

# 國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

為提供先進旅行者資訊下之偵測器最佳佈設位置研究

**The optimization of detector deployment locations for ATIS  
information**

研究生：莊忠儒

指導教授：王晉元

中華民國九十四年六月

為提供先進旅行者資訊下之偵測器最佳佈設位置研究

The optimization of detector deployment locations for ATIS information

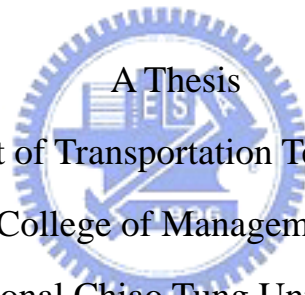
研 究 生：莊忠儒

Student：Chung Ju Chuang

指導教授：王晉元

Advisor：Jin-Yuan Wang

國立交通大學  
運輸科技與管理學系  
碩士論文



A Thesis

Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Transportation Technology and Management

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

# 為提供先進旅行者資訊下之偵測器最佳佈設位置研究

學生：莊忠儒

指導教授：王晉元

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

## 摘 要

為提供用路人精確資訊以提供旅行決策參考，先進用路人資訊系統(Advanced Traveler Information Systems, ATIS)需要許多種類之資料來彙整而成為資訊。其中，「車流量」為重要項目之一。路段車流量之資料需要透過偵測器來收集，但要在所有的路段都設立偵測器會花費過多成本。

為減少偵測器佈設，本研究以省道等一般道路為研究對象，利用流量守恒、路口轉向比之關係來得到偵測器之路口佈設模組，並對位置作些微調整後，得到路網中之偵測器之佈設位置。接著從流量推算模式各式之關係，來推算得到移除偵測器之原則。透過這些原則配合，在預算限制之下移除偵測器後，同時利用流量估算模式來推算與原路網流量之比率，藉以評估推算效率。

本研究以新竹市路網為測試對象，透過模擬之方式得到測試路網資料。測試的結果顯示，本研究所提出之方法，對於有限偵測器數量下推估車流量有一定之效率與正確性。

**關鍵字：**偵測器；佈設位置；車流量

Student : Chung Ju Chuang

Advisor : Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

## **Abstract**

In recent years as Intelligent Transportation Systems (ITS) develop further, the demand for traffic information increases as well. Among the subsystems of ITS, Advanced Transportation Information System (ATIS) demands “Traffic Flow” much, for it can be applied in many ways for a better supporting of decision making.

Vehicle detectors (VD) in the intersections are responsible for collecting the data of “Traffic Flow”, and thus, the easiest way to obtain that is to install numerous VDs in every intersection - but this may cost too much to be possible in practical. Therefore, with limited budget, we have to choose proper deployment locations of VDs to utilize them more efficiently.

This research proposes a method to optimize the deployment locations of VDs through flow reservation equations and fixed turning rates. After that, deployed VDs are removed gradually in several removal methods to meet the limitation of budget. Meanwhile, a traffic flow-estimating algorithm is used for testing the efficiency of each VD removal method.

The testing results show that the proposed method helps improve the accuracy and efficiency under limited number of VDs.

**Keyword:** Vehicle Detector, deployment locations, traffic flow

## 誌 謝

兩年的時光，能順利匯聚成今日的論文成果，首先要感謝的是指導教授 王晉元老師，帶領著學生從懵懂無知到有能力一窺浩瀚學術領域之展貌。在研究與課業外，老師也都以身教、言教給予學生許多指導與生活上的幫助，使得學生在待人處事上能更進一步。感謝溢於字句，筆墨難以表達，僅此致上最深的敬意與謝意。

感謝中華大學運輸科技與物流管理學系 蘇昭銘老師與交大運管系 卓訓榮老師，最後在論文口試時惠賜意見不吝指正，使本論文更臻完備；感謝交大運管系 林貴璽老師、運輸研究所 吳東凌學長於論文籌備期間的幫助，有了學長們的幫忙，論文才能順利完成。

感謝實驗室學長大師兄、小松、嘉龍、猴子、欣潔、治維、阿信、建名，同學彥佑、怡君在學習期間的諸多討論與幫忙，學弟妹威豪、瑞豐、信翔、思文、嘉英、至浩、韻佳在研究所生活的協助與陪伴，能與大家這群可愛的夥伴們相處，是非常快樂的回憶。

感謝惠珍姐、嘉凌姐、淑卿姐、歡鵲老大與家教媽媽們在生活上的鼓勵與照顧，感謝我的家教學生們，從你們身上得到的啟發與回饋，總能讓我打起精神走得更遠。

感謝我的家人們，不計較在外求學階段很少的回家次數與缺席的家庭活動，每次與你們接觸，都使我發自內心溫暖起來。特別感謝爺爺提供了一個完美的人格典範。如果我有任何好的德行，都是因為您的培育與教誨。

在交大的六年隨著論文結束將告一段落，感覺不捨又興奮。學術是聚沙成塔的龐大世界，希望這篇論文的小沙子能為日後的研究或實作提供任何些微幫助。

論文能順利完成，要感謝的人太多太多，僅以此文獻給大家。

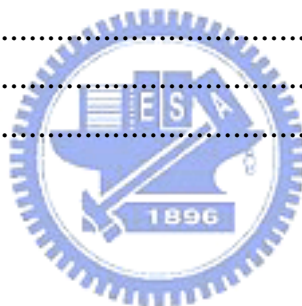
莊忠儒

新竹交大  
2005/07/07

# 目 錄

	頁次
中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
誌 謝 .....	iii
目 錄 .....	iv
表 目 錄 .....	vi
圖 目 錄 .....	vii
一、緒論 .....	1
1.1 研究動機與背景 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
1.3 研究範圍 .....	1
1.4 研究流程 .....	2
二、文獻回顧 .....	4
2.1 偵測器設置原則 .....	4
2.2 偵測器設置地點 .....	5
2.3 偵測器資料推估道路交通流量 .....	7
2.4 小結 .....	8
三、偵測器佈設模式之構建 .....	9
3.1 模式理論基礎 .....	9
3.1.1 流量守恆定律 .....	9
3.1.2 路段轉向比之關係 .....	10
3.1.3 模式基本假設 .....	11
3.2 建立路口標準模組 .....	11
3.3 模式應用實例說明 .....	14
3.4 模式流程整理 .....	20
四、實例測試 .....	22
4.1 測試路網資料 .....	22
4.2 選取起始路口 .....	22
4.3 各起始點測試結果 .....	23
4.3.1 起始點 1 之測試結果 .....	24
4.3.2 起始點 2 之測試結果 .....	24
4.3.3 起始點 3 之測試結果 .....	25
4.3.4 起始點 4 之測試結果 .....	25
4.3.5 起始點 5 之測試結果 .....	26
4.3.6 起始點 6 之測試結果 .....	26
4.3.7 起始點 7 之測試結果 .....	27

4.3.8 起始點 8 之測試結果.....	27
4.3.9 起始點 9 之測試結果.....	28
4.3.10 起始點 10 之測試結果.....	28
4.3.11 起始點 11 測試結果.....	29
4.3.12 起始點 12 測試結果.....	29
4.3.13 起始點 13 測試結果.....	30
4.3.14 小結.....	30
4.4 加入偵測器之數量限制 .....	31
4.4.1 預設路網流量及轉向比.....	32
4.4.2 未佈設偵測器之路段流量推估法 .....	32
4.4.3 偵測器拿取法.....	35
4.4.4 測試過程.....	36
4.4.5 測試方法.....	37
4.4.6 測試結果.....	37
五、結論與建議 .....	44
5.1 結論.....	44
5.2 建議.....	44
參考文獻 .....	45
簡 歷 .....	47



## 表目錄

	頁次
表 1 偵測器不同佈設位置比較圖 .....	5
表 2 預設小路網各運算階段之偵測器數量 .....	19
表 3 測試資料結果 .....	31
表 4 預設路網之流量與轉向比 .....	34
表 5 第 1 種偵測器拿取法推估後之運算結果 .....	38
表 6 第 2 種偵測器拿取法推估後之運算結果 .....	39
表 7 第 3 種偵測器拿取法推估後之運算結果 .....	40
表 8 第 4 種偵測器拿取法推估後之運算結果 .....	41
表 9 相異拿取方式之估算比率比較表 .....	42





## 圖目錄

	頁次
圖 1 研究流程圖 .....	3
圖 2 偵測器於路口模擬擺放之位置圖 .....	7
圖 3 單位十字路口偵測器示意圖 .....	9
圖 4 路口轉向比構成流量示意圖 .....	10
圖 5 十字路口最佳佈設模組一 .....	12
圖 6 十字路口最佳佈設模組二 .....	12
圖 7 十字路口最佳佈設模組三 .....	13
圖 8 路網邊緣示意圖 1.....	14
圖 9 路網邊緣示意圖 2.....	14
圖 10 預設小路網圖 .....	15
圖 11 預設小路網擺放佈設模組圖 1.....	15
圖 12 預設小路網擺放佈設模組圖 2.....	16
圖 13 預設小路網擺放佈設模組圖 3.....	16
圖 14 預設小路網擺放佈設模組圖 4.....	17
圖 15 預設小路網邊緣微調示意圖 1.....	17
圖 16 預設小路網邊緣微調示意圖 2.....	18
圖 17 預設小路網邊緣微調示意圖 3.....	18
圖 18 預設小路網邊緣微調示意圖 4.....	19
圖 19 預設小路網各運算階段之偵測器數量 .....	20
圖 20 路網佈設路口標準模組 .....	21
圖 21 新竹市路網選取起始路口圖 .....	22
圖 22 起始偵測器數量比較圖 .....	23
圖 23 起始點 1 運算過程偵測器數量比較圖 .....	24
圖 24 起始點 2 運算過程偵測器數量比較圖 .....	24
圖 25 起始點 3 運算過程偵測器數量比較圖 .....	25
圖 26 起始點 4 運算過程偵測器數量比較圖 .....	25
圖 27 起始點 5 運算過程偵測器數量比較圖 .....	26
圖 28 起始點 6 運算過程偵測器數量比較圖 .....	26
圖 29 起始點 7 運算過程偵測器數量比較圖 .....	27
圖 30 起始點 8 運算過程偵測器數量比較圖 .....	27
圖 31 起始點 9 運算過程偵測器數量比較圖 .....	28
圖 32 起始點 10 運算過程偵測器數量比較圖 .....	28
圖 33 起始點 11 運算過程偵測器數量比較圖 .....	29
圖 34 起始點 12 運算過程偵測器數量比較圖 .....	29
圖 35 起始點 13 運算過程偵測器數量比較圖 .....	30

圖 36 路網流量推估示意圖 .....	33
圖 37 相異拿取方式之估算比率比較圖 .....	43



# 一、緒論

## 1.1 研究動機與背景

隨著時代演進，人們對於交通運輸課題的處理亦逐漸朝向智慧化的方向進行。而智慧型運輸系統（Intelligent Transportation System, ITS）即為透過即時之資訊、通信、偵測、自動控制等新技術所架構之嶄新、完整以及便利的運輸系統。

先進旅行者資訊系統（Advanced Traveler Information System, ATIS）為 ITS 之子系統，能夠透過各種多樣的資訊，提供用路人各項交通資訊，便利使用者在運輸方面的利用。例如「旅行時間預估」，能夠讓旅行者精準掌握車輛動態、協助旅行者快速擬定旅次之規劃、避免其因資訊不足所產生之焦慮與壓力。此外像是「旅客服務資訊」、「旅行中駕駛資訊」、「行前旅行資訊」、「停車資訊」等等服務，也都包含在 ATIS 的服務單元內。

ITS 中各服務單元主要都是靠著來自各地方、各種面向的資訊，經過處理之後，才能得以建構完成。而於 ATIS 中，「交通量」之資訊（Traffic Flow）尤其重要。此項資料能夠應用於預估旅行時間、道路流量控制、闢道儀控等等決策參考，或是行前資訊、用路人資訊等等。

若想獲得道路上交通量的資料，通常都要在所量測的道路上鋪設車輛偵測器，例如感應線圈，以取得車流量、佔有率等資訊。想要知道各路段最精確的流量資料，最簡單的方法就是在所有的路口安裝偵測器——但這樣的方法要花費太多成本，實際上不太可行。因此，本研究考慮在有限的預算下，如何選擇需擺放車輛偵測器(Vehicle detector, VD)的路段。爾後再從這些偵測器來推估其他未擺放 VD 之路段的車流量，並估計所推估資料之誤差程度，供決策參考。

## 1.2 研究目的

本研究建立一種「以規則為基準之車輛偵測器擺放方法」，決定道路上該選擇哪些路段來擺放車輛偵測器，在「獲得完整車流資訊」的條件基礎之上，透過反覆運算，將偵測器的數量達到最小。並將此模式應用在真實路網，以測試模式是否正確合理。接著加入經費之限制，將車輛偵測器的數量限定在經費可以負擔的程度內，再利用經費限制下佈設好的偵測器來估計流量，並計算出估計資料與真實資料準確度之誤差以供決策參考。

## 1.3 研究範圍

偵測器有許多種類，本研究主要著重在目前最常使用的感應線圈作為擺放單位。透過感應線圈可獲得許多資料，例如車速、車輛長度、交通量等等。其中，本研究著重於偵測器之「交通量」，並以推估交通量的準確程度，作為選擇路段

擺放偵測器的主要考量。本研究模式在爾後的推估作業中，皆假設「各路段的轉向比皆為已知」，以簡化計算之繁複。所推估出之最佳佈設位置，指的是偵測器應擺放在路口中的哪些路段，而非路段中之位置。此研究模式可應用於一般類型之道路，研究範圍亦不包括 OD 起訖之問題。

## 1.4 研究流程

本研究流程如圖 1，區分為數個工作項目，分別解說如下：

### 確認研究問題

將此研究問題作明確之界定，包括研究目的、範圍以及方法。

### 相關文獻回顧

依照問題性質以及分類，搜尋、回顧國內外相關之文獻，觀察分析其研究重點，建立本研究之基礎。

### 設立偵測器佈設原則模式

分析問題型態，設立本研究模式之規劃原則與流程。

### 實例測試與修正

利用新竹市路網環境，透過模擬資料之比對來測試所建立模式之正確性，並進行模式之修正。

### 分析結果

分析測試結果是否合理、流程有無邏輯上的錯誤。若不合理則須回上一步繼續修正模擬測試流程。

### 結論與建議

對本研究之過程與結果做出日後應用的結論與建議。



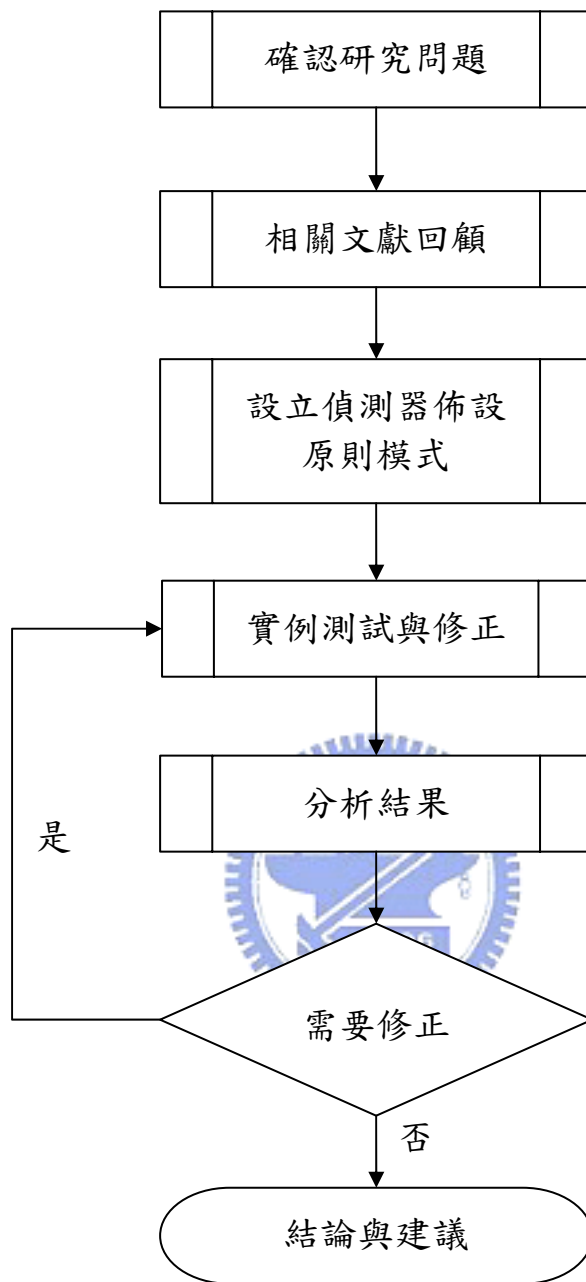


圖 1 研究流程圖

## 二、文獻回顧

本研究以最常用之環路線圈車輛偵測器為主，建立選擇車輛偵測器放置路段之模式，以推估整體路網之流量。因此，本章將針對車輛偵測器設置原則、設置地點，以及應用偵測器資料推算流量等相關文獻進行探討。回顧之文獻分三部分，首先 2.1 節介紹有關偵測器之設置原則、2.2 節討論偵測器設置地點、2.3 節則針對應用偵測器資料推估道路交通流量等相關文獻來探討。

### 2.1 偵測器設置原則

交通部運輸研究所(90)於「定時式、動態式控制邏輯標準化規劃報告」中提到，佈設偵測器之一般性原則，主要是以不影響線上時制計畫產生所需正確車流資訊之原則下，來選定偵測器之佈設數量及地點。其原則架構於此前提之上，適用於各種偵測器，主要分兩部分：

#### 1. 佈設路段之選取

佈設路段係指相鄰兩號誌化路口間之區域，且供同一方向之交通流所使用。在經費許可情形下，所有鄰近路段（Approaches）均應盡量地佈設，或至少應設置於具有代表性之路段，以求確實掌握車流通行之資訊；尤其對獨立路口之號誌運作與全動態號誌控制系統，最好全部的鄰近路段均予以設置。若需減少偵測器，則以不影響線上時制計畫正確性為最高考量。本項目之原則說明如下：

- (1) 優先選擇一天之內主要車流型態能夠代表整個系統者；或是交通需求十分頻繁，需要確實掌握住車流變化之路段。
- (2) 優先選擇尖峰流量出現最早的路段；出現越早表示車隊起始時間越早，設計之時制才能使這些車流順利通過。
- (3) 選擇具有臨界路口控制功能者。（臨界路口之定義為所有號誌化路口當中，擁有最大飽和度之交叉路口。）因為臨界路口各臨近路段流量均大，且無明顯幹、支道分別，故應採用各臨近路段皆佈設偵測器的方式來處理。
- (4) 選擇流量最大的路段來設置：流量大的路段常為瓶頸點。
- (5) 選擇流量型態與上游路口不一致者：下游路口之路段流量無法從上游路口經由推論來獲得，故需另加以設置。當上游路口流量高，且轉向流量較大時，則須另行佈設偵測器於下游路口。
- (6) 選擇需要特殊時制功能者：例如實行公車／緊急車輛優先控制策略的路段。

#### 2. 道路橫向設置位置之選取

此指路段上各車道是否設置偵測器之決策，其判斷準則如下：

- (1) 偵測器應設置於臨界車道上。



(2) 若無臨界車道群者，應該設置於每個車道。

蕭偉政(77)，於「多車種車輛偵測器流量預測與專家系統應用於/動態電腦號誌系統之研究」也針對佈設偵測器之原則提出說明，概要說明如下：

1. 考慮所執行之控制策略，以不影響決策正確為基準之前提，來針對所需要考量的路口佈設偵測器。
2. 所考慮的路口是否為需以臨界交叉路口法來之控制路口？若是則需要佈設偵測器。
3. 具有主要流量型態及代表之路段，應佈設偵測器。
4. 相鄰兩路口之距離如果過近，應佈設偵測器。
5. 應避免相鄰兩路口間主要旅次產生點（避免佈設於出入口）。
6. 肇事事事件紀錄多之路口，應佈設偵測器。
7. 車流尖峰時段較其他路段早出現，能顯示高流量者，應佈設偵測器。

交通部運輸研究所(93)於「智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式設定(二)」中也提到，偵測器使用環境應優先選擇下列幾個原則：

1. 避免路段車輛進出干擾（考慮其土地使用特性）
2. 避免路旁遮蔽物的干擾（考慮其架設位置）
3. 選擇路肩較寬或是路旁有支架易架設
4. 可考慮尖、離峰流量差異大路段或是重要道路交會之路口前

## 2.2 偵測器設置地點

交通部運輸研究所(90)於「定時式、動態式控制邏輯標準化規劃報告」中提到，偵測器之佈設地點在路口之不同地點得到之資訊亦不相同，如下表 1 所示：

表 1 偵測器不同佈設位置比較圖

設置位置 比較項目	路口上游	路口下游	路口之上下游	路口之上下游與路段中間
基本資料 提供	1.到達時間	1.紓解時間	1.到達及紓解時間	1.到達及紓解時間
	2.車種	2.車種	2.車種	2.車種
	3.到達速率	3.離開速率	3.到達及離開速率	3.到達及離開速率
可產生之 資訊	1. 時段別車流量 2. 時相別車流量 3. 佔有率及飽和率 4. 路段等候車隊長	1. 時段別車流量 2. 時相別車流量 3. 佔有率及飽和率	1. 時段別車流量 2. 時相別車流量 3. 佔有率及飽和率 4. 路段等候車隊長	1. 時段別車流量 2. 時相別車流量 3. 佔有率及飽和率 4. 路段等候車隊長

資料來源：【19】

文中也對偵測器之擺設位置作出準則式的條例說明：

所設置之偵測器距離路口停止線之長度，隨著縱向設置距離之不同，也會影響車流資料正確掌握與否。其設置準則為：

- (1) 車輛偵測器的設置位置不要太靠近路段之上游或下游路口，因為路口附近常有車輛變換車道之行為，會使得流量及佔有率的量測產生偏差。因此偵測器之位置距離上游路口或下游路口一般均至少需有 61 至 76 公尺。
- (2) 盡量避免偵測器至路口間有車流干擾點存在，例：停車場、公車站牌、郵局、銀行等主要交通需求產生地點，此時應設置於車流干擾點之前，但至少應在路口停止線上游 15 公尺之外。
- (3) 盡量避免設置於人孔及不良鋪面之上方。
- (4) 應考慮到車行速率、等候車隊推估之正確程度，以避免產生較大之誤差。
- (5) 設置位置不宜距離路口控制器太遠，以求降低連接管線之施工成本。
- (6) 設置地點與路口之距離至少應大於該路段之最大等候線長度，否則偵測器常會被等候中之車隊所佔用，如此將導致流量、佔有率及速率等資料不易蒐集，且佔有率資料容易偏高。

黃琳桂(90)於「環路線圈車輛偵測器之最佳佈設方式研究」中，對環路線圈式之佈設方式進行檢討，討論以何種方式佈設、佈設在路段中之何處，能使環路線圈偵測器發揮最大的效用、準確辨識不同車種，並進行車輛計數等。其演算法則涉及車輛速率、佔有率與車輛長度等因子。此研究對現行環路線圈式車輛偵測器之演算原理、法則等作較佳化之調整，依調查案例路段的車流狀況，收集交通資料，考量到環路線圈的偵測特性，將資料轉換為可量化之機率值，如車輛之車道變換率與於路段中可能發生停等位置之機率等，進行統計檢定與數值分析，尋求最佳之線圈佈設位置。

期間考慮了單／雙線圈之佈設、線圈長度之組合來藉之獲得單一車輛進入與離開兩線圈間不同的時間差。

最後此研究建議，考量環路線圈於道路上的佈設位置時，可從兩個方面進行討論：若欲將交通資料運用於觸動式號誌或適應性號誌控制時，可在停止線附近佈設線圈，用以偵測車輛數、停等或起動時間；另外則建議將環路線圈設置於路段中，以取得車輛在行進中的車流資料，如流量、速率、佔有率與車輛長度等，而為了交通資料偵測的正確性，將偵測器置於車流之自由流區較為妥當。

Sungho(92)於「Optimal Detector Location for Estimating Link Travel Speed in Urban Arterial Roads」中，以車流模擬系統 CORSIM，藉由綠燈時間（green time）與路段長度（link length）來模擬求得最佳偵測器之佈設位置，其測試佈設偵測器擺放如下圖所示：



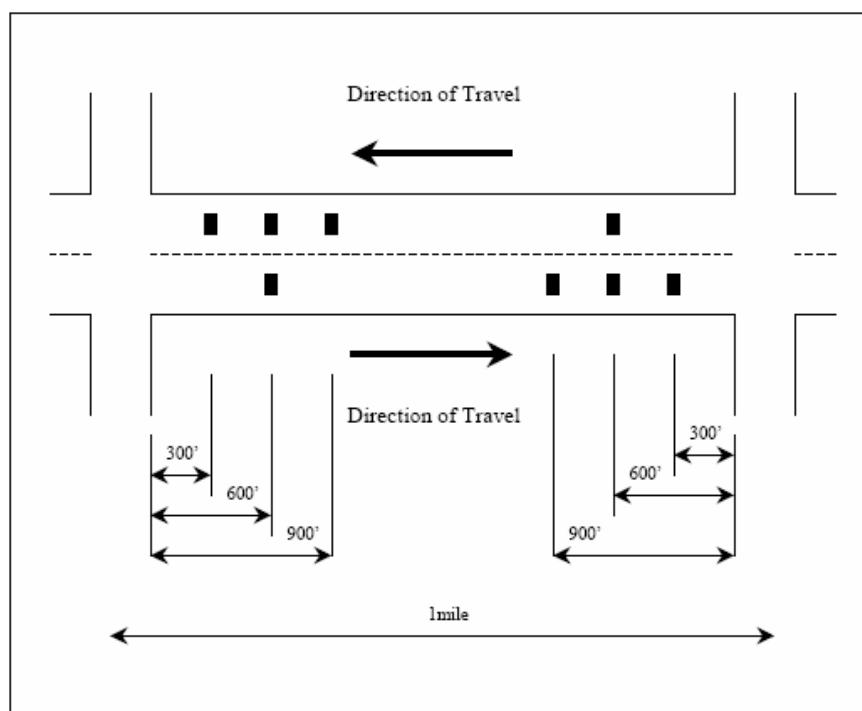


圖 2 偵測器於路口模擬擺放之位置圖

而 Gary(89)於「Simulation of Detector Locations on an Arterial Street Management System」中，以幹道系統之佈設偵測器為主，同樣是用 CORSIM 來模擬擺設位置，不同的是其透過單或雙偵測器不同擺放位置來互相校正，擺放位置可能一個位於路段上游、一個位於鄰近路口，透過兩組偵測器之資料，利用統計方法來分析數據相互修正，以獲得更準確之數值。

## 2.3 偵測器資料推估道路交通流量

Nihan(92)於「Can Single-Loop Detectors Do the Work of Dual-Loop Detectors?」中，以單一偵測器資料，來提供準確之速度與車輛種類偵測。此研究以長型車輛為主，透過長型車輛特有之時間間隔來區分長型與非長型車輛。接著量測非長型車輛之速度，最後利用所估計之車輛速度，藉由長型車輛之間隔來估計長型車之流量。

John(93)於「A Simple and Effective Method for Predicting Travel Times on Freeways」中，以過往歷史資料，混合偵測器現有之交通資料來計算目前之流量。此研究由數值觀察開始，得到結論為：未來旅行時間以及目前旅行時間存在著某種線性關係，而此線性之參數關係會根據每天不同的時間作改變。此研究以線性迴歸的計算方式與隨時間改變之各係數為基準，建構了一個預測方法。

Sherif(91)，於「Optimization of Dynamic Neural Networks Performance for Short-Term Traffic Prediction」中，以動態類神經網路之計算方式來預測短期車流。此計算方式將路網之輸入資料分為兩部分：最近歷史資料以及時間因素(time

factor)。歷史時間資料以偵測器過往之十分鐘為基準，配合時間因素來調整，以獲得目前短期之預測車流量。

Karl(85)於「Accurate estimation of travel times from single-loop detectors」中提出，單一線圈偵測器之資料只提供車流量而不直接測量車速。以往的方式都是透過假設車輛長度，然後利用車流量密度配合前述資料來計算車流量、速度等資料。此研究直接利用單一線圈之資料，透過隨機車流模式來計算車流量。

Seri(91)，於「Real Time Traffic Measurement from Single Loop Inductive Signatures」中，同樣以單一線圈量測車速為主題，不同的是此研究針對「車流群組」為主，計算車流群組通過時間來測量車速與車流量。利用車速之變數，可以做為車流穩定與否之指標，亦即，可以由此來推估目前的預測模式，用以預測車輛種類或車流量等資料。對於道路整修以及空氣污染亦可為指標。

Jones, Willie D(90)，於「Forecasting Traffic Flow」中利用現有偵測器之交通流量資料來預測交通情形，並且不只針對環路線圈，駕駛人車上的行動電話也能拿來當作偵測器之單位。此法可用以減少佈設環路線圈之成本，並能使偵測後的流量更加精確。

## 2.4 小結

從以上文獻回顧可以發現，國內外對於車輛偵測器之相關研究，主要都是針對下面兩點：

1. 偵測器之原則性位置擺放原則
2. 以所量測資料準確度為主之偵測器擺放位置

第一點是由路口號誌計畫為出發點來考量，或者是透過一般性的原則（例如人孔上不應擺放偵測器、肇事路段應擺放等等），來決定該不該擺放偵測器。

第二點則建構在「偵測器佈設位置已知」的條件上，亦即，此處路口已經決定要擺放偵測器，只是差別在於如何擺放能夠量測較為準確之偵測值。接著對於佈設位置所獲得之資料作微調，以獲得更佳準確度。

而偵測器資料之應用，以往學者多半都是利用其他資料來反推估流量（例如，歷史流量資料、手提電話等），或者利用所佈設位置所得之資料來作其他目的應用（例如，較長型車輛之壓佔時間間隔、隨機模式應用等等）。這些目的都是透過現有資料來作應用，而少有學者提到該「如何決定偵測器佈設地點」。

本研究則將重點擺在：考量佈設偵測器該不該擺放、應該擺放在哪些路段、如何擺放，以能達到整體流量資料正確度較高之目的，因此本研究不著重於偵測器位置之微調，只以偵測器所傳回之資料為準。並針對這樣的目的，發展一個以原則為基準之模式。

最後以在「路段資料均可獲得」之最少偵測器數量下，透過有限預算之限制，再拿取偵測器，並對於拿取偵測器後的資料誤差做估計值，以供決策參考。

### 三、偵測器佈設模式之構建

本章分為四個部分，首先敘述模式理論基礎之建立過程，再依照理論基礎來針對路口作分析，建立各種路口的「路口標準模組」，接著用預設之小路網來展示模組之應用過程，最後再整理過程而建立「路網佈設路口標準模組」之流程。

#### 3.1 模式理論基礎

要得到路網中的交通量，最簡單的方法就是在所有的路口中都放置車輛偵測器。如此一來就能得到每條道路的精確車流量。然而這樣的方法因為成本過高而近乎不可能。

於是本研究開始探討，是否能夠透過已架設車輛偵測器之路段流量資料，來推算其他路段的流量。

##### 3.1.1 流量守恆定律

刪減偵測器是可能的，因為路網中每個路口，都會遵守「流量守恆定律」，也就是流進的車流量會與流出的車流量相等。因此若以路口為單位，就能透過路口中既有的偵測器，來推算路口其他未放置偵測器路段的車流量。例如下圖中的路口中，箭頭代表車行方向，而 $X_1 \sim X_8$ 代表八個已佈設之偵測器：

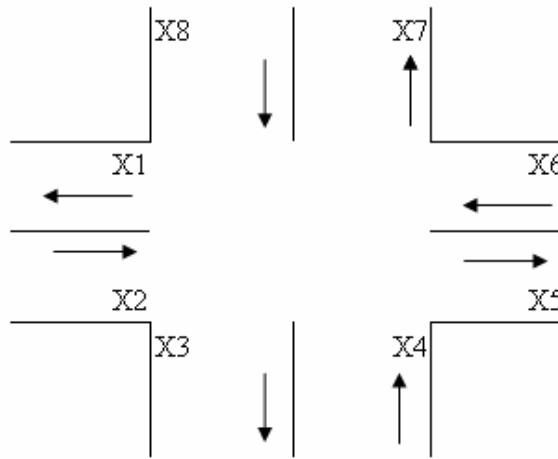


圖 3 單位十字路口偵測器示意圖

根據「流量守恆定律」，可推得如下式子：

$$X_1 + X_3 + X_5 + X_7 = X_2 + X_4 + X_6 + X_8 \quad (1)$$

根據式子 1，假設八個偵測器中缺少了一個（例如 $X_1$ ），那麼就能利用式子 1 來推算出來以下關係：

$$X_1 = X_2 + X_4 + X_6 - X_8 - X_3 - X_5 - X_7 \quad (2)$$

由於「流量守恆定律」的適用性，在所考慮的單位路口中，都可以應用來推

估其他的路段流量。

### 3.1.2 路段轉向比之關係

除流量守恆外，還能利用路段流量之間的轉向比來推算出路段流量之間更多的連帶關係。以圖 3 之路口為例，一個十字路口中每條車輛流出的路段，都是由路口中流進的路段配合轉向比所組成，如圖 4 所示：

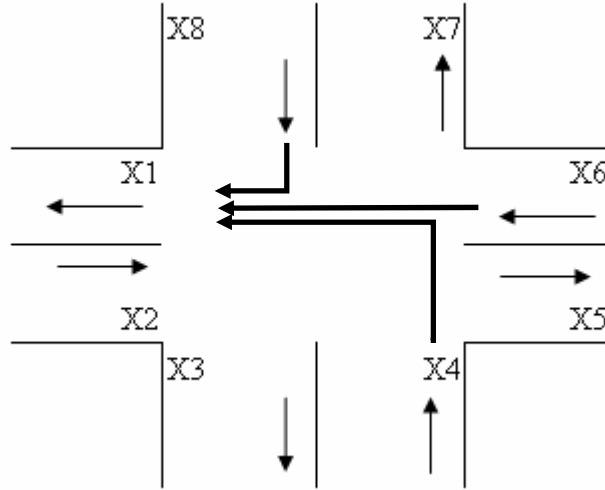


圖 4 路口轉向比構成流量示意圖

例如，偵測器X<sub>1</sub>是由X<sub>4</sub>的左轉車流、X<sub>6</sub>的直行車流、X<sub>8</sub>的右轉車流總和所得。根據此方式同理推算，假設T、L、R分別為轉向比中的直行、左轉、右轉，且轉向比之下標編號代表路段編號（註：同一路段的直行、左轉、右轉三個轉向比之總和為1），可得此路口中各流出路段與流入路段轉向比之關係式如下：

$$X_1 = X_8 R_8 + X_6 T_6 + X_4 L_4 \quad (3)$$

$$X_3 = X_2 R_2 + X_8 T_8 + X_6 L_6 \quad (4)$$

$$X_5 = X_4 R_4 + X_2 T_2 + X_8 L_8 \quad (5)$$

$$X_7 = X_6 R_6 + X_4 T_4 + X_2 L_2 \quad (6)$$

若由以上式子除去轉向比變數，則總共有八個流量變數X<sub>1~8</sub>，若假設流量已知，則表示在該路段上已佈設偵測器。由於式3~6共四項多項式，因此可求得四個未知數。若假設其中四個流量為已知，則根據四個多項式方程式，就可以從已知的流量與轉向比變數，來推算剩下的四個未知流量變數X之公式。

例如，假若選擇X<sub>1</sub>、X<sub>4</sub>、X<sub>5</sub>、X<sub>8</sub>為已知，則可求得X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub>之流量推算公式，其推導過程範例如下：

因為X<sub>1</sub>、X<sub>4</sub>、X<sub>5</sub>、X<sub>8</sub>為已知，因此首先選擇式子3~6中，包含已知變數最多的式子。例如式3中X<sub>1</sub>=X<sub>8</sub>R<sub>8</sub>+X<sub>6</sub>T<sub>6</sub>+X<sub>4</sub>L<sub>4</sub>與式5中X<sub>5</sub>=X<sub>4</sub>R<sub>4</sub>+X<sub>2</sub>T<sub>2</sub>+X<sub>8</sub>L<sub>8</sub>中，都只有一個流量變數未知，所以先選擇這兩種來推算，得到式子7、8：

$$\text{由式子 3 } X_6 = (X_1 - X_4 L_4 - X_8 R_8) / T_6 \quad (7)$$

$$\text{由式子 5 } X_2 = (X_5 - X_4 R_4 - X_8 L_8) / T_2 \quad (8)$$

如此一來， $X_2$ 、 $X_6$ 就能透過已知流量來推算，因此之後的式子若有這兩個變數，就能利用代換的方式來將其取代。

利用式子 7、8 取代式子 4 中的 $X_6$ 、 $X_2$ 之後，可得：

$$X_3 = (X_5 - X_4 R_4 - X_8 L_8) R_2 / T_2 + X_8 T_8 + (X_1 - X_4 L_4 - X_8 R_8) L_6 / T_6 \quad (9)$$

利用式子 7、8 取代式子 6 中的 $X_6$ 、 $X_2$ 之後，可得：

$$X_7 = (X_1 - X_4 L_4 - X_8 R_8) R_6 / T_6 + X_4 T_4 + (X_5 - X_4 R_4 - X_8 L_8) L_2 / T_2 \quad (10)$$

根據以上式子 7~10 可知， $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 在透過 $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_8$ 這四個偵測器資料與轉向比變數後，其路段流量就能夠根據 $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_8$ 這四個偵測器的流量來計算得到。也就是說，於此十字路口中，裝設 $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_8$ 這四個偵測器之後，假若能獲得轉向比變數資料，則 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 這四個路段的流量則可透過推算得之。

### 3.1.3 模式基本假設

在 3.1.1~3.1.2 小節中可看到，在應用流量守恆以及轉向比關係的基礎下，十字路口推算偵測器替換公式之過程。此推算方式亦可應用到其他不同類型的路口，例如三叉路口、十字路口、五叉路口等等。

而於最後推算出來的公式 7~10 中可以觀察到，轉向比的變數數量遠超過公式行數。若要假設轉向比未知，那麼在計算流量時，各變數的關係會變得非常複雜，而且各個路段都要擺設路口轉向流量偵測器，才能測得各路段轉向的比率。本研究中，為了降低在計算與推算流量時的複雜性，需假設路網中各個路段的轉向比均為已知。而在應用上，轉向比則需預先透過人為模擬或事先調查的方式來設定。

## 3.2 建立路口標準模組

以先前 3.1 小節中之假設來推算各種不同型態路口之流量推算公式，就能得到每個路口在能推算所有流量的情形下，所需要的最少數量偵測器以及其擺放位置。

以圖 3 之十字路口為例，經過先前之流量守恆與轉向比之關係運算之後，從最後推算出之式子 7~10 可得知：偵測器 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 能夠經由 $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_8$ 這四個偵測器來獲得流量資料。因此就得到此路口的第一種佈設方式，如下圖 5 所示：



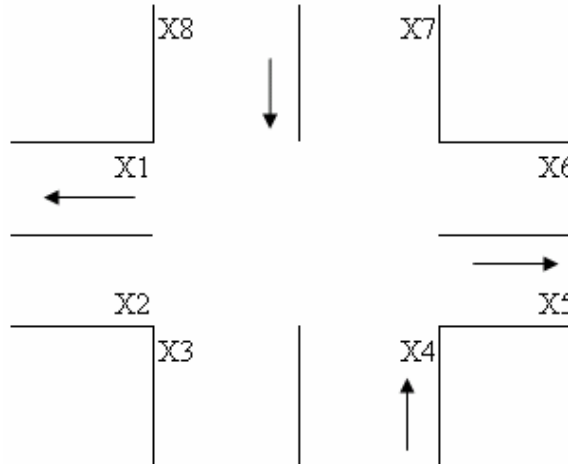


圖 5 十字路口最佳佈設模組一

從上圖可見，在轉向比已知的情況下， $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_8$ 的流量資料可以透過推算的方式來取代 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ ，因此只要放置此四偵測器，就能推得此路口之所有流量。

這樣的路口擺放方式，本研究中稱之為「路口標準模組」。在之後的實例應用，會以此路口之標準模組作為佈設於路網的基礎單元。

而繼續依照先前的推算方法，假設其他變數已知，就能得到其他不同的佈設基礎單元，如果再假設 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 已知，則其推算過程如下：

$$\text{由式子 4 } X_8 = (X_3 - X_2 R_2 - X_6 L_6) / T_8 \quad (11)$$

$$\text{由式子 6 } X_4 = (X_7 - X_2 L_2 - X_6 R_6) / T_4 \quad (12)$$

利用式子 11、12 取代式子 3 中的 $X_8$ 、 $X_4$ 之後，可得：

$$X_1 = (X_3 - X_2 R_2 - X_6 L_6) R_8 / T_8 + X_6 T_6 + (X_7 - X_2 L_2 - X_6 R_6) L_4 / T_4 \quad (13)$$

利用式子 11、12 取代式子 5 中的 $X_8$ 、 $X_4$ 之後，可得：

$$X_5 = (X_7 - X_2 L_2 - X_6 R_6) R_4 / T_4 + X_2 T_2 + (X_3 - X_2 R_2 - X_6 L_6) L_8 / T_8 \quad (14)$$

從式子 11~14 可知，偵測器 $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_8$ 的流量資料能經由 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 這四個偵測器流量資料的推算來獲得。因此得到十字路口最佳佈設模組二，如下：

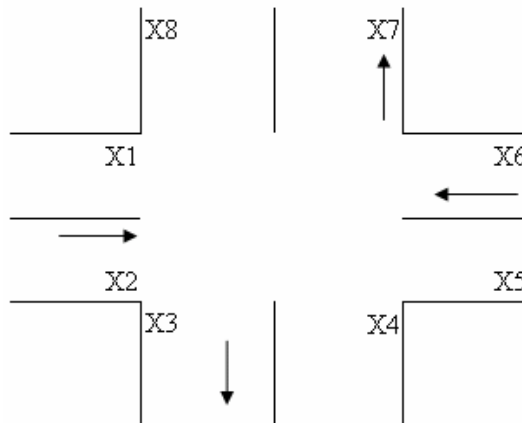


圖 6 十字路口最佳佈設模組二

接著若再假設 $X_2$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 已知，則其推算過程如下：

$$\text{由式子 4 } X_3 = X_2 R_2 + X_8 T_8 + X_6 L_6 \quad (15)$$

$$\text{由式子 6 } X_4 = (X_7 - X_2 L_2 - X_6 R_6) / T_4 \quad (16)$$

利用式子 16 取代式子 3 中的 $X_4$ 之後，可得：

$$X_1 = X_8 R_8 + X_6 T_6 + (X_7 - X_2 L_2 - X_6 R_6) L_4 / T_4 \quad (17)$$

利用式子 16 取代式子 5 中的 $X_4$ 之後，可得：

$$X_5 = (X_7 - X_2 L_2 - X_6 R_6) R_4 / T_4 + X_2 T_2 + X_8 L_8 \quad (18)$$

從式子 15~18 可知偵測器 $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 的流量資料能經由 $X_2$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 這四個偵測器流量資料的推算來獲得。因此得到十字路口最佳佈設模組三，如下：

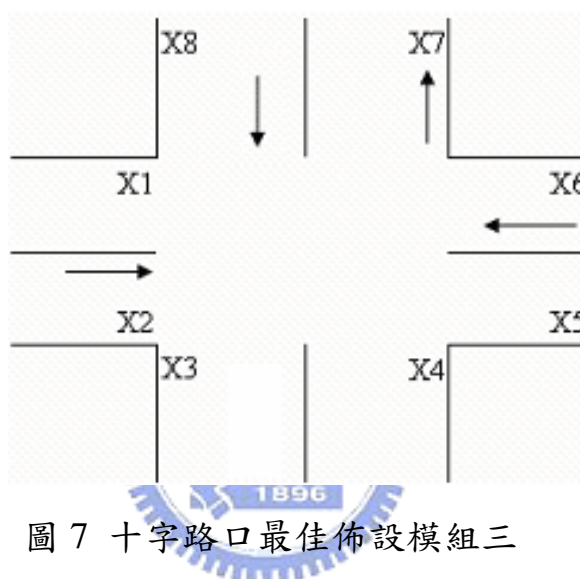


圖 7 十字路口最佳佈設模組三

依照這樣的推導方式與概念，本研究利用路口模式結合轉向比以及流量守恆公式來推算，可得路口佈設最佳方式之單位模組。

同類型之路口可有不同的最佳佈設方式，利用前述建立模組之概念來類推，可逐漸推導出其他不同類型路口之相異佈設模組，以供之後應用於路網。

由於路口佈設模組主要考量單位為一個個的獨立路口，因此應用於路網之前，需將路網劃分為許多路口，每個路口都是個獨立的路口群組，每個路口群組包含有多條道路。

劃分為路口群組之後，首先要根據路口種類不同而作分類，分為三叉路口、十字路口、五叉路口等等。接著在各種不同類型的路口中，以四週預先擺放的偵測器位置作為擺放前之環境考量，來擺放不同路口種類的擺放單位。以此不斷循環進行，藉由放置不同的「標準佈設模組」來達到偵測器數量最小化之目的。

這些流程在稍後的小節中，將會有示範實例說明。

有一點需要注意的是，假如所測試之路網外圍仍有進出道路，但是測試之路網範圍無法涵蓋，則雖然仍有車輛進出，但由於其邊緣之外無法佈設偵測器，會造成該路口沒辦法透過既有之偵測器來推估其他的流量，所以要針對路網邊緣的地方，微調偵測器數量與位置，將在邊緣之外的偵測器移除，然後更改路口模組之

種類，配合既定偵測器之位置，在該路口模組裡頭新增偵測器。

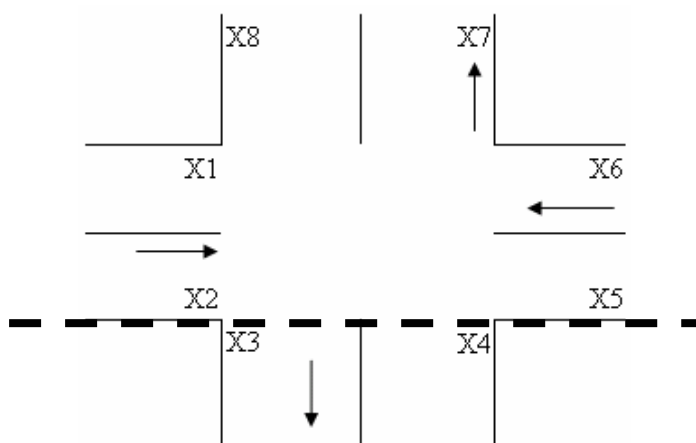


圖 8 路網邊緣示意圖 1

例如上圖 8，原本為佈設標準模組二，但因為黑虛線部份以下為此路網邊緣，X<sub>3</sub>偵測器無法佈設，於是就要開始從十字路口標準模組中挑選X<sub>2</sub>、X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub>偵測器已佈設之路口標準模組，然後變更適當的模組來放置。此例中需選擇偵測器X<sub>2</sub>、X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub>已佈設之標準模組，例如圖 7 之佈設模組三。而調整後之偵測器佈設地點則會如下圖 9 所示：

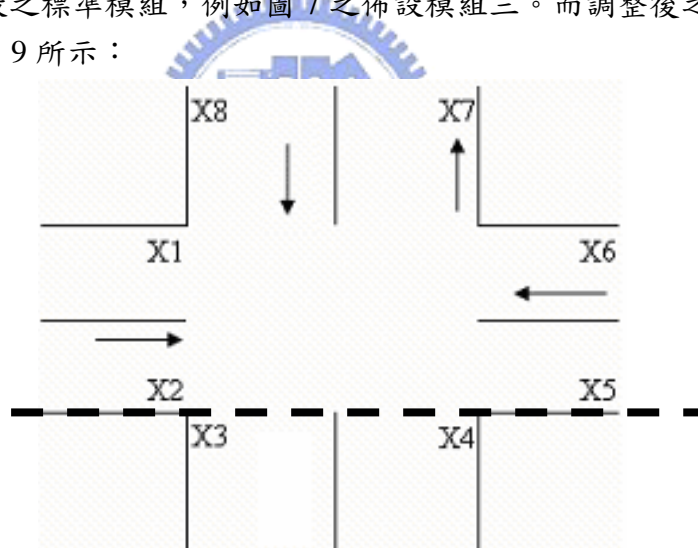


圖 9 路網邊緣示意圖 2

### 3.3 模式應用實例說明

本節中將以一預設之小型路網來說明「佈設模組」應用於路網之過程。假設有個路網如下圖所示，且路網中每條路段皆為雙向：



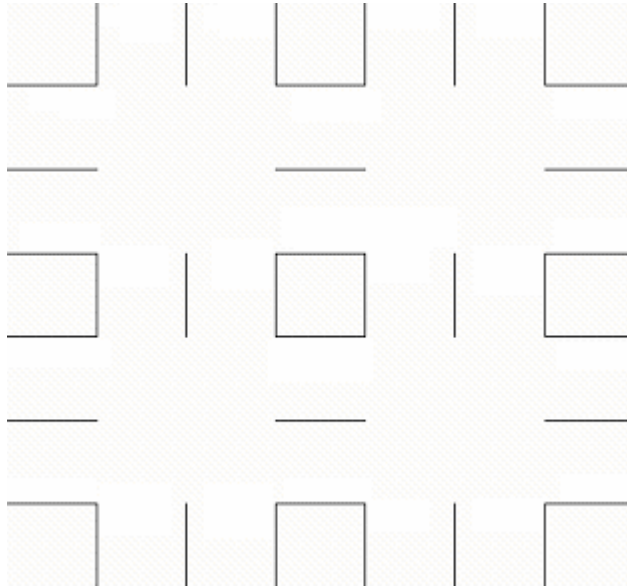


圖 10 預設小路網圖

首先將此路網依照路口分類，可分為四個十字路口。知道了路網的路口分類後，選定一個起始路口與起始佈設種類開始佈設。

此例中，首先考量路網左上角，如下圖黑框所示之路口，選擇擺放「十字路口最佳佈設模組一」，則可得到下圖所示之擺放圖：

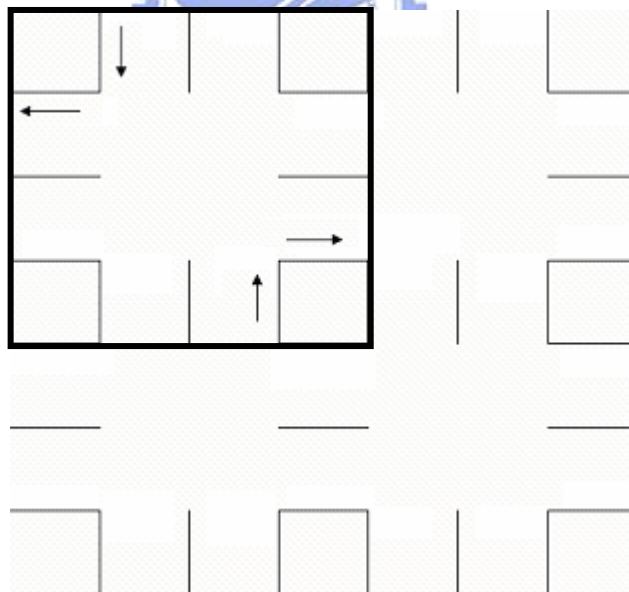


圖 11 預設小路網擺放佈設模組圖 1

接著繼續往右佈設，考量右上角的路口，如圖黑框所示。由於此路口中已有相鄰路口於先前佈設之偵測器，於是在選擇路口模組放置時，應優先選擇符合已佈設偵測器位置之路口模組。此例中，選擇「最佳佈設模組二」擺放，如圖 12 所示：

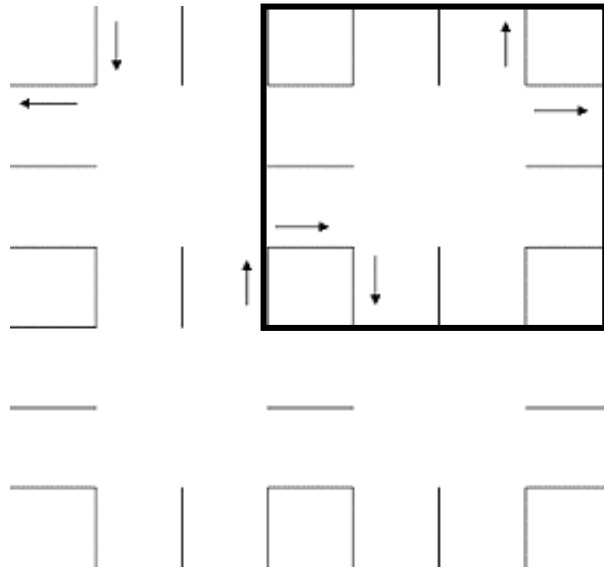


圖 12 預設小路網擺放佈設模組圖 2

接著相鄰於擺設模組 1 的下邊，考量已佈設之偵測器，選擇擺放「最佳佈設模組二」：

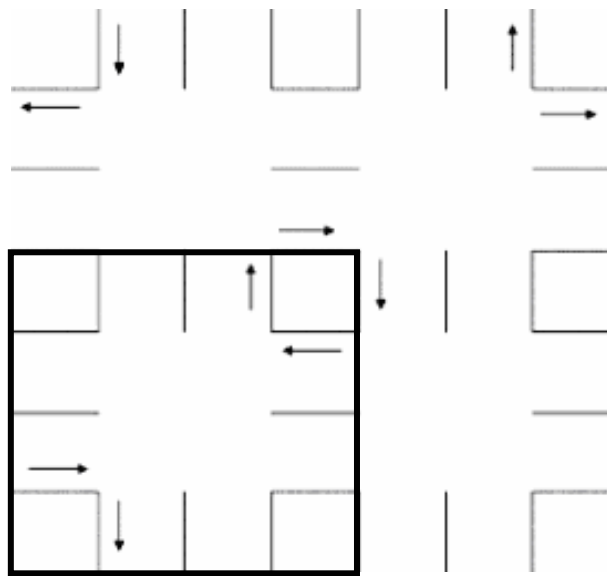


圖 13 預設小路網擺放佈設模組圖 3

最後右下角之路口，考量先前已佈設之車輛偵測器，選擇擺放「最佳佈設模組一」：

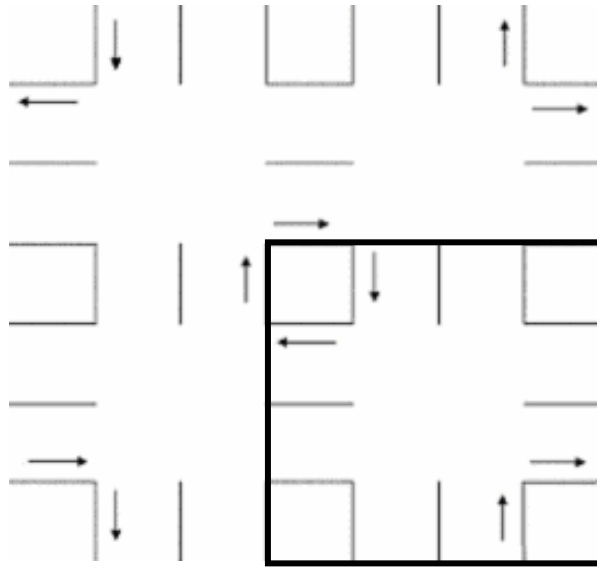


圖 14 預設小路網擺放佈設模組圖 4

至此，此路網之最佳佈設擺放已經大致完成，因為有時佈設範圍會超出地圖範圍，因此接著要做的是針對地圖邊界，就偵測器來作微調的動作。假設此路網下邊為邊界，則需移除之偵測器如下畫又所示：

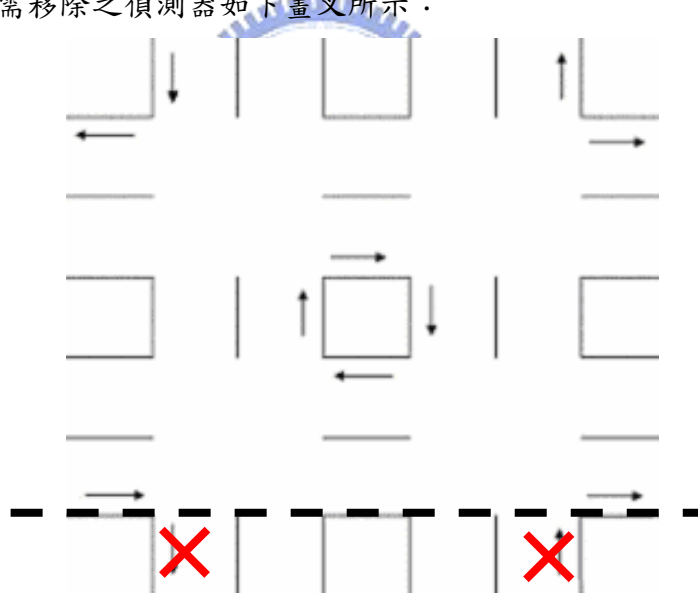


圖 15 預設小路網邊緣微調示意圖 1

微調後，所移除之偵測器須增加其他偵測器來補齊所不足：如下圖所示，移除了最下邊的兩個偵測器之後，考量既定之偵測器佈設，從路口佈設種類中來選擇其他佈設模組來套用。此例中，左下角改放置標準模組三，於是需要新增偵測器，如下圖中黑框表示：

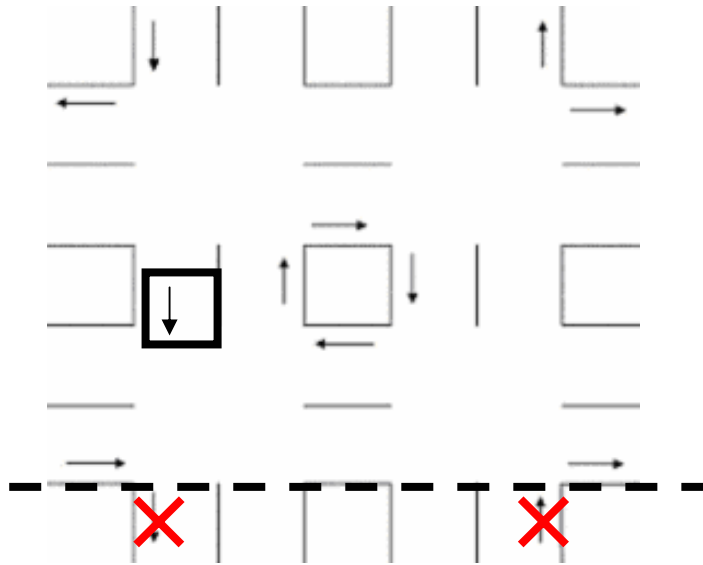


圖 16 預設小路網邊緣微調示意圖 2

同理，路網右下角移除之偵測器，也需要針對該路口種類選擇不同的佈設模組來佈設，佈設後如下圖所示：

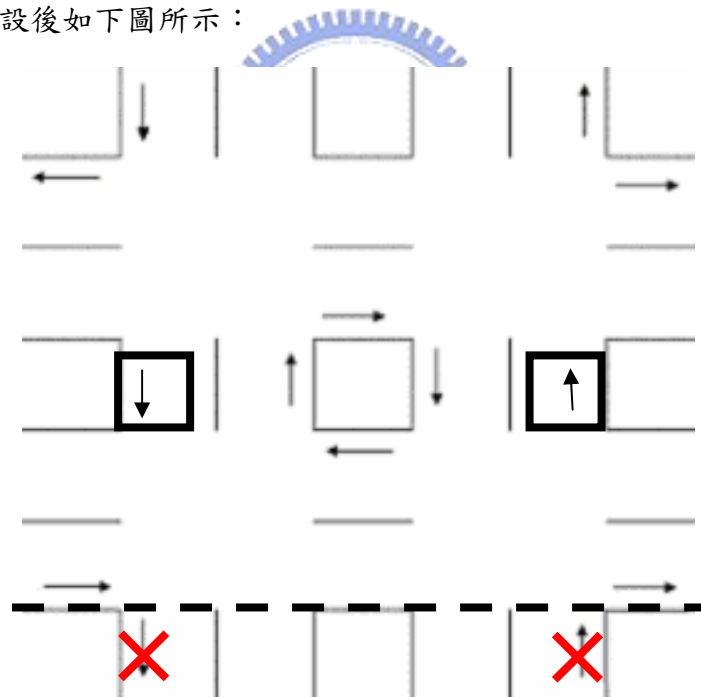


圖 17 預設小路網邊緣微調示意圖 3

接著針對所補齊的偵測器，再從邊緣之路口重新排列微調回原本的起始路口（此例中為左上角），過程中根據微調需要，透過變更路口模組來調整偵測器位置。而此微調過程中，可能會因為不同路口模組之間的組合而增加或減少整個路網之偵測器總量。

如此由起始路口向外推算、到達邊緣後做微調，再往起始路口網回推算、到達邊緣後做微調、推算、微調、...，一直到整個路網的偵測器數量趨近於某穩定值，則可得到該佈設模組下之偵測器數量以及最佳佈設法。

如此來回推算，則此示範路網之最佳佈設位置如下圖 18 所示：

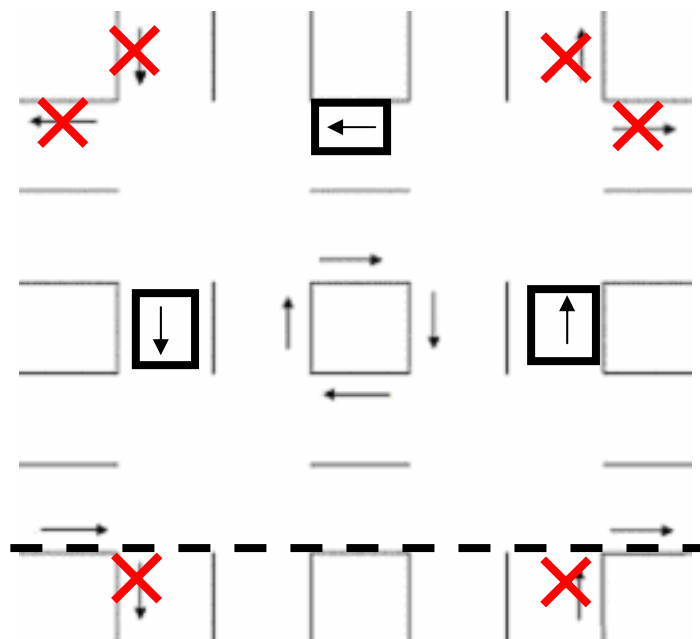


圖 18 預設小路網邊緣微調示意圖 4

本預設路網共經過九次運算，「初始」指放置模組後之數量，「微調」指邊緣微調，「往回」指從邊緣回推，「往外」指從起始路口往外推。其偵測器數量經過來回運算之過程，數量改變如下圖表所示：

表 2 預設小路網各運算階段之偵測器數量

初始	微調	往回 1	往外 1	往回 2	往外 2	往回 3	往外 3	往回 4
12	10	12	10	11	9	9	9	9

資料來源：本研究整理

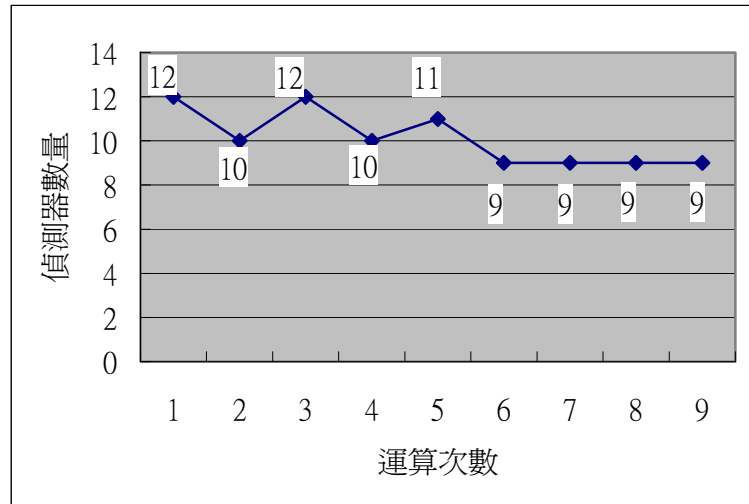


圖 19 預設小路網各運算階段之偵測器數量

從上可知，假設此路網虛線下邊為路網邊緣範圍，且在轉向比已知之情況下，總共有 20 條路段、2 個十字路口、2 個丁字路口，透過佈設模組之應用與微調後，總共需 9 個偵測器，即可知道此路口所有道路之流量數值。

### 3.4 模式流程整理

根據前面小節之流量守恒、轉向比關係、可推得路網基本單位，爾後經過安置、調整邊緣與來回重複運算，可得路網偵測器之最佳佈設位置。本小節將此流程區分為數個項目，分別說明如下：

#### 分析路網，將路網中的路口依照類型分組

將路網中的路段，依照路口來作分類，成為一個個的路口群組，再依照路口群組幾何型態的不同分為十字路口、丁字型路口等等。

#### 選定起始路口，依路口類型依序安插佈設模組

選取起始路口，由起始路口開始依序安插佈設模組，周圍的相鄰路口再依照既有偵測器之位置，選擇適當模組放置，如此一直到全部的路口都放置模組為止。

#### 對路網邊緣作微調動作

若路網有地圖範圍，則依照其邊緣限制更改邊緣之路口模組。

#### 根據邊緣佈設分佈，利用路口模組反推起始點

相鄰之路口根據邊緣佈設之偵測器分佈，依序更改模組，直到反推回起始點。

#### 佈設數量收斂至某數值

反覆來回運算直到偵測器數量達到某收斂值。

#### 達到完全資訊情形之最佳佈設位置

則此運算得到之數值與佈設位置，為達到完全資訊情形之最少偵測器數量。

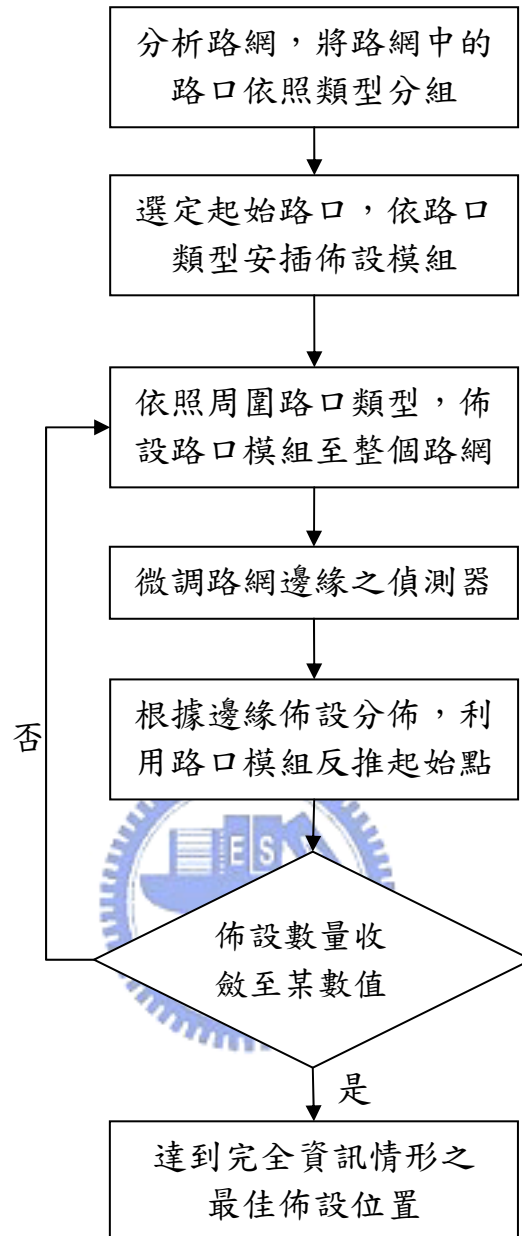


圖 20 路網佈設路口標準模組

## 四、實例測試

根據前章所建構之偵測器佈設模式，本章以新竹市路網為測試對象，來測試模式之正確與可用性。

### 4.1 測試路網資料

本章以新竹市路網為測試範例，共 4852 條路段，3646 個路口，依照道路大小（省道、縣道、一般道路等）選取一般道路等級以上之道路來測試，篩選後共分佈為 421 個路口，假設每一條路段皆為雙向，且轉向比預設為已知。

### 4.2 選取起始路口

因模式由起始路口開始往外佈設，為檢驗起始點是否對影響運算結果，首先於路網隨意選定 13 個相異路口位置為起始路口，如圖 21：

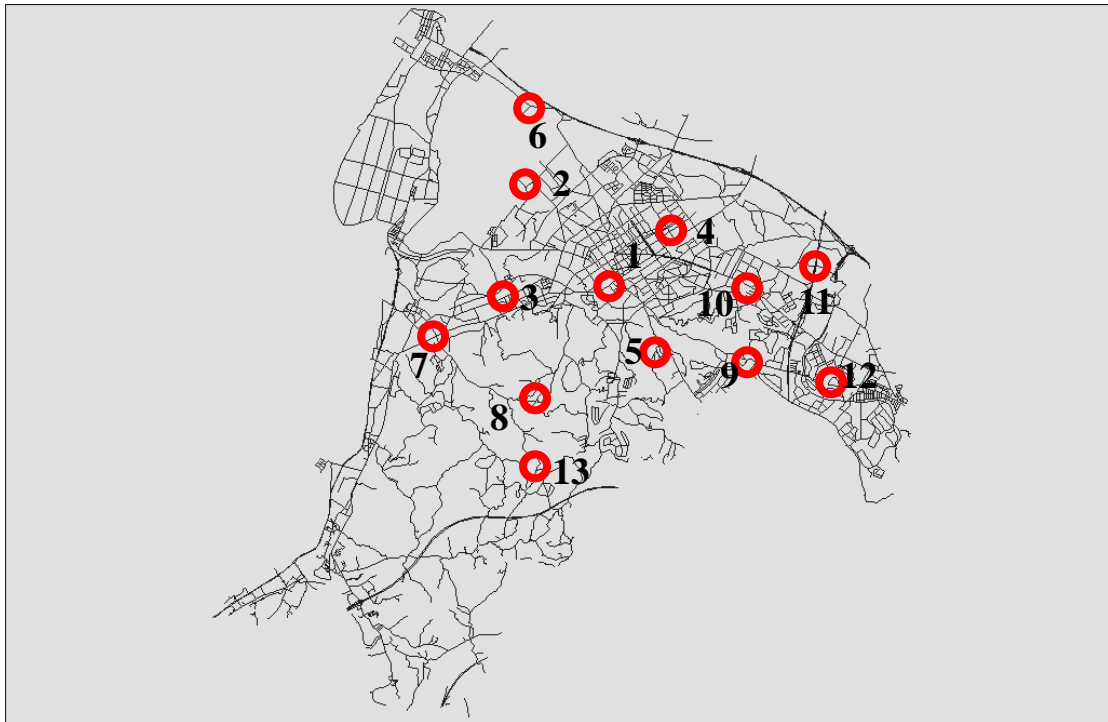


圖 21 新竹市路網選取起始路口圖

根據前述模式，從各選定之起始路口開始向外，針對不同類型的路口佈設偵測器，並對邊緣做微調後，其起始需佈設之偵測器數量如下圖 22 所示，橫軸為起始路口位置編號，縱軸為偵測器數量。



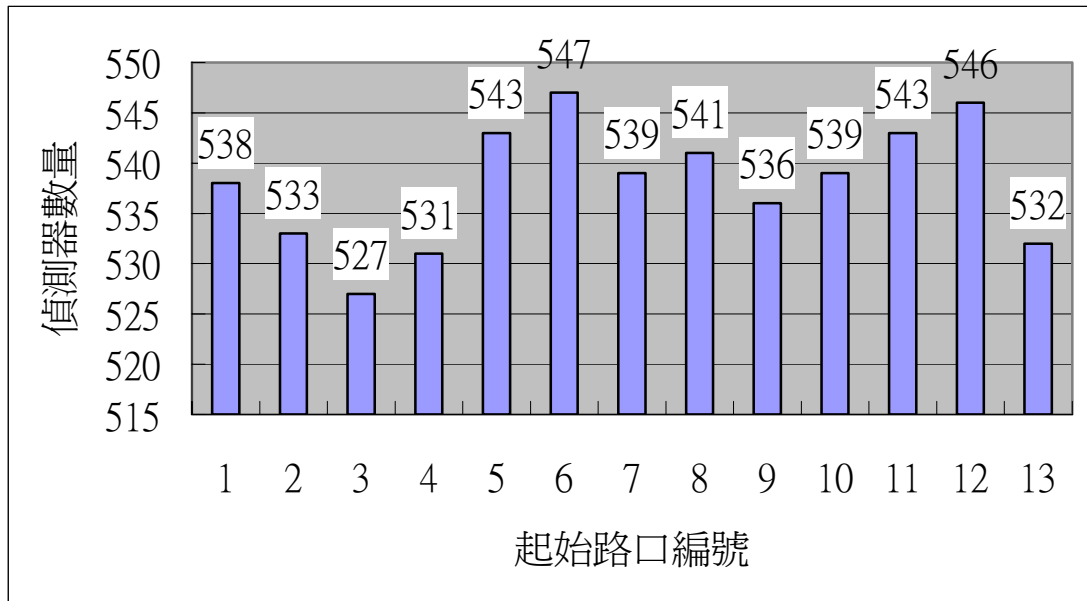


圖 22 起始偵測器數量比較圖

由上圖可知，在能獲得完全資訊之前提下，由不同的起始點開始，因為相鄰路口型態組合的不同，透過佈設單元不同的組合，會造成從各個起始點安排出去一直到邊緣微調，在不同的起始點會有不同的偵測器佈設數量。此例中，最高為 547 個，於起始路口 7 之推算結果出現。最低為 527 個，於起始路口 3 之推算結果出現。

接著應用前述佈設模式，針對每個起始佈設路口點，觀察各點從往外推算與往回推算中，其偵測器數量由起始值改變，一直到收斂的過程與結果。並由此觀察不同起始路口的選擇，是否會影響最後偵測器之佈設數量。

#### 4.3 各起始點測試結果

#### 4.3.1 起始點 1 之測試結果

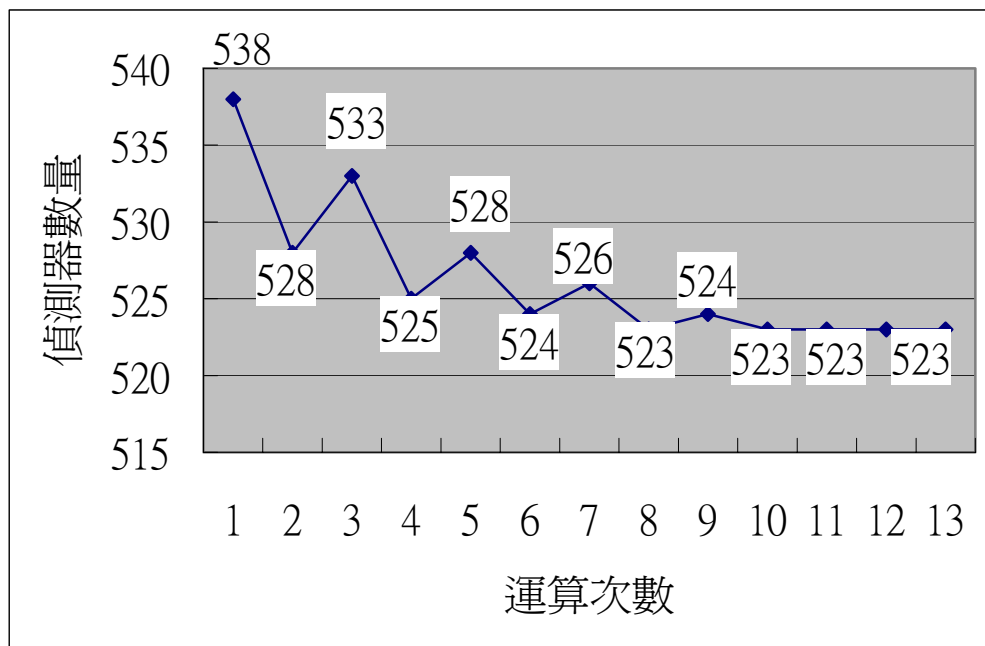


圖 23 起始點 1 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.2 起始點 2 之測試結果

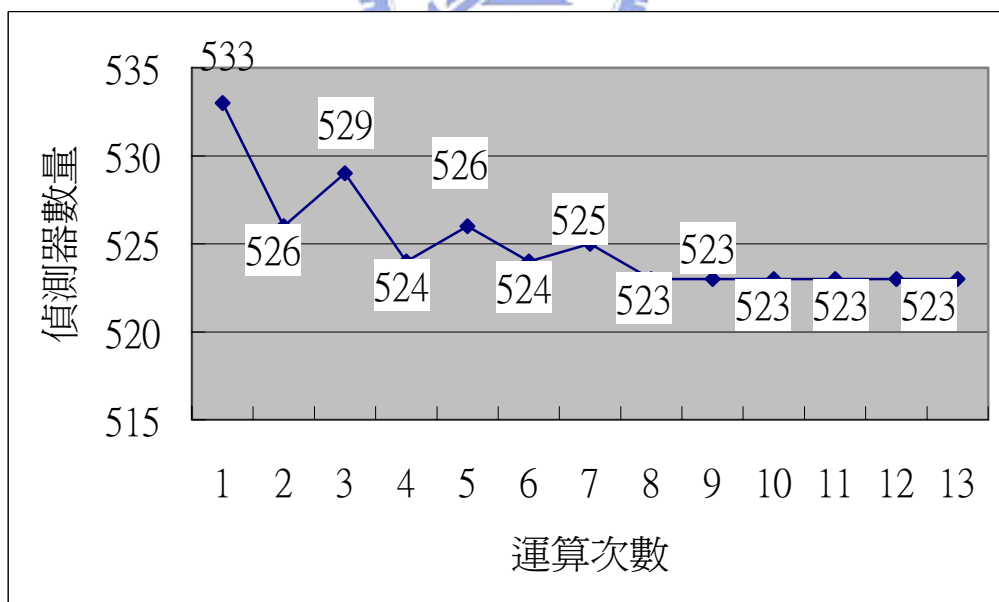


圖 24 起始點 2 運算過程偵測器數量比較圖

### 4.3.3 起始點 3 之測試結果

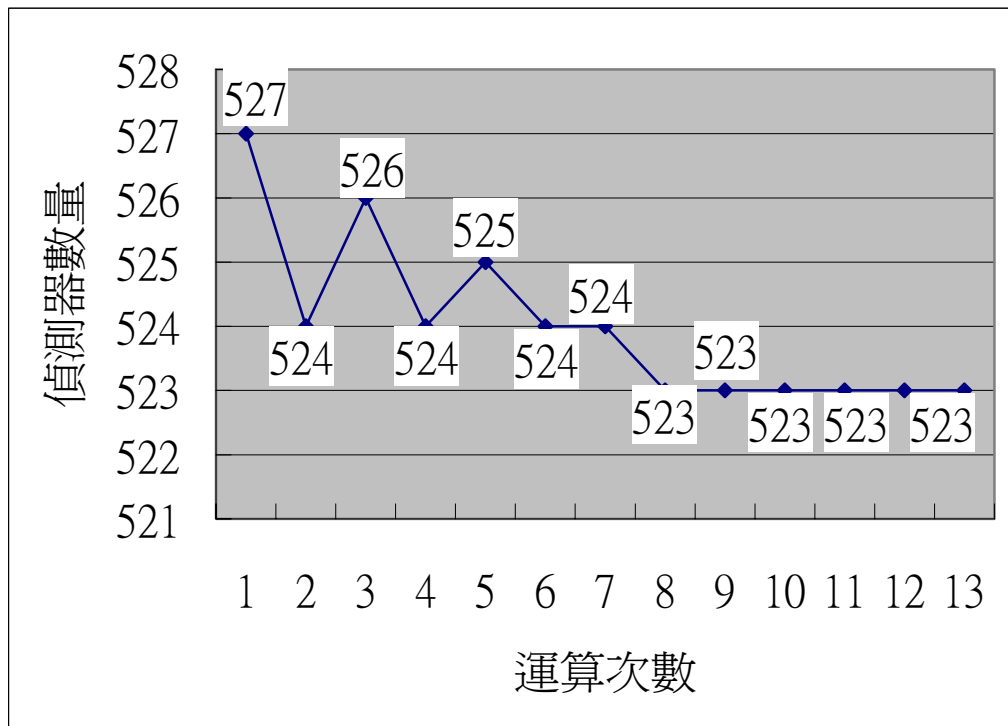


圖 25 起始點 3 運算過程偵測器數量比較圖

### 4.3.4 起始點 4 之測試結果

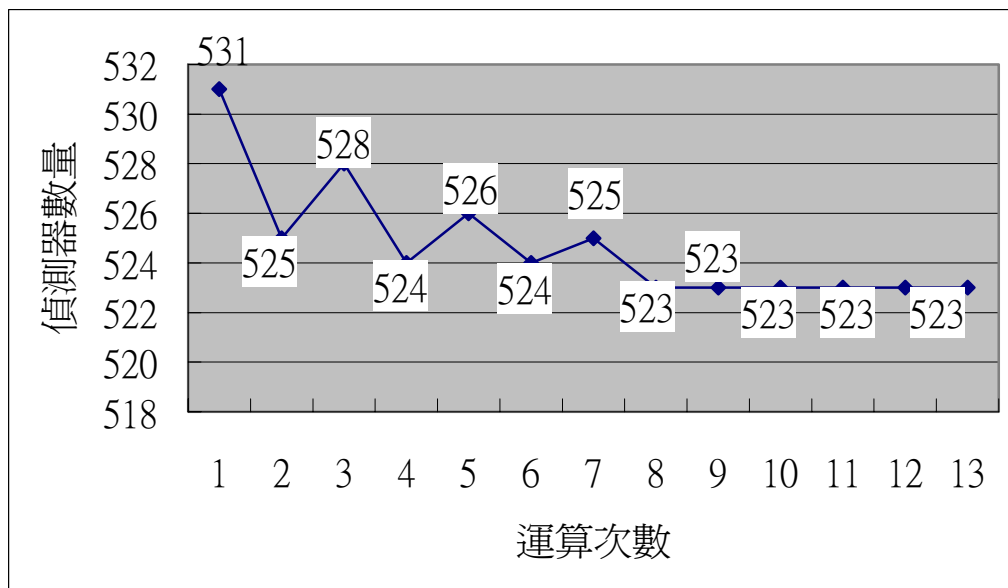


圖 26 起始點 4 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.5 起始點 5 之測試結果

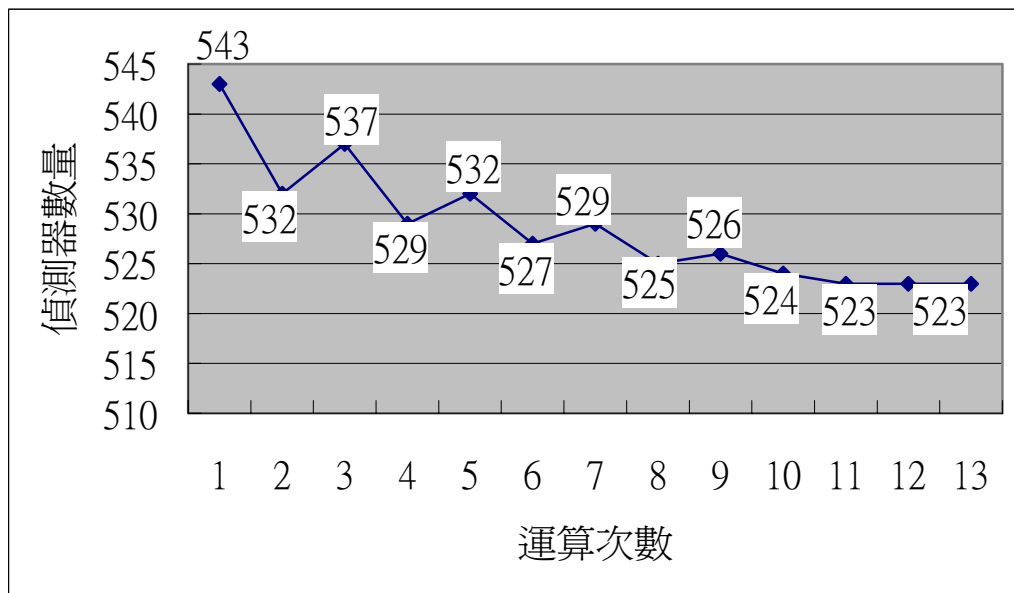


圖 27 起始點 5 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.6 起始點 6 之測試結果

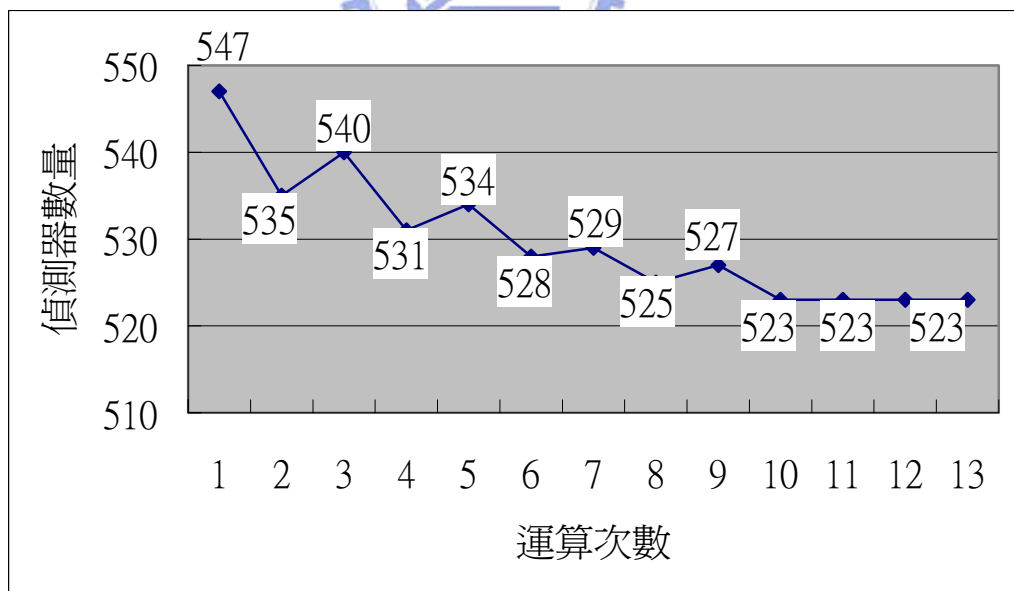


圖 28 起始點 6 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.7 起始點 7 之測試結果

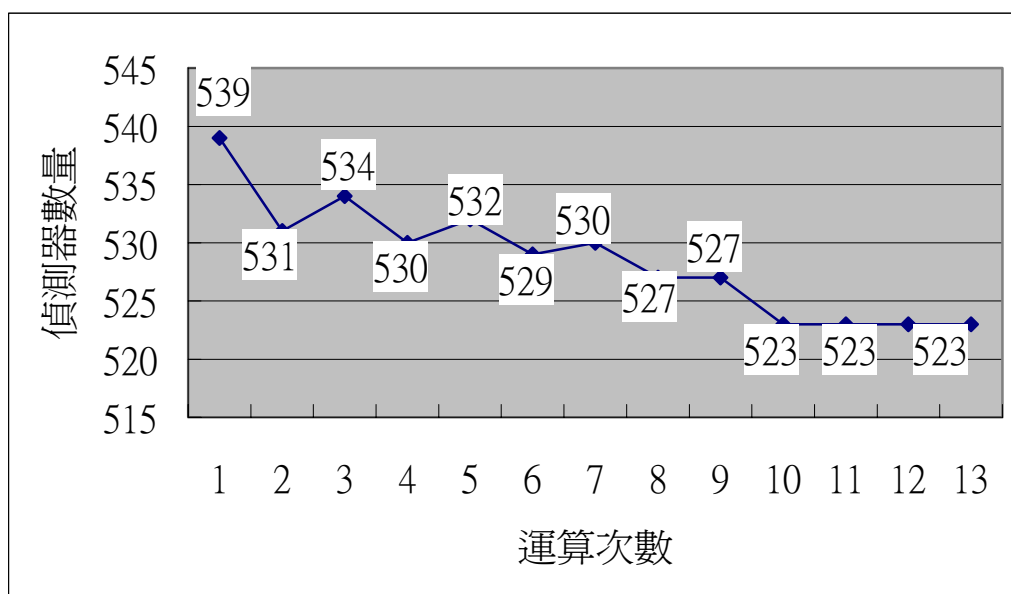


圖 29 起始點 7 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.8 起始點 8 之測試結果

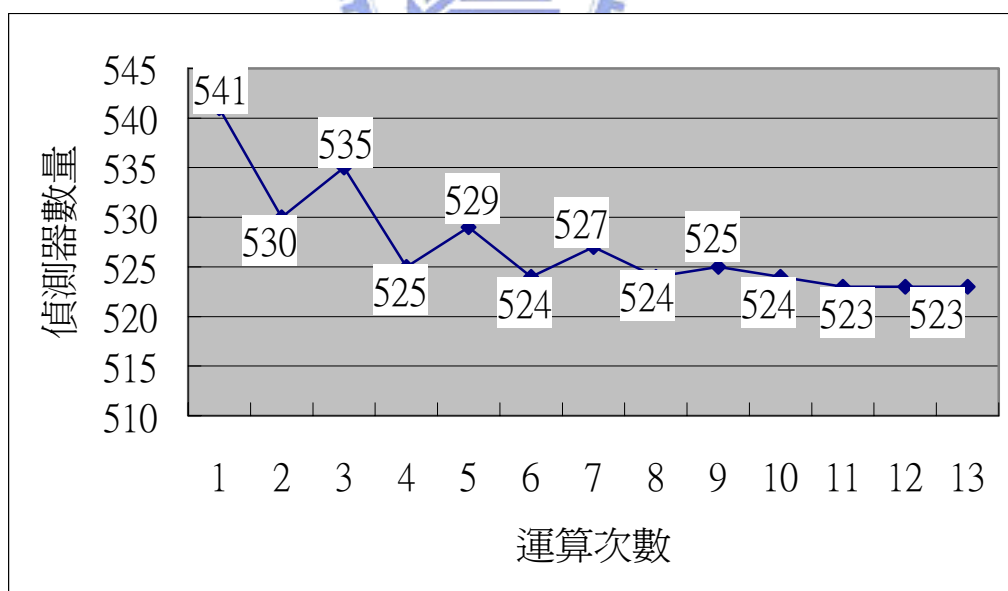


圖 30 起始點 8 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.9 起始點 9 之測試結果

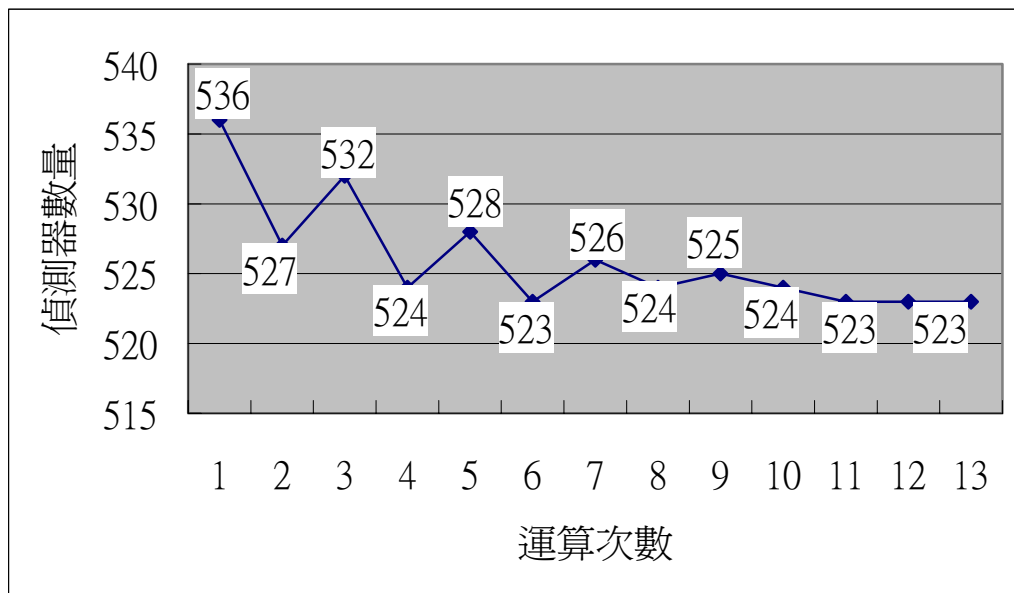


圖 31 起始點 9 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.10 起始點 10 之測試結果

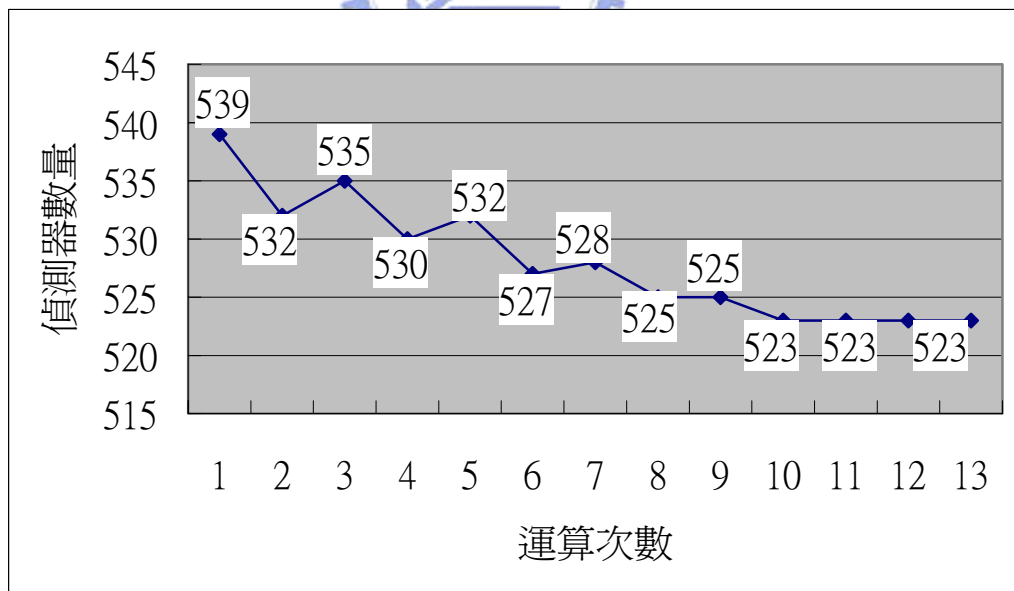


圖 32 起始點 10 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.11 起始點 11 測試結果

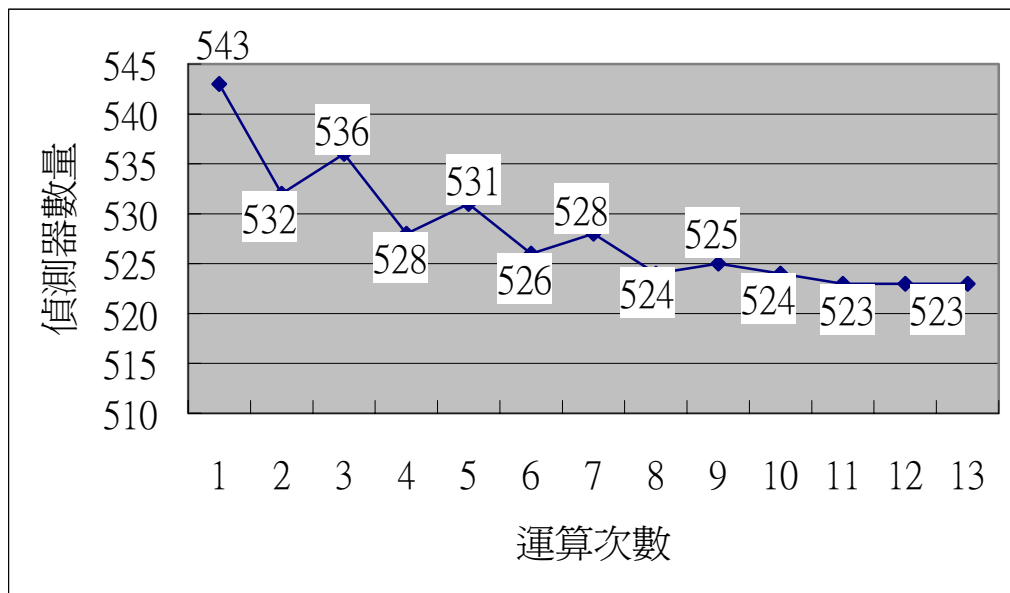


圖 33 起始點 11 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.12 起始點 12 測試結果

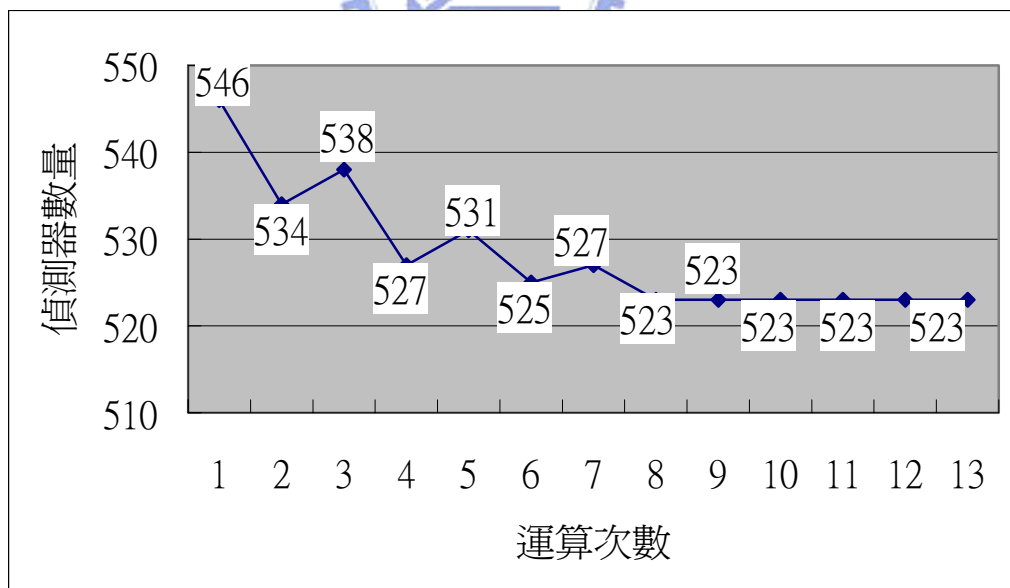


圖 34 起始點 12 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.13 起始點 13 測試結果

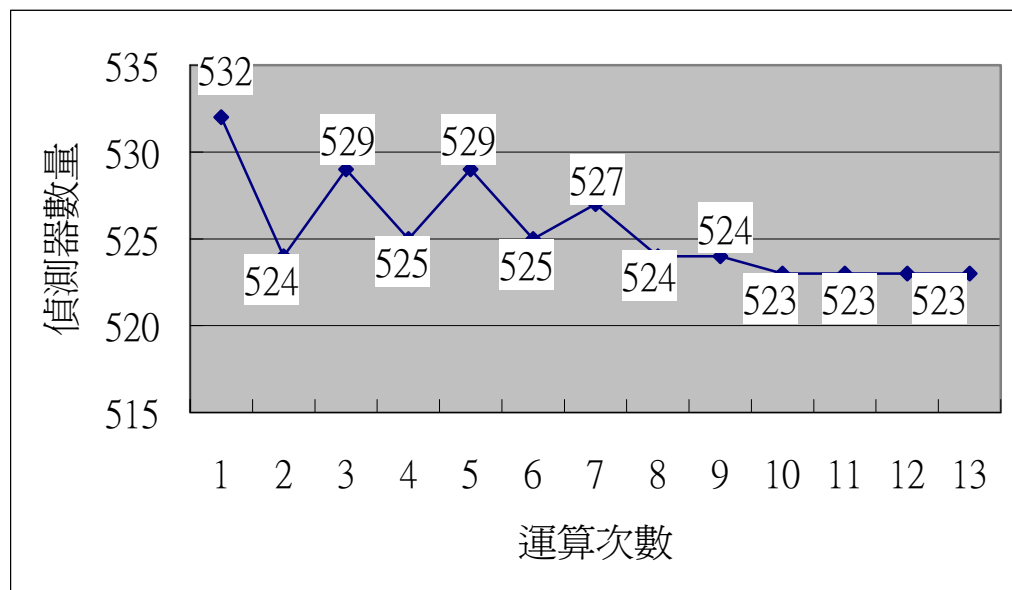


圖 35 起始點 13 運算過程偵測器數量比較圖

#### 4.3.14 小結

由上述測試圖 23~35 可知，雖起始路口不同會造成最後偵測器佈設時之數量相異，但隨著外推與往回運算之過程中，數量會逐漸收斂而趨向某數值，如下表 3 所示：(表中的「I」表示往回運算，「O」表示往外運算，後面之數字表示第幾次之編號，例如「O1」則為第一次往外推算之結果；而 init 表示由起始點往外佈設標準模組，並對邊緣作微調後之初始偵測器數量。)



表 3 測試資料結果

Node	init	I1	O1	I2	O2	I3	O3	I4	O4	I5	O5	I6	O6	Total
1	538	-10	5	-8	3	-4	2	-3	1	-1	0	0	0	523
2	533	-7	3	-5	2	-2	1	-2	0	0	0	0	0	523
3	527	-3	2	-2	1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	523
4	531	-6	3	-4	2	-2	1	-2	0	0	0	0	0	523
5	543	-11	5	-8	3	-5	2	-4	1	-2	-1	0	0	523
6	547	-12	5	-9	3	-6	1	-4	2	-4	0	0	0	523
7	539	-8	3	-4	2	-3	1	-3	0	-4	0	0	0	523
8	541	-11	5	-10	4	-5	3	-3	1	-1	-1	0	0	523
9	536	-9	5	-8	4	-5	3	-2	1	-1	-1	0	0	523
10	539	-7	3	-5	2	-5	1	-3	0	-2	0	0	0	523
11	543	-11	4	-8	3	-5	2	-4	1	-1	-1	0	0	523
12	546	-12	4	-11	4	-6	2	-4	0	0	0	0	0	523
13	532	-8	5	-4	4	-4	2	-3	0	-1	0	0	0	523

資料來源：本研究整理

由上表 3 可發現，由於「往內推」的過程是由邊緣微調後之偵測器位置開始估算，在回推過程之中會針對偵測器的數量來作整理而減少其數量。「往外推」的過程是從起始路口往外鋪設調整，另外還需強迫修改路網邊緣之偵測器，因此修改過程中會增加偵測器數量。

而一來一往的過程之中，會隨著偵測器逐漸調整排列方法而產生最佳化的鋪設方式，因而能藉此減少偵測器之數量。

由以上之運算結果得知，此模式於現有偵測器佈設模組之條件下，不同的起始路口隨著週遭路口型態組合之不同，會有不同的偵測器佈設數量。而透過往返起始路口之運算後可知，從任一所選之起始點開始，經過模式計算後，其偵測器數量都將會達到某收斂值（此例中為 523 個）。

#### 4.4 加入偵測器之數量限制

由前小節之運算結果可知，在轉向比已知的情況下，可得路網完整資訊之車輛偵測器佈設位置與數量。然而實際執行時，可能會因為預算不足而無法佈設至所推算出之建議偵測器數量。例如，此例中為 523 個，但是可能因為施工之經費或施工規模限制，因此只能佈設 400 個偵測器。

於是考慮從已佈設之現有偵測器開始刪減數量。但由於前小節之運算結果為可得完全資訊下之偵測器佈設數量，再次拿取偵測器會造成路段流量偵測上的誤差。因此還需要從已佈設之偵測器流量來反推未佈設偵測器路段之流量值。

本節針對此問題，以前小節運算結果為基礎，利用模式理論基礎與假設條件，首先移除偵測器，接著推算在偵測器數量不足之情況下，未佈設偵測器路段

之流量，以改善其誤差之程度。

#### 4.4.1 預設路網流量及轉向比

本研究以模擬之方式來產生路網預設流量資訊，以作為之後測試比較之依據。產生方式如下：

1. 將路網中各道路依等級高低分類為省道、縣道、一般道路等，於稍後之步驟，將會依照道路等級不同而有不同亂數分派流量之步驟。
2. 分析路網，將路網以路口作分類，分為丁字、十字、五叉...等路口，每次計算均以路口為單位。
3. 以路口為單位亂數分配轉向比，為求模擬資料較趨近於真實之一般情形，依照下列規則亂數分配轉向比：
  - (1) 路口中每條流入路段之轉向比總和為 1。
  - (2) 等級較低之道路流入路口時，對於等級較高之道路會有較高之轉向比。
  - (3) 等級越高之流入路段，若直行方向為同等級或更高級之道路，其直行轉向比相較其他轉向為高。丁字路口中，每條流入路段有兩個轉向比；十字亂數則有三個；五叉路口則有四個...依此類推。且亂數選擇初始路口數個（此例中為 10 個），將路口之輸入路段流量依照路口分類之範圍，亂數填入。（省道、縣道、一般道路之流量亂數範圍分別為 2000~1200 pcu/hr、1200~600 pcu/hr、600~0 pcu/hr），依照轉向比得到流出路段之流量。
4. 以初始路口之流出路段流量為其他路口之流入路段流量，計算其他路口之路口各路段流量。
5. 如此不斷重複，直到路網中所有路段都填上流量為止。

#### 4.4.2 未佈設偵測器之路段流量推估法

此法首先假設路網中所有路段之流量均為 0~2000 pcu/hr 之範圍，且路網中之偵測器一旦被移除，就將所移除之偵測器路段流量範圍設為初始值 0~2000 pcu/hr。

由於每個路口中，各路段之間都有關係可循，因此利用已知之轉向比、所佈設偵測器之路段流量，就能透過這些關係來推估「被移除偵測器之路段流量範圍」。方法如下：

假設某路網如下圖所示，圖中之箭號代表已佈設之偵測器；若無箭號表示此處沒有偵測器。 $X_{ij}$ 則表示第*i*個路口中的第*j*個路段之流量值。兩路口中流量重合之部分，則以*i*編號較小之路段流量替代。

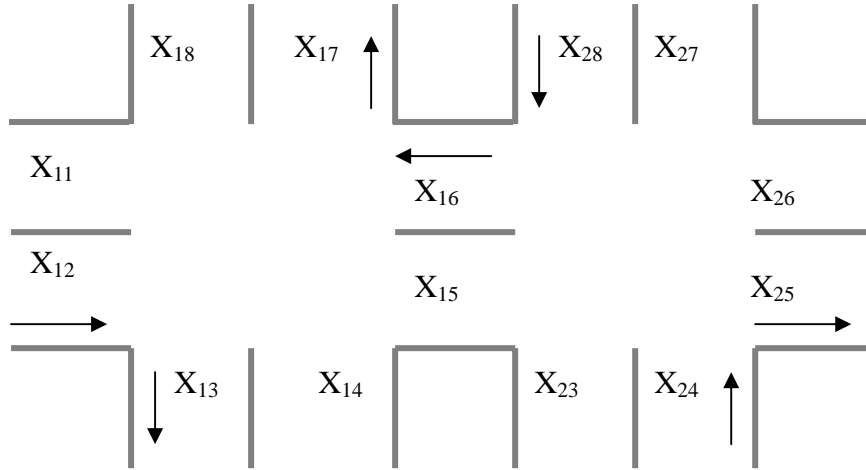


圖 36 路網流量推估示意圖

假設從路網中移除偵測器 $X_{16}$ ，以左側路口來說，路口流量之間關係式如下：

$$X_{11} = X_{18}R_{18} + X_{16}T_{16} + X_{14}L_{14} \quad (19)$$

$$X_{13} = X_{12}R_{12} + X_{18}T_{18} + X_{16}L_{16} \quad (20)$$

$$X_{15} = X_{14}R_{14} + X_{12}T_{12} + X_{18}L_{18} \quad (21)$$

$$X_{17} = X_{16}R_{16} + X_{14}T_{14} + X_{12}L_{12} \quad (22)$$

以右側路口來說，路口流量之間關係式如下：

$$X_{16} = X_{28}R_{28} + X_{26}T_{26} + X_{24}L_{24} \quad (23)$$

從式子 19~23 中，與 $X_{16}$ 相關之式子有 19、20、22。因此從此三式可以推得其估算式如下：

$$\text{由式子 19 } X_{16} = (X_{11} - X_{18}R_{18} - X_{14}L_{14}) / T_{16} \quad (24)$$

$$\text{由式子 20 } X_{16} = (X_{13} - X_{12}R_{12} - X_{18}T_{18}) / L_{16} \quad (25)$$

$$\text{由式子 22 } X_{16} = (X_{17} - X_{12}L_{12} - X_{14}T_{14}) / R_{16} \quad (26)$$

由於式子 24~26 中，包含有不同路段之流量變數，假如這些變數都為確切之實際流量數值，則配合轉向比，可以精確求得 $X_{16}$ 之流量。然而如果於一開始，這些路段之流量皆為範圍值，則此三式計算出之 $X_{16}$ 會是三個不同的範圍數值。

遇到這樣的情形，就將三式計算出之範圍值取交集，以所計算範圍之最大下限值為 $X_{16}$ 之流量下限，不得低於 0。以所計算範圍之最小上限值為 $X_{16}$ 之流量上限，如下式所示：

$$Max \begin{bmatrix} 0, \\ \frac{X_{11}^1 - X_{18}^2 R_{18} - X_{14}^1 R_{14}}{T_{16}}, \\ \frac{X_{13}^1 - X_{12}^2 R_{12} - X_{18}^1 T_{18}}{L_{16}}, \\ \frac{X_{17}^1 - X_{12}^2 L_{12} - X_{14}^1 T_{14}}{R_{16}}, \\ X_{28}^1 R_{28} + X_{26}^1 T_{26} + X_{24}^1 L_{24} \end{bmatrix} \leq X_{16} \leq Min \begin{bmatrix} \frac{X_{11}^2 - X_{18}^1 R_{18} - X_{14}^1 R_{14}}{T_{16}}, \\ \frac{X_{13}^2 - X_{12}^1 R_{12} - X_{18}^1 T_{18}}{L_{16}}, \\ \frac{X_{17}^2 - X_{12}^1 L_{12} - X_{14}^1 T_{14}}{R_{16}}, \\ X_{28}^2 R_{28} + X_{26}^2 T_{26} + X_{24}^2 L_{24} \end{bmatrix} \quad (27)$$

$X_i^1$ ：路段*i*的流量下限

$X_i^2$ ：路段*i*的流量上限

接著將路網之轉向比、流量資料填入運算。拿掉偵測器以後， $X_{16}$ 原流量範圍為 0~2000，透過運算，就能重新更新 $X_{16}$ 路段流量之上下限，以此類推至路網中所有路段，經過多次運算，就能將路網中的路段流量上下限均作更新，直到運算結果滿足所設立之停止條件為止。

以上例來說，假設各流量與轉向比如下表所示，其中 NA 表示計算此流量時不需此轉向比資料，打\*號者為初始流量：

表 4 預設路網之流量與轉向比

路段	流量 上限	流量 下限	轉向比		
			R	T	L
$X_{11}$	1170	580	NA	NA	NA
$X_{12}$	600	200	0.2	0.7	0.1
$X_{13}$	800	320	NA	NA	NA
$X_{14}$	1500	1000	0.1	0.6	0.3
$X_{15}$	930	390	NA	NA	NA
$X_{16}$	2000*	0*	0.3	0.6	0.1
$X_{17}$	1200	710	NA	NA	NA
$X_{18}$	1200	500	0.2	0.5	0.3

資料來源：本研究整理

將以上資料代入式子計算後，得結果如下：

$$\begin{aligned} X_{16} &= (X_{11} - X_{18}R_{18} - X_{14}L_{14}) / T_{16} && \text{介於-183.3~1283.3 之間} \\ &= (X_{13} - X_{12}R_{12} - X_{18}T_{18}) / L_{16} && \text{介於-4000~5100 之間} \\ &= (X_{17} - X_{12}L_{12} - X_{14}T_{14}) / R_{16} && \text{介於-833.3~1933.3 之間} \end{aligned}$$

與初始範圍取交集，得到 $X_{16}$ 之更新後之流量範圍，

為 0~1283.3 pcu/hr。

本研究應用此流量推估法，停止條件為模式運算 50 次為止。

#### 4.4.3 偵測器拿取法

本小節討論如何拿取偵測器，讓推估路段流量的過程能更加快速地收斂到某數。

假設有個路網如圖 36 所示，且 $X_{16}$ 為原先佈設偵測器，而後來被移除之路段。則由式子 27 可得知，要計算出 $X_{16}$ 之流量範圍所需之各流量關係式。此處挑選包含於單一路口內之關係式，共下列幾項，其中 $X_i^1$ 表示路段 $i$ 的流量下限，而

$X_i^2$ 表示路段 $i$ 的流量上限

決定 $X_{16}$ 流量上限之關係式：

$$\frac{X_{11}^1 - X_{18}^2 R_{18} - X_{14}^2 R_{14}}{T_{16}} \quad (28)$$

$$\frac{X_{13}^1 - X_{12}^2 R_{12} - X_{18}^2 T_{18}}{L_{16}} \quad (29)$$

$$\frac{X_{17}^1 - X_{12}^2 L_{12} - X_{14}^2 T_{14}}{R_{16}} \quad (30)$$

決定 $X_{16}$ 流量下限之關係式：

$$\frac{X_{11}^2 - X_{18}^1 R_{18} - X_{14}^1 R_{14}}{T_{16}} \quad (31)$$

$$\frac{X_{13}^2 - X_{12}^1 R_{12} - X_{18}^1 T_{18}}{L_{16}} \quad (32)$$

$$\frac{X_{17}^2 - X_{12}^1 L_{12} - X_{14}^1 T_{14}}{R_{16}} \quad (33)$$

由於本估算之車流總量以路段流量下限值加總而得，因此若能越早提高 $X_{16}$ 之流量下限，則在有限之運算次數中，對於路網之流量估算越有利。

此處著眼於單一路口之關係式，亦即，式子 31~33 三式。

由式子 31~33 觀察得知，假如 $X_{16}$ 之偵測器被移除，其流量需要依賴其他式子交集提供。式子 31 中，提高 $X_{16}$ 下限之唯一可能為 $X_{11}$ ，式子 32 中為 $X_{13}$ ，式子 33 中為 $X_{17}$ 。假如於此單一路口中，其 $X_{11}$ 再被移除，則流量範圍回歸初始值 0~2000 pcu/hr，則式子 31 對於 $X_{16}$ 之流量下限會變為負值，對於提高下限無任何幫助。

因此可以推論得到

**偵測器移除原則一：**同一路口中不宜移除太多偵測器，會造成運算收斂上更加困難。

以此為原則刪減到一定程度之後，若需要在同一路口中刪減更多偵測器時，就要繼續推算：

由於 $T_{16}$ 、 $L_{16}$ 、 $R_{16}$ 為 $X_{16}$ 之轉向比，其值範圍介於 0 與 1 之間，因此只要此三式之分母大於零，則計算出來之數值將會瞬間提高，進而提高 $X_{16}$ 之下限。關係如下：

$$\frac{X_{11}^2 - X_{18}^1 R_{18} - X_{14}^1 R_{14}}{T_{16}} \propto \frac{1}{T_{16}} \quad (34)$$

$$\frac{X_{13}^2 - X_{12}^1 R_{12} - X_{18}^1 T_{18}}{L_{16}} \propto \frac{1}{L_{16}} \quad (35)$$

$$\frac{X_{17}^2 - X_{12}^1 L_{12} - X_{14}^1 T_{14}}{R_{16}} \propto \frac{1}{R_{16}} \quad (36)$$

從以上三式可知， $T_{16}$ 、 $L_{16}$ 、 $R_{16}$ 三者轉向比數值越小者，則對分母之正比關係越大。而相對的，分母也要大於零，故又可得以下關係：

若 $T_{16}$ 最小，則 $X_{11}$ 需有確切值，最好佈設有偵測器。

若 $L_{16}$ 最小，則 $X_{13}$ 需有確切值，最好佈設有偵測器。

若 $R_{16}$ 最小，則 $X_{17}$ 需有確切值，最好佈設有偵測器。

觀察圖 36，由於 $X_{11}$ 原本就沒有佈設針測器，因此對於 $X_{16}$ 來說，可以移除之偵測器可考慮 $X_{12}$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{17}$ 。

此外， $X_{13}$ 、 $X_{17}$ 兩者對於提高 $X_{16}$ 之上限也很有幫助，因此選擇移除 $X_{12}$ 。

因此可以推論得到：

**偵測器移除原則二：**觀察被移除偵測器之流量推導關係式，選擇對於其偵測器流量下限值提高影響最小之偵測器。

**偵測器移除原則三：**選擇分母轉向比最大之計算式，挑選其位於分子之偵測器。

本研究以此三原則相互配合，逐漸移除路網中之偵測器，並於移除過程中推估路網流量，觀察路網流量之推估比率。

#### 4.4.4 測試過程

本測試路網共 523 個偵測器，預設路網總車流量為 2975137，由 523 個偵測器開始，每次移除 20 個偵測器，第 26 次為最後一次，拿取 23 個，讓偵測器數量歸零。

每拿取一次偵測器，則由推估法反覆運算 50 次才停止，並計算推估後所有路段流量下限之總流量。並將推估後之總流量與預設路網總流量兩者相比較而得估算比率。

測試過程分為兩部分：



首先第一部分測試流量推估法對於推算流量之影響與差異。

接著第二部分則測試 4.4.3 節提到之偵測器拿取原則，透過相互配合之方式，逐漸移除路網中之偵測器，並於移除過程中推估路網流量，觀察在不同方法下，路網流量推算結果之影響與差異。

#### 4.4.5 測試方法

此處以上一節所提到之拿取原則相互配合，得到三種偵測器測試拿取方式，再加上亂數拿取一種來求得測試結果：

第一種：1 同路口不移除太多、2 流量範圍影響最小之偵測器

第二種：1 同路口不移除太多、3 轉向比分母最大

第三種：2 流量範圍影響最小之偵測器、3 轉向比分母最大

第四種：亂數拿取

#### 4.4.6 測試結果

此部分以前述之方法為基準，測試各種偵測器拿取法應用前後，對於流量推算結果之影響與差異。

首先應用這些方法，依序移除路網中之偵測器拿取，並應用流量推估法運算，其結果列表如 5~8 所示：





表 5 第 1 種偵測器拿取法推估後之運算結果

拿取次數	移除數量	全部流量	總流量	估算比率
1	20	2975137	2971269.3	99.87%
2	40	2975137	2964129.0	99.63%
3	60	2975137	2949550.8	99.14%
4	80	2975137	2920394.5	98.16%
5	100	2975137	2902246.1	97.55%
6	120	2975137	2864164.4	96.27%
7	140	2975137	2831437.9	95.17%
8	160	2975137	2786215.8	93.65%
9	180	2975137	2712432.4	91.17%
10	200	2975137	2655904.8	89.27%
11	220	2975137	2591641.8	87.11%
12	240	2975137	2562783.0	86.14%
13	260	2975137	2486322.0	83.57%
14	280	2975137	2405993.3	80.87%
15	300	2975137	2086166.1	70.12%
16	320	2975137	1849940.2	62.18%
17	340	2975137	1722901.8	57.91%
18	360	2975137	1419735.4	47.72%
19	380	2975137	1334944.0	44.87%
20	400	2975137	1193625.0	40.12%
21	420	2975137	966324.5	32.48%
22	440	2975137	740809.1	24.90%
23	460	2975137	528681.8	17.77%
24	480	2975137	392420.6	13.19%
25	500	2975137	214507.4	7.21%
26	523	2975137	0.0	0.00%

資料來源：本研究整理

表 6 第 2 種偵測器拿取法推估後之運算結果

拿取次數	移除數量	全部流量	總流量	估算比率
1	20	2975137	2973054.4	99.93%
2	40	2975137	2969781.8	99.82%
3	60	2975137	2954124.5	99.29%
4	80	2975137	2948360.8	99.10%
5	100	2975137	2919501.9	98.13%
6	120	2975137	2892428.2	97.22%
7	140	2975137	2799862.3	94.11%
8	160	2975137	2754093.5	92.57%
9	180	2975137	2694581.6	90.57%
10	200	2975137	2590482.5	87.07%
11	220	2975137	2518214.6	84.64%
12	240	2975137	2414045.8	81.14%
13	260	2975137	2332534.8	78.40%
14	280	2975137	2041158.0	68.61%
15	300	2975137	1905285.0	64.04%
16	320	2975137	1621820.0	54.51%
17	340	2975137	1441155.4	48.44%
18	360	2975137	1211960.8	40.74%
19	380	2975137	1106751.0	37.20%
20	400	2975137	980498.9	32.96%
21	420	2975137	737834.0	24.80%
22	440	2975137	493610.7	16.59%
23	460	2975137	330041.2	11.09%
24	480	2975137	235035.8	7.90%
25	500	2975137	104129.8	3.50%
26	523	2975137	0.0	0.00%

資料來源：本研究整理

表 7 第 3 種偵測器拿取法推估後之運算結果

拿取次數	移除數量	全部流量	總流量	估算比率
1	20	2975137	2766574.1	92.99%
2	40	2975137	2542065.6	85.44%
3	60	2975137	2469251.7	83.00%
4	80	2975137	2488725.4	83.65%
5	100	2975137	2170495.2	72.95%
6	120	2975137	2153167.4	72.37%
7	140	2975137	1970648.9	66.24%
8	160	2975137	1801048.9	60.54%
9	180	2975137	1653897.9	55.59%
10	200	2975137	1572668.0	52.86%
11	220	2975137	1628099.4	54.72%
12	240	2975137	1364734.6	45.87%
13	260	2975137	1304516.7	43.85%
14	280	2975137	1090276.3	36.65%
15	300	2975137	1035607.1	34.81%
16	320	2975137	1003886.5	33.74%
17	340	2975137	878863.8	29.54%
18	360	2975137	688518.5	23.14%
19	380	2975137	632397.7	21.26%
20	400	2975137	591800.8	19.89%
21	420	2975137	553538.2	18.61%
22	440	2975137	344934.7	11.59%
23	460	2975137	179876.1	6.05%
24	480	2975137	90344.0	3.04%
25	500	2975137	105059.9	3.53%
26	523	2975137	0.0	0.00%

資料來源：本研究整理

表 8 第 4 種偵測器拿取法推估後之運算結果

拿取次數	移除數量	全部流量	總流量	估算比率
1	20	2975137	2961834.9	99.55%
2	40	2975137	2858256.0	96.07%
3	60	2975137	2746496.6	92.31%
4	80	2975137	2659711.3	89.40%
5	100	2975137	2536281.0	85.25%
6	120	2975137	2383400.5	80.11%
7	140	2975137	2242852.8	75.39%
8	160	2975137	2079338.1	69.89%
9	180	2975137	1976821.8	66.44%
10	200	2975137	1937055.5	65.11%
11	220	2975137	1878293.6	63.13%
12	240	2975137	1675673.9	56.32%
13	260	2975137	1563345.3	52.55%
14	280	2975137	1504401.2	50.57%
15	300	2975137	1425188.6	47.90%
16	320	2975137	1183398.6	39.78%
17	340	2975137	1143413.9	38.43%
18	360	2975137	1030039.8	34.62%
19	380	2975137	975144.1	32.78%
20	400	2975137	933281.2	31.37%
21	420	2975137	823001.9	27.66%
22	440	2975137	685297.8	23.03%
23	460	2975137	672394.2	22.60%
24	480	2975137	490176.5	16.48%
25	500	2975137	201502.2	6.77%
26	523	2975137	0.0	0.00%

資料來源：本研究整理

計算完四種偵測器拿取法之後四次之後，為方便比較與觀察，將表 5~8 之估算比率，彙整為列表 9 以及折線圖 37 如下，折線圖中橫軸為拿取次數，縱軸為推估總流量與路網總流量之比率：

表 9 相異拿取方式之估算比率比較表

拿取次數	拿取法 1	拿取法 2	拿取法 3	拿取法 4
1	99.87%	99.93%	92.99%	99.55%
2	99.63%	99.82%	85.44%	96.07%
3	99.14%	99.29%	83.00%	92.31%
4	98.16%	99.10%	83.65%	89.40%
5	97.55%	98.13%	72.95%	85.25%
6	96.27%	97.22%	72.37%	80.11%
7	95.17%	94.11%	66.24%	75.39%
8	93.65%	92.57%	60.54%	69.89%
9	91.17%	90.57%	55.59%	66.44%
10	89.27%	87.07%	52.86%	65.11%
11	87.11%	84.64%	54.72%	63.13%
12	86.14%	81.14%	45.87%	56.32%
13	83.57%	78.40%	43.85%	52.55%
14	80.87%	68.61%	36.65%	50.57%
15	70.12%	64.04%	34.81%	47.90%
16	62.18%	54.51%	33.74%	39.78%
17	57.91%	48.44%	29.54%	38.43%
18	47.72%	40.74%	23.14%	34.62%
19	44.87%	37.20%	21.26%	32.78%
20	40.12%	32.96%	19.89%	31.37%
21	32.48%	24.80%	18.61%	27.66%
22	24.90%	16.59%	11.59%	23.03%
23	17.77%	11.09%	6.05%	22.60%
24	13.19%	7.90%	3.04%	16.48%
25	7.21%	3.50%	3.53%	6.77%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

資料來源：本研究整理

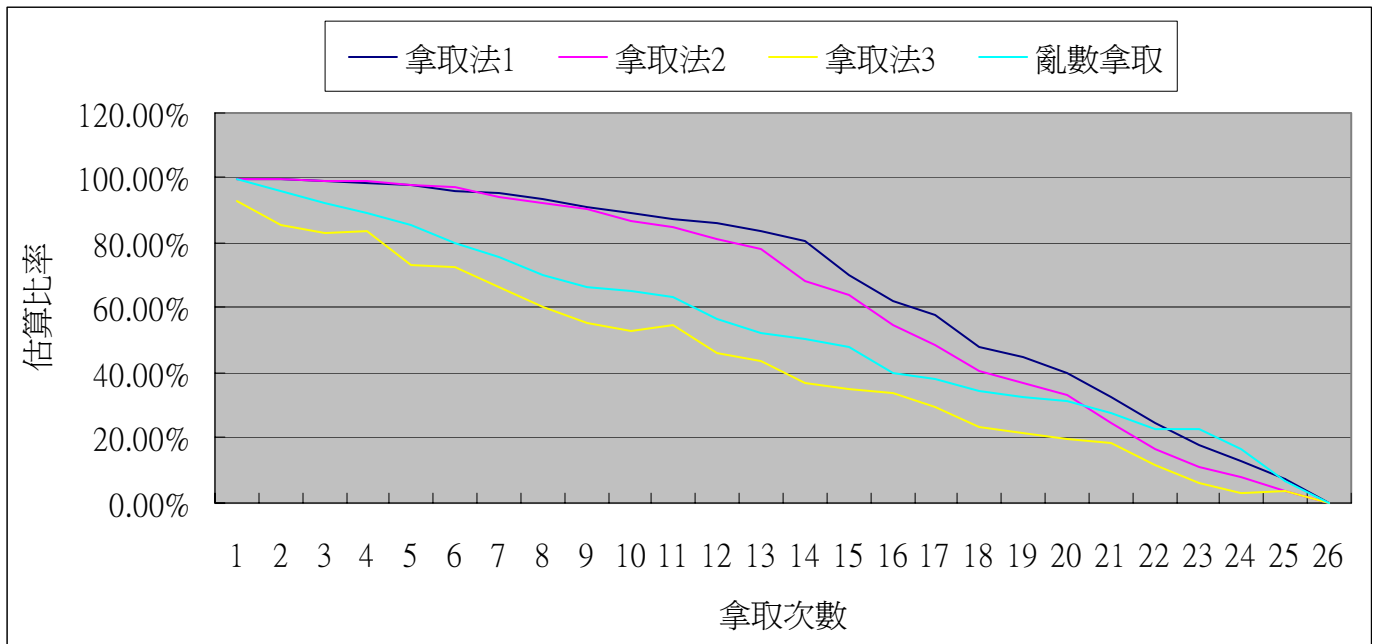


圖 37 相異拿取方式之估算比率比較圖

由表 9 與上圖可發現，以各種偵測器拿取法移除偵測器時，拿取法 1 於估算比率之表現最好，只有在一開始（1~6 次）略低於拿取法 2，其餘均高於拿取法 2 之估算比率。

拿取法 3 表現最差，其估算比率甚至比亂數拿取還要低。最大差異值出現在第 14 次，比拿取法 1 運算結果還低 44.22%，亂數拿取法則為 30.30%。到了第 14~26 次移除過程後，偵測器拿取法之估算比率則會逐漸下降，最後於第 23 次時，表現最佳的拿取法 1 甚至會比亂數拿取之估算比率還低。此例中，比亂數拿取之運算結果還低 4.83%。

因此得知，在路網上具有一定數量之偵測器時，較適用本偵測器拿取法與流量估算法。

## 五、結論與建議

車輛偵測器可說是智慧型運輸系統的探子，能夠監控、提供車流資料，讓決策者得以了解目前交通情形，以供運輸研究或者政策擬定之參考。並且使得智慧型運輸系統之各子系統能夠提供更精確之數值，以供用路人參考。但由於成本考量之關係，無法在全部路段都佈設偵測器。故本研究以偵測器之車流資料估算比率為最佳化之目標，針對偵測器之佈設地點與數量，利用模式運算來修改、調整，並估算路段流量。

### 5.1 結論

模式運算結果發現，在轉向比已知之情形下，配合路口模組以及模式理論基礎，能夠推算得到各路段流量之間的關係，進而利用彼此之關係推算而得到代換公式。經由這些關係相互配合，要將偵測器數量及位置最佳化是可行的。

倘若偵測器數量限制低於最佳佈設數量，則在一定的偵測器數量下，配合推估模式，亦能夠有效提升推估流量之估算比率。

由測試結果可得知，表現較好之拿取法，均包含「單一路口中，各偵測器數量不宜移除太多」之原則。因此移除偵測器時應該要分布路口來移除。

而拿取法 3 之估算比率，由於單一路口之偵測器移除太多，造成在推估的過程中，許多路段的流量下限仍在 0 附近徘徊，無法有效提高估算比率，因此其效率甚至比亂數拿取還要來得差。

此外，偵測器數量太少時，估算比率會迅速下降，甚至趨近於亂數拿取，因此若能有一定數量之偵測器提供推估使用，則應用推估法之運算效率會較好。

### 5.2 建議

對於日後之研究，建議如下：

模式測試方面，可增加多種偵測器拿取方法，來測試不同方法下，路網流量個別之估算比率。且本研究拿取偵測器之方法目前以單一路口為主，未來後續之研究中，可以考慮路口中偵測器移除對於其他路口之影響。

模式應用方面，可針對現有模組之偵測器佈設地點加以限制。例如某路網中原本佈設有 30 個偵測器，那麼在佈設前可以預先限制這 30 個偵測器的位置，讓佈設模組在佈設到這些地方的時候，能夠預先考量這 30 個偵測器，使得已經佈設之偵測器能夠持續發揮最大之效用，達到節省成本之結果。

此外，日後模式應用時，亦可加入增加其他種類資訊來源，例如利用探針車之資訊來修正或推估無偵測器位置之路段流量。如此可增加估算時之資料準確度。



## 參考文獻

1. Coifman, B. "Improved Velocity Estimation Using Single Loop Detectors", Transportation Research: Part A, Vol. 35, No. 10, 2001, pp. 863-880.
2. Coifman, B., Dhoorjaty, S., and Lee, Z. "Estimating Median Velocity Instead of Mean Velocity at Single Loop Detectors", Transportation Research: Part C, Vol. 11, No. 3-4, 2003, pp. 211-222.
3. Coifman, B. "Identifying the Onset of Congestion Rapidly with Existing Traffic Detectors", Transportation Research: Part A, Vol. 37, No 3, 2003, pp. 277-291.
4. Kwon, J., Coifman, B., and Bickel, P. "Day-to-Day Travel Time Trends and Travel Time Prediction from Loop Detector Data", Transportation Research Record no.1717, Transportation Research Board, 2000, pp 120-129.
5. Zhang, Xiaoping, Yinhai Wang, Nancy L. Nihan, and Mark Hallenbeck. "Development of a System to Collect Loop Detector Event (Individual Vehicle) Data." Transportation Research Board (in print), Nov. 2002.
6. Oh, S., SG Ritchie, and C. Oh., "Real-Time Traffic Measurement from Single Loop Inductive Signatures", Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC 2002. 6.
7. J. Kwon et al, "Estimation of Truck Traffic Volume from Single Loop Detector Using Lane-to-lane Speed Correlation", TRB 82nd Annual Meeting, January.
8. Sungho Oh, Keechoo Choi, "Optimal Detector Location for Estimating Link Travel Speed in Urban Arterial Roads", KSCE Journal of Civil Engineering, 8(3), 2004, pp 327-333,
9. Gary B. Thomas, Jonathan E. Upchurch, "Simulation of Detector Locations on an Arterial Street Management System", Mid-continent Transportation Symposium, pp 202-206, 2000.
10. Martin L., "Estimating Vehicle Speed from Traffic Count and Occupancy Data", Hazelton. Journal of Data Science, Vol.2, No.3, pp 231-244.
11. Yinhai Wang, Nancy L. Nihan, "Can Single-Loop Detectors Do the Work of Dual-Loop Detectors?", ASCE Journal of Transportation Engineering, 129(2), 169-176,. 2003.
12. Oh, S., SG Ritchie, C. Oh., "Real-Time Traffic Measurement from Single Loop Inductive Signatures", Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC 2002.
13. Willie D. Jones, "Forecasting Traffic Flow", IEEE SPECTRUM, pp 90-91, 2000.
14. 交通部運輸研究所委託鼎漢國際工程顧問辦理，「先進車輛偵測技術測試評估作業程序研擬及驗證之研究」，民國91年
15. 蕭偉政，「多車種車輛偵測器流量預測與專家系統應用於:動態電腦號誌系統之研究」，民國77年

16. 交通部運輸研究所委託淡江大學辦理，「智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究－號誌化道路路況資訊偵測方法與格式設定(二)」，民國93年
17. 交通部運輸研究所委託亞聯工程顧問公司辦理，「交通管制設施規劃與設計手冊:(四)交通號誌篇」，民國85年
18. 交通部運輸研究所，「交通號誌控制系統叢書(十)/交通資料偵測與蒐集」，民國85年
19. 交通部運輸研究所，「臺灣地區先進交通管理系統(ATMS)中都市交通號誌控制邏輯標準化與系統建置標準作業程序之研究.(二), 定時式/動態式控制邏輯標準化:參考手冊」，民國90年
20. 黃琳桂，「環路線圈車輛偵測器之最佳佈設方式研究」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，民國90年



## 簡 歷

姓 名：莊忠儒

籍 貫：台灣省台中市

出生日期：民國 69 年 05 月 10 日

聯絡地址：台中市東區建德街 150 號

E-mail : hoho.tem92g@nctu.edu.tw

學 歷：

民國 94 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班畢業

民國 92 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系畢業

民國 88 年 6 月 台灣省立台中第一高級中學畢業

民國 84 年 6 月 台中市立東峰國民中學畢業

民國 81 年 6 月 台中市大智國民小學畢業