綠燈轉為紅燈時正在通過路口的車輛。如圖 3.1-4 半觸動號誌控制架構圖所示：

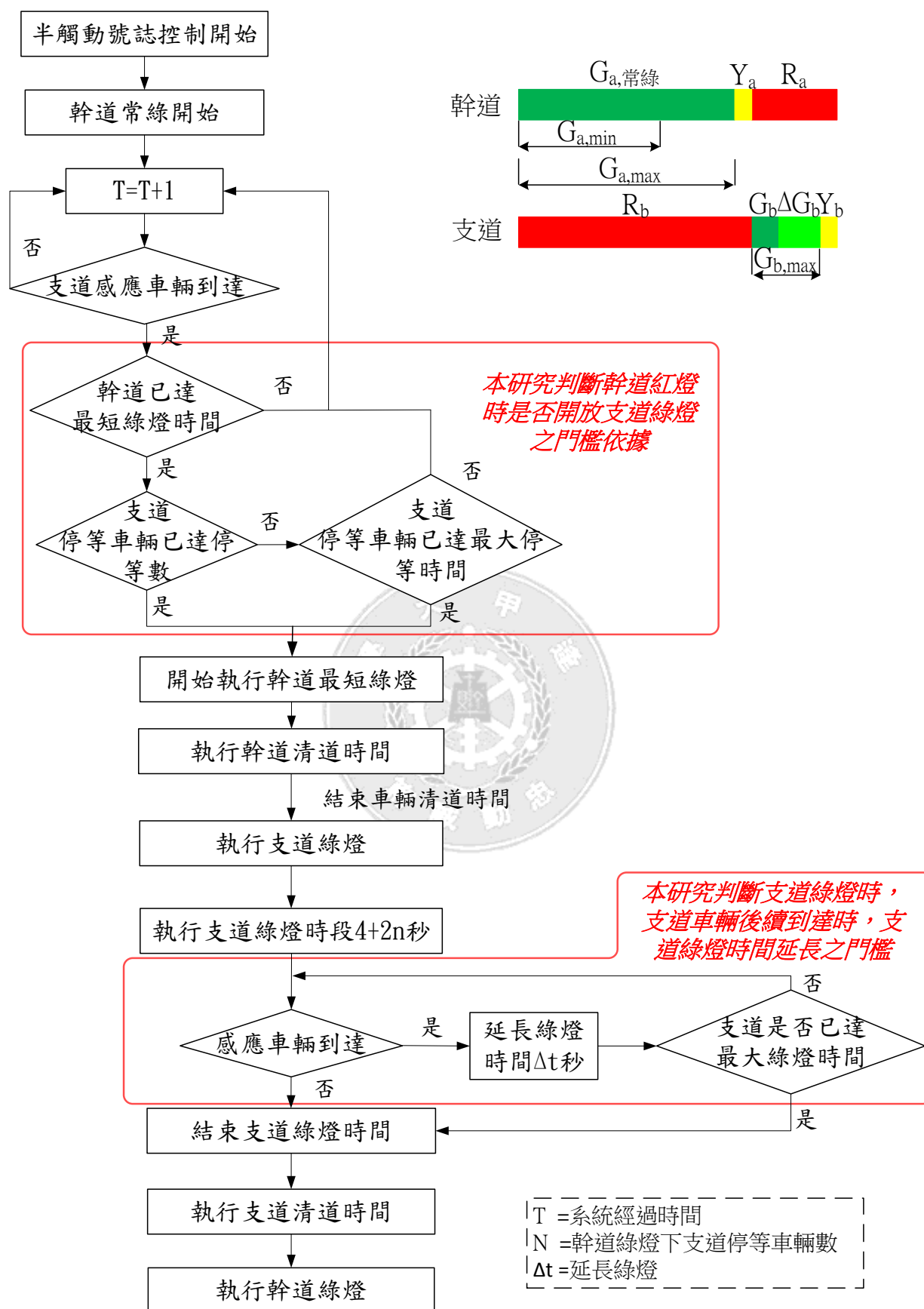


圖 3.1-4 半觸動號誌控制架構圖

3.1.3 控制架構系統分析

依據所研擬之半觸動號誌控制架構，設計如下圖 3.1-5 半觸動號誌控制架構系統分析圖所示，其設計步驟說明如下分二個階段：

階段一：執行幹道綠燈時間

- (1) 模式開始時，由幹道常綠開始，當支道出現車輛停等時，首先判斷是否為第一台車，用以啟動支道車輛停等時間，接著判斷幹道是否已達設定之最小綠燈時間，此門檻是為保障幹道的車流能順暢，不因支道少數車輛不連續的到達路口，造成幹道車輛運行受阻。
- (2) 當幹道已達最小綠燈秒數，則判斷支道的到達停等車輛是否達到最小停等車輛數，此限制是為避免因車輛斷斷續續的到達，而需要不斷的切換綠燈給支道使用，因此設定最小停等車輛數，可使支道的車輛能集中，並在到達門檻時一併開放使用綠燈。
- (3) 如未達最小停等車輛數則判斷是否已達支道車輛最大停等秒數，此限制是因支道車流量少且不集中，為避免支道車輛停等時間過長，造成駕駛人久候不耐，產生違規闖紅燈的行為，因此做此限制。當第一台車輛到達路口停等時，便開始計算其停等時間，一但到達設定之門檻，即使未達最小停等車輛數的標準，仍然開放綠燈權給支道使用當達成上述條件則執行幹道清道時間，以便執行支道綠燈時間。

階段二：執行支道綠燈時間

- (4) 當執行支道綠燈時段時，基於上述得到的先期交通資訊，可計算出支道啟始綠燈應開放之秒數，首先判斷啟始綠燈時間是否大於支道最大綠燈時間，此限制為避免影響幹道運行的順暢，如果啟始綠燈時間大於支道最大綠燈時間，則以支道最大綠燈時間做為起始綠燈時間。
- (5) 若起始綠燈時間小於支道綠燈時間，則判斷是否大於支道最小綠燈時間，此限制為保障路口行人穿越馬路的安全。當起始綠燈時間小於支道最小綠燈時間，則以最小綠燈時間做為起始綠燈時間；反之則以沿用原本之起始綠燈時間。
- (6) 當支道綠燈時，偵測器會持續判斷是否有車輛到達，每當偵測到一輛車，便會自動將綠燈時間延長 2 秒鐘，使車輛得以通過。
- (7) 直到綠燈啟始時間+綠燈延長時間等於支道最大綠燈時間時，便不再延長秒數，即使支道仍然有通行需求，其餘未通行之車輛，必需停等至下一次的支道綠燈時間。

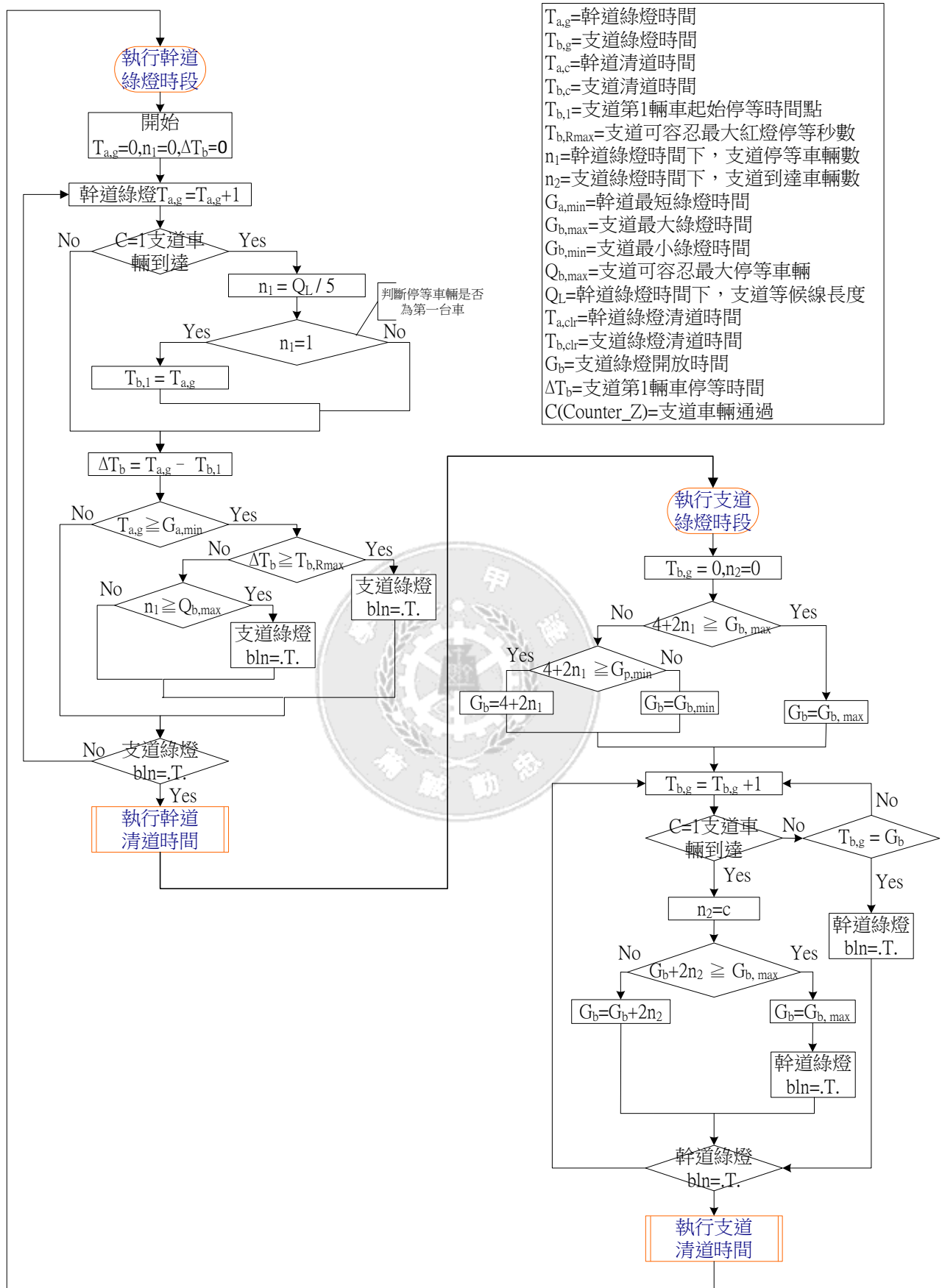


圖 3.1-5 半觸動號誌控制架構系統分析圖

3.2 模擬軟體撰寫

因為現今交通模擬套裝軟體，針對半觸動號誌控制路口，在參數輸入及設定上，無法因應使用者需求，客製化應用，因此必須藉由自行撰寫模擬軟體進行模擬驗證。本研究以 Visual Basic 2010 程式語言撰寫模擬軟體，Visual Basic 2010 是一套能在 Windows 作業系統上執行的程式語言。本研究為了比較在定時和半觸動下，V/C 值和幹支道流量比不同時的績效差異，因此分別撰寫定時號誌和半觸動號誌之模擬程式，以此模擬在 T 字路口下之定時號誌控制以及半觸動號誌控制，為了簡化問題本軟體將不考慮機車的流量。

3.2.1 定時號誌控制軟體

本程式將模擬 T 字路口的號誌變化，意即紅、黃、綠燈的燈號轉換，在定時號誌路口模擬時，使用者初期需輸入各種參數，包括幹支道方向的綠燈、黃燈以及紅燈時間，幹支道各方向的預設交通流量、車道數、程式模擬執行時間等。如下圖 3.2-1 定時號誌控制模擬程式示意圖所示

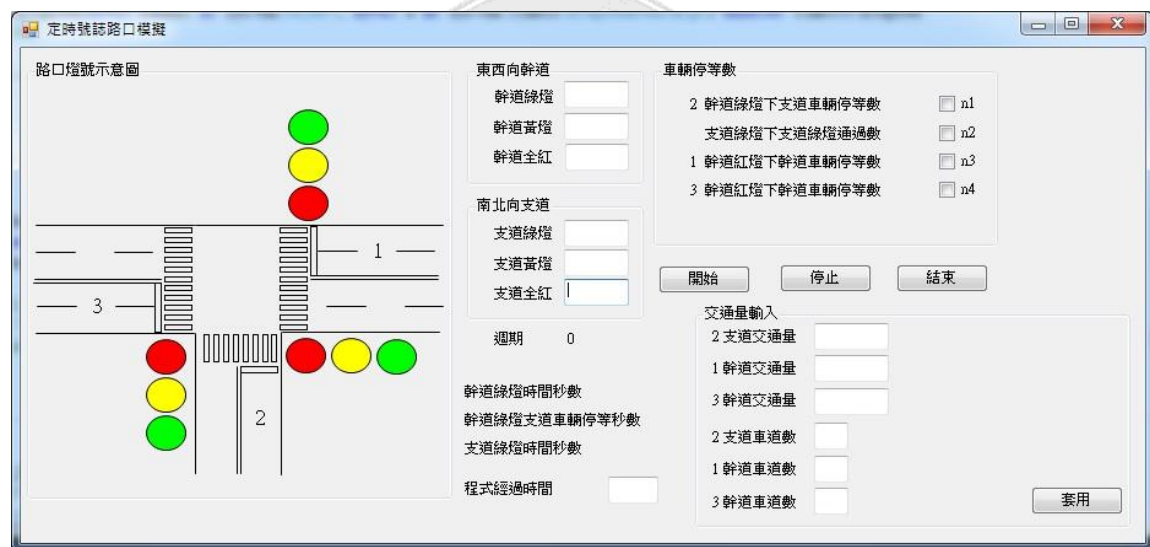


圖 3.2-1 定時號誌控制模擬程式示意圖

在程式中主要分成 6 個區塊，分別為 1.路口燈號示意圖、2.東西向幹道、3.南北向幹道、4.車輛停等數、5.交通量輸入、6.其他未歸類的區塊。以下為各個區塊做說明：

(1) 路口燈號示意圖：

在這裡主要顯示模擬路口的燈號轉換情形，道路中的數字為設計者所給予之方向編號，本程式中 1：幹道(由東往西)、2：支道(由南向北)、3：幹道(由西往東)。在各燈號旁邊的數字為該燈號的倒數秒數。如下圖 3.2-2 定時號誌路口燈號示意圖所示：

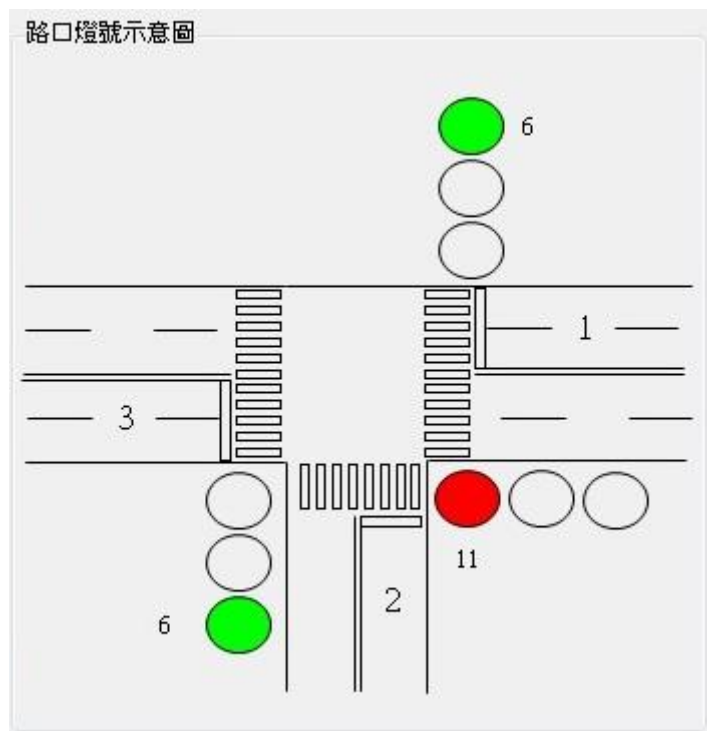


圖 3.2-2 定時號誌路口燈號示意圖

(2) 東西向幹道：

在此區塊為輸入東西向幹道的綠燈、黃燈以及全紅時間，在此程式中兩方向幹道時間均相同，因此只需輸入在同一欄位即可。如下圖 3.2-3 定時號誌東西向幹道示意圖所示：

東西向幹道	
幹道綠燈	80
幹道黃燈	3
幹道全紅	2

圖 3.2-3 定時號誌東西向幹道示意圖

(3) 南北向支道：

在此區塊為輸入南北向幹道的綠燈、黃燈以及全紅時間，在此程式中設定為 T 字形路口，故只會有一方向支道時間，因此直接輸入在欄位裡即可。如下圖 3.2-4 定時號誌南北向支道示意圖所示：

南北向支道	
支道綠燈	30
支道黃燈	3
支道全紅	2

圖 3.2-4 定時號誌南北向支道示意圖

(4) 車輛停等數：

在這裡分別顯示幹道綠燈下支道車輛停等秒數、支道綠燈下支道綠燈通過數、幹道紅燈下幹道車輛停等數和幹道紅燈下幹道車輛停等數，在文字左方的數字代表各方向的編號，在文字右方則是代表每秒所到達的車輛數，採累加的計算，舉例說明：當第一秒到達一輛車時，會顯示 1，第二秒、第三秒、第四秒無車輛到達，直到第五秒又到達一輛車時，則累加顯示為 2，以此類推。n1、n2、n3、n4 的空格分別代表各狀況下車輛到達情況，如空格打勾表示當下有車輛到達。如下圖 3.2-5 定時號誌車輛停等數示意圖所示：

圖 3.2-5 定時號誌車輛停等數示意圖

(5) 交通量輸入：

在此區塊中為輸入幹支道各方向之交通量及車道數，以供程式計算車輛到達間距及產生車輛數。本程式以卜瓦松分配計算車輛每秒到達路口之車間距機率，其機率顯示在各方向交通量數字的右方，而車道數右方之數字表示，程式每秒隨機所產生之亂數(大於 0 小於 1)。如下圖 3.2-6 定時號誌交通量輸入示意圖所示：

圖 3.2-6 定時號誌交通量輸入示意圖

(6) 其他未歸類的區塊：

其他顯示數據有：

(a) 幹道綠燈時間秒數：為顯示幹道綠燈經過時間。

- (b) 幹道綠燈支道車輛停等秒數：為計算當在幹道綠燈下時，第一輛到達支道紅燈下之車輛停等秒數。
- (c) 支道綠燈時間秒數：為顯示支道綠燈經過時間。
- (d) 程式經過時間：可輸入此程式欲模擬之時間，時間到程式自動停止。
- (e) 週期：當輸入幹支道號誌時間後，自動計算顯示週期時間。
- (f) 開始、停止及結束按鈕。

如下圖 3.2-7 定時號誌其他未歸類數據示意圖所示：

圖 3.2-7 定時號誌其他未歸類數據示意圖

3.2.2 半觸動號誌控制軟體

在模擬半觸動號誌時，使用者除了需輸入上述定時號誌控制模擬的參數，另外需輸入幹道最短綠燈時間、支道最大綠燈時間、最小行人綠燈時間、支道可容忍最大停等車輛數、支道可容忍最大紅燈停等秒數等。如圖 3.2-8 半觸動號誌控制模擬程式示意圖所示：

圖 3.2-8 半觸動號誌控制模擬程式示意圖

在程式中主要分成 6 個區塊，分別為 1.路口燈號示意圖、2.東西向幹道、3.南北向幹道、4.半觸動控制、5.交通量輸入、6.其他未歸類的區塊。以下為各個區塊做說明：

(1) 路口燈號示意圖：

在這裡主要顯示模擬路口的燈號轉換情形，道路中的數字為設計者所給予之方向編號，本程式中 1：幹道(由東往西)、2：支道(由南向北)、3：幹道(由西往東)。在各燈號旁邊的數字為該燈號的倒數秒數。如下圖 3.2-9 半觸動號誌路口燈號示意圖所示：

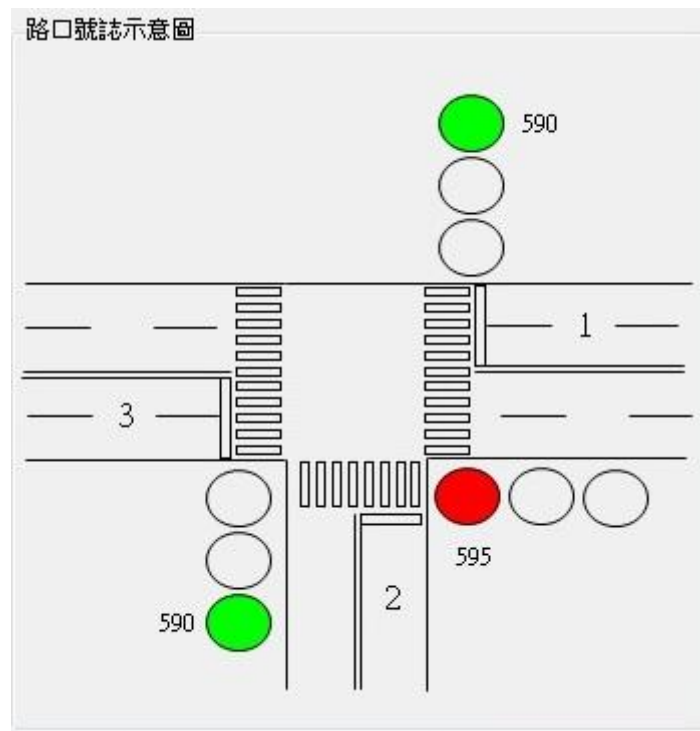


圖 3.2-9 半觸動號誌路口燈號示意圖

(2) 東西向幹道：

在此區塊為輸入東西向幹道的綠燈、黃燈以及全紅時間，在此程式中因為模式為假定幹道常綠的狀態，故在幹道綠燈的欄位雖顯示 600 秒，實際上可依使用者習慣輸入無限大的數字表示為常綠狀態。如下圖 3.2-10 定時號誌東西向幹道示意圖所示：

東西向幹道	
幹道綠燈	600
幹道黃燈	3
幹道全紅	2

圖 3.2-10 半觸動號誌東西向幹道示意圖

(3) 南北向支道：

在此區塊為輸入南北向幹道的綠燈、黃燈以及全紅時間，在此程式中支道綠燈時間的長度決定在支道紅燈時停等的車輛數，故此處的支道綠燈時間可隨意輸入不影響程式的運作。如下圖 3.2-11 定時號誌南北向支道示意圖所示：

南北向支道	
支道綠燈	20
支道黃燈	3
支道全紅	2

圖 3.2-11 半觸動號誌南北向支道示意圖

(4) 半觸動控制：

於此可輸入幹道最短綠燈時間、支道最大綠燈時間、最小行人綠燈時間、支道可容忍最大停等車輛、支道可容忍最大紅燈停等秒數等參數。並分別顯示幹道綠燈下支道車輛題等秒數、支道綠燈下支道綠燈通過數、幹道紅燈下幹道車輛停等數和幹道紅燈下幹道車輛停等數，在文字左方的數字代表各方向的編號，在文字右方則是代表每秒所到達的車輛數，採累加的計算，舉例說明：當第一秒到達一輛車時，會顯示 1，第二秒、第三秒、第四秒無車輛到達，直到第五秒又到達一輛車時，則累加顯示為 2，以此類推。n1、n2、n3、n4 的空格分別代表各狀況下車輛到達情況，如空格打勾表示當下有車輛到達。如下圖 3.2-12 半觸動號誌車輛停等數示意圖所示：

半觸動控制		
幹道最短綠燈時間	60	60秒
支道最大綠燈時間	30	30秒
最小行人綠燈時間	20	20秒
支道可容忍最大停等車輛	8	8輛
支道可容忍最大紅燈停等秒數	30	30秒
2 幹道綠燈下支道車輛停等數 2 ☐ n1 支道綠燈下支道綠燈通過數 ☐ n2 1 幹道紅燈下幹道車輛停等數 ☐ n3 3 幹道紅燈下幹道車輛停等數 ☐ n4		
套用		

圖 3.2-12 半觸動號誌車輛停等數示意圖

(5) 交通量輸入：

在此區塊中為輸入幹支道各方向之交通量及車道數，以供程式計算車輛到達間距及產生車輛數。本程式以卜瓦松分配計算車輛每秒到達路口之車間距機率，其機率顯示在各方向交通量數字的右方，而車道數右方之數字表示，程式隨機所產生之亂數(大於 0 小於 1)。如下圖 3.2-13 半觸動號誌交通量輸入示意圖所示：

交通量輸入				
2 支道交通量	1920	0.312877983738684	車道數	1
1 幹道交通量	1920	0.312877983738684	車道數	2
3 幹道交通量	1920	0.312877983738684	車道數	2

0.628105759620667

圖 3.2-13 半觸動號誌交通量輸入示意圖

(6) 其他未歸類的區塊：

其他顯示數據有：

- (1) 幹道綠燈時間秒數：為顯示幹道綠燈經過時間。
- (2) 幹道綠燈支道車輛停等秒數：為計算當在幹道綠燈下時，第一輛到達支道紅燈下之車輛停等秒數。
- (3) 支道綠燈時間秒數：為顯示支道綠燈經過時間。
- (4) 程式經過時間：可輸入此程式欲模擬之時間，時間到程式自動停止。
- (5) 週期：當輸入幹支道號誌時間後，自動計算顯示週期時間。
- (6) 開始、停止及結束按鈕。

如下圖 3.2-14 半觸動號誌其他未歸類數據示意圖所示：

幹道綠燈時間秒數	15秒	程式經過時間	
幹道綠燈支道車輛停等秒數	7秒	3600	3585
支道綠燈時間秒數	週期		1029

圖 3.2-14 半觸動號誌其他未歸類數據示意圖

3.3 軟體確認驗證

本研究以 Visual basic 程式語言，撰寫模擬程式，為了模擬在不同控制策略下的績效差異，分別撰寫定時號誌和半觸動號誌控制模擬路口運行，其輸出績效同樣為平均延滯，亦即為在同一個標準及方法下，去計算績效。

為驗證此程式之模擬結果是否與現實交通狀況相近，故將以

MAPE(Mean Absolute Percentage Error)指標評估之如式(1)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|TT_{b,a}(t) - y(t)|}{TT_{b,a}(t)} \times 100\% \quad (1)$$

其中， $TT_{b,a}(t)$ ：實際值

$y(t)$ ：模擬程式輸出值

Lewis(1982)認為平均絕對誤差百分比(MAPE)為有效之評估指標，可避免其他檢定指標過多的假設和限制條件。因其為相對數值，故不受模擬值與實際值單位與大小之影響，能夠客觀的獲得模擬值與實際值間之差異程度。MAPE 值若越接近 0 表示估計效果越佳，並訂定相關評估標準如表 3.4-1 所示：

表 3.3-1 MAPE 法評估標準

MAPE(%)	說明
<10	高準確的預測
10-20	優良的預測
20-50	合理的預測
>50	不準確的預測

本研究將以台中市東山路-民德橋做為軟體驗證路口。分別驗證定時號誌和半觸動號誌模擬軟體。以下表 3.3-2 及 3.3-3 分別針對東山路-民德橋的定時號誌和半觸動號誌路口配置特性做一介紹。

表 3.3-2 定時號誌控制下東山路-民德橋口簡要

東山路-民德橋							
路口圖			簡單二時相	時相一		時相二	
交通量	方向一	594 veh/hr	幹道 (方向一、三)	綠燈時間	黃燈時間	全紅時間	
	方向二	15 veh/hr		70秒	3秒	2秒	
	方向三	425 veh/hr	支道 (方向二)	綠燈時間	黃燈時間	全紅時間	
週期100秒		20秒		3秒	2秒		
備註：此路口方向四為一產業道路，僅多農用車輛進出，一般小型車甚少進出，於實地觀測時亦無發現車輛進出，因此在此視為一T型路口進行研究。							

表 3.3-3 半觸動號誌控制下東山路-民德橋口簡要

東山路-民德橋				
路口圖			幹道(方向一、三)	
			最小綠燈時間	60秒
			黃燈時間	3秒
			全紅時間	2秒
			支道(方向二)	
			最大綠燈時間	30秒
			最小綠燈時間	20秒
			紅燈時最大可容忍停等車輛數	4輛
交通量	方向一	565 veh/hr	紅燈時最大可容忍停等時間	30秒
	方向二	15 veh/hr	綠燈時單位延長時間	2秒/車
	方向三	424 veh/hr	黃燈時間	3秒
無固定週期時間			全紅時間	2秒
備註：此路口方向四為一產業道路，僅多農用車輛進出，一般小型車甚少進出，於實地觀測時亦無發現車輛進出，因此在此視為一T型路口進行研究。				

定時號誌控制模擬驗證：

為驗證本模擬程式，能確實反映現況，因此將進行軟體模擬，根據統計學指出當樣本數 ≥ 30 時，則視為大樣本，對於模擬結果較具有可信度。因此將模擬30次後，藉由MAPE法與實際路口績效做比較，如下表3.3-4為在定時號誌控制下現實交通狀況與模擬結果之比較：

表 3.3-4 定時號誌模擬驗證結果

模擬樣本次數	平均延滯(秒/車)		
	方向一	方向二	方向三
1	4.52	26.13	3.94
2	4.37	24.67	4.01
3	3.88	25.21	3.54
4	4.85	26.84	4.07
5	5.51	27.33	4.64
6	4.49	31.12	4.29
7	5.02	22.45	3.67
8	4.2	25.47	5.18
9	3.64	26.88	4.26
10	5.33	29.31	3.25
11	4.29	19.26	3.98
12	4.41	21.21	4.12
13	4.43	23.16	4.22
14	4.21	22.37	3.25
15	3.89	24.19	4.11
16	3.76	23.11	3.86
17	4.52	18.23	4.23
18	4.38	21.44	3.65
19	3.98	17.36	4.21
20	3.72	21.44	4.33
21	2.93	20.45	3.88
22	3.15	23.19	3.91
23	4.12	22.4	4.19
24	4.38	21.66	4.25
25	3.13	27.12	3.99
26	3.24	21.77	4.41
27	3.19	23.99	3.72
28	4.55	26.71	3.56
29	4.13	25.58	3.91
30	4.31	24.13	3.18
實際資料	5.25	24	4.93
MAPE值	21.37	10.44	19.33

由此可知模擬資料和實際資料其 MAPE 值在方向一時屬於合理的預測，而在方向二和方向三為優良的預測，因此可驗證本程式所模擬的績效值，對於實際路口的模擬結果具有一定的代表性。

半觸動號誌控制模擬驗證：

透過路口的實作後，藉由所得到的績效，與本研究之模擬軟體進行軟體驗證，與定時號誌模擬同樣的進行 30 次模擬，藉此得到較高的可信度，如下表 3.3-5 為在半觸動號誌控制下現實交通狀況與模擬結果之比較：

表 3.3-5 半觸動號誌模擬驗證結果

模擬樣本次數	平均延滯(秒/車)		
	方向一	方向二	方向三
1	1.17	27.24	1.27
2	0.92	14.55	1.34
3	0.58	30.47	0.85
4	1.13	13.32	1.57
5	0.87	21.22	1.81
6	0.81	33.54	0.96
7	1.08	31.27	0.81
8	1.09	12.34	1.93
9	0.77	17.55	2.17
10	0.81	16.87	1.76
11	0.78	19.33	1.41
12	0.68	32.27	1.66
13	1.11	29.66	1.96
14	1.36	24.28	1.84
15	1.24	25.48	2.13
16	1.44	17.55	0.79
17	0.69	22.13	0.84
18	1.35	19.84	1.74
19	1.54	27.71	1.95
20	1.62	26.43	2.01
21	1.24	22.39	1.33
22	1.13	24.99	0.84
23	0.99	19.87	1.09
24	1.31	18.85	1.43
25	0.93	30.57	1.87
26	1.12	26.54	1.62
27	0.89	31.27	1.83
28	1.17	27.14	1.04
29	0.79	22.87	0.92
30	0.81	15.67	1.79
實際資料	0.98	23.79	1.52
MAPE值	23.27	21.65	25.61

由此模擬資料和實際資料比較結果可知，其 MAPE 值在方向一、方向二及方向三均屬於合理的預測，因此，可驗證本程式所模擬出的績效值結果，足以反映實際路口的交通情況，具有一定程度的代表性。

第四章 模擬分析與驗證

本研究為模擬幹支道流量差異懸殊且支道不穩定之路口，因此假設在不同的飽和度(V/C)值下的不同交通量比例之路口情況。根據朱小玲(2004)研究當 V/C 小於 0.5 時定時號誌控制優於半觸動號誌控制，而當 V/C 越大時，因為半觸動號誌有最小綠燈時間限制，使得半觸動號誌優於定時號誌。因此本研究假設 V/C 值為 0.8、0.7、0.6、0.5 及 0.4，並且在不同的幹支道流量比例下，分別為 10:1、9:1、8:1、10:2、10:3。以幹支道平均延滯時間和路口總平均延滯時間做為績效指標。

依照公路容量手冊(2001)市區幹道限速 50 公里的道路計算，其飽和流率為 1800 PCU/車道，本研究中假設在此情境下週期為 120 秒，幹道綠燈為 80 秒，支道綠燈為 30 秒，清道時間(全紅+黃燈)為 5 秒，則號誌化路口之飽和流率則如下式(1)所式為 1200(PCU/每車道)，以幹道二車道計算，則飽和流率為 2400(PCU/二車道)，下表 4.1-1 為在不同的 V/C 值和流量比下之比值：

$$\frac{\text{綠燈時間}}{\text{週期時間}} \times \text{飽和流率} = \frac{80}{120} \times 1800 = 1200 \text{ PCU/每車道} \quad (1)$$

表 4.1-1 V/C 值和幹支道流量比對照表

流量比 V/C	10:1	9:1	8:1	10:2	10:3
0.8	1920:192	1920:213	1920:240	1920:384	1920:576
0.7	1680:168	1680:187	1680:210	1680:336	1680:504
0.6	1440:144	1440:160	1440:180	1440:288	1440:432
0.5	1200:120	1200:133	1200:150	1200:240	1200:360
0.4	960:96	960:107	960:120	960:192	960:288

為評估定時號誌控制和半觸動號誌控制之適用情況，分別進行模擬分析，並且以停等延滯調查法做為績效評估之依據，用以檢核定時號誌控制和半觸動號誌控制前後之改善績效成果。

4.1 定時號誌控制情境模擬分析

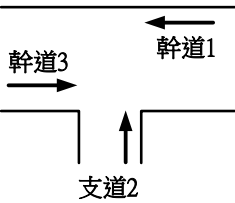
在 V/C 值為 0.8 的情況下，不管幹支道的流量比例為何其幹道的平均延滯時間在 5.11~5.94(秒/車)之間，在支道的延滯時間上，落在 20.16~27.19(秒/車)之間。如下表 4.1-2 飽和度 0.8 下定時號誌模擬結果所示：

表 4.1-2 飽和度 0.8 下定時號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間 (秒/車)	路口平均延滯 時間(秒/車)
0.8	10 : 1	幹道 1	5.37	12.79
		幹道 3	5.81	
		支道 2	27.19	
	9 : 1	幹道 1	5.13	12.33
		幹道 3	5.94	
		支道 2	25.92	
	8 : 1	幹道 1	5.31	12.12
		幹道 3	5.38	
		支道 2	25.66	
	10 : 2	幹道 1	5.79	10.37
		幹道 3	5.15	
		支道 2	20.16	
	10 : 3	幹道 1	5.11	11.01
		幹道 3	4.39	
		支道 2	23.54	

在 V/C 值為 0.7 的情況下，不管幹支道的流量比例為何其幹道的延滯時間均在 4.37~5.64(秒/車)之間，在支道的延滯時間上，落在 23.54~25.34(秒/車)之間。如下表 4.1-3 飽和度 0.7 下定時號誌模擬結果所示：

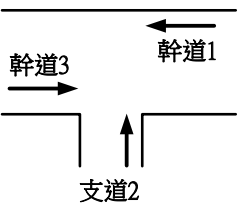
表 4.1-3 飽和度 0.7 下定時號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.7	10 : 1	幹道 1	5.57	11.85
		幹道 3	4.64	
		支道 2	25.34	
	9 : 1	幹道 1	5.51	11.47
		幹道 3	4.77	
		支道 2	24.12	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	5.48	11.57
		幹道 3	4.87	
		支道 2	24.37	
	10 : 2	幹道 1	5.57	11.26
		幹道 3	4.68	
		支道 2	23.54	
	10 : 3	幹道 1	5.64	11.63
		幹道 3	4.37	
		支道 2	24.88	

在 V/C 值為 0.6 的情況下不管幹支道的流量比例為何其幹道的延滯時間均在 5.33~6.83(秒/車)之間，在支道的延滯時間上，可看出落在

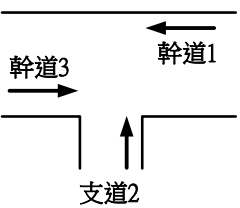
20.54~27.39(秒/車)之間。如下表 4.1-4 飽和度 0.6 下定時號誌模擬結果所示：

表 4.1-4 飽和度 0.6 下定時號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.6	10 : 1	幹道 1	6.67	13.13
		幹道 3	5.33	
		支道 2	27.39	
	9 : 1	幹道 1	6.48	13.01
		幹道 3	5.38	
		支道 2	27.16	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	6.27	13.16
		幹道 3	5.86	
		支道 2	27.34	
	10 : 2	幹道 1	6.58	11.08
		幹道 3	6.12	
		支道 2	20.54	
	10 : 3	幹道 1	6.83	11.54
		幹道 3	6.34	
		支道 2	21.46	

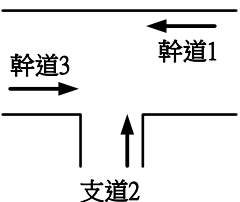
在 V/C 值為 0.5 的情況下，不管幹支道的流量比例為何其幹道的延滯時間均在 5.33~6.87(秒/車)之間，在支道的延滯時間上，可看出落在 21.67~31.14(秒/車)之間。如下表 4.1-5 飽和度 0.5 下定時號誌模擬結果所示：

表 4.1-5 飽和度 0.5 下定時號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.5	10 : 1	幹道 1	6.87	14.50
		幹道 3	5.48	
		支道 2	31.14	
	9 : 1	幹道 1	6.71	14.23
		幹道 3	5.34	
		支道 2	30.64	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	6.72	13.79
		幹道 3	5.33	
		支道 2	29.32	
	10 : 2	幹道 1	6.38	11.83
		幹道 3	5.64	
		支道 2	23.48	
	10 : 3	幹道 1	6.57	11.52
		幹道 3	6.32	
		支道 2	21.67	

在 V/C 值為 0.4 的情況下，不管幹支道的流量比例為何其幹道的延滯時間均在 7.33~8.62(秒/車)之間，在支道的延滯時間上，可看出延滯時間落在 16.88~18.96(秒/車)之間。如下表 4.1-6 飽和度 0.4 下定時號誌模擬結果所示：

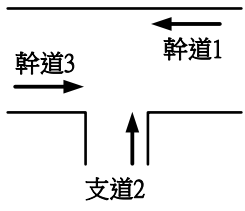
表 4.1-6 飽和度 0.4 下定時號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.4	10 : 1	幹道 1	8.62	10.95
		幹道 3	7.34	
		支道 2	16.88	
	9 : 1	幹道 1	8.44	11.07
		幹道 3	7.84	
		支道 2	16.93	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	8.21	10.97
		幹道 3	7.33	
		支道 2	17.38	
	10 : 2	幹道 1	7.51	11.01
		幹道 3	8.27	
		支道 2	17.24	
	10 : 3	幹道 1	7.92	11.71
		幹道 3	8.24	
		支道 2	18.96	

4.2 半觸動號誌控制情境模擬分析

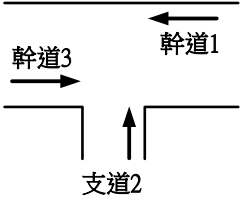
在 V/C 值為 0.8 的情況下，當幹支道的流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 之下其幹道的延滯時間約在 3.27~4.77(秒/車)之間，而在 10 : 2、10 : 3 時則分在 4.53~5.01(秒/車)之間，這顯示出比例差距縮小時，在平均延滯時間上有提高的現象。在支道的延滯時間上，可看出在幹支道流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 時，其延滯時間落在 19.26~20.86(秒/車)之間；而在 10 : 2、10 : 3 時，延滯時間為 18.34 和 18.22(秒/車)，從這裡可看出幹支道流量比例差距縮小時，支道的延滯時間越小。如下表 4.2-1 飽和度 0.8 下半觸動號誌模擬結果所示：

表 4.2-1 飽和度 0.8 下半觸動號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.8	10 : 1	幹道 1	3.31	9.15
		幹道 3	3.27	
		支道 2	20.86	
	9 : 1	幹道 1	3.56	9.24
		幹道 3	3.71	
		支道 2	20.45	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	4.38	9.47
		幹道 3	4.77	
		支道 2	19.26	
	10 : 2	幹道 1	4.53	9.20
		幹道 3	4.74	
		支道 2	18.34	
	10 : 3	幹道 1	5.01	9.38
		幹道 3	4.91	
		支道 2	18.22	

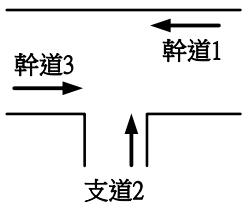
在 V/C 值為 0.7 的情況下，當幹支道的流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 之下其幹道的延滯時間約在 3.31~4.83(秒/車)之間，而在 10 : 2、10 : 3 時則分在 4.84~5.32(秒/車)之間，這顯示出比例差距縮小時，在平均延滯時間上有提高的現象。在支道的延滯時間上，可看出在幹支道流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 時，其延滯時間落在 21.58~23.04(秒/車)之間；而在 10 : 2、10 : 3 時，延滯時間為 20.36 和 19.89(秒/車)，從這裡可看出幹支道流量比例差距縮小時，支道的延滯時間越小。如下表 4.2-2 飽和度 0.7 下半觸動號誌模擬結果所示：

表 4.2-2 飽和度 0.7 下半觸動號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.7	10 : 1	幹道 1	3.31	9.92
		幹道 3	3.42	
		支道 2	23.04	
	9 : 1	幹道 1	4.07	9.96
		幹道 3	3.71	
		支道 2	22.11	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	4.44	10.28
		幹道 3	4.83	
		支道 2	21.58	
	10 : 2	幹道 1	4.89	10.09
		幹道 3	5.03	
		支道 2	20.36	
	10 : 3	幹道 1	5.32	10.02
		幹道 3	4.84	
		支道 2	19.89	

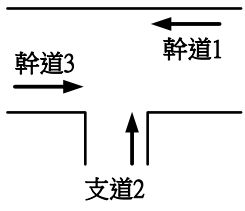
在 V/C 值為 0.6 的情況下，當幹支道的流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 之下其幹道的延滯時間約在 3.86~5.02(秒/車)之間，而在 10 : 2、10 : 3 時則在 5.14~6.08(秒/車)之間，這顯示出比例差距縮小時，在平均延滯時間上有提高的現象。在支道的延滯時間上，可看出在幹支道流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 時，其延滯時間落在 20.33~21.54(秒/車)之間；而在 10 : 2、10 : 3 時，延滯時間為 17.79 和 17.22(秒/車)，從這裡可看出幹支道流量比例差距縮小時，支道的延滯時間越小。如下表 4.2-3 飽和度 0.6 下半觸動號誌模擬結果所示：

表 4.2-3 飽和度 0.6 下半觸動號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.6	10 : 1	幹道 1	3.86	9.71
		幹道 3	3.72	
		支道 2	21.54	
	9 : 1	幹道 1	4.61	9.86
		幹道 3	4.34	
		支道 2	20.63	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	5.02	10.03
		幹道 3	4.74	
		支道 2	20.33	
	10 : 2	幹道 1	5.31	10.08
		幹道 3	5.14	
		支道 2	19.79	
	10 : 3	幹道 1	5.89	9.73
		幹道 3	6.08	
		支道 2	17.22	

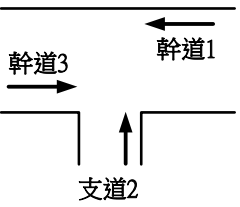
在 V/C 值為 0.5 的情況下，當幹支道的流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 之下其幹道的延滯時間約在 3.98~4.88(秒/車)之間，而在 10 : 2、10 : 3 時則在 4.72~5.36(秒/車)之間，這顯示出比例差距縮小時，在平均延滯時間上有提高的現象。在支道的延滯時間上，可看出在幹支道流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 時，其延滯時間落在 21.12~22.37(秒/車)之間；而在 10 : 2、10 : 3 時，延滯時間為 19.51 和 17.88(秒/車)，從這裡可看出幹支道流量比例差距縮小時，支道的延滯時間越小。如下表 4.2-4 飽和度 0.5 下半觸動號誌模擬結果所示：

表 4.2-4 飽和度 0.5 下半觸動號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.5	10 : 1	幹道 1	4.26	10.20
		幹道 3	3.98	
		支道 2	22.37	
	9 : 1	幹道 1	4.67	10.21
		幹道 3	4.39	
		支道 2	21.56	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	4.73	10.24
		幹道 3	4.88	
		支道 2	21.12	
	10 : 2	幹道 1	5.03	9.75
		幹道 3	4.72	
		支道 2	19.51	
	10 : 3	幹道 1	5.21	9.48
		幹道 3	5.36	
		支道 2	17.88	

在 V/C 值為 0.4 的情況下，當幹支道的流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 之下其幹道的延滯時間約在 4.33~5.13(秒/車)之間，而在 10 : 2、10 : 3 時則在 5.54~6.01(秒/車)之間，這顯示出比例差距縮小時，在平均延滯時間上有提高的現象。在支道的延滯時間上，可看出在幹支道流量比例為 10 : 1、9 : 1、8 : 1 時，其延滯時間落在 21.12~21.52(秒/車)之間；而在 10 : 2、10 : 3 時，延滯時間為 21.33 和 21.07(秒/車)，從這裡可看出幹支道流量比例差距縮小時，支道的延滯時間越小。如下表 4.2-5 飽和度 0.4 下半觸動號誌模擬結果所示：

表 4.2-5 飽和度 0.4 下半觸動號誌模擬結果

V/C 值	幹支道流量比例	方向	平均延滯時間(秒/車)	路口平均延滯時間(秒/車)
0.4	10 : 1	幹道 1	4.53	10.13
		幹道 3	4.33	
		支道 2	21.52	
	9 : 1	幹道 1	4.87	10.24
		幹道 3	4.55	
		支道 2	21.31	
方向圖示	8 : 1	幹道 1	5.13	10.34
		幹道 3	4.63	
		支道 2	21.26	
	10 : 2	幹道 1	5.54	10.85
		幹道 3	5.69	
		支道 2	21.33	
	10 : 3	幹道 1	6.01	10.99
		幹道 3	5.88	
		支道 2	21.07	

4.3 定時號誌控制和半觸動號誌控制模擬分析結果比較

根據模擬資料整理出下列結果：

在 V/C 值為 0.8 時，不管在何種交通流量比例下，半觸動號誌控制對於幹道的平均延滯時間均有改善，交通流量比例差距越大的情況下，改善程度越好，在交通流量比為 10:1 的情況下，幹道和支道的改善最為明顯。在 10:2 和 10:3 的比例下，因為支道的流量變多，造成幹道的平均延滯時間不如在 10:1、9:1 和 8:1 時好。從路口平均延滯績效值中可知，當 V/C 為 0.8 時，幹支道比例差距越大整體的改善績效越好，而當幹支道比例減少時，會使路口的績效降低。如下表 4.1-1 飽和度 0.8 定時號誌與半觸動號誌績效改善表所示：

表 4.3-1 飽和度 0.8 定時號誌與半觸動號誌績效改善表

V/C 值	幹支道 流量比 例	方向	定時號誌- 平均延滯時 間(秒/車)	半觸動號誌 -平均延滯 時間(秒/車)	績效值	定時號誌- 路口平均延 滯(秒/車)	半觸動號誌 -路口平均 延滯(秒/車)	績效值
0.8	10:1	幹道 1	5.37	3.31	38.31%	12.79	9.15	28.47%
		幹道 3	5.81	3.27	43.72%			
		支道 2	27.19	20.86	23.27%			
	9:1	幹道 1	5.13	3.56	30.54%	12.33	9.24	25.04%
		幹道 3	5.94	3.71	37.52%			
		支道 2	25.92	20.45	21.09%			
	8:1	幹道 1	5.31	4.38	17.65%	12.12	9.47	21.85%
		幹道 3	5.38	4.77	11.26%			
		支道 2	25.66	19.26	24.94%			
	10:2	幹道 1	5.79	4.53	22.06%	10.37	9.20	11.22%
		幹道 3	5.15	4.74	7.60%			
		支道 2	20.16	18.34	9.03%			
	10:3	幹道 1	5.11	5.01	2.19%	11.01	9.38	14.83%
		幹道 3	4.39	4.91	-12.36%			
		支道 2	23.54	18.22	22.61%			

在 V/C 值為 0.7 時，於任何交通流量比例下幹道的平均延滯時間均獲得改善，而支道的平均延滯時間也同樣減少；在流量比 10：2 和 10：3 的情況下，幹支道的流量比例越接近，支道平均延滯越小，主要原因為增加的支道車輛佔用了幹道綠燈時間，造成幹道的延滯時間增加，直接影響到幹道的平均延滯時間，因此就可能出現半觸動的幹道平均延滯比支道平均延滯差的情況。總體來說路口的平均延滯均有獲得改善。如下表 4.3-2 飽和度 0.7 定時號誌與半觸動號誌績效改善表所示：

表 4.3-2 飽和度 0.7 定時號誌與半觸動號誌績效改善表

V/C 值	幹支道 流量比 例	方向	定時號誌- 平均延滯時 間(秒/車)	半觸動號誌 -平均延滯 時間(秒/車)	績效值	定時號誌- 路口平均延 滯(秒/車)	半觸動號誌 -路口平均 延滯(秒/車)	績效值
0.7	10:1	幹道 1	5.57	3.31	40.59%	11.85	9.92	16.26%
		幹道 3	4.64	3.42	26.29%			
		支道 2	25.34	23.04	9.08%			
	9:1	幹道 1	5.51	4.07	26.11%	11.47	9.96	13.11%
		幹道 3	4.77	3.71	22.22%			
		支道 2	24.12	22.11	8.33%			
	8:1	幹道 1	5.48	4.44	18.98%	11.57	10.28	11.15%
		幹道 3	4.87	4.83	0.82%			
		支道 2	24.37	21.58	11.45%			
	10:2	幹道 1	5.57	4.89	12.21%	11.26	10.09	10.39%
		幹道 3	4.68	5.03	-7.48%			
		支道 2	23.54	20.36	13.51%			
	10:3	幹道 1	5.64	5.32	5.67%	11.63	10.02	13.87%
		幹道 3	4.37	4.84	-10.76%			
		支道 2	24.88	19.89	20.06%			

在 V/C 值為 0.6 時，於任何交通流量比例下幹道的平均延滯時間均獲得改善，而支道的平均延滯時間也同樣減少；在流量比 10：2 和 10：3 的情況下，幹支道的流量比例越接近，支道平均延滯越小，主要因為增加的支道車輛佔用了幹道綠燈時間，造成幹道的延滯時間增加，直接影響到幹道的平均延滯時間。總體來說路口的平均延滯均有獲得改善。如下表 4.3-3 飽和度 0.6 定時號誌與半觸動號誌績效改善表所示：

表 4.3-3 飽和度 0.6 定時號誌與半觸動號誌績效改善表

V/C 值	幹支道 流量比 例	方向	定時號誌- 平均延滯時 間(秒/車)	半觸動號誌 -平均延滯 時間(秒/車)	績 效 值	定時號誌- 路口平均延 滯(秒/車)	半觸動號誌 -路口平均 延滯(秒/車)	績效值
0.6	10:1	幹道 1	6.67	3.86	42.10%	13.13	9.71	26.07%
		幹道 3	5.33	3.72	30.21%			
		支道 2	27.39	21.54	21.36%			
	9:1	幹道 1	6.48	4.61	28.86%	13.01	9.88	24.08%
		幹道 3	5.38	4.34	18.40%			
		支道 2	27.16	20.63	24.06%			
	8:1	幹道 1	6.27	5.02	19.94%	13.16	10.03	23.76%
		幹道 3	5.86	4.74	19.11%			
		支道 2	27.34	20.33	25.64%			
	10:2	幹道 1	6.58	5.31	19.34%	11.08	10.08	9.03%
		幹道 3	6.12	5.14	16.01%			
		支道 2	20.54	19.79	3.64%			
	10:3	幹道 1	6.83	5.89	13.80%	11.54	9.73	15.72%
		幹道 3	6.34	6.08	4.10%			
		支道 2	21.46	17.22	19.76%			

在 V/C 值為 0.5 的情況下，由模擬結果得知，於任何交通流量比例下幹道的平均延滯時間均獲得改善，而支道的平均延滯時間也同樣減少；在流量比 10：2 和 10：3 的情況下，幹支道的流量比例越接近，支道平均延滯越小，主要因為增加的支道車輛佔用了幹道綠燈時間，造成幹道的延滯時間增加，直接影響到幹道的平均延滯時間。總體來說路口的平均延滯均有獲得改善。如下表 4.3-4 飽和度 0.5 定時號誌與半觸動號誌績效改善表所示：

表 4.3-4 飽和度 0.5 定時號誌與半觸動號誌績效改善表

V/C 值	幹支道 流量比 例	方向	定時號誌- 平均延滯時 間(秒/車)	半觸動號誌 -平均延滯 時間(秒/車)	績 效 值	定時號誌- 路口平均延 滯(秒/車)	半觸動號誌 -路口平均 延滯(秒/車)	績效值
0.5	10:1	幹道 1	6.87	4.26	37.99%	14.50	10.20	29.62%
		幹道 3	5.48	3.98	27.37%			
		支道 2	31.14	22.37	28.16%			
	9:1	幹道 1	6.71	4.67	30.40%	14.23	10.21	28.27%
		幹道 3	5.34	4.39	17.79%			
		支道 2	30.64	21.56	29.63%			
	8:1	幹道 1	6.72	4.73	29.61%	13.79	10.24	25.72%
		幹道 3	5.33	4.88	8.44%			
		支道 2	29.32	21.12	27.97%			
	10:2	幹道 1	6.38	5.03	21.16%	11.83	9.75	17.58%
		幹道 3	5.64	4.72	16.31%			
		支道 2	23.48	19.51	16.91%			
	10:3	幹道 1	6.57	5.21	20.70%	11.52	9.48	17.68%
		幹道 3	6.32	5.36	15.19%			
		支道 2	21.67	17.88	17.49%			

當 V/C 值為 0.4 時，在任何一個模擬的幹支道流量比例下，明顯看出在半觸動號誌控制下，支道的平均延滯時間均比定時號誌增加，而在幹道平均延滯時間上面均有改善。由此可知，當 V/C 值越小時，對於支道的平均延滯影響越大，而對路口的平均延滯績效也呈現下滑的趨勢。如下表 4.3-5 飽和度 0.4 定時號誌與半觸動號誌績效改善表所示：

表 4.3-5 飽和度 0.4 定時號誌與半觸動號誌績效改善表

V/C 值	幹支道 流量比 例	方向	定時號誌- 平均延滯時 間(秒/車)	半觸動號誌 -平均延滯 時間(秒/車)	績 效 值	定時號誌- 路口平均延 滯(秒/車)	半觸動號誌 -路口平均 延滯(秒/車)	績效值
0.4	10:1	幹道 1	8.62	4.53	47.45%	10.95	10.13	7.48%
		幹道 3	7.34	4.33	41.01%			
		支道 2	16.88	21.52	-27.53%			
	9:1	幹道 1	8.44	4.87	42.30%	11.07	10.24	7.47%
		幹道 3	7.84	4.55	41.96%			
		支道 2	16.93	21.31	-25.86%			
	8:1	幹道 1	8.21	5.13	37.58%	10.97	10.34	5.80%
		幹道 3	7.33	4.63	36.90%			
		支道 2	17.38	21.26	-22.32%			
	10:2	幹道 1	7.51	5.54	26.23%	11.01	10.85	1.39%
		幹道 3	8.27	5.69	31.20%			
		支道 2	17.24	21.33	-23.72%			
	10:3	幹道 1	7.92	6.01	24.12%	11.71	10.99	6.15%
		幹道 3	8.24	5.88	28.64%			
		支道 2	18.96	21.07	-11.14%			

4.4 小結

本模擬是在週期 120 秒下，估算出其飽和流率，並以此訂定在不同的 V/C 值下之飽和流率，再比較不同幹支道流量比例的情況下之定時號誌和半觸動號誌績效分析。

根據模擬的績效結果可歸納整理以下幾點：

- (1) 當 V/C 值在 0.4~0.8 之間，其幹支道流量差異越大時，半觸動控制績效改善越明顯，尤其在流量比 10:1 時，改善程度最大。而當幹支道流量比例接近時，則半觸動號誌改善績效變小。當流量比為 10:3 時，績效的提升是因為半觸動設有最小停等車輛和最長停等時間的限制，因此當支道流量增加時，便會時常開放綠燈給予通行，在減少支道車輛平均延滯的情況下，也造成了幹道車輛平均延滯的增加，而當支道平均延滯時間績效改善的幅度大於幹道績效減少的幅度時，則可能造成路口的平均延滯績效反而提升。如下圖 4.4-1 半觸動和定時號誌控制績效結果比較圖所示。

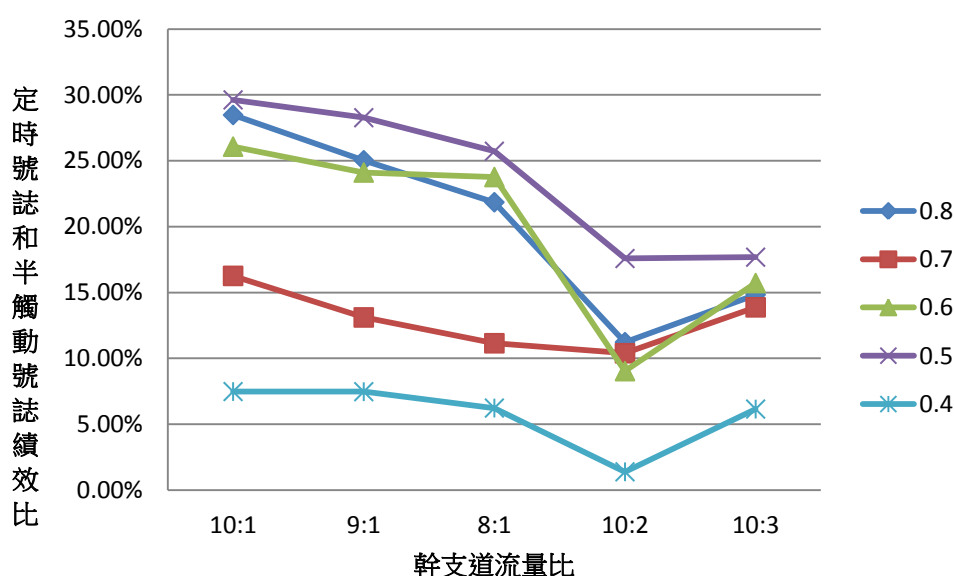


圖 4.4-1 半觸動和定時號誌平均延滯績效結果比較圖

- (2) 半觸動號誌控制其平均延滯會隨著幹支道流量比而改變，當幹支道流量比 10:1 時，其平均延滯最小，當幹支道流量比漸漸接近時，其平均延滯會呈 U 形，顯示在幹支道比 10:1、9:1 和 8:1 時，平均延滯會遞增；在 10:2 和 10:3 時平均延滯會減少。主要因為支道車流量增加，造成支道需使用的綠燈時間增加，支道得以通過較多車輛數，降低支道的平均延滯，進而縮短幹道常綠的時間，使得幹道延滯時間增加，當支道的平均延滯減少的改善幅度大於幹道平均延滯增加的幅度時，在此情況下便使得平均延滯呈現遞增再遞減的情況。在本模擬中發現當 V/C 值為 0.4 時，不論在何種流量比之下，其平均延滯會持續遞增，其可能原因為，幹道增加的平均延滯無法由支道減少的平均延滯相抵，而造成在

此情況下半觸動的績效越來越差。如下圖 4.4-2 半觸動號誌控制路口平均延滯績效結果圖所示。

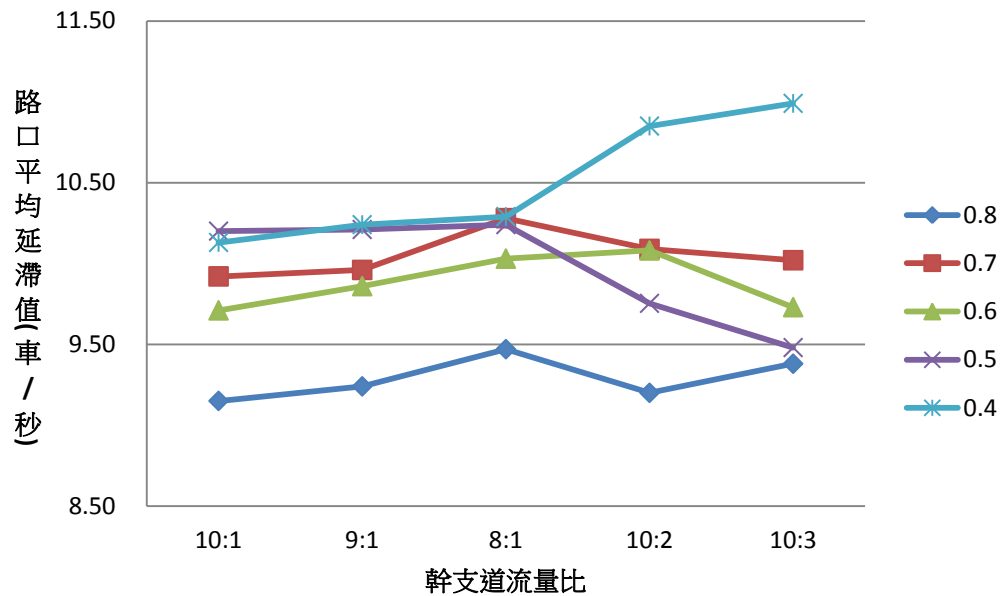


圖 4.4-2 半觸動號誌控制路口平均延滯績效結果

- (3) 當 V/C 值在 0.4~0.8 時，幹支道流量比差異越小時，半觸動號誌的幹道平均延滯就越大，其原因為支道的車輛數增加，而經常去觸動到半觸動控制邏輯中的最大停等車輛數和停等時間的門檻，迫使幹道無法長時間保持常綠狀態，而每當經過幹道最短綠燈時間後，即切換綠燈通行權給支道使用，造成支道平均延滯反而降低，幹道平均延滯卻增加的情況。如下圖 4.4-3 半觸動號誌幹道平均延滯圖所示。

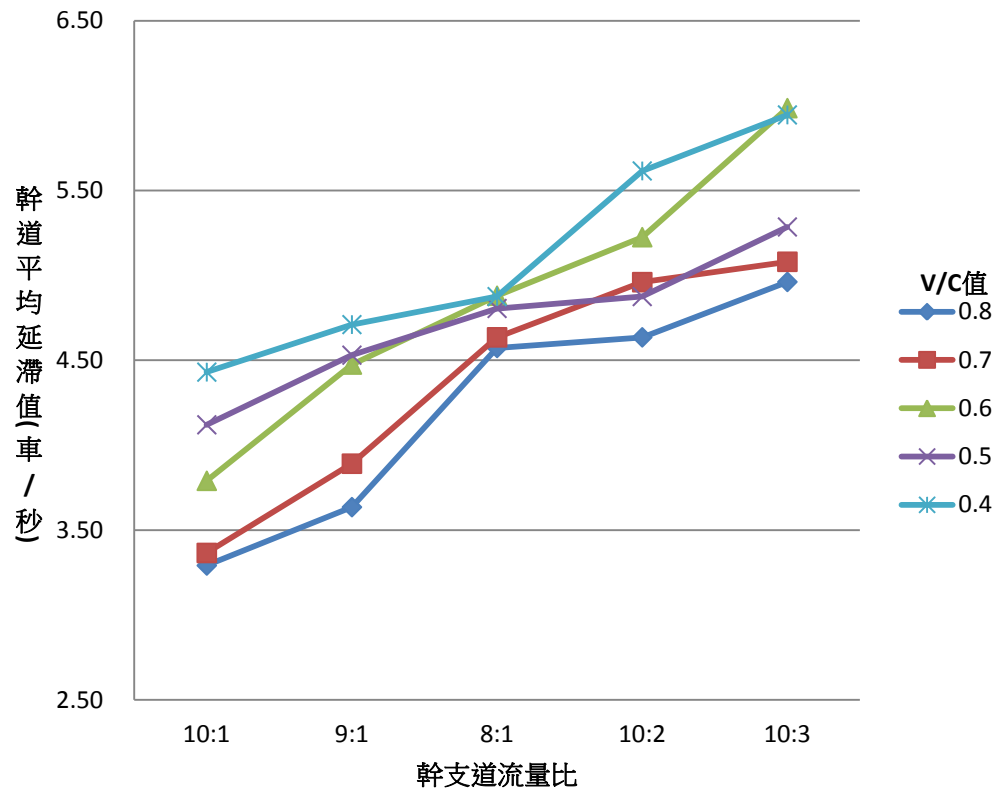


圖 4.4-3 半觸動號誌控制幹道平均延滯圖績效結果

- (4) 在半觸動號誌控制下，當 V/C 值在 0.4~0.8 之間時，支道的平均延滯值會隨著幹支道流量比例差距縮小而變小。在 10:1、9:1 和 8:1 的情況下，由於支道車輛小幅度增加，因此支道平均延滯會呈現慢慢遞減的狀態；而在 10:2 和 10:3 的時候，支道車輛比原先增加 2 倍~3 倍，造成支道綠燈的需求時間提高，在半觸動號誌的控制邏輯下，會給予較多的綠燈時間，因此支道平均延滯時間會較大幅的減少。如下圖 4.4-4 半觸動號誌支道平均延滯圖所示：

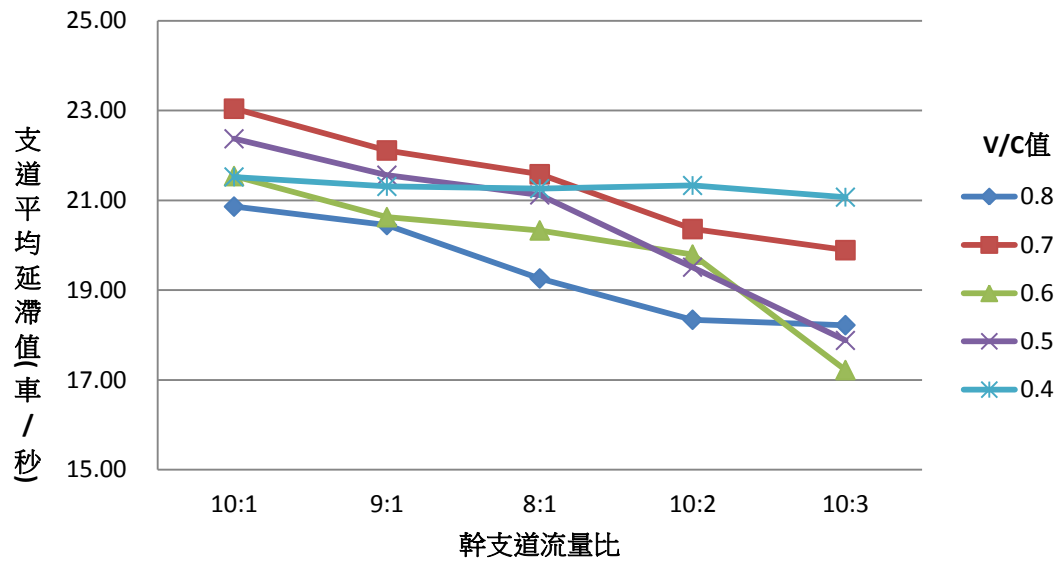


圖 4.4-4 半觸動號誌控制支道平均延滯圖績效結果

因此由模擬結果得知，半觸動號誌控制適用於下列範圍：

- (1) 當 V/C 值於 0.4~0.8 之間，若幹、支道流量差異越懸殊，則越能減少幹道平均延滯，路口平均延滯亦能得到改善，因此適合透過半觸動號誌控制改善路口交通狀況。
- (2) 當 V/C 值於 0.4~0.8 之間，若幹、支道流量比例縮小，則支道平均延滯會遞減，幹道平均延滯會遞增，此時路口便無法透過半觸動號誌改善幹道平均延滯。
- (3) 當 V/C 值為 0.4 時，若路口幹、支道流量比差異縮小時，則幹道平均延滯會呈遞增現象，本研究模擬不同的幹、支道流量比例下 10:1、9:1、8:1、10:2 及 10:3，得出在 10:1 時幹道平均延滯最小。

第五章 實地驗證

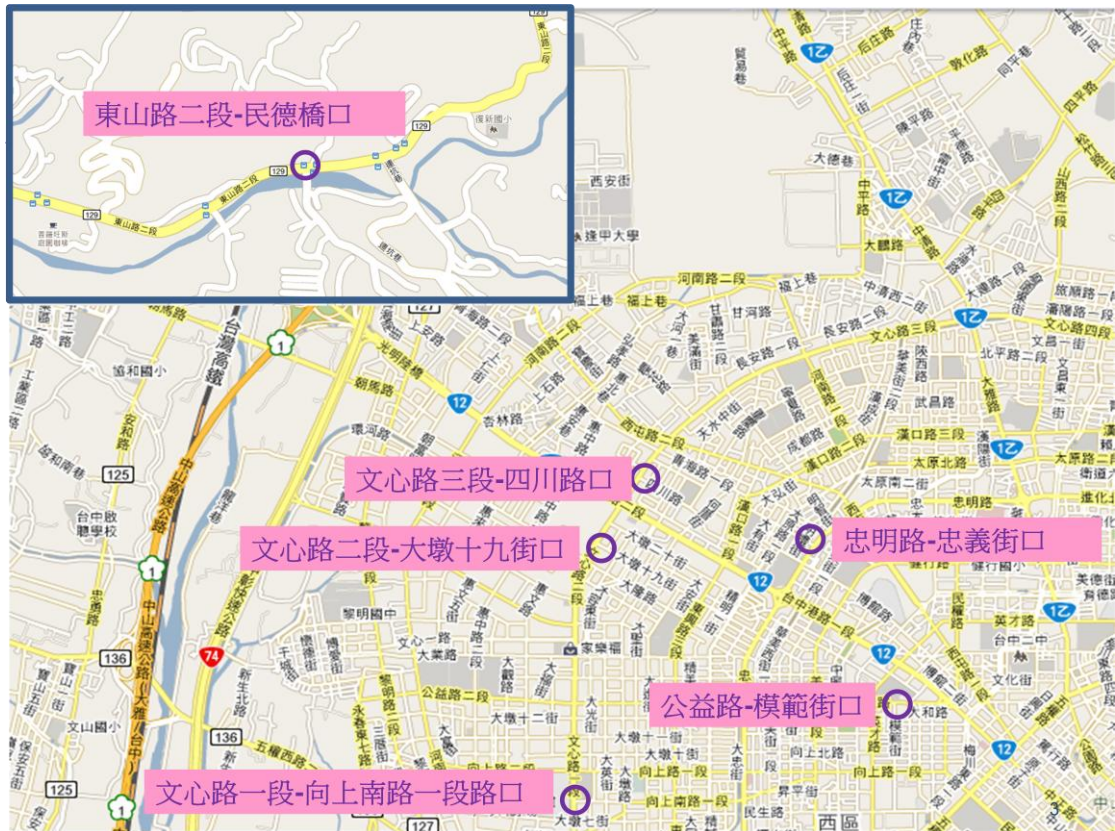
根據第四章的模擬結果與分析顯示，當幹、支道的交通流量比例差距越大且支道流量不穩定之路口，設置半觸動號誌控制能確實降低幹道方向的平均延滯，而當幹、支道流量比例差距縮小時，在支道流量提高的情況下，會因為支道車輛的增加，而增加支道綠燈時間及幹道紅燈時間，進而影響到幹道維持常綠狀態的時間長度，造成幹道平均延滯時間的增加。本研究利用本身所開發的軟體進行模擬評估後，歸納出半觸動號誌控制邏輯的適用範圍，為進一步確認本研究建構邏輯與軟體之可靠，將選定台中市某處路口進行實地的驗證。

5.1 半觸動號誌控制系統路口選定

本研究透過半觸動號誌控制方式於臺中市進行號誌控制實作，為使號誌控制實作可達預期目標，在選定路口時，必須妥善考量各個替選路口特性，是否符合實作之條件，期能透過本研究之規劃、建置及運行，提升該號誌化路口運行之效率。以下將說明本研究路口選定之條件、替選路口特性、評選方式及其結果。

5.1.1 實作路口選定

半觸動號誌控制目的為：在維持支道安全下，避免支道多餘的綠燈時間，影響幹道運行效率。對此，在選定實作路口時，以「幹、支道交通量差異明顯且支道流量不穩定之 T 字路口」為優先，本研究透過地圖搜尋、道路幾何條件及實地探查方式，選定下列 6 處路口為本研究實作之替選路口，分別為：(1)文心路三段-四川路口、(2)文心路二段-大墩十九街口、(3)文心南路一段-向上南路一段路口、(4)忠明路-忠義街口、(5)東山路二段-民德橋口以及(6)公益路-模範街口，如下圖 5.1-1 半觸動號誌實作替選路口位置示意圖及表 5.1-2 半觸動號誌實作替選路口一覽表：



資料來源：GOOGLE 地圖

圖 5.1-1 半觸動號誌實作替選路口位置示意圖

表 5.1-1 半觸動號誌實作替選替選路口一覽表

 文心路二段-向上南路一段	 文心路二段-大墩十九街口
---	--



資料來源：GOOGLE 地圖&GOOGLE 街景

針對上述 6 處替選路口進行條件篩選時，發現部分路口機車左轉交通量需求明顯，為確保左轉機車用路者的安全，必須針對此項需求，於該路口規劃機車兩段式左轉待轉區，並且設置左轉保護號誌，此些路口即會受到幾何形狀限制，以及某些路口因鄰近國小學區，平時號誌設定為閃光號誌，為因應上、放學尖峰時段，家長父母載送孩童的情況所產生幹、支道突如其來的交通量變化則會切換為三色號誌，這些因素恐造成半觸動號誌控制系統規劃設置上趨於複雜，為避免過於複雜的設計造成系統運作之謬誤，本研究增加三評選條件進行替選路口篩選，分別為：路口無左轉保護

號誌、路口無機車待轉區及無鄰近學校。另外在第四章的模擬研究中，因為不考慮支道機車流量的偵測且為針對在不同的 V/C 值下進行模擬實驗，因此將會選擇支道機車流量小(每小時<10 輛)且至少兩處不同 V/C 值之路口，做為實作路口。基於上述條件下，本次選定實作路口為：(1)忠明路-忠義街口與(2)東山路二段-民德橋口，如下表 5.1-2 路口篩選表的★所示。

表 5.1-2 路口篩選表

條件 路口	是否為幹 支道差異 懸殊之路 口	是否為 T 字型路口	是否設置 機車待轉 區	是否設置 左轉保護 時相	是否鄰近 學校	是否支道 機車流量 小	決定實施 路口
文心路三 段-四川路 口	V	V	V	V	X	X	☆
文心路二 段-大墩十 九街口	V	V	V	V	X	X	☆
文心南路 一段-向上 南路一段 路口	V	V	V	V	X	X	☆
忠明路-忠 義街口	V	V	X	X	X	V	★
公益路-模 範街口	V	V	X	X	V	V	☆
東山路二 段-民德橋 口	V	V	X	X	X	V	★

5.1.2 驗證實施路口說明

所欲設置半觸動號誌控制的兩處路口，其選擇的道路條件為幹支道交通量差異大且支道流量不穩定以及道路幾何為 T 字型路口，針對此必要條件，經過實地的勘察結果，分別挑選位於台中市市區的「忠明路-忠義街口」和台中市郊區的「東山路二段-明德橋口」，此二路口均符合以上所述兩必要條件，且分處於市區和郊區，對於所要求不同的 V/C 值之條件亦相符合。如下圖 5.1-2 半觸動號誌路口示意圖所示：



圖 5.1-2 半觸動號誌路口示意圖

以下針對此二路口幾何特性做簡要說明：

1. 忠明路－忠義街口

此路口位於台中市市區，常可見幹道機車欲待轉進入忠義街，平均每週期約有 2 台，但此路口無左轉保護時相，故每當機車欲左轉時需等待支道綠燈才能通過。其幹、支道交通量差異大且支道流量不穩定，造成支道綠燈經常未能被有效利用。此路口目前號誌設置為 TOD 群組號誌控制為簡單二時相，道路配置忠明路為雙向四車道，忠義街口為雙向兩車道。

2. 東山路二段－民德橋口

此路口位於臺中市郊區，為一個社區住家之出入口，平時於尖峰上下班期間才有較多車輛進出，其他時間寥寥無幾，其幹、支道交通量差異大且支道流量不穩定，支道綠燈經常未被有效利用，離峰時段為閃紅/黃號誌，尖峰為三色號誌為簡單二時相。道路配置東山路二段為雙向兩車道，明德橋為雙向兩車道，其中東山路二段車道寬闊。

兩路口相關特性整理如下表 5.1-3 路口特性表所示：

表 5.1-3 路口特性表

	忠明路-忠義街口(路口一)	東山路二段-民德橋口(路口二)
路口位置	臺中市西區，近中港路口 (市區)	臺中市北屯區，鄰近社區住家 (郊區)
道路配置	忠明路：雙向四車道 忠義街：雙向二車道	東山路二段：雙向二車道 民德橋：雙向二車道
街道配置	T 字路口	T 字路口
交通特性	幹支道流量差異大	幹支道流量差異大
號誌型態	TOD 群組號誌控制	尖峰：三色號誌 離峰：閃紅/閃黃
號誌時相	簡單二時相	簡單二時相
幹道是否連鎖	與忠明南路公益路口連鎖	否

此二路口分處於市區和郊區，V/C 值則分別在 0.6~0.7 以及 0.2~0.3 之間，幹、支道流量差異比則分別為 9:1~8:1 以及 28:1~40:1 之間，根據第四章的模擬結果，當 V/C 值為 0.5 以上，幹、支道流量比例差距在 10:2 以下時，路口平均延滯會增加；當 V/C 值在 0.4 以下時，隨著幹支道流量比例差距縮小，路口平均延滯會呈遞增狀態。由此可推斷此二路口因為幹、支道比例差異大，均在第四章模擬的範圍內，因此預測實作結果對於原本交通均會有所改善，其路口平均延滯時間會減少。

5.2 半觸動號誌控制系統績效評估

在上一章的模擬分析中得知，當 V/C 值越大且幹、支道流量差異越懸殊時，半觸動號誌對於平均延滯的績效越能夠有效改善，因此在路口實作時除了選擇不同 V/C 值的路口，並且為能明顯看出路口幹支道流量的差異，針對實作路口亦分別於不同時段上進行調查。

忠明路-忠義街口位於市區，受限於忠明路-忠義街口在忠明路(幹道)往華美西街方向，機車左轉忠義街的車輛數多且頻繁，在道路幾何特性的限制下，無法設置左轉機車待轉區，加上忠明路直行車流量大，經現場觀察發現，左轉機車若欲左轉進入忠義街(支道)必須要等到支道綠燈後，才能順利左轉，考慮本路口半觸動號誌控制為幹道綠燈常綠，為避免離峰時間，支道無車輛通過需求時，將導致幹道左轉機車無法通過路口，因此設定在平日昏峰時段(下午四點-晚上七點)做為實作時間。

東山路-民德橋口位於郊區，為通往大坑觀光地區必經的道路，平時於離峰時段車流量小，於平日上下午尖峰時間或假日期間車流量較大，因此

將於平、假日昏峰時段做為路口實作時間。

為評估半觸動號誌路口的施作績效，將針對相關路口、路段進行交通特性資料調查，除了作為事前設置半觸動號誌路口之基礎資料外，並可作為後續設置後，事後績效評估之比較準則。

5.2.1 路口交通量調查

5.2.1.1 實施前

(1) 調查時段

半觸動實施前進行路口延滯調查的調查時段分為平日和假日，調查路口有兩處：忠明路-忠義街口以及東山路-明德橋口，兩處路口調查實施共計 3 個時段，以下進行說明：

- (a) 忠明路-忠義街口：調查日期為 100 年 1 月 20 日星期四，昏峰時段為下午 4 點至 5 點止。
- (b) 東山路-明德橋口：平日調查日期為 100 年 1 月 19 日星期三，針對昏峰時段(下午 5 點至 6 點)進行調查；假日調查日期為 99 年 12 月 11 日星期六，仍針對昏峰時段(下午 5 點至 6 點)，進行調查。

(2) 調查成果

(a) 忠明路-忠義街口

由圖 5.2-1 中可看出忠明路-忠義街口往中港路的車流量約 1448 輛/小時，而反方向的車流量約 1529 輛/小時，其原因可能為下班尖峰時間出城車輛較多所導致；而忠義街往忠明路的流量為 166 輛/小時。幹道和支道的比例約為 9：1~8：1 之間。

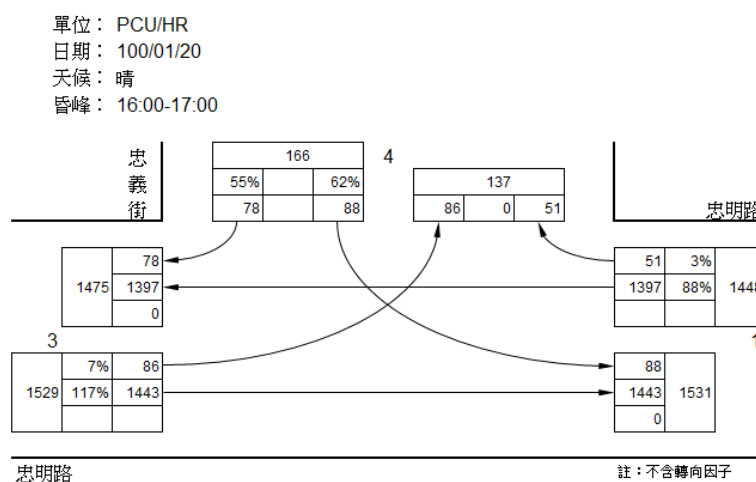


圖 5.2-1 忠明路-忠義街路口事前轉向交通量示意圖

(b) 東山路二段-民德橋口

在平日昏峰，往大坑方向的車流量約為 425 輛/小時，往市區的車流量約為 594 輛/小時，可能原因為傍晚民眾返家而導致車流量進城大於出城，民德橋往東山路二段流量約為 15 輛/小時。幹道和支道的比例為 28:1~39:1 之間，差距十分懸殊。如下圖 5.2-2 東山路-民德橋口事前轉向交通量示意圖(平日昏峰)所示：

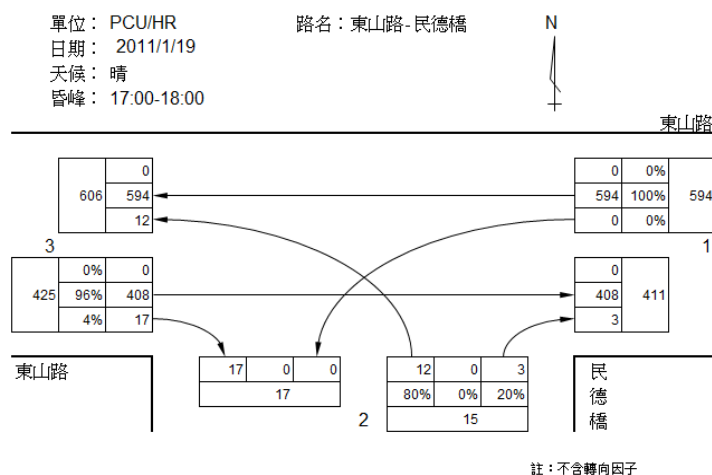


圖 5.2-2 東山路-民德橋口事前轉向交通量示意圖(平日昏峰)

在假日昏峰，往大坑方向的車流量約為 463 輛/小時，往市區的車流量約為 608 輛/小時，可能原因為假日白天民眾前往大坑等地區登山郊遊或從事其他戶外運動，至傍晚後車流開始湧入市區所致，而民德橋往東山路二段的流量約為 15 輛/小時。幹道和支道的比例為 30:1~40:1 之間，差距十分懸殊。如下圖 5.2-3 東山路-民德橋口事前轉向交通量示意圖(假日昏峰)所示：

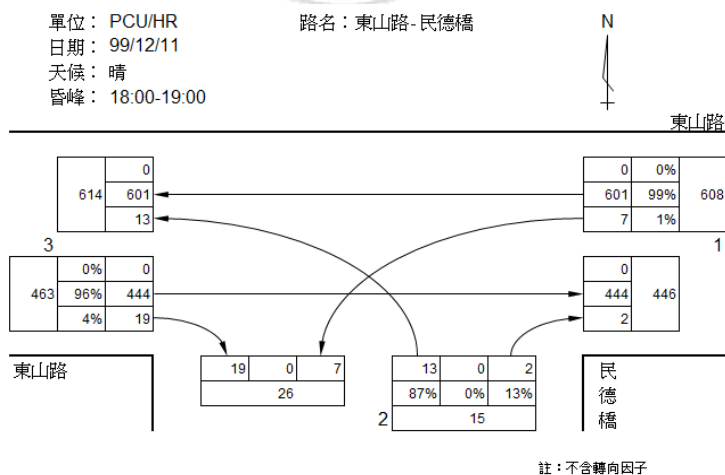


圖 5.2-3 東山路-民德橋口事前轉向交通量示意圖(假日昏峰)

5.2.1.2 實施後

(1) 調查時段

半觸動裝設運行後，路口延滯調查仍分為平日和假日進行，調查路口與實施前相同為：忠明路-忠義街口以及東山路-明德橋口，以下對於兩處調查實施共計 3 個時段，進行說明：

- (a) 忠明路-忠義街口：平日調查日期為 100 年 4 月 18 日(星期一)下午 4 點至 5 點進行調查。
- (b) 東山路-明德橋口：平日調查日期為 100 年 4 月 14 日星期四，針對昏峰時段(下午 5 點 30 分至 6 點 30 分)進行調查；假日調查日期為 100 年 4 月 16 日星期六，仍針對昏峰時段(下午 3 點 30 分至 4 點 30 分)進行調查。

(2) 調查成果

(a) 忠明路-忠義街口

在平日昏峰方面可看出往中港路的車流量約 1425 輛/小時，而反方向的車流量約 1467 輛/小時；而忠義街往忠明路的流量為 170 輛/小時。幹道和支道的比例約為 8：1。如下圖 5.2-4 忠明路-忠義街路口事後轉向交通量示意圖所示：

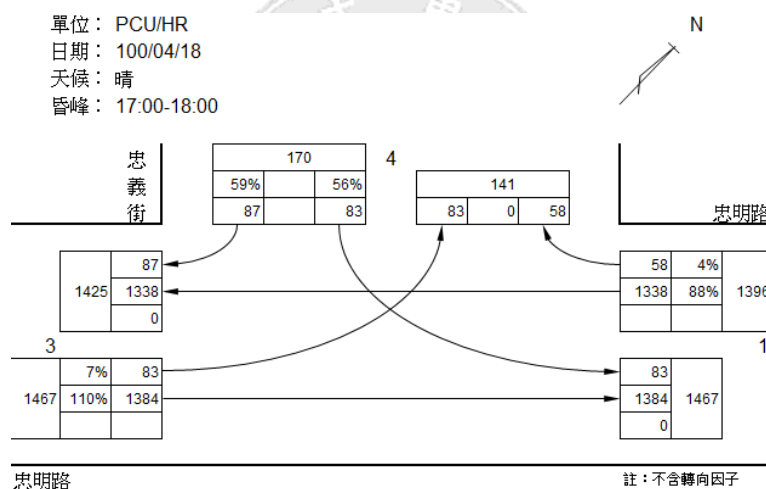


圖 5.2-4 忠明路-忠義街路口事後轉向交通量示意圖

(b) 東山路二段-民德橋口

在平日昏峰，往大坑方向的車流量約為 405 輛/小時，往市區的車流量約為 565 輛/小時，民德橋往東山路二段的流量約為 15 輛/小時。幹道和支道的比例為 27：1~37：1 之間，差距懸殊。如下圖 5.2-5 東山路-民德橋口事後轉向交通量示意圖(平日昏峰)所示：

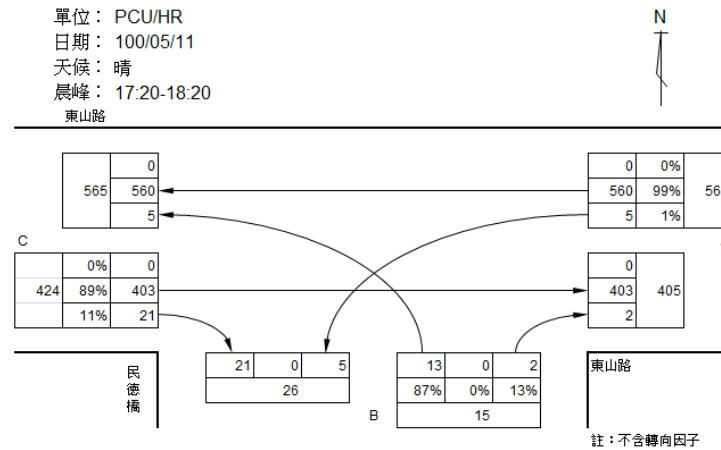


圖 5.2-5 東山路-民德橋口事後轉向交通量示意圖(平日昏峰)

在假日昏峰，往大坑方向的車流量約為 450 輛/小時，往市區的車流量約為 924 輛/小時，而民德橋往東山路二段的流量約為 24 輛/小時。幹道和支道的比例為 18：1~38：1 之間。如下圖 5.2-6 東山路-民德橋口事後轉向交通量示意圖(假日昏峰)所示：

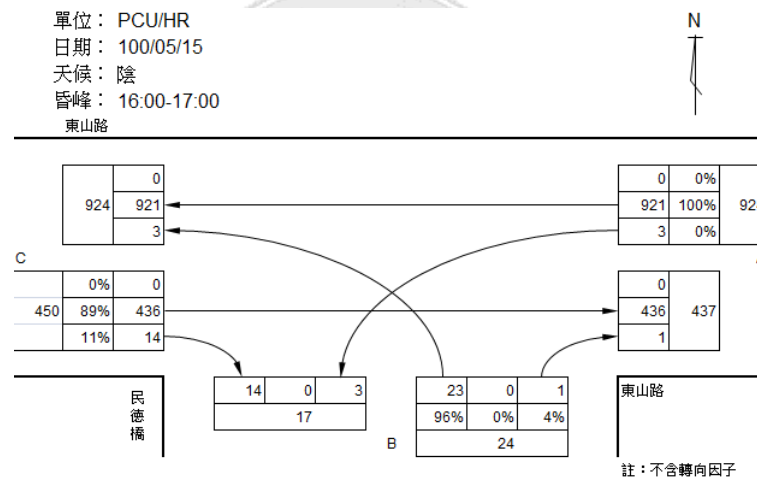


圖 5.2-6 東山路-民德橋口事後轉向交通量示意圖(假日昏峰)

5.2.2 延滯調查與績效

本研究將進行路口延滯調查。

(1) 平均停等延滯調查

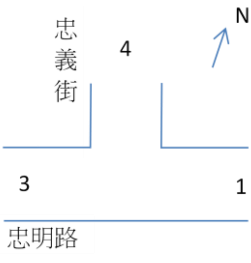
- 兩處路口各方向事前績效說明如下：

(a) 忠明路-忠義街

忠明路平均延滯時間為 5.44 秒/車和 3.23 秒/車，忠義街平均延滯時間為 40.70 秒/車，路口總平均延滯時間為 16.45 秒/車，路口服務水準為 B。可能原因為其車流量少且不集中加上綠燈時比分配較少。下表

5.2-1 為忠明路-忠義街口平均停等延滯調查事前結果。

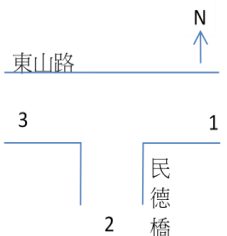
表 5.2-1 忠明路-忠義街口平均停等延滯事前調查表

路口名稱	時段	方向	總延滯時間(秒)	總通過車輛數(輛)	平均延滯時間(秒/車)
	平日 昏峰	1	7875	1448	5.44
		3	4935	1529	3.23
		4	6715	165	40.70
	路口平均延滯(秒/車)				16.45

(b) 東山路-民德橋

於平、假日兩時段路口平均延滯時間皆低於 16.0 秒/車，路口服務水準為各別為 A 和 B。應為其車流量少且不集中加上支道綠燈時比分配較少。下表 5.2-2 東山路-民德橋口平均停等延滯事前調查結果。

表 5.2-2 東山路-民德橋口平均停等延滯事前調查表

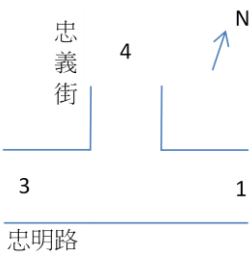
路口名稱	時段	方向	總延滯時間(秒)	總通過車輛數(輛)	平均延滯時間(秒/車)
	平日 昏峰	1	3120	594	5.25
		2	360	15	24
		3	2100	426	4.93
	路口平均延滯(秒/車)				11.39
	時段	方向	總延滯時間(秒)	總通過車輛數(輛)	平均延滯時間(秒/車)
	假日 昏峰	1	4440	608	7.30
		2	450	14	32.14
		3	2910	462.5	6.29
	路口平均延滯(秒/車)				15.25

- 兩處路口各方向事後績效說明如下：

(a) 忠明路-忠義街

忠明路平均延滯時間為 5.58 秒/車和 3.89 秒/車，忠義街平均延滯時間為 24.68 秒/車，路口總平均延滯時間為 8.17 秒/車，路口服務水準為 A。下表 5.2-3 為路口平均停等延滯調查事後結果。

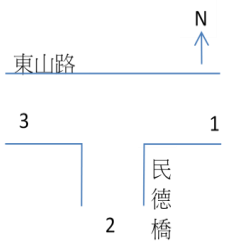
表 5.2-3 忠明路-忠義街口平均停等延滯事後調查表

路口名稱	時段	方向	總延滯時間(秒)	總通過車輛數(輛)	平均延滯時間(秒/車)
	平日 昏峰	1	7935	1423	5.58
		3	5145	1323	3.89
		4	3925	159	24.68
	路口平均延滯(秒/車)				8.17

(b) 東山路-民德橋

於平假日兩時段路口平均延滯時間皆在 8.7 秒/車上下，路口服務水準為 A。下表 5.2-4 東山路-民德橋口平均停等延滯事後調查表。

表 5.2-4 東山路-民德橋口平均停等延滯事後調查表

路口名稱	時段	方向	總延滯時間(秒)	總通過車輛數(輛)	平均延滯時間(秒/車)
	平日 昏峰	1	555	565	0.98
		2	345	15	23.79
		3	645	424	1.52
	路口平均延滯(秒/車)				8.77
	時段	方向	總延滯時間(秒)	總通過車輛數(輛)	平均延滯時間(秒/車)
	假日 昏峰	1	915	924	0.99
		2	585	24	24.38
		3	405	450	0.90
	路口平均延滯(秒/車)				8.75

(2) 路口延滯績效評估

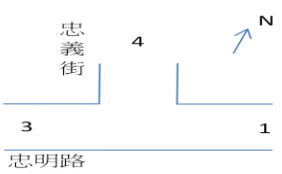
根據半觸動號誌設置前後所獲得的資料結果，進行改善程度之評估，其結果如下所示：

(a) 忠明路-忠義街

結果如表 5.2-5 忠明路-忠義街口半觸動號誌設置前後績效比較表所示。經過半觸動號誌設置後，幹道的平均延滯時間並未如預期的減少，反而增加，其平均延滯時間惡化的幅度分別為 2.57%和 20.43%；支道方面在設置後其平均延滯時間反而大幅降低，相較於設置前其改善績效約為 39.36%。此結果雖造成路口平均延滯時間減少，但卻不是原先以降低幹道車輛平均延滯時間的目的。會造成此種現象，主要是因為此路口位於市區，其上下游路口距離分別只有 66 公尺和 147 公尺，雖然此路口幹道綠燈設置為常綠燈號，但是因為上下游路口號誌的不連鎖，造成此路口為綠燈，而上下游路口為紅燈時，形成無上

游車輛到達，以及車輛到達下游路口卻無法順利通過的情況，造成車輛無法順利續進，產生走走停停的情形；或是當此路口為紅燈，而上下游路口為綠燈時，使得車輛到達此路口時，必須停等紅燈，到下一個路口時可能又需再停等一次，造成用路人平均延滯時間的增加，並且增加整條路段之平均旅行時間，使此路口形成一瓶頸路口。

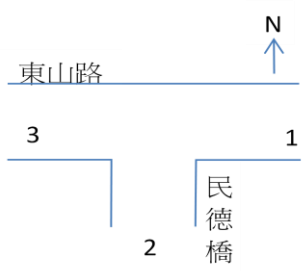
表 5.2-5 忠明路-忠義街口半觸動設置前後績效比較表

	忠明路-忠義街口		
	半觸動號誌 設置前	半觸動號誌 設置後	改善幅度
方向 1 平均延滯時間(秒/車)	5.44	5.58	-2.57%
方向 3 平均延滯時間(秒/車)	3.23	3.89	-20.43%
方向 4 平均延滯時間(秒/車)	40.70	24.68	39.36%
路口平均延滯(秒/車)	16.45	8.17	50.33%

(b) 東山路-民德橋

由下表 5.2-6 東山路-民德橋口半觸動設置前後績效比較表得知。不論在平日或是假日昏峰時段，此路口在幹道的平均延滯時間上均有正面的改善。績效改善最大幅度為 86.44%。相較於忠明路-忠義街口，其改善績效效果良好。其主要原因在於此路口位於郊區為一獨立路口，距離上下游號誌路口分別約為 195 公尺和 3100 公尺，上下游路口間並不需要號誌連鎖，因此當路口保持幹道常綠時，由上游路口到達之車輛得以迅速且安全通過路口，直到支道車輛到達通行門檻後才予於切換綠燈通行權給於支道車輛使用，充分使用支道有效綠燈時間，並確實達成到降低幹道車輛平均延滯的原則，且縮短路段平均旅行時間。再者因其幹、支道流量差異非常懸殊，其比例約在 18:1~40:1 之間，支道車輛觸發門檻機率小，不易切換燈號於支道使用，因此，當半觸動號誌設置於此路口時，對於路口的改善得以獲得極高的效益。

表 5.2-6 東山路-民德橋口半觸動設置前後績效比較表

		東山路-民德橋口		
		半觸動號誌設置前	半觸動號誌設置後	改善幅度
平日 昏峰	方向 1 平均延滯時間(秒/車)	5.25	0.98	81.33%
	方向 2 平均延滯時間(秒/車)	24	23.79	0.88%
	方向 3 平均延滯時間(秒/車)	4.93	1.52	69.17%
	路口平均延滯(秒/車)	11.39	8.77	23%
假日 昏峰	方向 1 平均延滯時間(秒/車)	7.30	0.99	86.44%
	方向 2 平均延滯時間(秒/車)	32.14	24.38	24.14%
	方向 3 平均延滯時間(秒/車)	6.29	0.90	85.69%
	路口平均延滯(秒/車)	15.25	8.75	42.6%

5.2.3 小結

本研究為改善幹、支道流量差異懸殊及支道不穩定之路口，經文獻資料回顧後，選用半觸動號誌控制策略企圖改善此交通問題。根據第四章模擬在不同 V/C 值下的不同幹、支道流量比的結果得知，當 V/C 值為 0.5 以上時，幹、支道流量比差異縮小到 10:2 後，其幹道平均延滯時間會增加而支道平均延滯時間會減少；當 V/C 值為 0.4 時，幹、支道流量比差異縮小時，路口平均延滯會呈遞增情況。因此，在本節實地驗證中，選用台中市忠明路-忠義街口及東山路二段-民德橋口，針對其不同的 V/C 值和幹、支道流量的差異做為實作比較路口。

歸納上一小節半觸動號誌控制路口實作績效後，得知忠明路-忠義街口在設置後的幹道部分績效分別降低了 4% 和 26%，在支道的績效反而提升了 36%。推斷可能原因是實施半觸動號誌控制後，路口號誌的不連鎖及上下游街廓的道路長度太短，導致車輛由上游或下游到達此路口後，無法續進通過路口，必須停等於此路口，造成幹道車輛平均延滯的增加，而支道的車輛則在半觸動號誌的控制下，每當停等車輛數或是車輛停等時間達到設定門檻時，則獲得放行，使得支道平均延滯時間反而有所改善。因此，

雖然此路口其幹、支道流量比為 8:1，V/C 值為 0.7，在模擬的結果中應該要能有所改善幹道的平均延滯，但是因為其設置地點位於市區，其路口距離上下游過近，而必須考慮路口的連鎖問題，在幹道綠燈時間的設置上必須配合上下游路口綠燈時間，不能夠設置常綠。因此導致其幹道平均延滯反而因為設置半觸動號誌控制而變差。

在東山路-民德橋口，其路口位於郊區，距離上下游路口有一段距離，不受上下游路口號誌影響，因此經由半觸動號誌控制設置後，在維持幹道常綠的情況下，能持續的疏解幹道車輛，待支道車輛觸動控制門檻後，方讓予支道綠燈通行權，因此不會發生當支道綠燈時卻無車輛通過，造成支道有效綠燈時間的浪費。

透過實作後發現，在平日昏峰時段，幹道的平均延滯分別改善了 81.33%和 69.17%，支道的平均延滯則和原先設置的定時號誌相差不遠，總體而言路口績效改善 23%，其幹、支道流量比例分別約為 27:1 和 37:1，而 V/C 值則約為 0.2 左右，由第四章模擬結果得知，當 V/C 值小於 0.4 時，路口平均延滯隨著幹、支道流量比差異縮小會增加，此路口幹、支道流量比相較於模擬時的 10:1 比例差距更大，因此在設置後其幹道的平均延滯績效均能有效改善，而支道部分也因為車輛數量少，因此在平均延滯部分並沒有比原先的定時號誌增加。

在假日昏峰時段，幹道的平均延滯分別改善了 86.44%和 85.69%，支道的平均延滯改善了 24.14%，總體而言路口績效改善 42.6%。18:1 和 38:1，V/C 值則為 0.2~0.4 之間，同樣的，雖然其 V/C 值較低，但是其幹、支道流量差異大，因此其幹道平均延滯得以獲得有效改善，而支道平均延滯績效亦比原定時號誌優，路口整體而言獲得正面的改善。

第六章 結論與建議

6.1 結論

透過以上各章節研究結果，可獲得以下結論，茲分述如下：

1. 本研究為解決幹支道流量差異大且支道不穩定流量的獨立路口，經由文獻回顧，在目前較為廣泛應用的號誌控制策略中，分析定時號誌、動態查表、動態計算、半觸動號誌、全觸動號誌及適應性號誌的各項優缺點後，決定以半觸動號誌控制策略解決此問題。
2. 由文獻回顧中知道半觸動號誌控制路口，須輔助使用偵測器以收集相關交通資訊，因此在選擇適當的偵測器和位置時，便需考量各種需求。本研究在考量偵測器不破壞路面、不妨礙交通及不受台灣多變氣候的影響下選擇影像式偵測器。而在架設位置的考量上，因為本研究需收集支道上的停等車輛數和停等時間，因此架設位置需能偵測由支道停止線往後的車輛運行狀況，所以選擇將偵測器架設於號誌桿上，由上往下俯瞰車道。
3. 在以往相關的半觸動號誌研究中，因大部份的套裝軟體無法針對半觸動所需的交通參數(如本研究中所提車輛停等時間和車輛停等數量等)進行設定，因此在進行相關研究時，必須配合自行撰寫的模擬程式，進行模擬，而大部分的文獻都只進行到程式的模擬結果績效比較，本研究將模擬後的結果再應用到台中市路口進行實地驗證，藉由半觸動號誌的設置，驗證是否能改善於原定時號誌所無法克服的交通問題。
4. 本研究中所提之半觸動號誌控制邏輯和以往最大的差異在於，舊的半觸動號誌控制邏輯在判斷開放支道綠燈的門檻僅依據幹道綠燈是否經過最小綠燈時間做為判斷準則，本研究則是不但以幹道最小綠燈做為判斷依據，且必須同時達到支道最大停等紅燈時間或是支道紅燈最大停等車輛數的其中一項門檻方能獲得支道通行權利，在門檻的判斷上較為嚴謹，且能給予幹道更長的綠燈時間疏解車流量。
5. 由模擬的結果得知，在幹道 V/C 值 0.4~0.8 之間，當幹、支道的流量差異越大時，半觸動號誌的績效越好，而當幹、支道比例差異縮小後，對於支道的平均延滯改善會越佳，相對幹道的平均延滯績效即會受影響而變差，本研究結果得出當幹、支道流量比在 10:2 和 10:3 時，路口的平均延滯會呈現遞增現象，因此，在此範圍下不適用於半觸動號誌控制策略。而當幹道 V/C 值為 0.4 時，在本研究中模擬的五種幹、支道流量比下，其路口平均延滯依據幹、支道比差距的增大呈現遞增的情況，因此可判定半觸動號誌如設置在幹道 V/C 值為 0.4 之路口，其幹、支道流量比例差

距越懸殊其改善效果越佳。

6. 當幹、支道比例差異變小時，在幹道流量不變，而支道流量增加的情況下，半觸動號誌控制基於支道的停等數量和停等時間的門檻值，每當支道車輛達到通行標準即可獲得放行，而增加越多的支道車輛，代表可獲得的綠燈時間相對增加，因此便壓縮到幹道的常綠時間，使得幹道車輛的平均延滯增加，當幹道平均延滯增加的幅度大於支道所減少的平均延滯幅度時，半觸動號誌在控制路口的績效上就會明顯變差，甚至不如定時號誌控制，本研究模擬結果得出當幹、支道比為 10:1 時，對於所模擬的 V/C 值(0.8~0.4)範圍下之路口，相對於其他的幹、支道比例，其改善績效均為最佳，因此可判斷當幹、支道比例差距越大時，路口平均延滯改善績效越佳。
7. 本研究針對所模擬結果，為驗證在不同 V/C 值下的半觸動控制情況，分別選定在台中市郊區道路(V/C 值約 0.2~0.4)和市區道路(V/C 值約 0.7)設置半觸動號誌控制，藉由在不同的交通環境下實際運用所建構之控制邏輯，根據實地實作的結果顯示，發現半觸動號誌控制雖然適用於在 V/C=0.7 且幹支道流量差異懸殊的路口，但假如設置地點在上下游街廓距離較短的道路上，反而會因為號誌的不連鎖，增加平均延滯時間，而比原來的定時號誌控制策略的績效差，如同本次實作的市區道路路口其績效相對於原本的定時號誌其幹道的平均延滯分別增加 2.57%和 20.43%；而當半觸動號誌在 V/C 值為 0.4 時，隨著幹、支道流量比例差異的縮小，會增加平均延滯時間，在本次實作的郊區道路其幹、支道比例差異相當懸殊約為 28:1~40:1 之間，其 V/C 值小於 0.4，實作結果發現，其績效相較於定時號誌要改善許多，在路口平均延滯績效上改善了 23%~42.6%。
8. 在市區和郊區進行半觸動號誌控制實作，由結果顯示，在市區的績效並沒有因為幹道常綠，而幫助幹道車輛的平均延滯獲得改善，反而因幹道不連鎖造成幹道車輛溢流至上游路口，因此導致幹道平均延滯時間增加，支道平均延滯時間反而減少的現象；在郊區道路的績效上，因為幹道常綠，且上下游路口差距大，幹支道車流量差異懸殊，在這些條件下，在實作半觸動號誌控制時，能符合原先的期待，減少幹道車輛的延滯，使車輛能迅速且安全的通過路口，而支道在稍微增加平均延滯的情況下也得以安全通過路口。

6.2 建議

1. 本研究僅針對獨立路口進行模擬，因此當應用在市區道路的連鎖路口時，會造成號誌不連鎖而發現車輛溢流、擁擠等現象，未來如加入連鎖路口的概念，以群組的方式進行半觸動號誌控制，將

其應用在市區道路上，相信能更加有效的改善交通。

2. 本研究僅針對在不同 V/C 值下，對不同的交通流量比例做模擬，未來可視需求針對在不同的支道最小綠燈下，支道紅燈時可容忍之停等數量上進行模擬研究，藉由加入不同的條件，以求反應越趨真實的交通現況。
3. 本研究在設定支道綠燈通行權的兩項門檻-車輛停等時間及車輛停等數量時為一固定值，未來可針對在不同交通情況下（如 V/C 值、幹支道流量比例等）改變其值，以求反應更為真實之車流情況。
4. 本研究在模擬定時號誌時，所採用的時制計畫為固定的週期和時比，未來應可先最佳化在不同的 V/C 值下的週期和時比，再和半觸動的模擬結果進行比較，如此應能更加明確的了解經由半觸動號誌控制後的路口其改善程度的優劣。



參考文獻

中文文獻

- [1] 交通部運輸研究所(1986a)，交通號誌規劃手冊。
- [2] 交通部運輸研究所(1986b)，交通管制設施規劃與設計手冊-交通號誌篇。
- [3] 陳建德(1989)，獨立路口交通號誌控制方式之模擬研究，國立成功大學交通管理(科學)研究所碩士論文。
- [4] 蔡輝昇(1990)，交通控制理論與實務，生合成出版社。
- [5] 陸立德(1990)，適應性號誌控制策略運用於幹道連鎖之研究，國立成功大學交通管理(科學)研究所碩士論文。
- [6] 曹壽民、林良泰、朱松偉(1991)，適應性號誌控制邏輯之微觀分析，中華民國運輸學會第六屆論文研討會。
- [7] 交通部運輸研究所(1991)，台灣地區公路容量手冊。
- [8] 龍天立、林良泰、朱松偉、劉孟翰、廖惠美(1992)，發展適用於台灣都市幹道系統之適應性號誌控制邏輯，中華民國運輸學會第七屆論文研討會。
- [9] 黃泰林(1993)，構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究，國立成功大學交通管理科學研究所博士論文。
- [10] 郭志文（1998），應用動態彩色影像辨識技術於即時交通參數蒐集之研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- [11] 道路交通標誌標線號誌設置規則(1998)，內政部、交通部審定，國立教育資料館編印，民國 87 年 9 月。
- [12] 何志宏(2001)，台灣地區先進交通管理系統中都市號誌控制邏輯標準化與標準作業程序之研究-定時式/動態式控制邏輯標準化，交通部運輸研究所。
- [13] 交通部運輸研究所(2001)，2001 年台灣地區公路容量手冊。
- [14] 吳悅慈(2002)，都會區內高速公路走廊交通疏導改道策略之構建與模擬研究—以圓山與台北交流道間之高速公路走廊為例，國立成功大學交通管理研究所碩士論文。
- [15] 徐國鈞(2002)，構建自學式適應性交通號誌控制模式之研究，國立成功大學交通管理研究所博士論文。
- [16] 張菀倫(2003)，號誌化獨立路口動態計算控制策略之研究，國立中央大學土木工程研究所交通組碩士論文。
- [17] 林豐博、曾平毅、林國顯、蘇振維、鄭嘉盈、張舜淵(2004)，臺灣地區多車道郊區公路容量及特性研究(二)，交通部運輸研究所委託研究。
- [18] 張堂賢，張智華（2004），應用智慧型號誌控制器執行適應性交通控制之研究，運輸計劃季刊，第 33 卷第一期，頁 203~226。
- [19] 中華民國交通部（2004），交通工程手冊。

- [20] 鄭元正(2004)依據路口壅塞偵測的機動式交通號誌控制系統之研究，國立東華大學電機工程學研究所碩士論文。
- [21] 蔡宜勳 (2005)，車輛偵測器佈設路口選擇之研究，國立臺灣大學土木工程研究所交通組碩士論文。
- [22] 朱小玲(2005)，交控任務邏輯及績效評估之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [23] 交通部運輸研究所(2006)，都市交通號誌全動態控制邏輯模式之研究(III)-幹道路口實例研究。
- [24] 黃智建(2007)，車輛偵測器不完整資訊推估旅行時間之研究，逢甲大學運輸科技與管理研究所碩士論文。
- [25] 陳彥政(2008)，影像式偵測器於路口交通參數之擷取研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [26] 岳中鼎(2009)，觸動式號誌時制之研究-以新竹市台 15 線、東大路口為例，中華大學運輸科技與物流管理學系碩士論文。
- [27] 林良泰、謝長明、古新全(2010)，高飽和下之續進路口數最大化模式研究，中國土木水利工程學刊，第 22 卷第三期，頁 319~331。
- [28] 林良泰、陳乃萁(2010)，K-means 集群分析法應用於號誌定時時制時段劃分之研究，運輸學刊，第 22 卷第三期，頁 347~368。
- [29] 中華技術電子書，財團法人中華顧問工程司，<http://www.ceci.org.tw>

英文文獻

- [30] Lewis, C.D.(1982), Industrial and Business Forecasting Method, ButterworthScientific, pp.38-41
- [31] Gartner, N. H (1983), "OPAC: A Demand-Responsive Strategy for Traffic Signal Control," Transportation Research Record 906 TRB, pp.75-81
- [32] Traffic control systems handbook (1985), Federal Highway Administration,institute of Transportation Engineers.
- [33] Vincent, R. A., and Young, J. R (1986), "Self-Optimising Traffic Signal Control Using Microprocessors – The TRRL MOVA Strategy for Isolated Intersections," Traffic Engineering and Control, Vol. 27, No. 7, pp. 385-387
- [34] Chen, H, Cohen, S. L., Gartner, N. H., and Liu, C. C. (1987), "Simulation Study of OPAC: A Demand-Responsive Strategy for Traffic Signal Control," Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. 233-249.
- [35] Lin, F. B. (1988), "A Comparative Analysis of Two Logics for Adaptive Control of Isolated Intersections," presented at the 67th Annual Meeting of transportation Research Board, Washington, D.C..
- [36] M. Yoshida (1993). Optical Vehicle Detector for Traffic Control, Proceeding , IEEE.
- [37] Stephen,C.L. & Joe,L. (1996). Consideration of 24-hr Volumes In Selection Of Traffic Signal Control Strategies For Isolated Intersections.

- Transportation Research Record, 1553 , 18-27.
- [38] Highway Capacity Manual Report 209(1998), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC
- [39] EIS Electronic Integrated Systems Inc. Scientific American Newsletters , “Advanced Traffic Detection”, 2000
- [40] Chung-Yee Lee (2001), “Stop Probability and Delay Estimations at Low Volumes for Semi-Actuated Traffic Signals,” Transportation Science, Vol. 25, No. 1, pp.65-82
- [41] Mirchandani, P. and Head, L. (2001), “A Real-time Traffic Signal Control System: Architecture, Algorithms, and Analysis,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 9, No. 6, pp. 415-432.
- [42] Li, H. and Prevedouros, P. D. (2002), “Detailed Observation of Saturation Headways and Start-up Lost Times”, Transportation Research Record 1802, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 44-53.
- [43] Hong, Li. And Panos, D. P. (2004), “Traffic Adaptive Control for Oversaturated Isolated Intersections: Model Development and Simulation Testing,” Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, No. 5 pp. 594-601
- [44] FHWA(Federal Highway Administration)(2005), Traffic Control Systems Handbook, institute of Transportation Engineers.
- [45] Robert L. Gordon, P.E., Warren Tighe, P.E. (2005). Traffic control system handbook, Federal Highway Administration.
- [46] Lee, J., Abdulhai, B., Shalaby, A. and Chung, E. H. (2005), “Real-Time Optimization for Adaptive Traffic Signal Control Using Genetic Algorithms,” Journal of Emerging Technologies, Vol.9 No.6, pp.415-432
- [47] Tung, L.-W. (2006). Automated Measurement of Approach Delay at Signalized Intersections – a Vehicle-Event Based Approach, Thesis, National Institute of Advanced Transportation Technology, University of Idaho, USA.
- [48] Maria de Lurdes Simões, Paula Milheiro-Oliveira², and Américo Pires da Costa(2010). Modeling and Simulation of Traffic Movements at Semi-actuated Signalized Intersections. Journal Of Transportation Engineering, pp.554-564
- [49] Peihua Liu, Quan Yu, Jian Rong, Xiaoming Liu, and Jinguang Liu (2010), “ Semi- Actuated Signal Algorithm Study for Two- Phase Signalized Intersections,” Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals, pp. 2086-2097