

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：胡守任博士

考量旅次起迄需求量下車輛偵測器佈設策略之研究

A Study on Vehicle Detector Deployment Configuration

Strategies by Considering the Estimation of

Origin-Destination Demands Using Link Traffic Flows

研究生：王昶閔 撰

中華民國 95 年 6 月

論文名稱：考量旅次起迄需求量下車輛偵測器佈設策略之研究

頁數：119

校系(所)組別：淡江大學 運輸管理學系運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：94 學年度第 2 學期碩士學位論文提要

研究生：王昶閔

指導教授：胡守任 博士

論文提要內容：

旅次起迄(Trip Origin-Destination, OD)為影響交通狀況的重要因素之一，旅次起迄資料主要說明在特定區域內的旅行方向、運具移動型態、旅次長度等資訊，無論在運輸規劃、路網設計，以及場站選擇中，皆提供重要的資訊。

旅次起迄量等資訊之獲得實屬不易，隨著路段車流資料蒐集技術的進步，多利用車輛偵測器蒐集路網相關交通流量資料，進一步利用於各項有用的交通相關資訊之推估，因此在兼顧獲得足夠且有效的交通資訊以及降低偵測器佈設成本之下，如何有效的將車輛偵測器適量、適所的佈設與使用，對於 OD 推估工作有很大的影響，因此本研究主要的目的在於探討如何在有限的資源下，進行偵測器佈設策略的擬定，進一步獲得較佳的交通參變數推估值，該議題亦為目前進行現代化交通管理工作中重要的一環。

由於偵測器佈設之課題，較屬於長期運輸規劃之議題，因此，本研究擬以交通量指派理論為基礎，以適當的描述路網均衡下路徑選擇之情形，並進行旅次起迄與偵測器佈設問題之求解。在求解使用者均衡之交通量指派問題上，透過梯度投影法(Gradient projection, GP)求解，並獲得以路徑為基礎的相關資訊；在流量倒推旅次起迄量的課題上，由於真實 OD 量未知，故使用基本的最小平方估計量，進行旅次起迄需求涵蓋量的推估與檢驗。本研究針對上述議題，從靜態長期運輸規劃的觀點出發，構建相關的數學解析性模型，並進行數學規劃模式的求解與分析。

在數值分析方面，本研究針對前述數學規劃模式以及線性獨立路段佈設策略進行小、中、大型路網，以及原始 OD 需求和兩倍 OD 需求的測試，根據模式測試結果顯示，透過有限數量及策略性的佈設車輛偵測器，即能夠獲得有效的路網旅次起迄資訊涵蓋，並且偵測器佈設數量隨著路網規模及路網運輸需求的提升，亦隨之增加；而在線性獨立佈設策略部份，在路段觀測流量未知之情形下，藉由歷史 OD 需求量，可以有效提供路網中偵測器佈設策略之擬定，在中、小型路網規模下，能夠獲得有效的資訊涵蓋量，並且在大型路網中，亦能夠獲得不錯的路網資訊量。

**關鍵詞：**旅次起迄、車輛偵測器、運輸規劃、數學規劃、線性獨立

*Title of Thesis:*

*Total Pages: 119*

*A Study on Vehicle Detector Deployment Configuration Strategies by Considering the Estimation of Origin-Destination Demands Using Link Traffic Flows*

*Keywords: Trip Origin-Destination, Vehicle Detector, Transportation Planning, Mathematical Programming, Linearly Independent*

*Name of Institute:*

*Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University*

*Graduate Date: June 2006*

*Degree Conferred: Master Degree*

*Name of Student: Chang-Ming Wang*

王昶閔

*Advisor: Dr. Shou-Ren Hu*

胡守任 博士

*Abstract:*

Trip origin-destination (OD) is one of the crucial factors that affect traffic state in a highway network. Network OD data depict both the spatial and temporal distributions of corresponding trip demands, including travel direction, route choice, departure time, and trip length, etc. Therefore, it is one of the key components in transportation planning, network design, and terminal selection.

However, in practice it is not easy to collect true OD trip demands. As the development of traffic flow data collection technology, link traffic flows data are collected by vehicle detector and used to infer network OD trip demands. Therefore, an effective vehicle detector deployment plan is one of the key issues in modern traffic control and management.

The vehicle detector deployment configuration problem is essentially a long-term transportation planning issue. The purpose of the present research is to conduct route choice behavior description and model solving by traffic assignment theorem. Furthermore, we solve the user equilibrium (UE) problem by gradient projection method (GP) to obtain some additional path-based information. Since true OD trip demands are unknown, we conduct OD demand estimation and OD demand covering rate verification by the least square estimator. To summarize all of above, the present research is based on static transportation planning to construct

mathematical analytical models and model solving and analysis.

To demonstrate the feasibility of the proposed models, some simplified networks including small, middle, and large network sizes were employed to conduct the case study under original trip OD demands and twice of the OD demands. The numerical results indicate that using finite quantity of vehicle detectors and deployed it strategically can obtain effective network trip OD information coverage. Besides, the number of deployed vehicle detectors increase with the scale of network size and network OD demands. The result of linearly independent deployment configuration strategies indicate that by only means of prior OD demands can find the relatively important links of all without link traffic flow measurements. Moreover, linearly independent deployment configuration strategies can obtain excellent OD demand covering rate on the cases of small and middle network, and satisfactory results for the large network cases.



## 誌 謝

這是最後完成的一頁，卻也是最為寶貴的一頁！在淡水待了兩千多個日子，今天終於將要暫時向這片伴我編織許多回憶的校園告別了，在這六年中，我看到了學校周遭的變化、身邊朋友群的更替，以及自己的改變與進步，直到這本論文的完成，在這過程中，更讓我深深體會到學問的無涯。

這一路走來，我想答謝的人很多，首先，先感謝於所外口試期間，承蒙成功大學 胡大瀛教授與東華大學 褚志鵬教授撥冗前來惠賜卓見與批評指正，使學生論文內容更臻完備；接著，也要感謝系上所有老師們在研究所兩年期間，所授予的知識以及照顧；另外，特別感謝 王中允博士在我對於論文方向產生疑惑時，給予我許多寶貴的意見與指導。最後，當然要感謝恩師 胡守任博士這些日子以來的細心指導與栽培，讓我在剛進入研究所的期間，就能更進一步認識和早一點融入研究生活，這也是我能夠順利完成論文的主要原因之一。

在研究生活當中，不免一定會遇到瓶頸，我往往會在這樣最艱難的時刻，給自己做最大的放鬆，試圖想放下一切壓力，但當然還是很多時候，會不停的鑽牛角尖，搞到很心煩，不過身邊總是有許多好朋友，會大方的給彼此最大的鼓勵與支持，謝謝你們！沒有 BUG，我在研一趕報告的日子裡，將會淪落街頭；沒有可愛的同班同學，我在生日的時候只能默默在淡水河邊吹海風；沒有仁吉在不快樂時找我談心，我這張愛碎碎念的嘴將無處發揮；當然，沒有文賢、囉囉囉、巴斯、秋如、首源、怡蓉、峻昇、智安、淑芳、金門、PONA、文龍，以及誌嘉，我將不會如此幸運，擁有一個讓人永難忘懷的夜晚。

最後，我要感謝我生命中最重要的人員，要感謝爸爸和媽媽從小在我求學的過程中，總是給予我很大的自由與自主權，在我遭遇困難時，我知道你們在一旁替我著急，或許我常常冷冷的回你們說：沒事啦！但事實上，我還是能感受到你們給我的愛。大姐、二姐，還有福福，平常也許你們常是我吵架或欺負的對象，但在論文撰寫的最後時刻，我心情總是時好時壞，也多虧有你們在旁邊為我加油，替我解憂，那封在論文進度報告期間，福福傳來的簡訊，實在是讓我感覺既窩心又很可笑。

要感謝的人實在太多了，但在最後我不想謝天，而是要感謝這年來在我身邊陪伴我渡過苦悶歲月的貝茹，雖然有時候，妳的躁鬱症會帶給我不少的負擔，但在我們之間，再沈重的負擔，對我而言，都是那麼甜蜜的負荷，未來的這一年，妳也在課業上繼續加油，我會作為妳最大的精神支柱，往後的日子裡，不管有什麼困難，就讓我們一起面對吧！

昶閔 謹誌

2006 年 6 月底 於中和

# 目 錄

頁次

中文摘要

英文摘要

誌謝

目錄.....I

圖目錄.....V

表目錄.....VI

## 第一章 緒論

1.1 研究動機與背景 .....1

1.2 研究目的 .....3

1.3 研究範疇與假設 .....4

1.3.1 研究範疇.....4

1.3.2 研究假設.....4

1.4 研究流程 .....5

1.5 研究內容 .....7

## 第二章 問題描述與文獻回顧

2.1 問題描述 .....9

2.1.1 流量倒推旅次起迄與偵測器佈設問題.....9

2.1.2 旅次起迄涵蓋程度問題.....11

2.2 旅次起迄推估模式文獻回顧 .....13

2.2.1 簡單線性模式與延伸性線性模式.....13

2.2.2 非線性模式.....17

2.2.3 其他相關文獻回顧.....18

2.2.4 小結.....19

2.3 偵測器佈設相關文獻回顧 .....	20
2.3.1 偵測器佈設相關準則.....	20
2.3.2 以偵測器佈設為目標之相關文獻.....	23
2.3.3 小結.....	24
2.4 交通量指派相關文獻回顧 .....	26
2.4.1 靜態交通量指派.....	26
2.4.2 動態交通量指派.....	27
2.4.3 交通量指派為基礎下之相關應用 .....	28
2.4.4 小結.....	29
2.5 小結 .....	30



### 第三章 模式架構

3.1 使用者均衡之路徑選擇模型 .....	31
3.1.1 模型均衡條件.....	31
3.1.2 模式建立.....	32
3.2 考慮偵測器佈設位置數量下之旅次起迄推估模型 .....	34
3.2.1 偵測器數量限制式.....	35
3.2.2 模式內容說明.....	37
3.3 旅次起迄需求量檢驗模型 .....	38
3.3.1 模式架構.....	38
3.3.2 模式內容說明.....	38
3.4 小結 .....	40

### 第四章 求解模式構建與說明

4.1 梯度投影法 .....	42
4.1.1 梯度投影法求解靜態使用者均衡模式.....	43
4.2 共軛梯度搜尋法 .....	46
4.3 求解演算流程說明 .....	50
4.4 考量獨立/相依路段下之偵測器佈設策略 .....	56

### 第五章 實驗設計與數值分析

5.1 實驗設計 .....	58
5.1.1 實驗路網基本資料.....	60
5.1.1.1 小型路網基本資料.....	60
5.1.1.2 中型路網基本資料.....	61
5.1.1.3 大型路網基本資料.....	64
5.1.2 實驗設計.....	70
5.1.3 評估準則.....	71



5.1.4 測試環境.....	72
5.2 模式測試與分析 .....	74
5.2.1 小型路網測試結果.....	74
5.2.2 中型路網測試結果.....	76
5.2.3 大型路網測試結果.....	78
5.2.4 小結.....	87
5.3 考量獨立/相依路段之偵測器佈設策略 .....	89
5.3.1 小型路網測試結果.....	89
5.3.2 中型路網測試結果.....	90
5.3.3 大型路網測試結果.....	91
5.3.4 小結.....	92
5.5 模式測試結果綜合比較 .....	93
 第六章 結論與建議	
6.1 結論 .....	96
6.2 建議 .....	98
 參考文獻.....	100
附錄一 小型路網不同模式/需求下之偵測器佈設情形 .....	105
附錄二 中型路網兩倍需求/原模式下之偵測器佈設情形 .....	106
附錄三 大型路網兩倍需求/原模式下之偵測器佈設情形 .....	107
附錄四 程式演算流程圖.....	108
附錄五 線性獨立/相依路段佈設策略之程式演算流程圖 .....	109
附錄六 求解偵測器佈設位置程式碼之部份內容.....	110

# 圖 目 錄

	頁次
圖 1.1 旅次起迄量推估議題的演進.....	2
圖 1.2 研究流程圖.....	6
圖 2.1 動態旅次起迄示意圖.....	10
圖 2.2 Bianco 的 SLP 模式架構示意圖 .....	23
圖 3.1 交通量指派模式演算示意圖.....	33
圖 3.2 模型間相互關係與解題初步構想圖.....	40
圖 4.1 非線性規劃函數示意圖.....	46
圖 4.2 梯度法搜尋過程示意圖.....	47
圖 4.3 階段一求解過程流程圖.....	50
圖 4.4 階段二求解過程流程圖.....	52
圖 4.5 完整求解過程流程圖.....	55
圖 5.1 小型實驗路網圖.....	60
圖 5.2 中型實驗路網圖.....	62
圖 5.3 大型實驗路網圖.....	65
圖 5.4 實驗設計示意圖.....	70
圖 5.5 原始 OD 需求下偵測器佈設數量增加與整體績效之關係圖.....	87
圖 5.6 兩倍 OD 需求下偵測器佈設數量增加與整體績效之關係圖.....	87
圖 5.7 不同路網規模/需求下線性獨立偵測器佈設策略之平均績效圖	92
圖 5.8 不同路網規模/需求/模式下之偵測器佈設數量百分比圖 .....	93
圖 5.9 不同路網規模/需求/模式下之平均績效值綜合比較關係圖 .....	94

## 表 目 錄

	頁次
表 2-1 各路網型態之特性整理 .....	9
表 5-1 不同類型路段基本資料對照表 .....	59
表 5-2 小型路網各路段基本資料表 .....	60
表 5-3 中型路網各路段基本資料表 .....	63
表 5-4 大型路網各路段基本資料表 .....	66
表 5-5 MAPE 預測績效評估準則 .....	72
表 5-6 小型路網之歷史起迄需求與路網條件 .....	74
表 5-7 小型路網原始 OD 需求量之評估結果 .....	74
表 5-8 小型路網兩倍 OD 需求量之評估結果 .....	75
表 5-9 中型路網之歷史起迄需求與路網條件 .....	76
表 5-10 中型路網原始 OD 需求量之評估結果 .....	76
表 5-11 中型路網兩倍 OD 需求量之評估結果 .....	77
表 5-12 大型路網之歷史起迄需求與路網條件 .....	78
表 5-13 大型路網原始 OD 需求量之評估結果 .....	78
表 5-14 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果 .....	83
表 5-15 小型路網原始 OD 需求量之評估結果 .....	89
表 5-16 小型路網兩倍 OD 需求量之評估結果 .....	89
表 5-17 中型路網原始 OD 需求量之評估結果 .....	90
表 5-18 中型路網兩倍 OD 需求量之評估結果 .....	90
表 5-19 大型路網原始 OD 需求量之評估結果 .....	91
表 5-20 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果 .....	91
表 5-21 線性獨立路段佈設策略下之平均績效表現 .....	92
表 5-22 不同模式/需求下之平均績效值綜合比較表 .....	93

## 第一章 緒論

### 1.1 研究背景與動機

旅次起迄(Trip Origin-Destination, OD)為影響交通狀況的重要影響因素之一，在旅次起迄資料中主要說明在特定區域內旅行方向、運具移動型態、旅次長度等資訊，無論在運輸規劃、路網設計，以及場站選擇中，皆能夠提供重要的資訊。然而過去傳統的旅次起迄資料蒐集方式，大多透過路邊訪查、車牌登錄、郵卡問卷、家戶訪問調查、亮燈法等途徑，再以擴展係數放大調查之結果，是屬於利用樣本資料推估母體之旅次起迄量；同時上述之資料調查方式，除了需要花費龐大的人力及時間之外，其所獲得的資料是屬於某特定時間、空間範圍內旅次起迄量之長期平均值，較適於運輸規劃方面之使用。

因應智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS) 各子系統的發展，傳統的交通資訊供給已不敷需求。以先進交通管理系統(Advanced Traffic Management Systems, ATMS) 為例，為滿足現代化交通管理之目標，動態及短時間內交通狀態之推估與預測，有助於交通管制策略的擬定。例如以高速公路之路徑導引策略進行路網控制，經由車輛偵測器所蒐集之車流資料進行短時間交通量之預測，可獲知高速公路與其替代道路之交通狀況，並透過資訊可變標誌(Variable Message Sign, VMS) 或路況廣播(Highway Advisory Radio, HAR) 告知用路人相關替代道路資訊，以減少或避免交通擁擠，進而節省旅行時間。

過去花費漫長時間蒐集資料的靜態分析，已經漸漸不符合現今先進交通管理系統所需，因此若要針對交通管理作動態即時(real time) 的反應及分析，有關動態資訊的獲得及推估，則顯得格外重要。旅次起迄資料原本為進行運輸規劃與交通管理相關工作時不可或缺的重要資訊，隨著 ITS 的發展，線上(on-line)交通資料的蒐集與運用已日益可行，同時也將成為改善交通問題過程中重要的一環。

在實務上，旅次起迄等資訊之獲得實屬不易，而傳統之起迄調查方式並不能滿足短期內交通管理之需求，故近三十年來，陸續有許多學者針對此問題，利用一些易於收集的交通量資料，進行旅次起迄的推估，主要的研究方法包括：最小

平方法、最大概似法、貝氏估計法、卡門濾波法，以及類神經網路等不同方法，並且在各種方法的使用及發展上，也都有了不錯以及顯著的成果。茲整理傳統與近來有關旅次起迄的資料蒐集方式、問題型態，以及主要的研究方法與立論基礎如圖 1.1 所示。

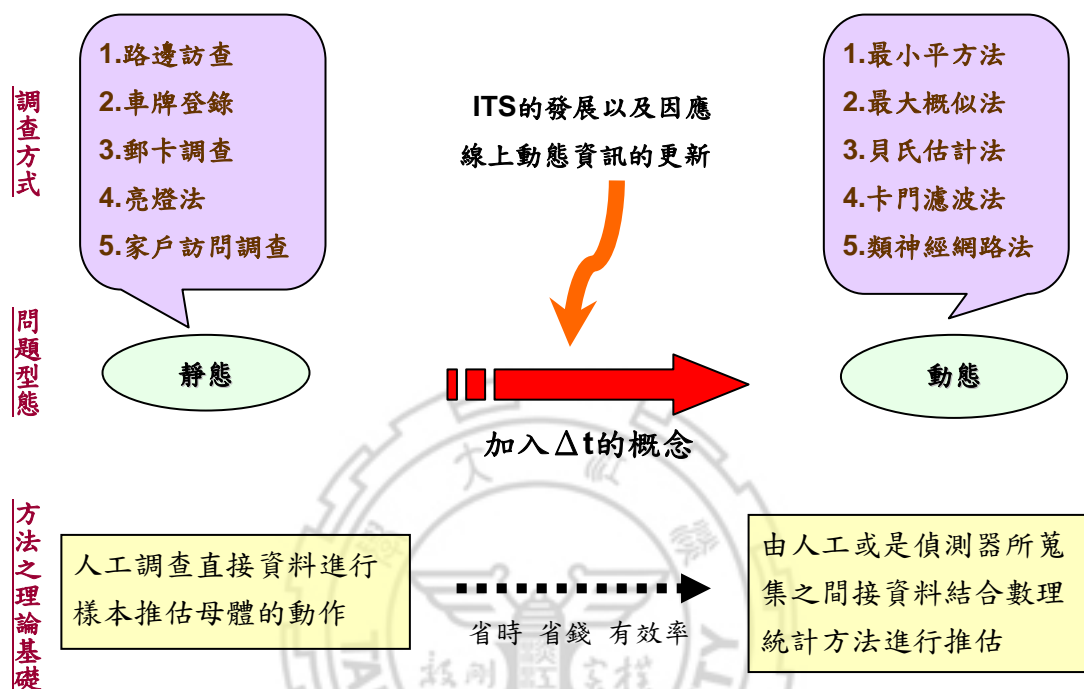


圖 1.1 旅次起迄量推估議題的演進

另外，利用偵測器佈設來蒐集相關路網交通流量資料，並進一步利用於各項有用的交通相關資訊之推估，亦成為近年來交通管理相關單位積極研究的重要課題之一。過去利用偵測器路段流量推估路網起迄量之研究，多假設路段觀測流量為已知之完全資訊，但在實務上，偵測器佈設的成本考量，卻顯著的影響了偵測器佈設的全面性。因此，本研究主要則是以長期運輸規劃的觀點，進行探討一路網中，考量旅次起迄量涵蓋程度之下，較適當的偵測器佈設策略。

## 1.2 研究目的

旅次起迄資料雖然不易直接獲得，但可經由相關路段之交通流量資訊加以推估，在過去一般路網的推估模式中，多假設路段交通流量為完全充分資訊，或是在特有的路段進行路段交通流量的蒐集，例如：屏柵線（screen line）或是周界線（cordon line）之交通量等。由於交通流量獲得的多寡與旅次起迄的推估高度相關，並且又牽涉到偵測器佈設成本等因素考量，偵測器的佈設除了可以蒐集流量與點速度等資料之外，若能透過策略性的佈設方式，進一步推估路網起迄量資訊，將使車輛偵測器對於路網資訊的貢獻發揮至極致。近年來各界對於旅次起迄推估問題的著墨，已逐漸由高快速公路路網轉移至一般路網問題的探討；而車輛偵測器的佈設問題，亦由都市幹道擴展至一般路網交通資訊的提供，然而過去鮮少有相關研究以結合偵測器佈設議題的角度去探討旅次起迄推估之準確性，偵測器佈設的質跟量，極可能影響旅次起迄推估工作的品質以及主管機關佈設偵測器等硬體設施成本的高低。有鑒於此，本研究希望針對一般路網的旅次起迄推估問題結合偵測器佈設議題進行探討，希望在能獲得有效的旅次起迄推估量的前提假設之下，尋找較佳的偵測器佈設策略，以期未來能提供交通主管單位在進行相關實務面的應用，或是進行都市運輸規劃上的參考依據。

綜合上述，本研究旨在透過一般路網中歷史 OD 矩陣，進行偵測器佈設方案之求解，進而進行旅次起迄量之推估，並針對旅次起迄需求量涵蓋程度加以檢驗，探討在獲得有效的旅次起迄推估量與考量成本限制之下，偵測器合適的佈設位置與數量，以期相關研究結果能作為未來實務上應用之參考依據。本研究主要的研究目的條列如后：

- (1) 透過歷史起迄資料之蒐集，進行偵測器佈設方案之求解。
- (2) 透過不同路段不同數量偵測器的路段流量蒐集，進行旅次起迄量的推估。
- (3) 經由不同偵測器佈設策略，瞭解旅次起迄推估之績效優劣，以尋求在考量一定的旅次起迄需求量涵蓋程度下之偵測器佈設策略。

## 1.3 研究範疇與假設

### 1.3.1 研究範疇

本研究以一般路網為研究對象，透過路段相關交通資訊以及歷史起迄矩陣，推估旅次起迄需求量與求解最佳偵測器佈設位置與數量，即以旅次起迄推估及偵測器佈設問題為探討的對象。然由於實務上一般路網之旅次起迄資料蒐集不易，為進行模式之校估與驗證，故本研究參考過去相關研究之實驗路網，並採用其路網條件與基本資料為基礎，進行模式之數值分析與驗證等工作。

### 1.3.2 研究假設

本研究所建構之旅次起迄推估及偵測器佈設模型是以靜態使用者均衡路徑選擇模型為基礎。Wardrop 於 1952 年對交通量指派提出兩項原則，其中第一項使用者均衡條件則為：每一起迄對被使用路徑之旅行成本相同，且小於未被使用路徑之旅行成本。上述原則於本研究之相關假設如下：

1. 用路人具有完整之交通資訊，即用路人明確知道各種交通型態下其可行路徑之旅行成本。
2. 用路人具有同質性，即具有相同的駕駛習慣、社經特性等。
3. 用路人對於路徑選擇為行前(pre-trip)資訊之最短路徑，選擇路徑後在駕駛過程中，不再改變其行駛路徑。
4. 單一用路人、單一運具別。
5. 先驗(prior)起迄旅次矩陣與路段觀測之路段流量為已知資料。所謂先驗起迄旅次矩陣資料可由歷年統計與調查資料取得；路段觀測流量則為長期平均之路段流量水準值。

另外，在本研究中，真實旅次起迄量為未知，故本研究以旅次起迄需求量涵蓋程度檢驗模式，作為模式績效評估之準則。

## 1.4 研究流程

綜合前述，本研究之流程與工作內容可分為四個部分，第一部分為界定問題、確立研究目標、研究目的、研究範疇，以及相關文獻之蒐集與回顧。第二部分則為旅次起迄推估模式和偵測器佈設問題模式之構建。第三部分則是進行考量旅次起迄推估需求涵蓋程度模式及偵測器佈設問題之模式驗證，以及數值分析。最後一部分則根據模式測試分析結果提出結論與建議，詳細研究流程如圖 1.2 所示。





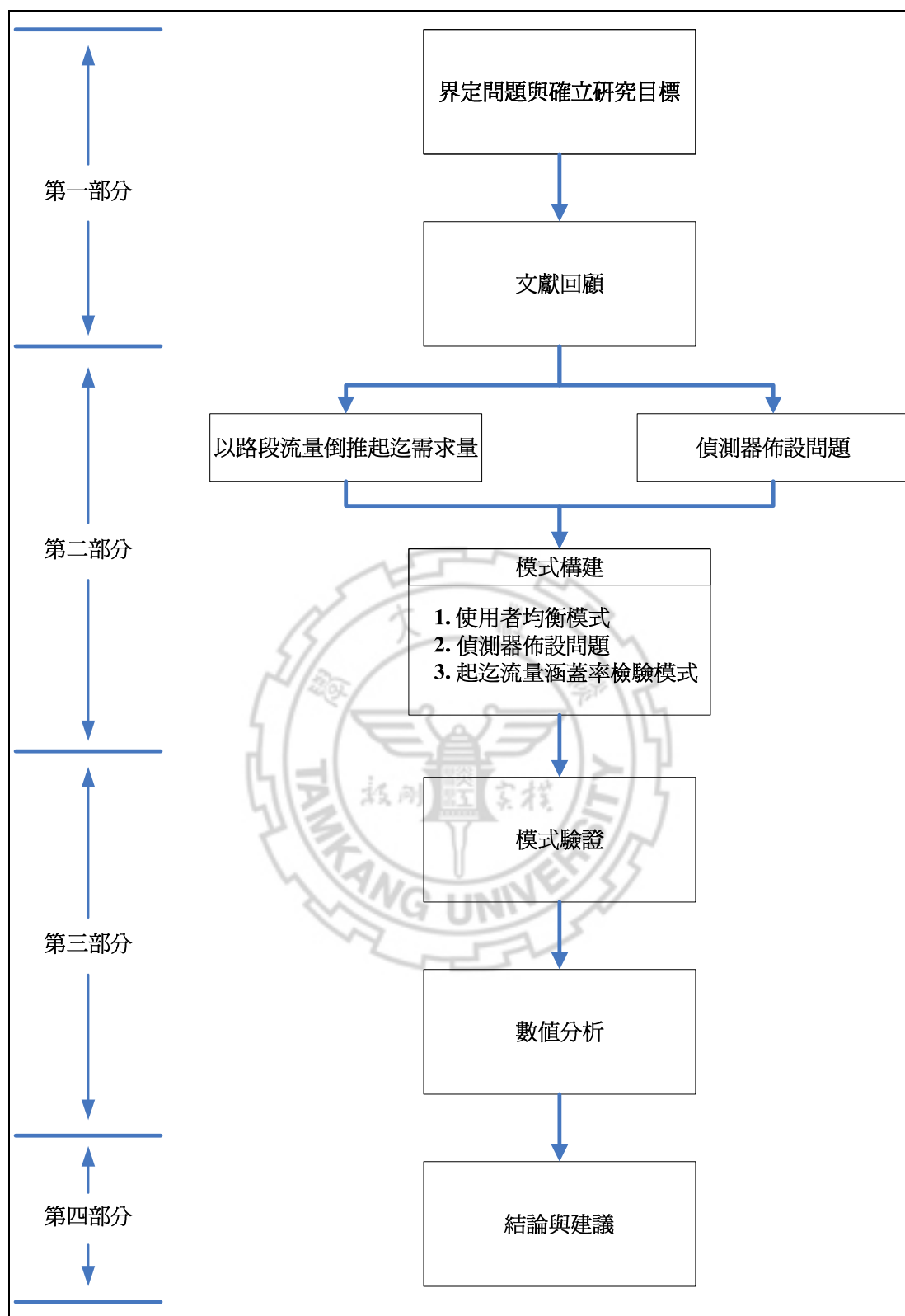


圖 1.2 研究流程圖

## 1.5 研究內容

本研究之內容可依章節分為以下六部分，分述如下：

### 第一章 緒論

說明旅次起迄推估與偵測器佈設質與量的課題之重要性，並說明研究目的、研究範疇與假設，以及研究流程等項目。

### 第二章 問題描述與文獻回顧

本章針對研究主題加以描述，並回顧旅次起迄推估與偵測器佈設質量問題之國內、外相關文獻，以選定適合之模式架構型態。

### 第三章 模式架構

根據前章分析結果，並考慮研究主題之適用性，選定使用數學解析模型為本研究之主要架構，並進行相關模式架構與模式內容之說明；主要包括：靜態使用者均衡模式、偵測器佈設問題，以及旅次起迄需求量涵蓋程度檢驗模式。另外在偵測器佈設議題中，加入之偵測器數量限制式，進行推導說明。

### 第四章 求解模式構建與說明

依據前章之主要模式架構進行整合，建立數學規劃模型，透過兩階段之方式進行研究課題之求解，並且進一步說明模式之求解流程與模式內涵。另外，在考量資源限制及路段觀測流量未知下，提出線性獨立/相依路段之偵測器佈設策略。

### 第五章 模式測試與分析

本章利用小、中、大三種實驗路網，透過相關路網條件與資料的輸入，藉由 Visual Basic 6.0 進行程式之撰寫，並結合 Maple 10 套裝軟體，進行模式求解。而有關線性獨立/相依路段之偵測器佈設策略之求解，則利用 MATLAB 7.0 進行操作。最後依據前章所構建之模式進行模式驗證與數值分析等工作。

## 第六章 結論與建議

根據本研究數值分析之相關結果，歸納具體之研究結論與未來研究建議，以作為實務應用或未來研究之參考。



## 第二章 問題描述與文獻回顧

本研究擬探討之三大主題包括 — 1.流量倒推旅次起迄需求涵蓋問題、2.偵測器佈設問題，以及 3.交通量指派問題，在 2.1 節中先就本研究所探討之主要問題進行描述，並利用 2.2~2.4 節就此三大主題，分別進行相關文獻之回顧，以作為後續研究之基礎。

### 2.1 問題描述

#### 2.1.1 流量倒推旅次起迄與偵測器佈設問題

在流量倒推 OD 的問題中，一般可以分為三種基本的路網型態進行個別的討論，其中包含了：

- 1.一般路口轉向比；
- 2.高速公路之旅次起迄分佈；
- 3.一般路網之旅次分佈。

其個別的問題特性整理如下表 2-1 所述。

表 2-1 各路網型態之特性整理

特性 路網	Time Lag	封閉 / 開放 路網	旅次起迄量	處理方式
路口轉向	無	封閉式路網	易獲得	視為靜態
高速公路	有	封閉式路網	不易獲得	動態問題
一般路網	有	開放性路網	不易獲得	動態問題

流量倒推 OD 最基本的問題，即進行路口轉向比之推估，由於路口轉向的行為往往在很短的時間內，就可以完成旅次行為，因此將不會有時間落差(Time lag)

的問題出現，且屬於封閉性的路網，在每一起迄對間，並無路徑選擇的問題，真實之旅次起迄量亦很容易經由路口流量調查獲得，方便進行模式驗證的工作；而在高速公路與一般路網的議題上，則因為旅次起迄距離較長，往往無法於短時間內完成旅次，故當流量倒推 OD 模式應用於此二類問題時，將會有時間落差的情形產生，也因此使問題由靜態轉變為動態問題，而所謂動態旅次起迄即表示車輛於某一時階由起點出發，經過一至數個時階後才能抵達迄點，如圖 2.1 所示，其中  $x_{ij}(t)$  表示於時階  $t$  時，由起點  $i$  至迄點  $j$  之旅次起迄量。且在高速公路與一般路網的問題上，真實的 OD 需求量，往往難以獲得，故也使得模式驗證的工作較為困難，大部分研究是利用車流模擬軟體，進行真實 OD 資料的產生與應用。

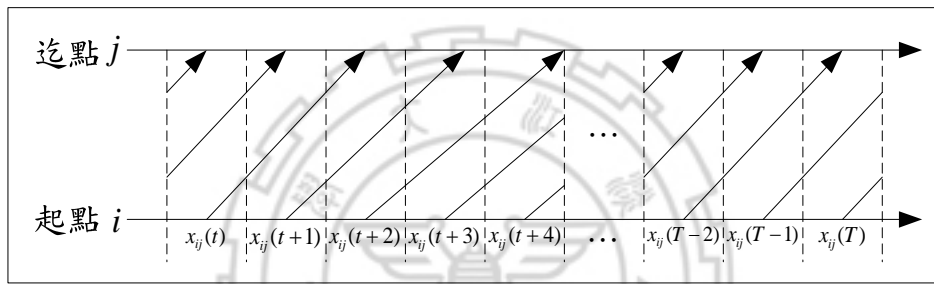


圖 2.1 動態旅次起迄示意圖

由於一般性之路網為一開放系統(open system)，因此除了要處理在高速公路問題中，可能產生之時間落差 (time lag) 問題之外，還必須進一步處理有關路徑選擇 (route choice) 的問題，因此在問題的複雜程度上，相較於路口轉向比與高速公路流量倒推起迄旅次問題來說，則是更為複雜。

在旅次推估模式上依照模式內容，可分為下列三大類：(1) 簡單線性模式；(2) 延伸性線性模式；以及(3) 非線性模式。

針對上述各類型問題以及不同模式間的比較，近年來已經有許多推估方法被各界所使用，分別處理不同路網型態，以及不同特性的問題。在 2.1 節當中，將針對各類方法進行較完整的文獻回顧。

此外，交通流量資料的蒐集主要仰賴車輛偵測器的佈設而獲得，由於車輛偵測器的佈設成本相當龐大，因此在兼顧獲得足夠且有效的交通資訊以及降低偵測器佈設成本之下，如何有效的將車輛偵測器適量、適所的佈設與使用，為進行現代化交通管理工作中相當重要的一環。

近年來，也有不少文獻進行偵測器佈設議題之探討，但切入問題的角度與應用的對象各有不同，包括：社會總成本最小、有效推估路段旅行時間，以及旅次起迄量推估等相關議題。相關文獻將在 2.2 下一節中，進行整理與回顧。

從上述問題中，我們可以發現，車輛偵測器佈設之質與量，將對於 OD 推估工作有很大的影響，如何在有限的資源下，進行最恰當的利用，進一步以獲得較佳的交通參變數推估值，即為目前進行現代化交通管理工作中很重要的問題之一。因此，本研究擬探討的問題為一般路網中，如何透過有限的車輛偵測器佈設數量與位置，獲得最多的路網資訊，進一步有利於進行路網起迄旅次的推估工作。

### 2.1.2 旅次起迄涵蓋程度問題

在本研究中，由於真實 OD 需求為未知，因此本研究提出以旅次起迄涵蓋程度為檢驗模式優劣之績效指標，以下針對旅次起迄涵蓋程度的定義進行說明。旅次起迄涵蓋程度之主要想法可以分為兩類：(1) 旅次起迄量涵蓋率(部份資訊與完全資訊)，(2) 起迄對資訊涵蓋率。

#### (1) 旅次起迄量涵蓋率(部份資訊與完全資訊)

本研究主要績效評估準則即利用部份資訊下，所推估之路網起迄需求量，以及完全資訊即所有路段觀測流量皆已知之情形下，所推估之旅次起迄需求量，進行兩者之比對，以瞭解在已佈設偵測器路段之流量資訊，相較於完全資訊下之旅次起迄需求量推估值，已達到如何之涵蓋程度。

#### (2) 起迄對資訊涵蓋率

透過部份路段的偵測器佈設，並無法確保所有起迄對資訊都會被擷取到，換言之，也就是當所有線性獨立路段皆佈設偵測器時，將可以確保所有起迄對之資訊皆可獲得；但僅佈設於線性獨立路段，亦不能確保獲得較佳之旅次起迄需求量推估值。

而本研究所提及之旅次起迄涵蓋程度，即同時考量以上說明之兩點，故

最終獲得之一定旅次起迄涵蓋程度下之偵測器佈設策略，則包含旅次起迄量涵蓋率，以及起迄對資訊涵蓋率皆考量下之偵測器佈設建議數量與位置。



## 2.2 旅次起迄推估模式文獻回顧

傳統之旅次起迄推估模式，並未考慮交通流量隨時間變動而改變，因此屬於靜態之旅次起迄推估模式，較屬長期運輸規劃相關課題之應用，亦為本研究擬使用之主要起迄推估模式型態；而為滿足現代化交通管理之需求，因而需要進一步考慮，在路段流量以及旅次起迄量依時變動下之旅次起迄推估問題，即所謂動態旅次起迄推估，但本研究基於考量車輛偵測器佈設問題為長期運輸規劃的課題，換言之，車輛偵測器佈設的質與量，在實務上很難隨著動態旅次起迄量的變化，隨之進行不同方式的配置，故本研究暫時不考慮動態 OD 的推估。旅次起迄推估模式可依其模式內容分為三大類：(1)簡單線性模式、(2)延伸性線性模式，以及(3)非線性模式，以下進一步說明各類模式之內容。

### 2.2.1 簡單線性模式與延伸線性模式

簡單線性模式之基本假設為旅次起迄間之旅行時間可忽略不計，因此透過每時階車輛分配於各路徑之比例，進行旅次起迄與流量關係之描述，其基本模式如式(2.1)所示：

$$y_j(t) = q_i(t) \cdot b_{ij}(t) \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

式中，

$y_j(t)$  表示於時階  $t$ ，由路段  $j$  離開之車輛數；

$q_i(t)$  表示於時階  $t$ ，由路段  $i$  進入之車輛數；

$b_{ij}(t)$  表示於時階  $t$ ，由路段  $i$  進入並於路段  $j$  離開之比例。

根據上述，旅次起迄流量  $x_{ij}(t)$  為：

$$x_{ij}(t) = q_i \cdot b_{ij}(t) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

而自然條件限制式為：

$$\sum_{j=1}^J b_{ij}(t) = 1, i = 1, 2, \dots, J-1 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$0 \leq b_{ij}(t) \leq 1$$

由於旅次起迄間旅行時間可忽略之假設與事實多有不符，若於車流狀態穩定



之情況下，旅行時間可視為一常數值，因此延伸線性模式係將前述之簡單線性模式進行旅行時間因素之修正，即當旅行時間考慮下，加入時間落差之影響。由於線性模式係以式(2.1)為基礎，然僅根據該性質並無法求得 $b_{ij}(t)$ 之唯一解，因此可透過不同方法進行計算以求得唯一解，而有以下不同的模式型態。

#### (1) 最小平方方法(Ordinary Least Square, OLS)

最小平方方法係假設估計值與觀測值具有不偏性，且路段交通量以及初期旅次起迄矩陣皆為已知下，求取路段流量估計值與觀測值的平方差最小化。考慮以下量測方程式：

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{a}(t)^T \mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t) \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

式中，

$\mathbf{z}(t)$ ：時階 $t$ 時，通過某些路段之交通量觀測值向量；

$\mathbf{a}(t)$ ：於時階 $t$ 之旅次起迄量分派矩陣；

$\mathbf{x}(t)$ ：時階 $t$ 時之旅次起迄向量；

$\mathbf{v}(t)$ ：時階 $t$ 之誤差項向量。

在 $\mathbf{x}(t)$ 未知之情況下，令一函數 $J(\cdot)$ ，求解 $J(\mathbf{x}(t))$ 之二次成本函數(quadratic cost function)：

$$J(\mathbf{x}(t)) = \sum_{r=1}^t \left[ \left( \mathbf{z}(r) - \mathbf{a}(r)^T \mathbf{x}(r) \right)^T \left( \mathbf{z}(r) - \mathbf{a}(r)^T \mathbf{x}(r) \right) \right] \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

依據式(2.5)可得最小平方估計量為：

$$\hat{\mathbf{x}}(t) = \left[ \sum_{r=1}^t \mathbf{a}(r) \mathbf{a}(r)^T \right]^{-1} \left[ \sum_{r=1}^t \mathbf{a}(r) \mathbf{z}(r) \right] \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

同屬最小平方方法中，尚有加權最小平方方法(Weighted Least Square, WLS)、一般化最小平方方法(Generalized Least Square, GLS)，以及具限制式最小平方方法(Constrained Least Square, CLS)等方法，其求解方式皆與最小平方方法並無差異，然而此類方法在求解過程中由於需計算反矩陣且須反覆運算，為其主要的缺點。

Cremer 及 Keller(1987)在不須考慮前期資訊下，採用四種方法進行旅次起迄之推估：(1)考慮交互關係矩陣之最小平方方法、(2)限制式最佳化法、(3)

簡單遞迴推估模式，以及(4)卡門濾波模式。在該研究中指出，以最小平方方法為基礎的求解過程中並無法確保自然條件限制式成立，為改善該問題，Nihan 及 Davis(1987)進一步提出兩階段求解法，以解決以最小平方方法為基礎的求解過程中無法確保自然條件限制式成立的問題。

Kawahra(1987)則以路邊抽樣調查之起迄資料，並將每一起迄對(OD Pair)所使用特定路段之比例，透過最小平方方法進行旅次起迄矩陣推估，然而其研究結果顯示，該模式無法在道路擁擠狀況時使用。

## (2) 最大概似法(Maximum Likelihood Approach, MLE)

最大概似法係假設資料來源的統計分配為已知，而求取觀測值與估計值之概似度(likelihood)最大，在統計上具有一致性以及大樣本之有效性，而且呈常態分配等特性，最大概似估計量為：

$$\hat{\mathbf{x}}(t) = \arg. \max_{\mathbf{x} \in S} \{ \ln L[\mathbf{Z}(t) | \mathbf{x}(t)] \} \dots\dots\dots(2.7)$$

其中， $S$  為  $\mathbf{x}$  之非負集合。

Spiess(1987)假設抽樣調查之起迄旅次量服從 Poisson 分配，並在路段交通量已知之條件下，透過最大概似法進行旅次起迄矩陣之推估。而 Cascetta 及 Nguyen(1988)則證明以 Poisson 分配為基礎之最大概似估計量優於最小平方方法，但缺點為計算過程較為複雜。

由於最大概似法與最小平方方法同樣需要多次之運算，因此 Nihan 與 Hamed(1992)以最大概似法為基礎，提出固定點法(Fixed Point Approach)，其目的在於簡化問題，但由於該方法假設旅次起迄間皆可於單一時間內完成，因此與實務上仍有差異。

## (3) 遞迴演算法(Recursive Algorithm)

由於非遞迴式演算法在求解時，需要過去所有時間之資料，且存在計算過程繁瑣之缺點，為解決此一問題，故有遞迴演算法之提出，其一般式為：

$$\hat{\mathbf{b}}(t+1) = \hat{\mathbf{b}}(t) + \mathbf{K}(t) \cdot [\mathbf{y}_j(t+1) - \mathbf{q}^T(t+1) \cdot \hat{\mathbf{b}}(t)] \dots\dots\dots(2.9)$$

其中， $K(t)$  表示遞迴式增益項。

根據增益項  $K(t)$  之計算方式不同，遞迴演算法可分為：(1)遞迴最小平方方法(Recursive Least Square, RLS)、(2)一般化遞迴最小平方方法(Generalized RLS)、(3)限制遞迴最小平方方法(Constrained RLS)、(4)卡門濾波法(Kalman Filtering)，以及(5)類神經網路法(Neural Network)等。

Chang 以及 Wu(1994)利用卡門濾波模式，經由上、下匝道與主線交通量等量測資料，以及巨觀交通特性構建動態之系統模式，以進行高速公路動態旅次起迄量之推估。該模式透過車流模擬進行驗證，結果顯示可有效處理動態旅次起迄量的推估問題。Wu 以及 Chang (1996)利用最小平方方法與卡門濾波為基礎，進行以屏柵線(Screen line)流量推估高速公路路網起迄流量。

李宗億(1998)在考慮動態 OD 推估之適應性整體匝道儀控模式的研究中，亦採用 Chang 及 Wu 所構建之卡門濾波模式，以進行動態旅次起迄量之推估。

楊兆升(2000)應用類神經網路與卡門濾波模式進行道路流量與旅行時間之預測。在類神經網路方面，該研究分別以預測路段之資料，以及包含上、下游路段資料分別構建類神經推估模式，其結果顯示兩模式皆可有效進行預測，而透過上、下游路段資料所構建的模式績效較佳。此外，根據該研究結果顯示，卡門濾波模式應用於交通流量與旅行時間預測上亦有良好之表現。

胡守任(2001)以卡門濾波理論分別構建應用於：(1)路口旅次起迄、(2)高速公路旅次起迄、(3)路網旅次起迄，以及(4)車流密度之推估模式，並透過美國麻州高速公路之旅次起迄資料進行高速公路旅次起迄模式之驗證，結果顯示卡門濾波模式應用於高速公路起迄推估可得到有效之估計量。

Ashok 及 Ben-Akiva(2002)透過離線及線上兩種方式進行旅次起迄量之推估，離線方式採用 Cascetta(1993)之推估模式為基礎；線上推估方式則重新定義旅次起迄誤差項與觀測流量誤差項作為狀態變數與量測資料，並假設指派參數矩陣為隨機漫步模式(Random Walk Model)後，採用進階卡門濾波模式(Extended Kalman Filter)進行求解。

## (4) 貝氏推估法(Bayesian Inference Approach)

貝氏推估法假設所推估旅次起迄量為一隨機變數，且其機率分配已知。並以隨機誤差與量測誤差之相對值為權重，進行歷史資料與量測資料之加權平均。若歷史資料之旅次起迄量服從多變數常態分配  $[MVN(\mathbf{x}(t), \mathbf{P}(t))]$ ，則求解方程式可表示為：

$$\hat{\mathbf{x}}(t) = \hat{\mathbf{x}}(t-1) + \mathbf{P}(t-1)\mathbf{a}(t) \left[ \delta(t) + \mathbf{a}(t)^T \mathbf{P}(t-1)\mathbf{a}(t) \right]^{-1} \left[ \mathbf{z}(t) - \mathbf{a}(t)^T \mathbf{x}(t-1) \right] \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}(t-1) - \mathbf{P}(t-1)\mathbf{a}(t) \left[ \delta(t) + \mathbf{a}(t)^T \mathbf{P}(t-1)\mathbf{a}(t) \right]^{-1} \mathbf{a}(t)^T \mathbf{P}(t-1) \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

由於貝氏推估法在執行上須針對歷史資料與觀測值之統計分配進行假設，且須要正確之指派比例  $\mathbf{a}(t)$  資料，然而歷史資料之獲得以及與指派比例相關之旅行時間皆不易獲得，因此貝氏推估法雖然納入歷史旅次起迄資料之考量，但在執行上仍有相當之困難。雖然有前述限制，但貝氏推估法仍可用於動態旅次起迄量的求解上，即若可獲得每時階路段流量資料  $\mathbf{z}(t)$ ，則可經由式(2.10)計算每時階之旅次起迄量。

### 2.2.2 非線性模式

在線性模式中，多假設指派比例矩陣  $\mathbf{a}(t)$  事前已知及不隨時間變動，而該假設係構建於旅行時間可忽略或可於單一時階內完成旅次起迄行為，或為一常數之基礎。實際上，上述旅行時間之假設多與事實不符，因此若考慮系統參數矩陣隨時間改變與高度相關之問題時，則可透過類神經卡門濾波(Neural Kalman Filter)、迴歸卡門濾波(Regressive Kalman Filter)、循序性卡門濾波(Sequential Kalman Filter)，或進階性卡門濾波(Extend Kalman Filter)等方式求解。

Suzuki 等人(2000)透過偵測器蒐集之路段交通量、瞬時速率，以及駛離匝道車輛數等資料，以類神經網路進行卡門濾波參數矩陣之校估，研究結果顯示類神經卡門濾波(Neural Kalman Filter, NKF)與迴歸卡門濾波(Regressive Kalman Filter, RKF)相較下，NKF 無論在自由流率或車流擁擠之狀況下皆有不錯之表現，但若

流量處於劇烈變動時可能會造成其模式初期預測之錯誤，且其誤差可能高於 RKF 模式，但仍可被快速的修正。然而 NKF 模式之缺點乃在於學習過程中需要大量的訓練資料，且較為複雜與費時。

Kim 等人(2003)透用歷史路段交通流量及旅次起迄量資料，以模擬方式獲得系統參數，應用於卡門濾波模式以推估動態旅次起迄量。此外，該研究亦透過 Paramics 車流模擬軟體進行模擬，並透過模擬結果計算系統參數，以應用於進階卡門濾波模式，研究結果顯示進階卡門濾波模式可獲得更合理之估計結果，但其推估結果仍受限於車流模擬之隨機性。此外，不同於其他研究以旅行時間推估模式，以計算量測參數矩陣，該研究係透過模擬模式以進行量測矩陣參數之計算。

### 2.2.3 其他相關文獻回顧

探測車法係利用探測車(Probe Vehicle)之出發時間、旅行時間、探測車旅次起迄型態及路段交通量等資訊，或某一起迄旅次中探測車數量與總探測車數量之百分比進行旅次起迄量之推估。

Hellinga 及 Van Aerde(1994)根據統計上的抽樣理論，提出了一套分析方法，用以推估旅次起迄量的平均值與該估計值的信賴區間，最佳旅次起迄估計量係單位時間內屬某旅次起迄對的探測車輛數除以總探測車輛數佔網路中總車數的比率，即所謂的市場占有率(Market Penetration)；而該估計量的抽樣誤差是抽樣數大小與探測車隊市場占有率的函數。然而，該估計量對所有旅次起迄配對假設均一(Uniform)的市場占有率，如此可能產生誤差(Biased)與非有效性(Inefficient)的估計值。Zijpp(1997)透過偵測器測得路段交通量以及自動車輛辨識 (Automated Vehicle Identification, AVI) 技術進行動態起迄矩陣之估計，經由實驗之結果顯示經由車輛軌跡辨識可降低估計之誤差。

由於一般旅次起迄推估模式，並未考慮車輛路徑選擇問題，然而在擁擠路網中該假設與事實不符，Yang (1992)提出整合最小平方法與交通量指派之雙層規劃法(Bi-level Programming Approach)，用以處理擁擠路網之旅次起迄推估問題，該方法上層為利用最小平方法求解路段觀測流量所推估之旅次起迄量與先驗旅次

起迄量之誤差最小，下層則使用者均衡模式為限制式描述路網之旅運者行為。

廖珉鋒(2000)亦透過雙層模式進行動態旅次起迄之推估，該研究上層部分，同樣使用最小平方法求取路段觀測流量所推估之旅次起迄量與先驗旅次起迄量誤差最小，而下層為動態使用者均衡路徑選擇模式，並加入路段容量限制式，以反映實際之路網狀況。

Li 以及 De Moor (2002)探討資訊不完全下，路口轉向比的旅次起迄推估問題之模式構建，並且考慮限制式具有不等式之情況下，利用 Lagrangian 演算法進行模式的求解。

Sherali 等人(2003)則利用路段與路徑成本函數，建構一非線性數學規劃模式，求解部分資訊下之旅次起迄量，藉由退火演算法進行模式的求解。

Oh 以及 Ritchie (2005)為改善先進車輛辨識系統(Advanced Vehicle Identification, AVI)所造成侵犯隱私的問題，提出一匿名車輛追蹤系統(Anonymous Vehicle Tracking, AVT)透過先進交通監控系統之影像，利用車輛特徵，例如：車身長、車體顏色、旅行時間等因素，進行車輛特徵之比對，依循每一路段/監控區域進行反覆的比對，以進行車輛軌跡的判讀，並透過誤判率以及判別率調整因子，進行路網 OD 需求量的推估。

#### 2.2.4 小結

由上述文獻回顧結果可知，過去有許多方法已廣泛的應用在旅次起迄推估之研究，其中包括：一般統計與估計相關方法、高等統計方法、類神經網路法等。由於瞭解旅次起迄量分佈的情形，將可以有效的掌握某特定交通分區中，大致上的交通狀況與流量分佈。本研究在流量倒推旅次起迄量的課題上，由於真實 OD 量未知，故將使用基本的最小平方估計量，進行旅次起迄需求涵蓋量的推估與檢驗。

## 2.3 偵測器佈設相關文獻回顧

偵測器佈設議題在近十年來，引起許多的研究與討論，偵測器在交通系統中佔有相當重要的部分，除了可以蒐集相關交通資料外，更重要的是可將資料進一步的分析與計算，進行交通工程或是運輸規劃等相關課題之應用。此外，針對不同的使用目的，偵測器往往也會有不同的佈設準則與依據，分別說明如后。

### 2.3.1 偵測器佈設相關準則

偵測器佈設的準則，取決於擬蒐集的交通參變數究竟為何？因應不同的觀點以及不同的目的，在偵測器佈設最適的結果，將會有明顯的差異存在。例如：為了號誌時制計劃的計算與設定，希望偵測器佈設靠近鄰近路口；而為了估計旅行時間，則建議佈設於路段中、上游，以避免路口延滯所造成的誤差。

Yang 及 Zhou(1998)利用四項選取佈設位置的原則：(1)起迄對覆蓋準則(O-D covering rule);(2)最大流率準則(maximal flow fraction rule);(3)最大截取流量準則(maximal flow-intercepting rule);(4)獨立路段準則(link independence rule)，希望尋找路網中，偵測器適當的擺設位置，以利於旅次起迄之推估。另外，交通部運輸研究所(2001)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。根據該前提假設，適用於各種偵測器的佈設，主要分以下兩部分：

#### 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）均應儘量地佈設，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劃的正確性為最高考量。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，設計之時制計劃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，則須另行於下游路口前佈設偵測器。
- (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

此處所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。

交通部(2004)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)」研究中，也提出從道路相關供給條件考量下，自動化偵測器使用之選點工作應優先考量下列幾個原則：

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。

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) 儘量避免偵測器至路口間有車流干擾點存在，例如：停車場、公車站牌、郵局、銀行等主要交通需求產生/吸引地點，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) 儘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(2001)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，並進行車輛計數等工作。其演算法則涉及車輛速率、佔有率與車輛長度等因子。該研究對現行環路線圈式車輛偵測器之演算原理、法則等作較適當之調整，依實驗案例路段的車流狀況，收集交通資料，考量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。期間考慮單／雙線圈之佈設、線圈長度之組合據以獲得單一車輛進入與離開兩線圈間不同的時間差。

最後該研究建議，針對環路線圈佈設位置的議題，可從兩個方面進行討論：若欲將所蒐集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，

但考量交通資料偵測的正確性，將偵測器置於車流之自由流區則較為妥當。

### 2.3.2 以偵測器佈設為目標之相關文獻

近十年來，針對偵測器佈設議題的相關研究逐漸增多，大多學者皆以數學規劃模型來進行該問題模式之構建，Yang 及 Zhou(1998)利用四項選取佈設位置的原則：(1)起迄對覆蓋準則(O-D covering rule);(2)最大流率準則(maximal flow fraction rule);(3)最大截取流量準則(maximal flow-intercepting rule);(4)獨立路段準則(link independence rule)，進行路網偵測器佈設數量模式的建構與求解，並且進一步針對大型路網進行模式套用，並求解如何在路網中增設不足的偵測器，能夠獲得路網中更大量及完整的交通量資訊，以利進一步進行 OD 的估計。

Bianco 等人(2001)主要是建構一 SLP (Sensor Location Problem) 的數學規劃模式，並且經由數值分析驗證，該模式優於以往較為大家所使用的 O-D covering rule，並且顯著且有效的減少偵測器佈設的成本。另外，該文獻主要是以 Network Based 的觀點進行模式的建構，與以往不同的是該研究先將路段可獲得的交通量，推估完整路網的交通量資訊後，再進一步進行 OD 的推估，如下圖所示。

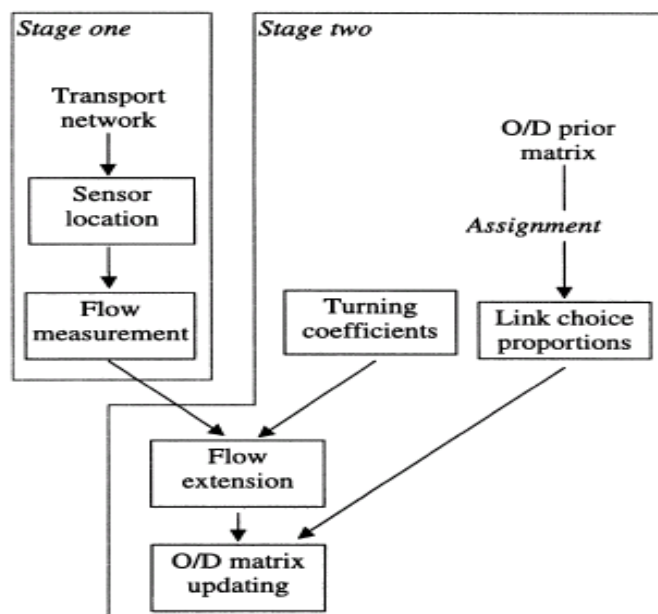


圖 2.2 Bianco 的 SLP 模式架構示意圖

Horiguchi 等人(2001)利用”schema”之方式，進行一般路網中車輛軌跡的對

照與擷取，再利用最大熵的求解模式架構，求取路網中最佳化的偵測器擺設數量與位置。

Chan 以及 Lam (2002)主要是利雙層數學規劃模式，為求取偵測器密度最適的目標下，進行上層為估計旅行時間誤差最小，以及下層為社會成本最小的雙層數學規劃模型求解。

Gan 等人(2005)延續 Yang 之系列模式，探討偵測器佈設與誤差界限 (error bound) 之議題，並且利用 GLS 法進行小型路網 OD 之推估。

Yang 等人(2006)以偵測器佈設問題為出發點，探討如何在路網中藉由佈設點的選取，而能擷取到最多起迄對 (OD pairs) 的資訊，最後進一步將模式擴展為 Node-base 的問題，而其主要的重點在於研究道路定價的收費問題，以及如何設置檢查哨，能夠掌握完整路網，如：酒駕檢測。該篇重點較著重於模式的建立與求解，在 OD 議題上的著墨，與 Yang(1998)的模式架構及求解方式內容相仿，在數值分析上的路網亦相同。但在此篇增加了不同求解法的使用，除了原先之 Dial's algorithm 外，另外加入 GA algorithm 進行求解方法間的績效比較。

由以上文獻回顧可以發現，在偵測器相關文獻當中，雖然在各學者之研究內容，呈現研究目的上的差異，但大致可以察覺在 OD 起迄量的推估與偵測器佈設議題的結合，已漸漸受到重視，惟大部分文獻皆著重於單一目標之要求，如：針對旅次起迄進行求解，但忽略偵測器佈設之重要；抑或詳細探討偵測器佈設之模式構建，卻僅以一簡單之線性模式進行旅次起迄推估量之求解。在一般的道路路網中，OD 起迄量之推估與偵測器佈設位置與數量有高度的相關性，準此，本研究將希望進行偵測器佈設數量與位置之探討，研究其對於一般路網之旅次起迄推估量所能代表完整資訊下路網需求涵蓋程度之高低，進行多目標模式之構建與求解。

### 2.3.3 小結

從以上文獻回顧結果可知，國內、外針對偵測器佈設議題探討，主要分為兩大部分：一為偵測器該佈設在何路段；另一則為偵測器該佈設在某特定路段上的

何處。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，高流量或易肇事路段應建議擺放等），來決定是否需要擺放偵測器；第二點則建構在「偵測器佈設路段位置已知」的條件上，亦即，某路段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，以獲得更佳的準確度。

另偵測器佈設議題方面，近十年來也有不少相關研究的出現，但在當中我們可以發現，鮮少有研究針對旅次起迄推估的精確程度與偵測器佈設的質與量之間的相互關係，進行系統化之分析與比較，因為不同的偵測器數量與位置，將影響到交通路段流量(link flows)的蒐集，當然也將進一步的影響到 OD 推估工作的精確程度。

本研究則將重點擺在：針對一般路網的特性，考量佈設偵測器該不該擺設、應該擺設在哪些路段、如何透過策略性的擺設，以達到整體旅次起迄涵蓋程度較高之目的，進而能蒐集有利於旅次起迄推估工作之有效資訊。因此本研究所探討的主題，是以巨觀的角度，探討哪些路段必須擺設車輛偵測器；而非以微觀的觀點，探討車輛偵測器佈設於某路段的上游、中游，或下游等位置。並針對這樣的目的，發展一個以資訊量多寡為基準之模式。

最後，本研究將以在「旅次起迄量涵蓋達到一定程度下」之最少偵測器數量與佈設路段為何，尋求偵測器佈設策略與準則，以期未來在實務應用上有所參考與依據。

## 2.4 交通量指派相關文獻回顧

交通量指派的方法，一般根據 1952 年 Wardrop 所提出的兩個均衡指派原則，亦即所謂的「使用者均衡指派原則」( User-Equilibrium Assignment Principle, UE Principle )與「系統最佳化指派原則」( System-Optimized Assignment Principle , SO Principle )。

### 1. 使用者均衡指派原則(UE)：

根據 Wardrop 的理論，滿足使用者均衡指派的均衡條件有二：

- (1) 對任一起迄對而言，當達成均衡指派後，若有兩條以上的路線為使用者所選用時，則該兩條或兩條以上的路線，其旅運成本均相等。
- (2) 對任一起迄對而言，當完成指派後，凡未被使用者選用之路線，其旅運成本必大於或等於被使用者選用路線之旅運成本。

### 2. 系統最佳化指派原則(SO)：

乃基於系統整體的觀點，假定所有使用者聯合做決定，當其達到均衡狀態時會使整個路網的總旅運成本達到最小。

從 1952 年 Wardrop 提出均衡指派原則後，至今針對該領域的研究陸續有學者進行相關的探討，主要的議題大致上包括：靜態交通量指派、動態交通量指派，以及在交通量指派為基礎下，運輸相關研究課題的應用等。

### 2.4.1 靜態交通量指派

現有交通量指派模型可以大致可分為靜態交通量指派( Static Traffic Assignment )與動態交通量指派( Dynamic Traffic Assignment )兩種，其中靜態交通量指派模型多半被廣泛的應用在運輸規劃等課題之中，並根據 Wardrop 的兩大均衡原則發展衍生出許多的旅運選擇模型，Friesz(1985)、Florian(1986)、Boyce(1988)、Patriksson(1994)等人針對這方面的相關議題曾進行詳盡的文獻回顧，其中針對解析性數學模型的發展，大致上可分為數學規劃法( Mathematical Programming )、變分不等式( Variational Inequality, VI )、非線性互補方程式( Non-linear Complementarity Problem, NCP )，以及不動點理論( Fixed Point

Theory)等四種不同方法論。

其中在數學規劃法的發展方面，首先由 Beckmann 在 1956 年假設各路段成本之間彼此獨立，並利用數學規劃法構建出固定需求之用路人均衡交通量指派模型，同時證明其解之存在性以及唯一性。

Dafermos 以及 Sparrow(1969)則以 Beckmann 的模式為基礎，假設其總需求量不為固定，進一步發展出變動需求的均衡交通量指派模型。

Dafermos(1972)假設各路段間旅行成本的相互影響互為對稱，首先建立了路段成本函數受其他路段流量影響的交通量指派模式，有別於先前所發展模式的成本函數只受自己本身流量的影響。但該模式仍限制在對稱性的路段成本函數問題。

Dafermos(1980)進一步引用路段成本函數受相關路段影響的觀念，同時假設其相互之間的影響並不對稱，利用變分不等式重新發展出一具有不對稱成本函數的均衡指派模型。

李治綱與王清滢(1991)也針對靜態對稱性交通量指派模型，進行相關模型、求解方法，與求解效率等課題進行討論。其內容主要在探討：(1)靜態對稱性交通量指派模式之行為意義，亦即確定性使用者均衡之用路人路徑選擇問題；(2)陳述依使用者均衡條件所建立之非線性規劃模型；以及(3)比較分析求解非線性規劃交通量指派模式之方法。

#### 2.4.2 動態交通量指派

由於以往靜態交通量指派模型大多單純描述車流在空間上的分部情形，因此自 1970 年代開始，發展出一系列動態交通量指派模式，將時間變數納入考量，同時考慮路網上車流在時間與空間上之分佈情況。

一般而言，動態交通量指派模式可以分為以流量為基礎(Flow Based)和以車輛為基礎(Vehicle Based)兩種。以流量為基礎者為解析性模型，其發展大致可分為以數學規劃法、最佳化控制理論、變分不等式等模型構建其模式，以分析路網的車流狀態；以車輛為基礎者為微觀模型，可以透過該模型描述每一車輛之行

為，又可以將該類模型區分為模擬模式與最佳化模式等兩種。

近年來，許多動態交通量指派模式，多朝向求解效率的提升以及模式符合現實行為的描述，為研究的目標。張佳偉(1997)探討利用不同方法，包括：GP、FW，以及 DSD 法，求解明確型及隨機型的動態使用者均衡路徑選擇模式，並比較其求解效率。結果顯示，梯度投影法(GP)具有最好的求解效率。

陳韋廷(2003)則是針對較符合路網實際情形的含路段容量限制之交通量指派模型，進行九種求解演算法的相互比較；結果顯示，各方法經檢驗均有其正確性，但就演算效率而言，以 GP 與 CG 法較佳。

#### 2.4.3 交通量指派為基礎下之相關應用

交通量指派模式為路網均衡下成熟且有理論根據的指派模型，因此在許多運輸相關研究課題當中，也常常以該模型為基礎，進行路網均衡指派與路徑選擇行為之描述。包括：路網起迄旅次量之推估、路網導引最適轉向比、旅行時間之推估等相關應用。

Chang 以及 Tao(1999)整合路口轉向比與 DTA 模式，進行路網起迄量之求解。

廖珉鋒(2000)即利用雙層規劃模型(Bi-level Programming Approach)，上層為路段流量推估誤差最小化，下層為動態使用者均衡之路徑選擇問題；進行小型虛擬路網之動態 OD 起迄量推估。

Lo 以及 Chan(2003)研究在擁擠路網中，透過交通流量與旅次起迄調查資料，進行旅次起迄與路徑選擇模式之擴展係數之推估，並藉由最大概似法與隨機性使用者均衡(Stochastic User Equilibrium, SUE)之交通量指派模式計算收斂結果，以獲得最佳估計值。該研究結果顯示由於擴展係數會受交通狀態之影響變動，因此同時推估旅次起迄與擴展係數較假設擴展係數為固定值為佳。

鄭正元(2004)透過交通量指派模型為基礎，並以靜態路網均衡的觀點，分析事件發生前與發生後，高速公路路網之導引轉向點與導引比例，並進行敏感度分析。而王中允與胡守任(2005)亦利用使用者均衡之路徑選擇為基礎，分析高快速公路路網，發生事件時，最適的導引資訊發佈位置及轉向點設置。其中針對使用

者均衡之路徑選擇問題，採以路徑為基礎的 GP 法進行求解。

#### 2.4.4 小結

由於本研究主要是針對路網進行偵測器佈設議題以及旅次起迄需求涵蓋量的求解，因此擬以交通量指派為基礎，進行路網中旅運行為以及均衡路徑選擇行為之描述。主要的做法將透過歷史資料的蒐集，同時考量偵測器佈設之問題較屬於長期運輸規劃的議題，因此擬採用靜態使用者均衡交通量指派模式，進行路網均衡情形的描述，進一步探討偵測器佈設與旅次起迄量涵蓋程度等課題。





## 2.5 小結

國內針對偵測器佈設與流量倒推起迄旅次問題的結合，尚未有深入的探討。由於偵測器佈設之議題，較屬於長期運輸規劃之議題，因此，本研究擬以交通量指派理論為基礎，以適當的描述路網均衡下路徑選擇之情形，並進行旅次起迄與偵測器佈設問題之求解。在文獻回顧中，我們可以發現，梯度投影法(Gradient projection, GP)能有效率的求解使用者均衡之交通量指派問題，並能夠獲得以路徑為基礎的相關資訊。綜合上述，本研究希望針對上述議題，從靜態長期運輸規劃的觀點出發，構建相關的數學解析性模型，並進行數學規劃模式的求解，主要的模式架構分為以下三部分：

1. 靜態使用者均衡之路徑選擇；
2. 偵測器佈設問題與路網旅次起迄需求量之推估；
3. 旅次需求量涵蓋程度之檢驗。



## 第三章 模式架構

針對上節描述之問題，本章將針對模式進行構建，主要是利用多目標規劃 (Multi-goals programming model) 模型來求解在一定精確度的旅次起迄需求量涵蓋程度下，路網中偵測器佈設位置與數量的最佳化問題，針對相關模式進行建立與模式內容的說明。其中包含了：使用者均衡問題、偵測器佈設問題，以及旅次起迄需求量推估與涵蓋程度檢驗問題。

### 3.1 使用者均衡之路徑選擇模型

在交通量指派模式中，係透過路段旅行時間成本函數(如：BPR函數)計算旅行時間，以作為交通量指派之依據。本研究中，以靜態問題為出發點，故利用基本的Wardrop 1<sup>st</sup> principle使用者均衡之交通量指派模型，進行路段均衡流量與均衡成本的求解。基本的使用者均衡模式(User Equilibrium model, UE model)，以Beckmann's transformation (1956) 所發表之UE模式如下所示，模式中雖無任何數學的意義，但其求解的結果將完全符合UE之交通旅運量指派結果。

$$\begin{aligned}
 & \min. \sum_a \int_0^{X_a} t_a(x) dx \\
 & st. \\
 & \sum_p f_p^{rs} = \overline{q_{rs}} \\
 & f_p^{rs} \geq 0 \\
 & X_a = \sum_r \sum_s \sum_p f_p^{rs} \cdot \delta_{ap}^{rs}
 \end{aligned}$$

#### 3.1.1 模型均衡條件

依上述之使用者均衡模式，可以進一步推導其均衡條件，並能更瞭解模式之內容與意涵。依據Wardrop 1<sup>st</sup> principle使用者均衡之交通量指派模型，即每一起迄對被使用路徑之旅行成本相同，且小於未被使用路徑之旅行成本。其均衡條件推導與說明如下所示：

$$\begin{cases} (C_p^{rs} - u_{rs}) \cdot f_p^{rs} = 0 & \forall p, r, s \\ C_p^{rs} - u_{rs} \geq 0 & \forall p, r, s \end{cases} \dots\dots\dots(3.1)$$

式中，

$C_p^{rs}$ ：起迄對  $rs$  間，使用路徑  $p$  之旅行成本；

$u_{rs}$ ：起迄對  $rs$  間，最小之旅行成本；

$f_p^{rs}$ ：起迄對  $rs$  間，使用路徑  $p$  之路徑流量。

在式(3.1)中，其實隱含了Wardrop 1<sup>st</sup> principle均衡條件之意義，如式(3.2)所示，其中說明了當均衡之路徑成本  $C_p^{rs*}$  符合最小旅行成本  $u_{rs}$  時，則路徑上將會有流量指派，即  $f_p^{rs*} > 0$ ；反之，當均衡之路徑成本  $C_p^{rs*}$  高於最小旅行成本  $u_{rs}$  時，則路徑上將不會有流量產生，即  $f_p^{rs*} = 0$ 。

$$C_p^{rs*} \begin{cases} = u_{rs} & \text{if } f_p^{rs*} > 0 \\ \geq u_{rs} & \text{if } f_p^{rs*} = 0 \end{cases} \quad \forall p, r, s \dots\dots\dots(3.2)$$

基於上述均衡條件，則可以建構出靜態使用者均衡路徑選擇模型，如下節所示。

### 3.1.2 模式建立

根據 3.1.1 節所述之均衡條件，可以進一步建構使用者均衡路徑選擇模型如下：

求解使用者均衡路徑選擇問題，即針對路網中各路徑之旅行成本函數，求解一均衡之路段流量解  $X_a^*$ ，以變分不等式表示如式(3.3)所示。

$$\sum_a C(X_a^*)(X_a - X_a^*) \geq 0 \quad \forall \mathbf{X} \in \Omega \dots\dots\dots(3.3)$$

其中  $\Omega$  為模型中，限制式(3.4)~(3.8)所決定之可行解區域。

流量守恒限制式：

$$\sum_p f_p^{rs} = \overline{q_{rs}} \quad \forall p, r, s \dots\dots\dots(3.4)$$

非負限制式：

$$f_p^{rs} \geq 0 \quad \forall p, r, s \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

定義限制式：

$$X_a = \sum_r \sum_s \sum_p f_p^{rs} \cdot \delta_{ap}^{rs} \quad \forall a \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

$$C_p^{rs} = \sum_a t_a \cdot \delta_{ap}^{rs} \quad \forall a, p, r, s \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\delta_{ap}^{rs} \in \{0, 1\} \quad \forall a, p, r, s \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

經由上述模式之使用，吾人可以求取在一路網中，給定旅次起迄需求量下，求解出各路段/路徑之均衡流量以及均衡旅行成本，並可以獲得路徑均衡選擇路徑之結果。如下圖 3.1，給定一路網之供給面與需求面條件後，透過梯度投影法進行使用者均衡模式之求解，將可以獲得路網中，路段與路徑之流量與成本。

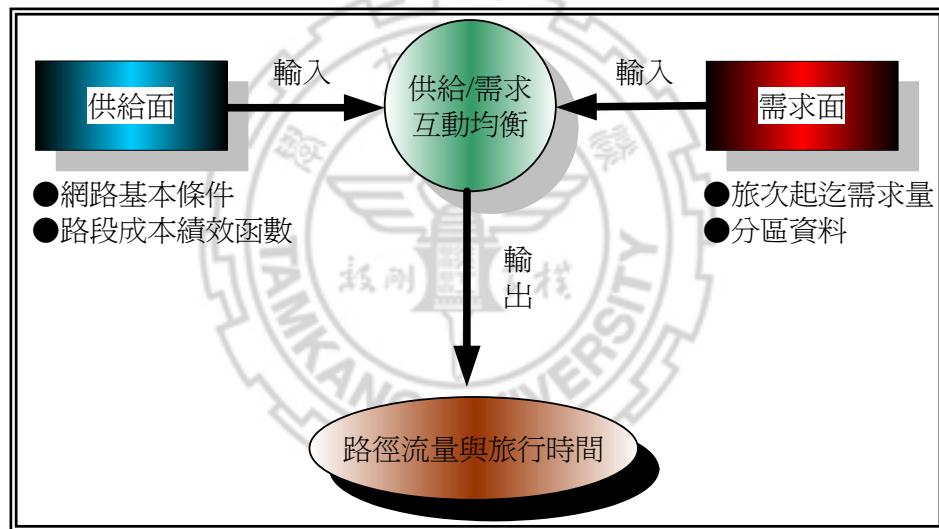


圖 3.1 交通量指派模式演算示意圖

### 3.2 考慮偵測器佈設位置數量下之旅次起迄推估模型

在考慮偵測器佈設之質與量的情況下，將建構一數學規劃模型，該模型以 3.1 節之使用者均衡路徑選擇問題為限制式，以及有偵測器佈設路段之觀測流量與該路段之路段均衡指派流量平方誤差最小之最小平方方法目標式為模式之目標函數，並增加偵測器數量限制式，以避免求解結果落入皆 0 之情形，也就是說，避免解落入完全不佈設偵測器之情況下，達成目標函數最小之模式結構。其模式內容如下所示。

$$\min. \sum_a \mathbf{I}_a (\bar{X}_a - \sum_r \sum_s \sum_p f_p^{rs} \cdot \delta_{ap}^{rs})^2 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

s.t.

$$\frac{\log N}{\log 2} \leq \|\mathbf{I}_a\| \leq L \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

式中， $N$ : 起迄對  $rs$  間，被使用之路徑總數；

$L$ : 路網中之總路段數；

$\mathbf{I}_a$ : 為 0-1 向量。

$$\sum_a C(X_a^*)(X_a - X_a^*) \geq 0 \quad \forall X_a \in \Omega \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\sum_p f_p^{rs} = \bar{q}_{rs} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

$$f_p^{rs} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

$$X_a = \sum_r \sum_s \sum_p f_p^{rs} \cdot \delta_{ap}^{rs} \quad \forall a \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$$C_p^{rs} = \sum_a t_a \cdot \delta_{ap}^{rs} \quad \forall a, p, r, s \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

$$\delta_{ap}^{rs} \in \{0, 1\} \quad \forall a, p, r, s \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

其中式(3.9)即為一最小平方目標式，在式中加入  $\mathbf{I}_a$  以描述該目標式是在求取擺設偵測器路段之觀測流量  $\bar{X}_a$  與均衡指派流量  $X_a$  間之平方誤差最小化；其可行解區域則式(3.10)~(3.16)之限制式所構成，其中式(3.10)則為偵測器數量限制式，該限制式針對某路網之可使用路徑數與總路段數量，定義出該路網佈設偵測器數量之上、下限範圍，並於該範圍內求解最適之  $\mathbf{I}_a$ ，以達成目標函數最小化之目標，而該限制式之推導過程將於 3.2.1 節中介紹；式(3.11)~(3.16)則為使用者均衡之路徑選擇模式，亦為此模式中的限制式，經由使用者均衡之路徑選擇模式之求解

$X_a$ ，帶入此模式中，故可以求取最適之偵測器佈設數量與位置  $\mathbf{I}_a$ 。

該模式主要想法即透過路段觀測流量  $\bar{X}_a$  與均衡指派流量  $X_a$  間之平方誤差最小化，來進行路網中偵測器佈設組數以及佈設位置的求解，希望藉由觀測誤差較小的路段來蒐集路段流量資訊，進一步利用誤差較小，較具可信程度的資訊，作為進行旅次起迄量的推估工作之依據，以提高估計品質。

### 3.2.1 偵測器數量限制式

此偵測器數量限制式主要是參考 Horiguchi 等人(2001)探討偵測器佈設位置與車輛軌跡涵蓋最大之最大熵模式，吾人依循該想法，進行偵測器數量限制式的推導。針對某一路網中，不同的路網結構與流量型態，可能造成不同偵測器數量的需求與擺設位置的差異，而在本研究擬探討的課題，則是希望針對在推估旅次起迄的需求之下，偵測器位置與數量將如何決定。故在模式構建過程，必須加入在各種路網供給條件下，路段偵測器數量的限制範圍。以下則針對該限制式之推導過程及想法，做詳細的介紹。

首先，假設一路網中之所有起迄對  $rs$  間可使用路徑之集合  $\mathbf{R}_k^{rs}$  為已知。

$$\mathbf{R}_k^{rs} = \{a_{ki}^{rs} | i=1,2,\dots,m_k^{rs}\} \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

其中， $a_{ki}^{rs}$  為  $rs$  起迄對間，路徑  $k$  中被使用之路段編號  $i$ ；

$m_k^{rs}$  為  $rs$  起迄對間，路徑  $k$  中被使用之路段總數。

若將上述之  $\mathbf{R}_k^{rs}$  表示為一路段使用情形之向量  $\mathbf{S}_k^{rs}$ ，即  $\mathbf{S}_k^{rs}$  為一(0-1)向量，若向量中的元素  $s_{kj}^{rs}$  為 1，則代表路段編號  $j$  屬於  $rs$  起迄對間，在路徑  $k$  中被使用之路段；反之若  $s_{kj}^{rs}$  為 0，則未被路徑  $k$  所使用。

$$\mathbf{S}_k^{rs} = \{s_{kj}^{rs} | s_{kj}^{rs} = \delta_j, j=1,2,\dots,N\} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

其中， $\delta_j = 1$  ( $a_j \in \mathbf{R}_k^{rs}$ ), 或

$\delta_j = 0$  ( $a_j \notin \mathbf{R}_k^{rs}$ ),

$a_j$  為路段  $a$  之編號  $j$ ,

$N$  為路網中之總路段數。

此外，進一步定義一對等於路網中路段使用情形  $\mathbf{S}_k^{rs}$  向量之偵測器佈設向量  $\mathbf{D}_p$ ，該向量之維度與  $\mathbf{S}_k^{rs}$  相等，且  $\mathbf{D}_p$  亦為一(0-1)向量，若向量中的元素  $d_{pl}$  為 1，則代表路段  $l$  上，佈設有一組偵測器；反之若  $d_{pl}$  為 0，則代表路段  $l$  上，未佈設偵測器。

$$\mathbf{D}_p = \{d_{pl} \mid d_{pl} = \delta_l, l=1,2,\dots,N\} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

其中， $\delta_l = 1$  (路段  $l$  上有佈設偵測器)，或

$\delta_l = 0$  (路段  $l$  上未佈設偵測器)，

$N$  為路網中之總路段數。

最後，利用各路徑使用路段的情形，加上偵測器佈設之有無，進一步可以進行偵測器擺設位置是否能完整的分辨所有的路徑流量。吾人進一步定義一向量  $\mathbf{L}_{kp}^{rs}$ ， $\mathbf{L}_{kp}^{rs}$  為向量  $\mathbf{S}_k^{rs}$  與  $\mathbf{D}_p$  所組合而成，而向量  $\mathbf{L}_{kp}^{rs}$  即說明了路網中擺設之偵測器數量與位置，是否能將所有車輛軌跡區隔，也隱含著能夠獲得較為完整的路徑流量資訊。

$$(\mathbf{S}_k^{rs}, \mathbf{D}_p) \rightarrow \mathbf{L}_{kp}^{rs} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

其中， $\mathbf{L}_{kp}^{rs} = \{\mathbf{L}_{kpl}^{rs} \mid \mathbf{L}_{kpl}^{rs} = \varphi_l, l=1,2,\dots,N\}$

$\varphi_l = 1$  ( $s_{kl}^{rs} = 1 \cap b_{pl} = 1$ ),

$\varphi_l = 0$  ( $s_{kl}^{rs} = 0 \cap b_{pl} = 1$ ), 或

$\varphi_l = *$  ( $b_{pl} = 0$ )。

\* 代表無法提供資訊，

$N$  為路網中之總路段數。

由上述內容我們可以得知，當偵測器數量為  $D_N$  時，則最多可以產生  $2^{D_N}$  之  $\mathbf{L}_{kp}^{rs}$ ，也就是說， $D_N$  組之偵測器，最多將可以區隔出  $2^{D_N}$  之車輛軌跡類型。因此，吾人發現當一路網範圍確定，且可使用之路徑總數  $P$  與路網中路段數量  $N$  已知的情況之下，則吾人可以針對偵測器佈設數量定義出其上、下限值。如下式 (3.20)~(3.24) 所示。

偵測器數量與可使用路徑數之關係：

$$P \leq 2^{D_N} \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

對式(3.20)取對數函數  $\log$ ，

$$\log P \leq \log 2^{D_N} \dots\dots\dots(3.21)$$

經由移項可得下式(3.22)。

$$D_N \geq \frac{\log p}{\log 2} \dots\dots\dots(3.22)$$

由式(3.22)我們可以獲得佈設偵測器數量之下限值。另外，針對一路網當中，佈設偵測器組數之上限值，即等於路網中，路短段數量之總和，如式(3.23)。

$$D_N \leq N \dots\dots\dots(3.23)$$

因此，由式(3.22)及式(3.23)，則可以整理出偵測器佈設組數之上、下界限值。如式(3.24)所示。

$$\frac{\log p}{\log 2} \leq D_N \leq N \dots\dots\dots(3.24)$$

### 3.2.2 模式內容說明

在由式(3.9) ~ (3.24)所組成的模式架構，其中加入偵測器數量限制式的主要目的，是為了避免求解過程中落入皆為 0 之解，並且在該模式下，可以獲得在不同數量偵測器下，最適的佈設位置為何，也就是說，在一路網中，偵測器佈設於哪些路段上，將可以獲得路段觀測流量與交通量均衡指派之期望流量差距最小的目標。另外，在現實路網中，當遭遇路段數量龐大情形時，透過偵測器數量限制式，將能夠有效去定義出該路網中，合理的佈設偵測器組數下限值為何，如此將能有效的節省模式求解的複雜程度，進而提升演算效率。



### 3.3 旅次起迄需求量檢驗模型

#### 3.3.1 模式架構

透過 3.2 節所述之模式，求解出不同偵測器數量的最適佈設策略之後，以下進一步經由旅次起迄需求量檢驗模型，進一步確認前一階段所求得佈設偵測器路段之流量資訊，是否已能涵蓋目前路網的需求情形，如此將能夠進一步利用佈設偵測器路段之路段流量，應用於路網旅次起迄量之推估。其檢驗模式架構如下：

$$\min. \sum_r \sum_s (\bar{q}_{rs} - \hat{q}_{rs})^2 \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

s.t.

$$\hat{f}_{rs} \geq 0 \quad \forall p, r, s \quad \dots\dots\dots (3.26)$$

$$\mathbf{I}_a \bar{X}_a = \sum_r \sum_s \sum_p \hat{f}_p^{rs} \cdot \delta_{ap}^{rs} \quad \forall a \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

$$\sum_p \hat{f}_p^{rs} = \hat{q}_{rs} \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

式中， $\bar{q}_{rs}$  為完全資訊下所推估之路網起迄需求量；

$\hat{q}_{rs}$  為部份資訊下所推估之路網起迄需求量；

$\hat{f}_{rs}$  為部份路段觀測流量下所推估之路徑流量。

其中式(3.25)是求解路網均衡指派期望路網起迄需求量與偵測器佈設路段流量反推之路網起迄需求量間，誤差平方最小化為目標；式(3.26)為推估路徑流量之非負限制式；式(3.27)為偵測器佈設路段蒐集之路段觀測流量與推估路徑流量間之關係式；式(3.28)則是推估路徑流量與路網起迄需求量間之關係式。

#### 3.3.2 模式內容說明

由於 3.2 節模式所求解出之偵測器佈設數量與位置，未能確保蒐集之路段觀測流量，足夠以描述目前路網整體之需求情形，故本研究建構 3.3 節之旅次起迄需求量檢驗模型，進一步利用式(3.25)~(3.28)進行路網起迄需求量的檢驗，藉由第一階段的偵測器數量與位置求解，以及此階段的路網起迄需求量檢驗，尋找一

最佳的偵測器佈設數量與相關位置為何，希冀將 VD 對車流與相關資料蒐集的功能充分發揮。



### 3.4 小結

本研究主要的目的在於運輸公路路網中如何佈設車輛偵測器，可以有利於路網旅次起迄量的推估為目標下，建構 3.1 節 ~ 3.3 節之數學解析性模式，並且針對相互衝突的目標，進行多階段的求解方式，以尋找路網中，考量旅次起迄需求涵蓋程度下，最適的偵測器佈設數量與位置。模式間之互動關係以及解題之構想，如圖 3.2 所示。

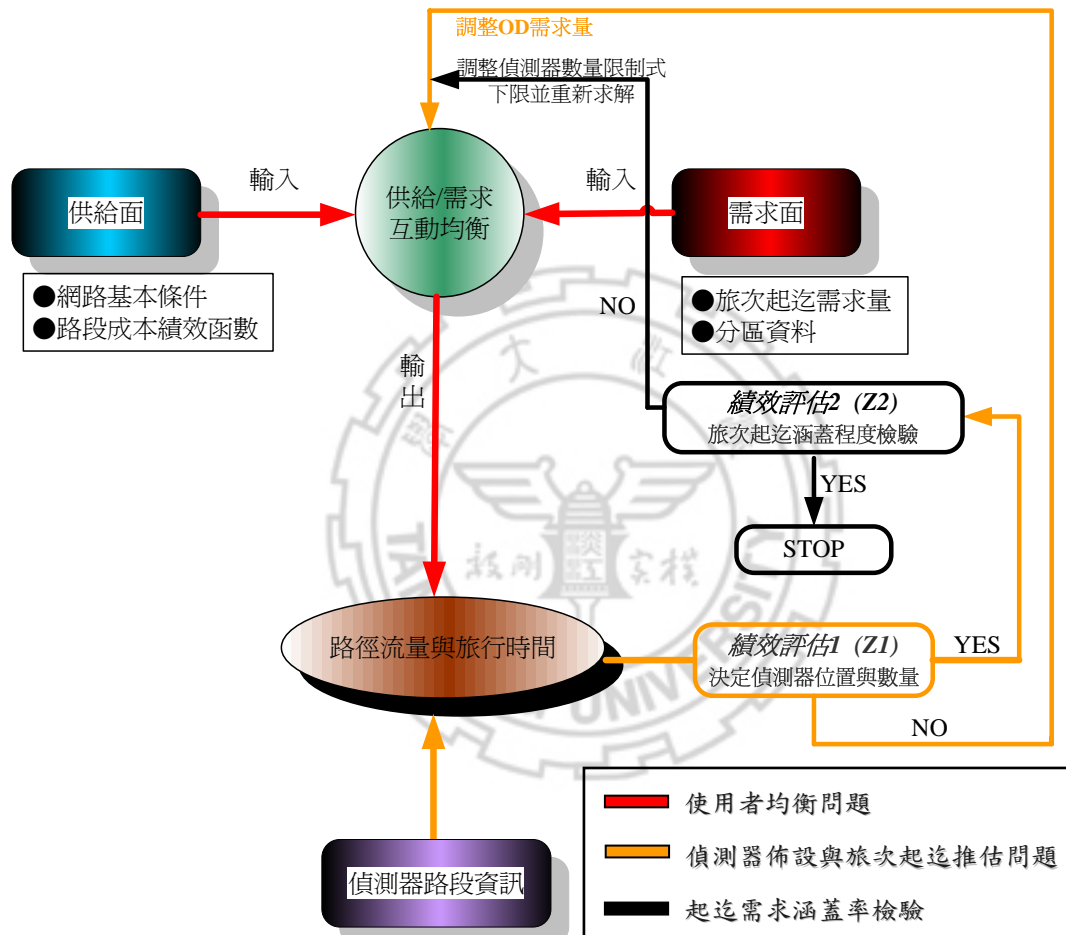


圖 3.2 模型間相互關係與解題構想圖

在上圖 3.2 中，績效評估評估 1 中，主要工作在於決定偵測器之佈設位置與數量，故表中 YES，代表偵測器之佈設位置與數量解已收斂，則進行下一階段旅次起迄需求涵蓋程度檢驗；反之，則為 NO，進行 OD 需求量調整，並且重新指派後，求解下一回合之偵測器佈設位置為何。而績效評估評估 2 中，則是進行旅次起迄需求涵蓋程度檢驗，當 YES，則代表起迄需求量涵蓋程度已達到停止

測試之門檻值；反之，若為 NO，則代表目前的佈設偵測器組數以及相關位置，尚未能進行路網整體需求量完整的描述，故進行偵測器數量的增加，並重新回到階段一，重新求解最適之佈設位置。在此，本研究所設定之平均績效表現門檻值為 MAPE 值  $< 10$ ，故當旅次起迄涵蓋程度檢驗模式，績效達門檻值後，則停止測試。



## 第四章 求解模式構建與說明

有關前一章所建構之多目標數學規劃模型(Multi-goals programming model)，本研究擬利用兩階段的求解方式，進行求解演算，其中包括：靜態使用者均衡路徑選擇模式、偵測器佈設與旅次起迄推估模式，以及旅次起迄需求量涵蓋程度檢驗模式。本章在 4.1 ~ 4.3 節中將針對上述三種模式，說明相關演算法內容，包括梯度投影法與共軛梯度法，並且進一步說明兩階段求解演算的流程，以及完整演算之過程。此外，在 4.4 節中，針對無路段觀測流量，或是資源限制下之偵測器佈設策略，提出考量獨立/相依路段為準則之偵測器佈設策略。

### 4.1 梯度投影法(Gradient Projection, GP)

本研究參考鄭正元(2004)利用梯度投影法於靜態使用者均衡路徑選擇模式之求解，傳統上交通量指派模式多透過 Frank-Wolfe 等路段為基礎之演算法(Link-based Algorithms)求取路段流量均衡解，但由於本研究之主題乃是在探討考量旅次需求量下之偵測器佈設準則，因此所需之資訊除路段上之推估流量資訊，以進行與偵測器觀測流量進行誤差最小化目標之求解之外；尚須求解每一路徑之組成以及路徑上之流量，用以進行旅次起迄需求量之推估使用。故 Frank-Wolfe 等路段基礎演算法所提供之路段流量資訊實不足以提供本研究所需，因此本研究乃採用可同時求解路段上資訊與路徑上資訊之路徑基礎演算法(Path-based Algorithms)中之梯度投影法(GP)演算法，作為交通量指派模式之求解演算法。

梯度投影法乃是牛頓法的一種應用，其求解交通量指派問題主要乃將路徑集合中之路徑與最短路徑進行比較，對目標式進行一階以及二階微分以作為其尋優方向及修正步幅，重新求解路網上之流量狀態，反覆上述運算直至符合收斂標準為止。利用 GP 演算法求得其均衡解時，可以獲得 OD 量透過哪些路徑由起點到達終點、路徑由哪些路段組成，以及路徑上的流量。所求得之路徑流量則可進一步換算成各路段上之流量。

由於欲搜尋所有的路徑組合較為困難，因此梯度投影法乃先利用變數產生法

(Column Generation)的方式，逐次產生最短路徑並將之放入可行解集合中，限定其均衡解位於其可行解空間集合中，並以可行解中現有之路徑計算每一回合之指派結果，直至達到均衡為止。

#### 4.1.1 梯度投影法求解靜態使用者均衡模式

其主要運算步驟主要分為主問題運算作業與受限主問題運算作業兩部分，詳細說明如下。

步驟 0：演算法之起始化

假設路網上之背景流量，作為求解程式之基本輸入，計算其所有路段上之旅行時間、各起迄對之最短路徑，產生其路徑解集合  $\{P_p^{rs}\}^0$ 。此路徑解集合中，各起迄對之初始流量  $f_p^{rs} = q^{rs}$ ，求得初始路徑流量解  $\{f_p^{rs}\}^0$ 。

步驟 1：主問題運算作業：

1.1 更新路段上旅行成本：

根據所求得之路徑流量  $\{f_p^{rs}\}^n$ ，換算成路網上各路段之流量，並更新路網中的各路段之旅行成本  $\{Ca(x)\}^n$ 。

1.2 運算新路徑解集合：

根據各路段之成本，找出此一回合每一組起迄對之最短路徑，並將之放入解集合中，更新路徑解集合求得  $\{P_p^{rs}\}^{n+1}$ 。

步驟 2：受限主問題運算作業

2.1 尋找其修正方向：

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Z(x_a)}{\partial f_p^{rs}} &= \frac{\partial \sum_a \int_0^{x_a} c_a(\omega) d\omega}{\partial f_p^{rs}} \\
&= \frac{\partial \sum_a \int_0^{x_a} c_a(\omega) d\omega}{\partial x_a} \frac{\partial x_a}{\partial f_p^{rs}} \\
&= \sum_a c_a(x_a) \frac{\partial \left( \sum_{rs} \sum_p f_p^{rs} \delta_{ap}^{rs} \right)}{\partial f_p^{rs}} \\
&= \sum_a c_a(x_a) \frac{\partial \left[ \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{p} \\ p \neq \hat{p}}} f_p^{rs} \delta_{ap}^{rs} + \sum_{rs} f_{\hat{p}}^{rs} \delta_{a\hat{p}}^{rs} \right]}{\partial f_p^{rs}} \\
&= \sum_a c_a(x_a) \left( \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{p} \\ p \neq \hat{p}}} \delta_{ap}^{rs} + \frac{\partial \sum_{rs} (q^{rs} - \sum_{\substack{\hat{p} \\ p \neq \hat{p}}} f_p^{rs}) \delta_{a\hat{p}}^{rs}}{\partial f_p^{rs}} \right) \\
&= \sum_a c_a(x_a) \left( \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{p} \\ p \neq \hat{p}}} \delta_{ap}^{rs} - \sum_{rs} \delta_{a\hat{p}}^{rs} \right) \\
&= c(f_p^{rs}) - c(f_{\hat{p}}^{rs}) \dots \dots \dots (4.1)
\end{aligned}$$

其修正方向為其一階微分之反方向。由於此時乃是計算其路徑流量，故應對其路徑流量變數做偏微分。

## 2.2 尋找其修正步幅：

其修正步幅為其二階微分之倒數。

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 Z(x_a)}{\partial (f_p^{rs})^2} &= \frac{\partial \left( c(f_p^{rs}) - c(f_{\hat{a}p}^{rs}) \right)}{\partial f_p^{rs}} \\
 &= \frac{\partial \left( \sum_a c_a(x_a) \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ p \neq \hat{a}}} \delta_{ap}^{rs} - \sum_a c_a(x_a) \sum_{rs} \delta_{\hat{a}p}^{rs} \right)}{\partial f_p^{rs}} \\
 &= \frac{\partial \left( \sum_a c_a(x_a) \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ p \neq \hat{a}}} \delta_{ap}^{rs} \right)}{\partial x_a} \frac{\partial x_a}{\partial f_p^{rs}} - \frac{\partial \left( \sum_a c_a(x_a) \sum_{rs} \delta_{\hat{a}p}^{rs} \right)}{\partial x_a} \frac{\partial x_a}{\partial f_p^{rs}} \\
 &= \sum_a c_a'(x_a) \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ p \neq \hat{a}}} \delta_{ap}^{rs} \left( \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ p \neq \hat{a}}} \delta_{ap}^{rs} - \sum_{rs} \delta_{\hat{a}p}^{rs} \right) - \sum_a c_a'(x_a) \sum_{rs} \delta_{\hat{a}p}^{rs} \left( \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ p \neq \hat{a}}} \delta_{ap}^{rs} - \sum_{rs} \delta_{\hat{a}p}^{rs} \right) \\
 &= \sum_a c_a'(x_a) \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ p \neq \hat{a}}} \delta_{ap}^{rs} + \sum_a c_a'(x_a) \sum_{rs} \delta_{\hat{a}p}^{rs} - 2 \sum_a c_a'(x_a) \sum_{rs} \sum_{\substack{\hat{a} \\ k=p \cap \hat{a}}} \delta_{ak}^{rs} \dots \dots \dots (4.2)
 \end{aligned}$$

計算出上述二階微分值，則其修正方向為上式(4.2)所求出值之倒數。

### 2.3 收斂性檢定：

當路段上流量於前後兩回合之運算結果並無明顯差異時，則符合收斂條件。

$$\varepsilon = \max_a \left| \frac{x_a^{(n+1)} - x_a^{(n)}}{x_a^{(n)}} \right| \leq 0.00001 \dots \dots \dots (4.3)$$

為避免其修正步幅過大，以致使求解結果無法收斂，因此於其修正步幅中加入一修正參數 $\nu$ (假設其值介於 0~1 之間)，可較有效率求得其最佳解，此法稱為修正牛頓法。



## 4.2 共軛梯度搜尋法(Conjugate Gradient method, CG)

本研究利用共軛梯度法於求解旅次起迄量涵蓋程度檢驗模式中，計算路徑流量的推估值，主要的做法是針對路徑與路段流量間之關係式，以及非負限制式，利用最小平方法為模式目標函數下，求解推估路徑流量之最佳值。如式(4.4)與式(4.5)所示。

$$\min. \sum_a (\sum_r \sum_s \sum_p \hat{f}_p^{rs} \cdot \delta_{ap}^{rs} - \mathbf{I}_a \bar{X}_a)^2 \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

st.

非負限制式

$$\hat{f}_p^{rs} \geq 0 \quad \forall p, r, s \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

在式(4.4)中，主要是利用路段流量與路徑流量之組成關係，利用最小平方估計，進行誤差平方最小化之求取，其目的在於希望利用有佈設偵測器路段之觀測流量，進行路徑流量值的推估。而式(4.5)則是表示路徑流量為一非負之數值。由於路段觀測流量  $\bar{X}_a$  為一非負(non-negative)之整數，並且賦予該變數二次懲罰成本，故上述之模式將可以視為處理一非線性規劃最佳化問題(non-linear optimization)。可以用於求解上述問題之演算法相當多，包括：牛頓法、最陡坡降法、類神經網路法，以及多種梯度搜尋法等。此類搜尋法主要是在給定之目標式下，尋求最佳解，其基本的想法如下圖 4.1 與圖 4.2 所示。

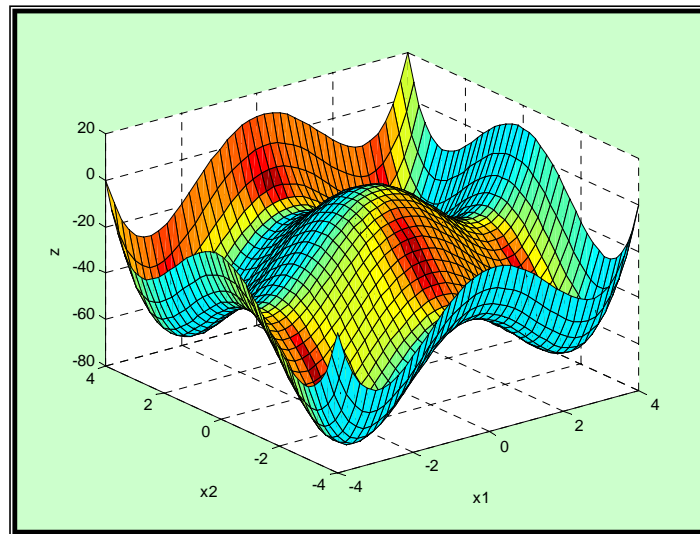


圖 4.1 非線性規劃函數示意圖

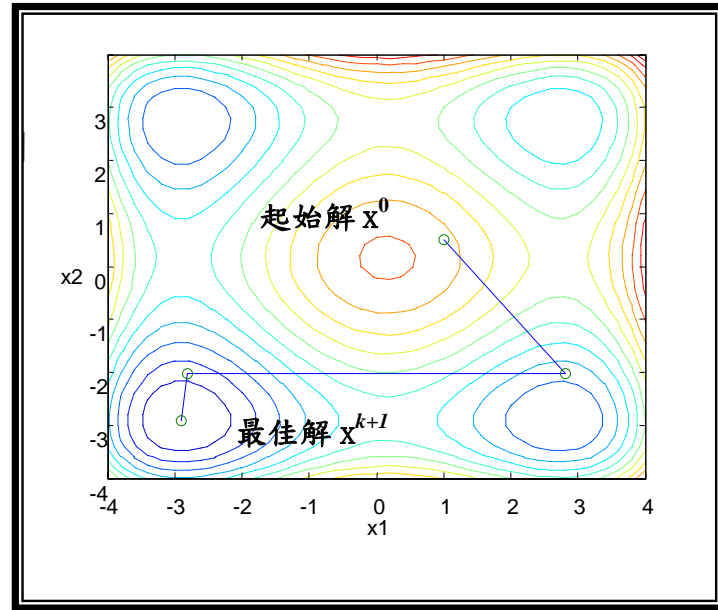


圖 4.2 梯度法搜尋過程示意圖

透過圖 4.1 之非線性函數型態，進行梯度搜尋，經由方向與步幅的決定，從起始解  $\mathbf{x}^0$  逐步逼近至最佳解  $\mathbf{x}^{k+1}$ ，如圖 4.2 所示。

上述之問題，即在求解最小化  $f(\mathbf{x})$  對所有  $\mathbf{x} \in R^n$ ，這裡  $f(\mathbf{x})$  是  $\mathbf{x}$  的非線性函數， $\mathbf{x}$  是  $n$  個元素的行向量，即為用於求解無限制式非線性最佳化問題。這種問題出現在很多應用場合，例如：類神經網路中，最重要的目標是求取網路的權重係數(weights)，將網路的輸入與欲得的輸出之間的差異最小化。

求解此類問題的方法則是一開始假設一個初始值  $\mathbf{x}^0$ ；然後由迭代公式向前得到一個改進的近似值。迭代公式如下式：

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + s\mathbf{d}^k \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (4.6)$$

我們首先必須求出純量  $s$  及向量  $\mathbf{d}^k$  來使用這個公式，其中向量  $\mathbf{d}^k$  表示搜尋方向，而純量  $s$  則決定收搜尋步幅。過去許多文獻曾經探討有效的解決此類問題之最佳方向選擇與最佳步幅的決定，例如，Abdy 和 Dempster (1974)。搜尋方向的一個簡易選擇是選在點  $\mathbf{x}^k$  的負梯度向量為  $\mathbf{d}^k$ 。當搜尋步幅足夠小時，可以確保目標函數值將會下降。因而得到演算法的型式為：

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + s\nabla f(\mathbf{x}^k) \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (4.7)$$

此處  $\nabla f(\mathbf{x}) = (\partial f / \partial x_1, \partial f / \partial x_2, \dots, \partial f / \partial x_n)$ ， $s$  是一小常數值。上述 4.7 式即為最陡坡降法(steepest descent algorithm)，當梯度為零時得到最小值，就如微積

分取極值之觀念相同。同時假設在考慮的範圍內，只有一個局部的最小值(local minimum)。這方法的問題是雖然可降低函數值，但步幅可能很小以致於演算法的速度很慢。另一方法是透過線性搜尋決定步幅，可以使函數在目前的搜尋方向上得到最大的改善，其說明如下：

對每個  $k$  值，求一  $s$  值讓  $f(\mathbf{x}^k - s\nabla f(\mathbf{x}^k))$  最小 .....(4.8)

但往往由於搜尋方向  $-\nabla f(\mathbf{x}^k)$  的選擇欠佳，而造成演算效率不佳的原因。我們可以發現，式(4.8)中函數最小化的過程，目的在於求得  $f(\mathbf{x}^k - s\nabla f(\mathbf{x}^k))$  最小化的  $s$  值，即使  $f(\mathbf{x}^k - s\nabla f(\mathbf{x}^k))$  對  $s$  的導數值為 0。

$$\frac{df(\mathbf{x}^k - s\nabla f(\mathbf{x}^k))}{ds} = -(\nabla f(\mathbf{x}^{k+1}))^T \nabla f(\mathbf{x}^k) = 0 \quad \text{.....(4.9)}$$

這證明逐次的搜尋方向是「正交的」(orthogonal)。故由起始值近似到最佳值的過程中，將容易因為方向變動幅度過大，而落入區域最佳解之窘境。

而共軛梯度法則是取前一次搜尋方向的組合，得到更直接逼近最佳值的新方向；至於搜尋步幅同式(4.8)進行修正步幅向量的求解。令  $\mathbf{g}^{k+1} = \nabla f(\mathbf{x}^{k+1})$ ，則共軛梯度方向的基本公式為

$$\mathbf{d}^{k+1} = -\mathbf{g}^{k+1} + \beta \mathbf{d}^k \dots \quad \text{.....(4.10)}$$

故此回合的搜尋方向為現在的負梯度值加上前回合搜尋方向乘上  $\beta$  係數。而  $\beta$  係數的選用法則是：逐次搜尋方向間必須共軛，也就是說，對某一指定之矩陣  $\mathbf{A}$ ，則  $(\mathbf{d}^{k+1})^T \mathbf{A} \mathbf{d}^k = 0$ 。故可得符合共軛性下之  $\beta$  係數為下式(4.11)所示。

$$\beta = (\mathbf{g}^{k+1})^T \mathbf{g}^{k+1} / (\mathbf{g}^k)^T \mathbf{g}^k \quad \text{.....(4.11)}$$

由式(4.6)、(4.8)、(4.10)，及(4.11)可以瞭解由 Fletcher 和 Reeves(1964)所提出之共軛梯度演算法其演算步驟如下：

步驟 0：輸入起始值  $\mathbf{x}^0$  及精確度  $\varepsilon$ ，令  $k=0$  計算  $\mathbf{d}^k = -\nabla f(\mathbf{x}^k)$

步驟 1：求最小化  $f(\mathbf{x}^k + s\mathbf{d}^k)$  之最佳步幅  $s$  設為  $s_k$ ，並計算  $\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + s_k \mathbf{d}^k$  以及  $\mathbf{g}^{k+1} = \nabla f(\mathbf{x}^{k+1})$ ，若改善值  $< \varepsilon$  則停止，求得最佳解  $\mathbf{x}^{k+1}$ ；否則，進入步驟 2。

步驟 2：計算新的共軛方向  $\mathbf{d}^{k+1}$

$$\mathbf{d}^{k+1} = -\mathbf{g}^{k+1} + \beta \mathbf{d}^k \text{ 以及 } \beta = (\mathbf{g}^{k+1})^T \mathbf{g}^{k+1} / (\mathbf{g}^k)^T \mathbf{g}^k$$

步驟 3：  $k=k+1$ ；回到步驟 1。



### 4.3 求解演算流程說明

本研究將利用 4.1 與 4.2 節所說明之求解演算法，針對第三章所提出之模式架構進行求解，並以兩階段的求解方式，探討考量旅次起迄需求量下最佳偵測器佈設問題。第一階段使用 GP 法求解使用者均衡之路徑選擇問題後，進一步尋找均衡指派下之路段流量與偵測器蒐集之觀測路段流量誤差平方最小下，偵測器最適佈設位置與數量，即式(3.9)~(3.16)；第二階段則是利用 CG 法，針對第一階段求解之偵測器位置與數量，進行旅次起迄需求涵蓋量之檢驗，即式(3.25)~(3.28)。

以下針對第一階段與第二階段的求解流程進行說明。

階段一：如圖 4.3 所示。

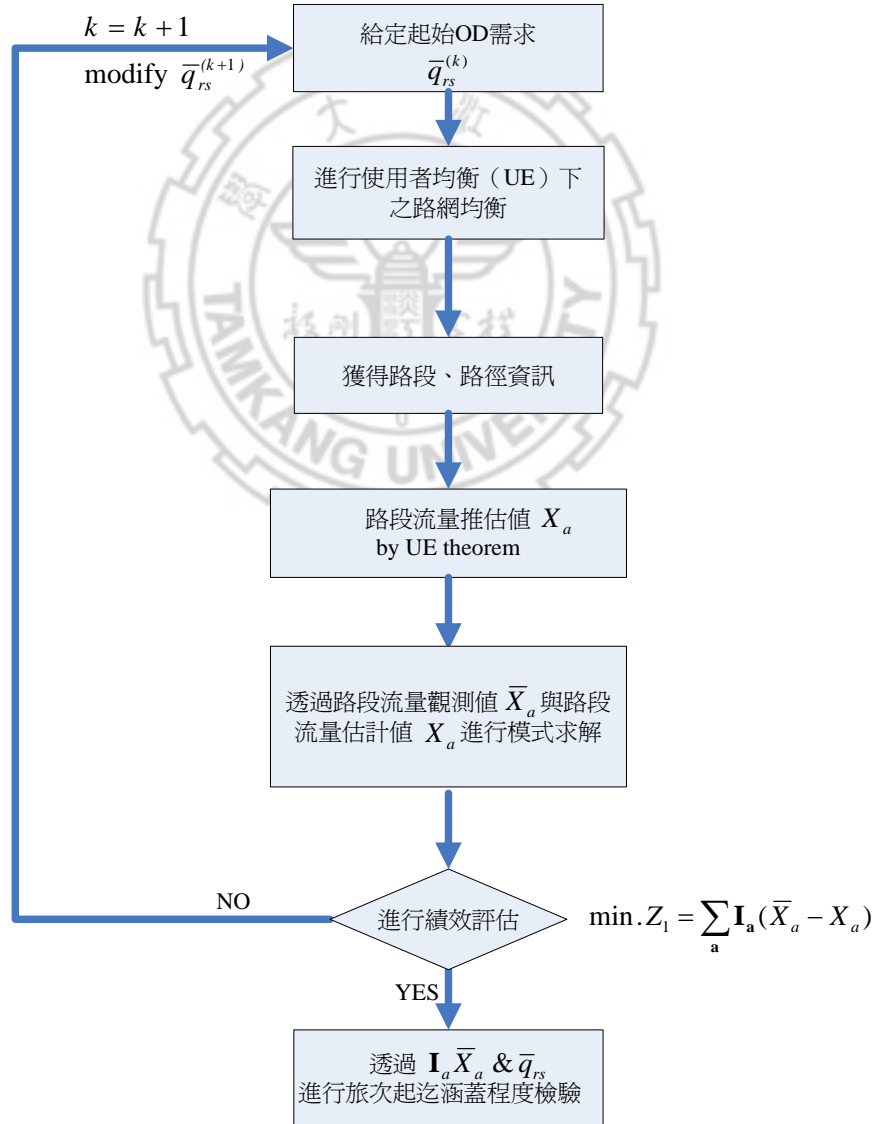


圖 4.3 階段一求解過程流程圖

如圖 4.3 所示，在階段一之求解過程，首先先給定起始之 OD 需求與路網相關基本資料，經由式(3.3)~(3.8)之靜態使用者均衡模式，透過 GP 法進行模式求解，獲得路段成本  $C_p^{rs(k)}$ 、路徑均衡流量  $f_p^{rs(k)}$  與路段均衡流量  $X_a^{(k)}$ ；接著將路段均衡流量  $X_a^{(k)}$  與偵測器佈設路段之觀測流量  $\bar{X}_a$  進行誤差計算，以及旅次起迄需求  $\bar{q}_{rs}^{(k)}$  之修正，並經由式(3.9)~(3.16)之考慮偵測器佈設位置數量下之旅次起迄推估模型進行旅次起迄需求  $\bar{q}_{rs}^{(k)}$  逐次的修正，直到偵測器佈設位置與數量  $\mathbf{I}_a$  之解收斂為止。接下來則進入階段二之旅次起迄需求涵蓋程度檢驗之求解流程。



階段二：如圖 4.4 所示。

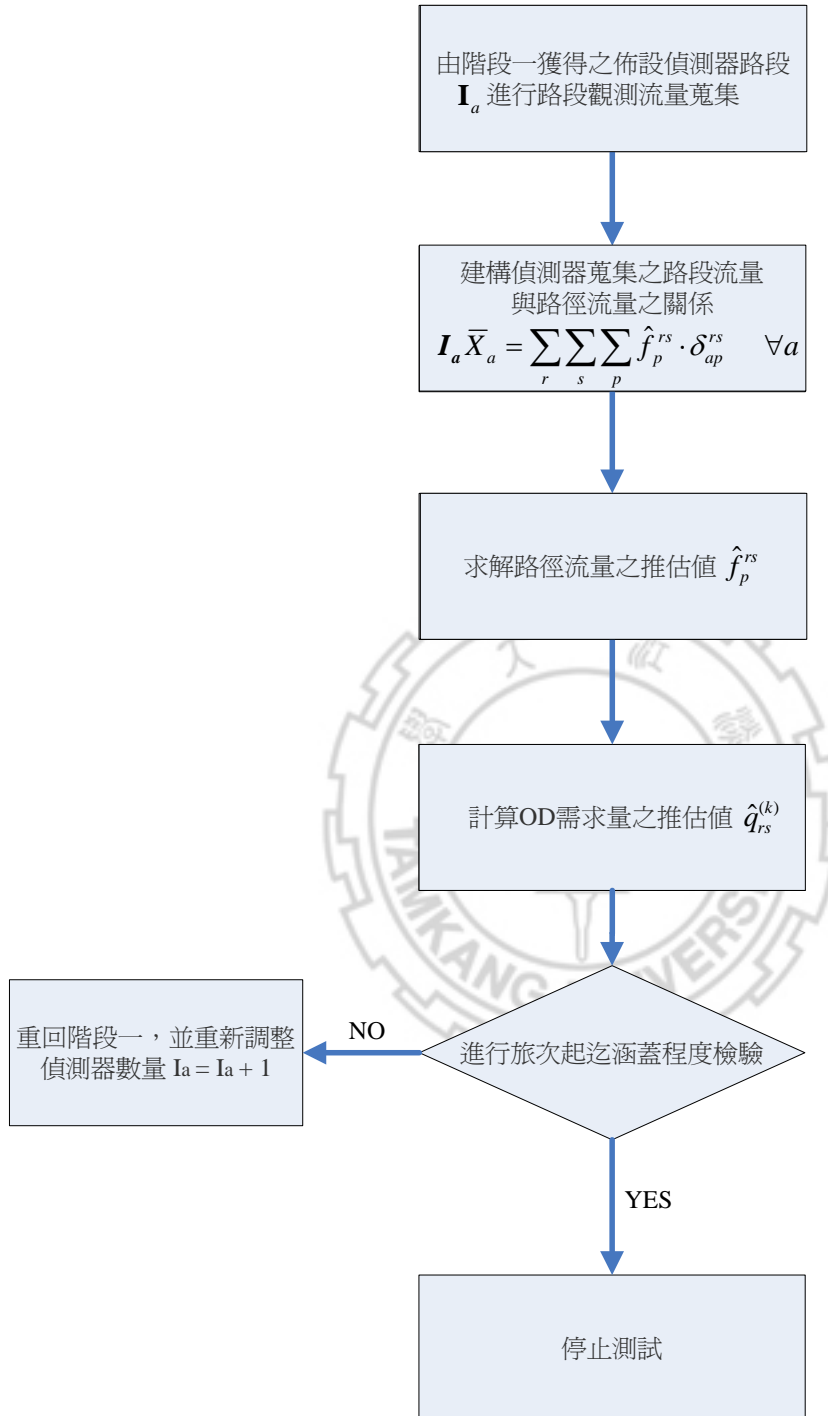


圖 4.4 階段二求解過程流程圖

如圖 4.4 所示，進入階段二主要是針對階段一所求解之偵測器佈設位置與數量  $\mathbf{I}_a$ ，透過(3.25)~(3.28)之旅次起迄量檢驗模式進行旅次起迄需求涵蓋程度之檢驗，首先依據式(3.27)之路段流量與路徑流量之關係，透過 CG 法求解最適之路徑流量推估值  $\hat{f}_p^{rs}$ ；接著利用式(3.28)路徑流量  $f_p^{rs}$  與 OD 需求量  $q_{rs}$  之間的關係，整理出路網 OD 需求推估量  $\hat{q}_{rs}$ ；針對此階段輸出之  $\hat{q}_{rs}$  與  $\bar{q}_{rs}$  進行比對，檢驗是否經由佈設偵測器路段之觀測流量推估之起迄需求量，以能夠大部分的涵蓋路網的旅次需求量，如果是，則停止並且確定最適之  $\mathbf{I}_a$ ；如果否，則調整偵測器數量  $\mathbf{I}_a = \mathbf{I}_a + 1$ ，重新返回階段一進行求解。

故經由上述兩階段之求解流程可以針對本研究擬探討之考量起迄需求涵蓋程度下最適偵測器佈設議題之求解，其做法則是透過第一階段進行特定偵測器數量下，求解偵測器佈設之收斂佈設位置後，針對佈設有偵測器之路段觀測流量反推整體路網資訊蒐集之程度為何，並以路網之起迄需求量涵蓋程度為評估之準則。並由此兩階段之求解尋求針對特定路網下，最終偵測器佈設之最佳數量與相關位置。整體之求解流程經由彙整如下所述：

步驟 1： 給定起始旅次起迄需求量  $\bar{q}_{rs}^{(k)}$ 。

步驟 2： 透過使用者均衡模型求解路徑流量( $f_p^{rs}$ )與路段均衡成本( $C_a^*$ )，並獲得路段流量( $X_a$ )。

步驟 3： 經由路段觀測流量( $\bar{X}_a$ )與 UE 均衡路段流量( $X_a$ )之平方誤差最小的目標下，求取  $\mathbf{I}_a$ 。

步驟 4： 進行績效評估。

步驟 5： 檢驗是否收斂。如果是，則進入 Step6。如果否，則回到 Step1，並重新校正  $\bar{q}_{rs}^{(k)}$ 。

步驟 6： 利用完整路段觀測流量  $\bar{X}_a$  下推估之  $\bar{q}_{rs}$  與有佈設偵測器部分資訊下之路段觀測流量  $\mathbf{I}_a \bar{X}_a$ ，透過路段與路徑流量組成關係，反推路網起迄對需求量  $\hat{q}_{rs}$ ，即檢驗在透過佈設偵測器之路段觀測流量推估之路網旅次起迄需求量  $\hat{q}_{rs}$ ，是否已能涵蓋透過所有路段觀測流量皆已知下，所獲得之旅次起迄需求量。

步驟 7： 經由佈設偵測器之路段觀測流量  $\mathbf{I}_a \bar{X}_a$ ，反推路徑流量  $\hat{f}_p^{rs}$ 。



步驟 8：由  $\hat{f}_p^{rs}$  計算出路網之  $\hat{q}_{rs}$ 。

步驟 9：檢驗涵蓋程度是否足夠。如果是，則進入 Step10。如果否，則回到 Step1，調整偵測器限制式數量下限  $\mathbf{I}_a = \mathbf{I}_a + 1$ ，並重新校正  $\bar{q}_{rs}^{(k)}$ 。

步驟 10：停止，並確定最適之偵測器佈設位置與數量  $\mathbf{I}_a^*$ 。

綜合上述步驟 1~10 之關係，進一步以圖 4.5 表示之。



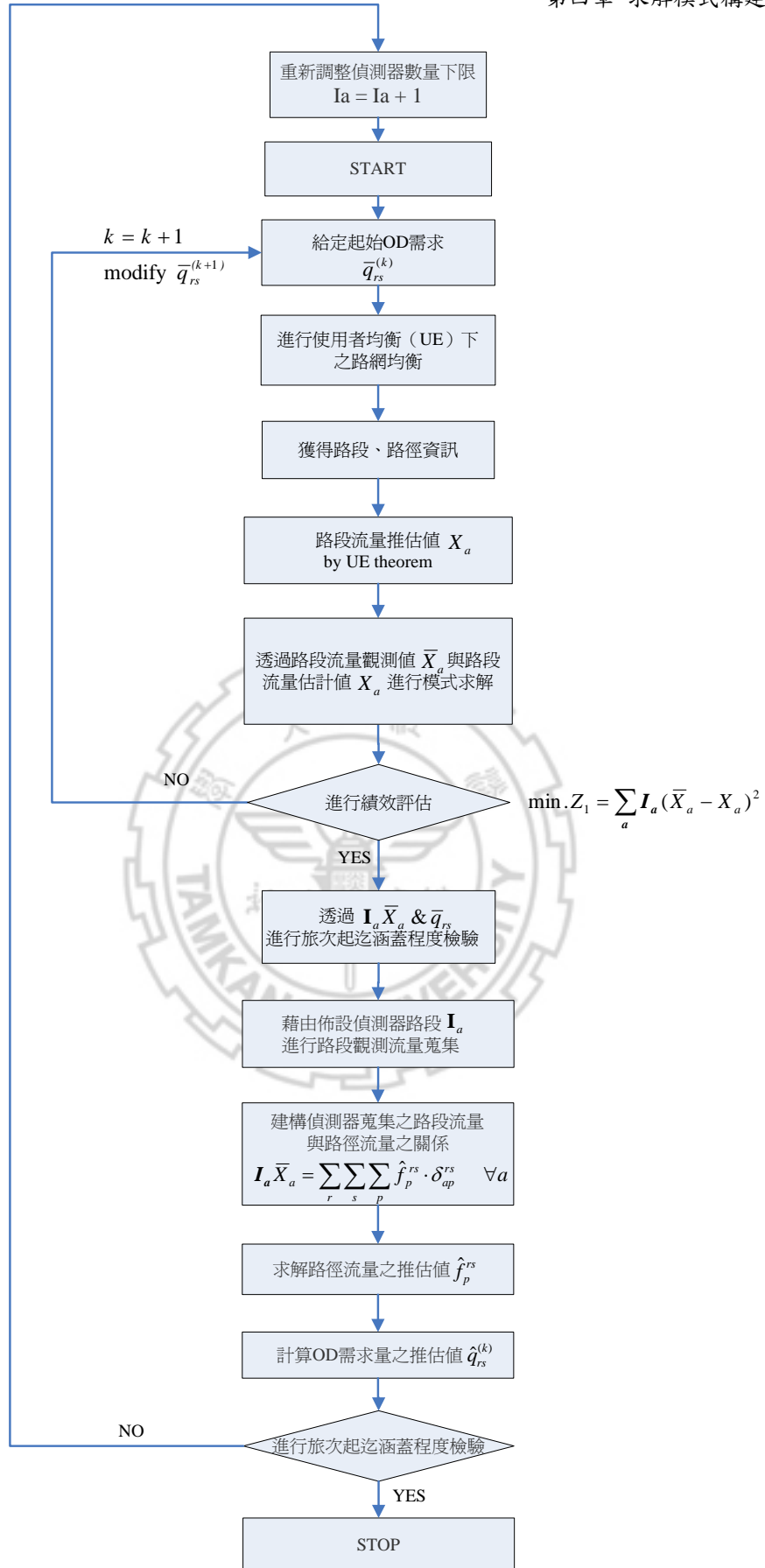


圖 4.5 完整求解過程流程圖

#### 4.4 考量獨立/相依路段下之偵測器佈設策略

在車輛偵測器佈設的實務課題中，往往會碰到資源限制，無法完全佈設，或是政府相關單位係以逐年編列預算的方式，進行漸進式的建設，因此，在流量倒推旅次起迄量的問題中，將無法獲得完全的資訊，進而影響旅次起迄量推估的工作。基於此，本研究參考卓訓榮(1991)文中之廣義反矩陣應用部分之內容，提出以下想法，希望藉由考量獨立/相依路段下之偵測器佈設策略，將偵測器優先佈設於獨立路段上，如此將不需要藉由路網中所有路段之觀測流量，即可以進行偵測器佈設方案之提供。

我們知道在相同起迄運輸需求下，路網上可能有多組不同路徑流量解，但其路段解為唯一，而起迄運輸需求滿足嚴格互補鬆弛條件的路徑流量解與路段流量解間，存在以下關係：

$$\begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{f}^+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda_1^+ \\ \Lambda_2^+ \end{bmatrix} \mathbf{h}^+ \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

式(4.12)中  $\Lambda_1^+$  必為列滿秩(Full Row Rank)的情形，而其內容表示系統的流量守恒限制條件，但  $\Lambda_2^+$  則不一定滿足列滿秩，因此我們透過減秩(Reduced Row Echelon Form, RREF)的工作，將  $\Lambda_2^+$  區分  $[\Lambda_{2I}^+ \quad \Lambda_{2D}^+]^T$  兩個部分，其中  $\Lambda_{2I}^+$  為線性獨立路段/路徑鄰接矩陣， $\Lambda_{2D}^+$  則為式(4.12)中發生線性相依路段/路徑鄰接矩陣。而所有線性相依路段/路徑鄰接矩陣  $\Lambda_{2D}^+$  又可以為線性獨立路段/路徑鄰接矩陣  $\Lambda_{2I}^+$  之線性組合。因此，掌握獨立路段之路段流量資訊，將可以進一步確保獲得大部分路徑流量的資訊，如此將能夠有效的利用此些資訊進行起迄對流量的推估工作。

上述獨立/相依路段之選定，以及求解的流程進一步說明如下：

步驟 1： 整理路網中路段與路徑之路段/路徑鄰接矩陣  $\Lambda_2^+$ 。

步驟 2： 透過減秩工作進行線性獨立路段/路徑鄰接矩陣  $\Lambda_{2I}^+$  與線性相依路段/路徑鄰接矩陣  $\Lambda_{2D}^+$  的區分。

步驟 3： 經由線性獨立路段/路徑鄰接矩陣  $\Lambda_{2I}^+$  的內容，決定偵測器佈設位置與數量( $\mathbf{I}_a$ )。

步驟4：利用有佈設偵測器之路段觀測流量  $I_a \bar{X}_a$ ，透過路段與路徑流量組成關係，反推路網起迄對之需求量  $\hat{q}_{rs}$ 。

步驟5：進行完整資訊下之起迄需求推估值與步驟4於部分資訊下推估之起迄需求量進行涵蓋程度之績效評估。

本研究提出該線性獨立路段佈設策略，主要目的即希望透過歷史起迄需求資料所提供的旅次型態與特性，進行路網中重要路段的選取，並進一步佈設偵測器蒐集路段資訊，藉由獨立路段的佈設，可以有效避免重覆資訊的獲得，如此將可以在有限的資源下，進行關鍵路段優先佈設車輛偵測器，並有助於旅次起迄量的推估工作。在下一章數值分析中，將針對此方法進行分析，亦將所獲致的結果加以討論。



## 第五章 實驗設計與數值分析

本研究主要乃在利用交通量指派模式探討偵測器佈設問題，以及旅次起迄需求涵蓋模式下進行路網中偵測器數量與位置佈設策略之擬定，並且透過數值分析的方式，測試模式在不同路網規模型態所分析之不同結果，進而探討偵測器佈設數量與網路規模間是否有特定之關係。由於真實之動態旅次起迄資料獲得困難，本研究擬以不同規模大小之虛擬路網以及交通分區之歷史 OD 資料進行推估模式之測試與分析。本章內容首先於 5.1 節說明所構建之虛擬路網之基本資料，以及實驗設計內容，5.2 節至 5.4 節分別說明在不同路網型態以及不同需求量下，模式輸出結果，而 5.5 節則為各情境下測試結果之綜合比較。

### 5.1 實驗設計

本研究擬分為小、中、大路網三種類別，進行模式測試與分析，以下則依序進行各路網相關基本資料的說明。本研究之測試路網中，各路段之旅行成本函數則假設其符合美國聯邦公路總署(FHWA)所訂定之 B.P.R.函數，如式(5-1)所示。其中各路段之自由車流速度、 $\alpha$ 、 $\beta$  值部分，因應不同路型與路網條件以及地域環境，將會有不同的參數值，在鄭正元(2004)研究中，參考「第三期台灣地區整體運輸系統規劃—整體運輸系統供需預測與分析」，以及該研究之合理假設，彙整之資料如表 5-1 所示。

$$T_c = T_0 * (1 + \alpha * (\frac{V}{Cap})^\beta) \dots\dots\dots (5-1)$$

式中，

$T_c$  表路段旅行時間；

$T_0$  表自由車流旅行時間；

$V$  表路段流量；

$Cap$  表路段容量；

$\alpha$ 、 $\beta$  為參數值。

表 5-1 不同類型路段基本資料對照表

路段類型	路段	自由車流速率 (Km/hr)	$\alpha$	$\beta$
1	平原區高速公路	93	0.9053	4.9604
2	丘陵/山嶺區 高速公路	85	0.9053	4.9604
3	快速道路	70	0.15	4
4	省道	60	0.15	4
5	縣級(含)以下道路	50	0.15	4

資料來源：鄭正元(2004)



### 5.1.1 實驗路網基本資料

#### 5.1.1.1 小型路網基本資料

本實驗路網是一虛擬之小型路網，如圖 5.1 所示。路網中包含 6 個節點以及 14 條節線，各路段之基本資料如表 5-2 所示。

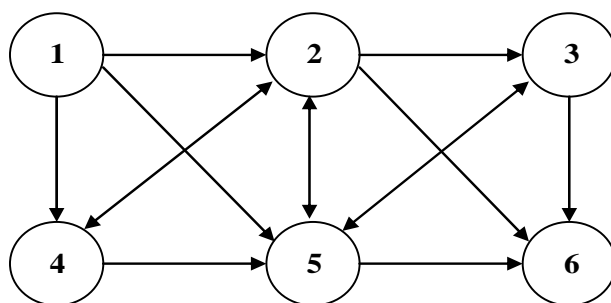


圖 5.1 小型實驗路網圖

表 5-2 小型路網各路段基本資料表

路段編號	起點編號	迄點編號	自由車流旅行成本	路段容量
1	1	2	2	20
2	1	4	4	15
3	1	5	2	20
4	2	3	1	15
5	2	4	3	20
6	2	5	1	15
7	2	6	3	20
8	3	5	2	15
9	3	6	4	20
10	4	2	3	15
11	4	5	1	20
12	5	2	4	15
13	5	3	2	20
14	5	6	3	15

#### 5.1.1.2 中型路網基本資料

本實驗路網係參考陳韋廷(2003)研究中之路網條件與資料。此路網是以基隆至新竹間的高、快速公路所建構之簡化路網，其中包括國道 1、2、3、4 號高速公路、省道台 1、2、4、15、66 等公路，另包含台北市建國、環河快速道路，以及部分省級或縣級道路連絡各條縱向的主要幹道，如圖 5.2 所示。路網中包含 28 個節點以及 66 條節線，各路段之基本資料如表 5-3 所示。





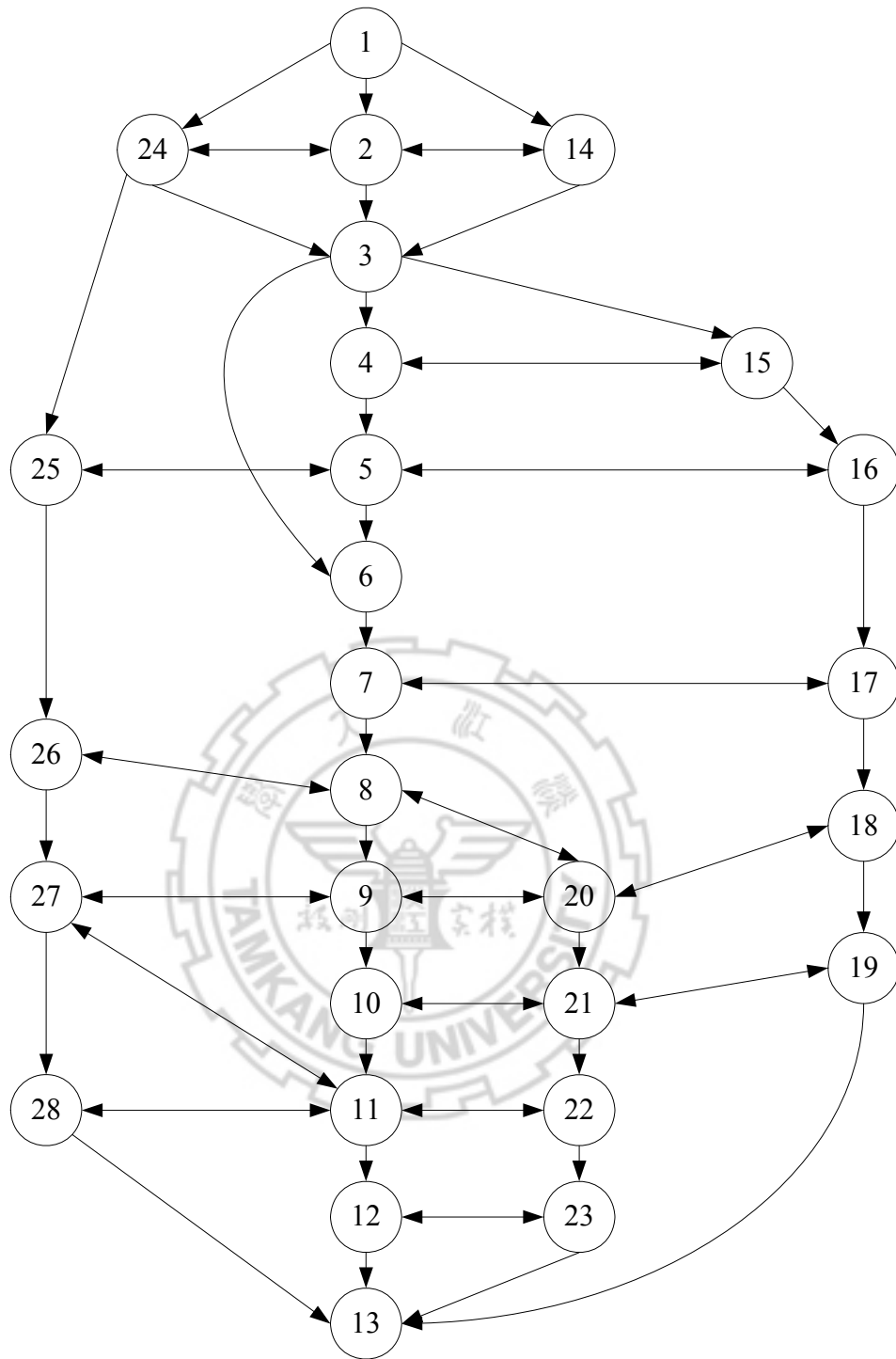


圖 5.2 中型實驗路網圖

表 5-3 中型路網各路段基本資料表

路段編號	起點編號	迄點編號	自由車流旅行成本	路段容量
1	1	2	1.5	2000
2	1	14	4	1000
3	1	24	4.08	1000
4	2	3	5.4	1500
5	2	14	0.12	1000
6	2	24	11.28	1000
7	3	4	6.96	2000
8	3	6	12.3	2000
9	3	15	6.6	2000
10	4	5	1.2	2000
11	4	15	11.8	1000
12	5	6	4.8	3000
13	5	16	12.4	1000
14	5	25	11.4	1000
15	6	7	4.68	3000
16	7	8	4.92	3000
17	7	17	18.9	1000
18	8	9	1.86	3000
19	8	20	5.28	1000
20	8	26	18.5	1000
21	9	10	2.88	3000
22	9	20	2.6	1500
23	9	27	8.07	1500
24	10	11	3.24	3000
25	10	21	3.24	1000
26	11	12	4.02	3000
27	11	22	0.96	1000
28	11	27	35.1	500
29	11	28	16.71	1000
30	12	13	18.54	2000
31	12	23	0.12	1000
32	14	2	0.12	1000
33	14	3	5.8	2000
34	15	4	11.8	1000
35	15	16	4.07	3000

36	16	5	18.6	1000
37	16	17	15.8	2000
38	17	7	18.9	1000
39	17	18	2.04	3000
40	18	19	5.04	3000
41	18	20	5.13	1500
42	19	13	22.8	3000
43	19	22	7.11	1000
44	20	8	5.28	1000
45	20	9	2.6	1500
46	20	18	5.13	1500
47	20	21	6	1000
48	21	10	3.24	1000
49	21	22	4.68	1000
50	22	11	0.96	1000
51	22	19	7.11	1000
52	22	23	9.24	1000
53	23	12	0.12	1000
54	23	13	34.5	1000
55	24	2	11.28	1000
56	24	3	7.27	2000
57	24	25	51.51	1000
58	25	5	11.4	1000
59	25	26	22.54	1500
60	26	8	18.5	1000
61	26	27	6.09	1500
62	27	9	8.07	2000
63	27	11	28.08	500
64	27	28	17.4	1500
65	28	11	16.71	1000
66	28	13	27	1500

### 5.1.1.3 大型路網基本資料

本研究之大型實驗路網參考係鄭正元(2004)研究中之路網條件與資料，該路網以台灣地區西部運輸走廊北部地區為主，北起汐止系統交流道、南至新竹系統

交流道，如圖 5.3 所示，路網中之縱向道路包括國 1、國 3、西部濱海快速道路，以及環東高架、市民大道高架等高快速公路為主。橫向各連絡道則包含國 2、台 64、台 66、台 68，以及部分省級或縣級道路連絡各條縱向的主要幹道。路網中包含 52 個節點以及 154 條節線，各路段之基本資料如表 5-4 所示。

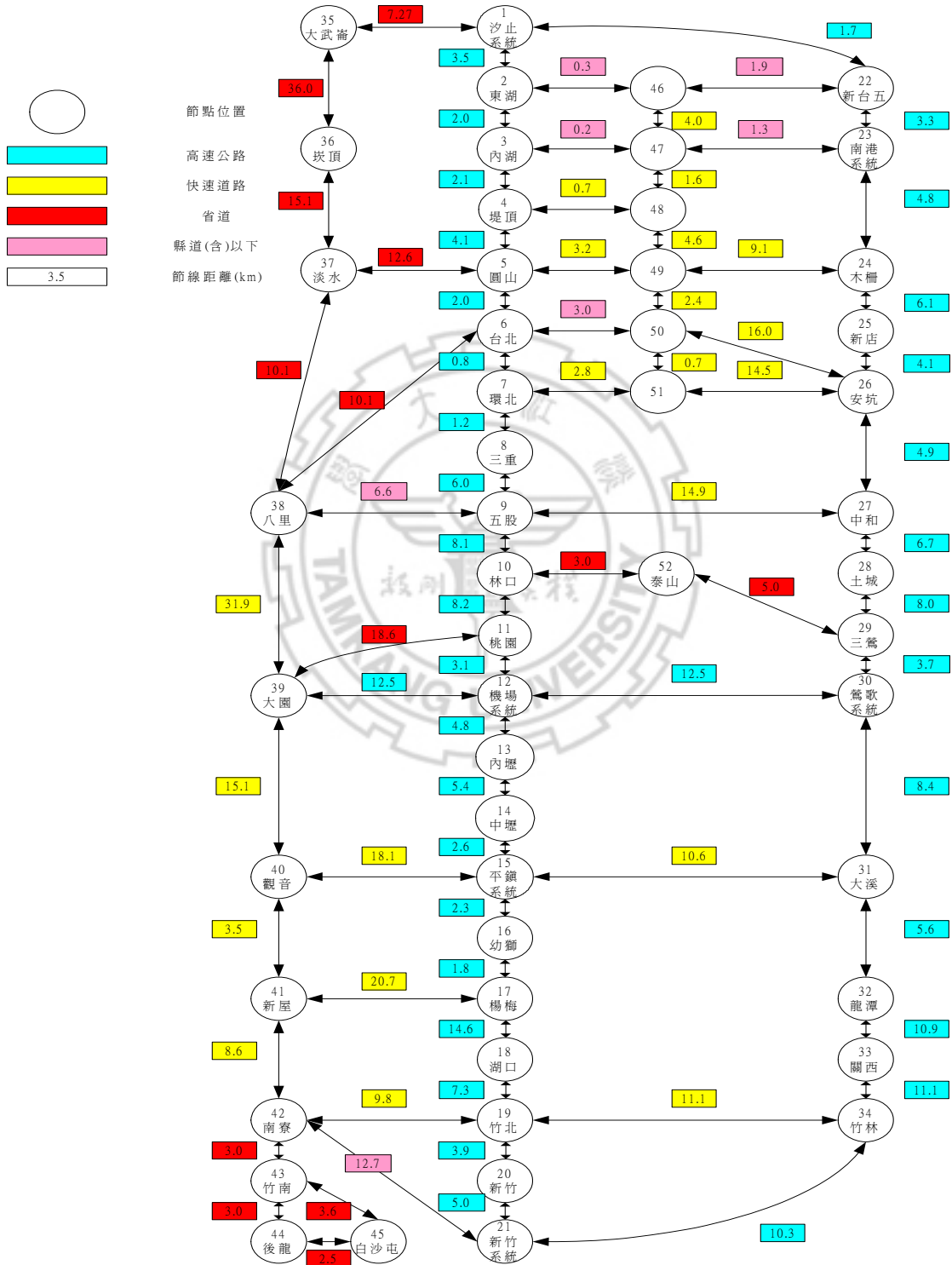


表 5-4 大型路網各路段基本資料表

路段編號	起點編號	迄點編號	自由車流旅行成本	路段容量
1	1	2	2.26	3000
2	1	22	1.2	3000
3	1	35	6.23	3000
4	2	1	2.26	3000
5	2	3	1.29	1800
6	2	46	0.36	1800
7	3	2	1.29	3000
8	3	4	1.35	3000
9	3	47	0.24	1800
10	4	3	1.35	1600
11	4	5	2.65	3000
12	4	48	0.6	1800
13	5	4	2.65	3000
14	5	6	1.29	1600
15	5	37	10.8	3000
16	5	49	2.74	3000
17	6	5	1.29	3000
18	6	7	0.52	3000
19	6	38	10.1	1800
20	6	50	3.6	1800
21	7	6	0.52	1800
22	7	8	0.77	3000
23	7	51	2.4	3000
24	8	7	0.77	4000
25	8	9	3.87	1800
26	9	8	3.87	1800
27	9	10	5.23	4000
28	9	27	12.77	1800
29	9	38	7.92	1600
30	10	9	5.23	4000
31	10	11	5.29	1600
32	10	52	2.57	3000
33	11	10	5.29	1600
34	11	12	2	4000
35	11	39	18.6	1800

36	12	11	2	4000
37	12	13	3.1	1800
38	12	30	8.06	4000
39	12	39	8.06	4000
40	13	12	3.1	4000
41	13	14	3.48	3000
42	14	13	3.48	1800
43	14	15	1.68	1600
44	15	14	1.68	3000
45	15	16	1.48	3000
46	15	31	9.09	3000
47	15	40	15.51	3000
48	16	15	1.48	1800
49	16	17	1.16	3000
50	17	16	1.16	3000
51	17	18	9.42	1600
52	17	41	14.61	3000
53	18	17	9.42	3000
54	18	19	4.71	3000
55	19	18	4.71	3000
56	19	20	2.52	3000
57	19	34	9.51	1800
58	19	42	8.4	3000
59	20	19	2.52	3000
60	20	21	3.23	3000
61	21	20	3.23	3000
62	21	34	7.27	1800
63	21	42	8.96	1800
64	22	1	1.2	3000
65	22	23	2.33	3000
66	22	46	2.28	1800
67	23	22	2.33	3000
68	23	24	3.39	3000
69	23	47	1.56	1800
70	24	23	3.39	3000
71	24	25	4.31	3000
72	24	49	7.8	3000

73	25	24	4.31	3000
74	25	26	2.89	3000
75	26	25	2.89	3000
76	26	27	3.46	1800
77	26	50	13.71	3000
78	26	51	12.43	3000
79	27	9	12.77	3000
80	27	26	3.46	1800
81	27	28	4.73	3000
82	28	27	4.73	3000
83	28	29	5.65	3000
84	29	28	5.65	3000
85	29	30	2.61	3000
86	29	52	4.29	3000
87	30	12	8.06	3000
88	30	29	2.61	3000
89	30	31	5.93	1600
90	31	15	9.09	1800
91	31	30	5.93	3000
92	31	32	3.95	3000
93	32	31	3.95	1600
94	32	33	7.69	3000
95	33	32	7.69	3000
96	33	34	7.84	1800
97	34	19	9.51	3000
98	34	21	7.27	3000
99	34	33	7.84	1800
100	35	1	6.23	1800
101	35	36	30.86	1800
102	36	35	30.86	1800
103	36	37	12.94	1800
104	37	5	10.8	1800
105	37	36	12.94	1800
106	37	38	8.66	1800
107	38	6	10.1	1800
108	38	9	7.92	1800
109	38	37	8.66	1600

110	38	39	22.52	3000
111	39	11	18.6	1800
112	39	12	8.06	3000
113	39	38	22.52	3000
114	39	40	12.94	1600
115	40	15	15.51	3000
116	40	39	12.94	1800
117	40	41	3	1600
118	41	17	14.61	3000
119	41	40	3	3000
120	41	42	6.07	1800
121	42	19	6.92	1800
122	42	21	8.96	3000
123	42	41	6.07	1800
124	42	43	2.57	3000
125	43	42	2.57	1800
126	43	44	2.57	1800
127	43	45	3.09	1800
128	44	43	2.57	1800
129	44	45	2.14	3000
130	45	43	3.09	3000
131	45	44	2.14	1800
132	46	2	0.36	1800
133	46	22	2.28	1800
134	46	47	3.43	3000
135	47	3	0.24	1800
136	47	23	1.56	1800
137	47	46	3.43	3000
138	47	48	1.37	3000
139	48	4	0.6	1800
140	48	47	1.37	1800
141	48	49	3.94	1800
142	49	5	2.74	1800
143	49	24	7.8	1800
144	49	48	3.94	1800
145	49	50	2.06	1800
146	50	6	3.6	1800



147	50	26	13.71	1600
148	50	49	2.06	1800
149	50	51	0.6	1600
150	51	7	2.4	1600
151	51	26	12.43	1600
152	51	50	0.6	1800
153	52	10	2.57	1800
154	52	29	4.29	1800

### 5.1.2 實驗設計

為探討所構建模式於不同路網規模下之表現，本研究在供給面擬以不同路網規模大小進行分析，分別探討模式於(1)小型路網、(2)中型路網，以及(3)大型路網之模式表現和其求解出之偵測器佈設策略為何；在需求面，則將起迄需求給予不同水準，分為原始 OD 需求量與兩倍 OD 需求量。而本研究之路段觀測流量為歷史路段流量進行 5% 的微調。希望藉此能分別瞭解在供給與需求面不同下，模式表現之差異性為何。

此外，當佈設偵測器議題遭遇到成本的限制或是缺少路段流量觀測值時，必須在有限數量的偵測器資源下，進行最有效率的佈設，因此本研究進一步加入當缺少路段觀測流量時，針對路網進行考量線性獨立/相依路段下，偵測器佈設策略之探討，如圖 5.4 所示。

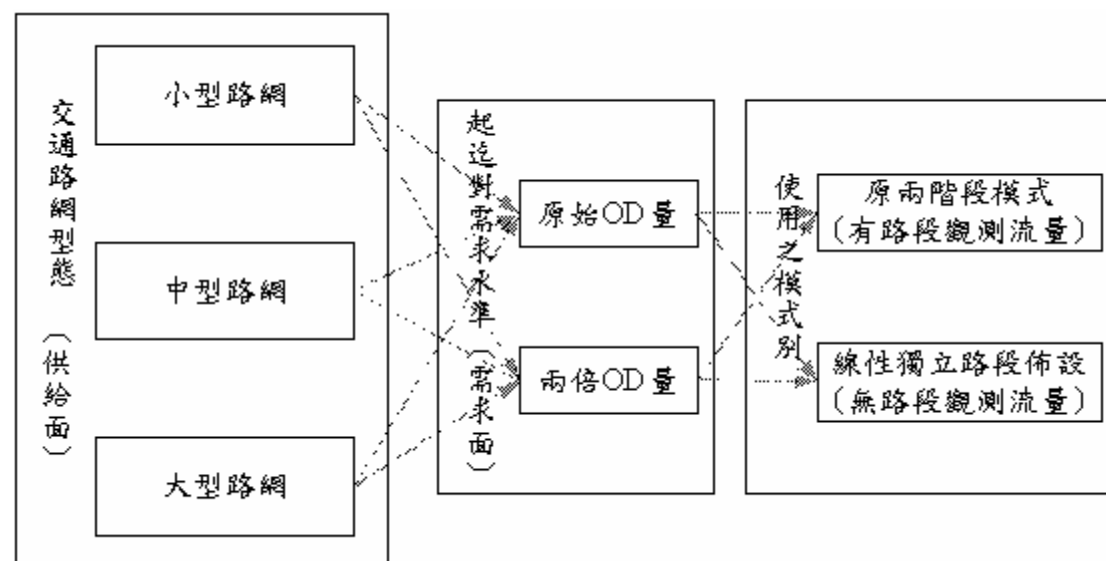


圖 5.4 實驗設計示意圖

如圖 5.4 所示，於探討有路段觀測流量之情境時，即依照本研究第三章所提出之模式架構，進行偵測器佈設方案的決定與數值分析，見 5.2 節；而無路段觀測流量之情境中，旨在探討當路網資料中，不存在路段流量觀測值時，如何經由路段/路徑鄰接矩陣(Link-Path Incident Matrix)的關係，找出路網中具代表性之獨立路段，並藉由此些獨立路段視為偵測器應佈設之路段點，進行旅次起迄需求量之推估工作，見 5.3 節。

### 5.1.3 評估準則

為探討所構建模式之有效性與適用性，以及旅次起迄需求涵蓋程度之描述，須有衡量之評估指標以進行模式評估。本研究係採以平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percent Error, MAPE)作為評估之依據，其公式與所代表涵意說明如后：

#### (1) 平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percent Error, MAPE)

平均絕對誤差百分比為所有樣本推估絕對誤差百分比的平均值，可用以顯示模式估計之可靠性；在本研究中平均絕對誤差百分比誤差越小，表示旅次起迄量之涵蓋程度越高；反之，平均絕對誤差百分比誤差越大，表示旅次起迄量之涵蓋程度越低。MAPE 計算公式如下：

$$MAPE = \left[ \frac{100}{K} \sum_{k=1}^K \left| \frac{(e_k - o_k)}{o_k} \right| \right] \dots\dots\dots (5.2)$$

其中，

$e_k$  表示第  $k$  起迄對部份資訊下之旅次起迄需求量推估值；

$o_k$  表示第  $k$  起迄對完整資訊下之旅次起迄需求量推估值；

$K$  表示總樣本數。

在此特別針對本研究 MAPE 值的定義做進一步的說明，以避免造成讀者的誤解。本研究在進行偵測器佈設路段求解時，由於我們假設現況之起迄需求為未知，因此本研究提出旅次起迄需求涵蓋程度之檢驗，即以路網中所有路段  $N$  的偵測器觀測流量推估之旅次起迄需求為完整資訊之旅次起迄需求推估值  $o_k$ ；而當偵測器佈設於  $n$  條路段下， $n < N$ ，所推估之旅次起迄需求為部份資

訊下之旅次起迄需求量推估值  $e_k$ 。並藉由此評估準則來瞭解實驗路網中，已佈設偵測器路段所蒐集之資訊，相對於完全資訊，達到多少的涵蓋程度。

而在本研究中，我們設定旅次起迄量之涵蓋程度檢驗的門檻值為 MAPE 小於 10，由於本研究真實旅次 OD 需求未知，因此在模式檢驗工作上，是透過完整資訊以及部分資訊的比對，來進行模式績效的評估，因此本研究參考原始 MAPE 值的預測績效評估準則，如表 5-5 所示，採取最嚴格的審視標準，以彌補真實 OD 未知下的缺陷，透過較為嚴格的門檻值，能夠進一步確保佈設偵測器路段所獲得的資訊，的確有能力用以描述該路網之起迄需求情形。

表 5-5 MAPE 預測績效評估準則

MAPE	預測能力
<10%	高精確度的預測
10% -- 20%	良好的預測
20% -- 50%	合理的預測
>50%	不精確的預測

資料來源：許雅惠(2004)

#### 5.1.4 測試環境

根據上述測試路網及運輸需求資料，本研究在模式求解上，使用 Visual Basic 6.0、MAPLE 10，以及 MATLAB 7.0 進行不同部分的求解與運算。大致上可以分為三大主要求解工作，以及相關求解工具的應用，簡單說明如下

##### (1) 靜態交通量指派模式之梯度投影法求解以及偵測器佈設位置選擇

此部分利用 Visual Basic 6.0 版編輯器撰寫程式進行交通量指派模式求解，透過梯度投影法(GP)求解路段、路徑資訊，以及尋找偵測器佈設位置與數量為何。

##### (2) 旅次起迄量推估之非線性規劃

透過 Visual Basic 6.0 所求解出之偵測器佈設位置與數量  $I_a$ ，蒐集佈設

偵測器路段之路段觀測流量  $\mathbf{I}_a \bar{X}_a$ ，進行路徑與路段的組成關係構建最小平方之非線性規劃目標式，以求解路徑流量估計值，如式(4.4)與式(4.5)所示。此部份則透過 MAPLE 10 套裝軟體進行路徑流量估計值  $\hat{f}_p^{rs}$  的求解，最後利用路徑流量估計值計算出路網起迄需求量估計值  $\hat{q}_{rs}$ ，並進行路網中，旅次起迄需求涵蓋程度之檢驗。

### (3) 求解線性獨立路段

在線性獨立/相依路段偵測器佈設策略中，我們必須經由減秩工作獲得路段中之線性獨立路段為何，在此則利用 MATLAB 7.0 進行求解，當獨立路段確定後，則獲得線性獨立路段佈設策略下之偵測器佈設位置與數量  $\mathbf{I}_a$ ，接著則一樣進行透過路徑與路段的組成關係，構建最小平方之非線性規劃目標式，並藉由 MAPLE 10 進行路網旅次起迄量的推估工作。



## 5.2 模式測試與分析

### 5.2.1 小型路網測試結果

針對小型路網進行模式測試前，必須先獲得此路網之歷史起迄需求(Prior OD)與路網資料，如下表 5.6 所示，依據此歷史 OD 資料，進行原始 OD 需求量以及兩倍 OD 需求量之測試與分析，其評估之結果如表 5-7、5-8 所示。其中表 5-7、5-8 中，完整資訊代表所有路段觀測流量皆已知下，推估之路網起迄需求量；而推估值則表示在特定佈設偵測器數量下，由部份觀測流量所能推估而得之路網起迄需求；在此 MAPE 值則隱含路網起迄需求之涵蓋程度。

表 5-6 小型路網之歷史起迄需求與路網條件

OD 型態	OD(1-6)	OD(2-5)	OD(3-6)
起始量	10	20	15
Node :	6	Link :	14

表 5-7 小型路網原始 OD 需求量之評估結果

偵測器佈設數量	OD 需求量				OD 需求涵蓋程度		
		OD(1-6)	OD(2-5)	OD(3-6)	MAPE		
3	推估值	10.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
	完整資訊	10.50	21.00	15.75			
4	推估值	10.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
	完整資訊	10.50	21.00	15.75			
5	推估值	10.50	0.00	15.75	0.00	100.00	0.00
	完整資訊	10.50	21.00	15.75			
6	推估值	10.50	21.00	15.75	0.00	0.00	0.00
	完整資訊	10.50	21.00	15.75			

表 5-8 小型路網兩倍 OD 需求量之評估結果

偵測器佈設數量	OD 需求量				OD 需求涵蓋程度		
		OD(1-6)	OD(2-5)	OD(3-6)	MAPE		
3	推估值	4.70	10.59	11.64	83.31	77.36	65.19
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			
4	推估值	28.35	0.00	6.91	0.58	100.00	79.34
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			
5	推估值	27.18	11.23	7.88	3.58	75.99	76.44
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			
6	推估值	28.03	15.13	34.73	0.58	67.65	3.89
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			
7	推估值	28.10	50.36	35.03	0.31	7.68	4.78
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			
8	推估值	25.19	59.90	36.30	1.49	6.96	3.86
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			



### 5.2.2 中型路網測試結果

針對中型路網進行模式測試前，必須先獲得此路網之歷史起迄需求(Prior OD)與路網資料，如下表 5.9 所示，依據此歷史 OD 資料，進行原始 OD 需求量以及兩倍 OD 需求量之測試與分析，其評估之結果如表 5-10、5-11 所示。其中表 5-10、5-11 中，各項數據所代表之意義，已於 5.2.1 節中說明，在此不再贅述。

表 5-9 中型路網之歷史起迄需求與路網條件

OD 型態	OD(1-5)	OD(3-8)	OD(5-13)	OD(8-13)	OD(20-23)
起始量	790	560	880	500	500
Node :	28	Link :	66		

表 5-10 中型路網原始 OD 需求量之評估結果

偵測器佈設數量	OD 需求量						OD 需求涵蓋程度				
		OD(1-6)	OD(2-5)	OD(2-6)	OD(2-7)	OD(3-6)	MAPE				
3	推估值	0.00	588.00	724.50	724.50	525.00	100.00	0.00	21.59	38.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					
4	推估值	829.50	588.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					
5	推估值	829.50	588.00	0.00	0.00	525.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					
6	推估值	0.00	0.00	724.50	724.50	525.00	100.00	100.00	21.59	38.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					
7	推估值	0.00	588.00	924.00	525.00	525.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					
8	推估值	0.00	588.00	924.00	525.00	525.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					
9	推估值	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					

表 5-11 中型路網兩倍 OD 需求量之評估結果

偵測器佈設數量	OD 需求量						OD 需求涵蓋程度				
		OD(1-5)	OD(3-8)	OD(5-13)	OD(8-13)	OD(20-23)	MAPE				
5	推估值	240.88	2.00	1772.00	1116.11	1004.00	87.45	99.84	3.28	2.99	5.41
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
6	推估值	1813.87	2.00	813.89	1564.51	1521.88	5.51	99.84	52.56	35.98	43.38
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
7	推估值	1885.00	2.00	1772.00	1073.25	1395.14	1.81	99.84	3.28	6.72	31.44
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
8	推估值	1885.00	2.00	1772.00	948.87	1285.59	1.81	99.84	3.28	17.53	21.12
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
9	推估值	1730.32	2.00	1772.00	1760.11	1341.73	9.86	99.84	3.28	52.98	26.41
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
10	推估值	1572.39	2.00	1771.00	912.16	1205.56	18.09	99.84	3.22	20.72	13.58
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
11	推估值	884.57	2.00	1771.00	1092.24	1070.61	53.92	99.84	3.22	5.07	0.87
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
12	推估值	2730.33	2.00	1771.04	1287.37	1062.02	42.23	99.84	3.22	11.89	0.06
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
13	推估值	2700.65	2.00	1771.00	1108.75	1010.33	40.68	99.84	3.22	3.63	4.81
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
14	推估值	2311.00	2.00	1775.25	908.85	1202.13	20.38	99.84	3.47	21.01	13.26
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
15	推估值	2281.00	2.00	1772.22	906.45	1207.47	18.82	99.84	3.29	21.22	13.76
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
16	推估值	2281.00	2.00	1774.67	1094.84	1202.50	18.82	99.84	3.43	4.84	13.29
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
17	推估值	1982.31	2.00	1771.00	1100.70	1207.76	3.26	99.84	3.22	4.33	13.79
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					
18	推估值	1982.31	1321.00	1772.00	1242.20	1209.26	3.26	4.36	3.28	7.96	13.93
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					



## 5.2.3 大型路網測試結果

針對大型路網進行模式測試前，必須先獲得此路網之歷史起迄需求(Prior OD)與路網資料，如下表 5.12 所示，依據此歷史 OD 資料，進行原始 OD 需求量以及兩倍 OD 需求量之測試與分析，其評估之結果如表 5-13、5-14 所示。其中表 5-13、5-14 中，各項數據所代表之意義，已於 5.2.1 節中說明，在此不再贅述。

表 5-12 大型路網之歷史起迄需求與路網條件

OD 型態	OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)
起始量	1250	500	500	500	500	500	1000	1000
OD 型態	OD(6-32)	OD(6-34)	OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)	
起始量	1000	1000	1000	750	500	500	500	
Node :	52		Link :		154			

表 5-13 大型路網原始 OD 需求量之評估結果

	OD 需求量						OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
20	推估值	0.00	118.79	877.63	955.97	721.33	100.0	40.73	17.52	12.43	21.53
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
20	推估值	0.00	0.00	339.43	800.16	489.85	100.0	100.0	63.09	12.71	39.18
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
20	推估值	1050.00	448.64	0.00	343.87	380.62	0.00	18.45	100.0	275.02	1.39
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

	OD 需求量						OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
30	推估值	192.29	325.50	820.97	484.10	542.64	40.19	62.41	22.84	55.65	40.97
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
30	推估值	525.00	179.40	324.94	853.97	862.82	0.00	53.15	64.67	6.84	7.14
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
30	推估值	1050.00	297.42	525.00	121.60	341.40	0.00	21.48	0.00	32.62	9.06
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

表 5-13 大型路網原始 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
31	推估值	191.95	324.82	949.34	451.07	714.16	39.94	62.08	10.78	58.68	22.31
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
31	推估值	525.00	183.99	323.81	821.50	890.84	0.00	51.95	64.79	10.38	10.62
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
31	推估值	1050.00	295.31	525.00	110.16	360.58	0.00	22.03	0.00	20.14	3.95
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
32	推估值	190.78	326.35	1081.92	880.34	736.98	39.09	62.84	1.68	19.36	19.83
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
32	推估值	525.00	167.15	333.41	1083.60	755.29	0.00	56.35	63.75	18.21	6.22
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
32	推估值	1050.00	277.23	525.00	136.06	335.59	0.00	26.81	0.00	48.39	10.61
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
33	推估值	183.32	335.10	1144.14	820.04	691.03	33.65	67.20	7.53	24.88	24.83
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
33	推估值	525.00	174.68	653.52	1131.92	1110.69	0.00	54.39	28.94	23.48	37.91
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
33	推估值	1050.00	258.05	525.00	148.04	359.71	0.00	31.87	0.00	61.45	4.18
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

表 5-13 大型路網原始 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
34	推估值	169.10	354.69	1232.62	947.25	708.84	23.28	76.98	15.84	13.23	22.89
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
34	推估值	525.00	160.20	703.38	1096.00	1097.02	0.00	58.17	23.52	19.57	36.22
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
34	推估值	1050.00	355.57	525.00	56.75	315.69	0.00	6.12	0.00	38.11	15.91
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
35	推估值	169.62	332.72	1250.66	983.02	676.48	23.66	66.02	17.54	9.95	26.41
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
35	推估值	525.00	176.57	707.10	1035.20	1138.23	0.00	53.89	23.12	12.93	41.33
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
35	推估值	1050.00	317.64	525.00	81.78	336.37	0.00	16.14	0.00	10.81	10.40
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
36	推估值	190.65	288.63	1218.51	994.25	720.46	38.99	44.02	14.52	8.92	21.62
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
36	推估值	525.00	177.85	736.26	1027.47	1136.55	0.00	53.56	19.94	12.09	41.13
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
36	推估值	1050.00	321.01	525.00	78.27	302.08	0.00	15.25	0.00	14.63	19.53
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

表 5-13 大型路網原始 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
37	推估值	192.10	283.15	1212.29	997.14	727.82	40.05	41.28	13.93	8.66	20.82
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
37	推估值	525.00	176.41	745.33	1032.19	1125.65	0.00	53.93	18.96	12.60	39.77
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
37	推估值	1050.00	322.13	525.00	70.67	296.39	0.00	14.95	0.00	22.93	21.05
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
38	推估值	190.99	297.31	1196.91	1021.81	705.48	39.24	48.35	12.49	6.40	23.25
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
38	推估值	525.00	174.71	751.66	1018.88	1133.23	0.00	54.38	18.27	11.15	40.71
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
38	推估值	1050.00	322.38	525.00	59.31	313.99	0.00	14.89	0.00	35.32	16.36
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
39	推估值	174.48	272.16	1245.96	1029.31	690.59	27.20	35.80	17.10	5.71	24.87
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
39	推估值	525.00	145.03	750.44	1003.85	1162.65	0.00	62.13	18.40	9.51	44.37
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
39	推估值	1050.00	320.34	525.00	66.83	292.52	0.00	15.43	0.00	27.11	22.08
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

表 5-13 大型路網原始 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
40	推估值	83.55	233.40	1085.67	1103.49	906.39	39.09	16.46	2.03	1.08	1.40
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
40	推估值	525.00	248.40	979.99	919.28	823.37	0.00	35.14	6.56	0.29	2.24
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
40	推估值	1050.00	296.83	525.00	77.23	370.24	0.00	21.63	0.00	15.77	1.38
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					



表 5-14 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
31	推估值	50.87	971.60	1747.85	2022.39	1387.92	76.26	15.17	31.51	47.91	0.98
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
31	推估值	350.00	567.21	1559.59	2915.31	1226.57	76.60	20.47	33.75	33.33	57.02
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
31	推估值	350.00	1154.46	350.00	371.35	922.56	78.84	18.59	66.67	43.96	106.99
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
32	推估值	255.37	1317.94	1292.79	1998.12	1338.62	19.16	56.22	49.34	46.13	4.50
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
32	推估值	350.00	579.93	1914.31	2720.63	1306.83	76.60	18.68	18.68	24.43	67.29
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
32	推估值	350.00	1201.34	350.00	528.76	930.46	78.84	23.41	66.67	20.20	108.76
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
33	推估值	246.93	1139.56	1315.12	2054.50	1372.20	15.22	35.08	48.47	50.26	2.10
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
33	推估值	350.00	570.57	1921.05	2764.78	1372.06	76.60	19.99	18.39	26.45	75.64
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
33	推估值	350.00	1164.53	350.00	578.54	852.87	78.84	19.63	66.67	12.69	91.35
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					



表 5-14 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
34	推估值	253.76	1487.70	1499.92	1826.28	1483.15	18.41	76.35	41.23	33.56	5.82
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
34	推估值	350.00	797.00	1657.60	2509.09	1181.61	76.60	11.76	29.59	14.75	51.26
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
34	推估值	350.00	1277.07	350.00	605.09	927.55	78.84	31.19	66.67	8.68	108.11
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
35	推估值	307.80	1422.77	1772.87	2093.86	1656.96	43.62	68.65	30.53	53.13	18.22
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
35	推估值	350.00	614.95	1691.46	2074.15	1080.71	76.60	13.77	28.15	5.14	38.35
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
35	推估值	350.00	1074.59	350.00	705.42	782.71	78.84	10.39	66.67	6.46	75.61
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
36	推估值	321.72	1488.34	1697.89	2142.49	1686.48	50.12	76.42	33.47	56.69	20.32
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
36	推估值	350.00	742.96	1611.36	1999.20	1052.67	76.60	4.18	31.55	8.57	34.76
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
36	推估值	2142.49	1686.48	350.00	742.96	1611.36	29.53	73.25	66.67	12.13	261.53
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

表 5-14 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
40	推估值	264.21	915.80	2024.22	2410.11	1773.41	23.28	8.56	20.68	76.26	26.52
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
40	推估值	616.83	605.57	1466.83	2118.01	1158.14	58.77	15.09	37.69	3.13	48.26
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
40	推估值	616.83	1053.97	350.00	319.73	672.67	62.71	8.27	0.00	51.75	50.92
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
50	推估值	184.93	831.64	2185.98	1465.76	1657.48	13.71	1.42	14.35	7.20	18.25
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
50	推估值	849.20	829.59	1147.36	2889.20	1166.15	43.23	16.33	51.26	32.14	49.28
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
50	推估值	1950.81	1156.62	350.00	522.63	506.98	17.94	18.82	66.67	21.13	13.75
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
60	推估值	231.41	670.97	2385.98	1302.35	1543.56	7.98	20.47	6.51	4.75	10.13
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
60	推估值	1740.73	1246.80	2265.05	2095.67	633.27	16.36	74.83	3.78	4.16	18.93
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
60	推估值	1409.28	1231.75	1050.00	775.79	435.22	14.80	26.53	0.00	17.08	2.35
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					



表 5-14 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果(續)

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
偵測器佈設數量		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
61	推估值	218.31	926.22	2343.18	1119.31	1555.87	1.87	9.79	8.19	18.14	11.00
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
偵測器佈設數量		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
61	推估值	1612.30	727.59	2587.29	2348.92	552.70	7.78	2.02	9.91	7.43	29.25
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
偵測器佈設數量		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
61	推估值	1537.70	934.38	1050.00	733.55	510.88	7.03	4.01	0.00	10.71	14.62
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					



### 5.2.4 小結

根據上述模式評估結果，可發現偵測器佈設數量皆少於路網中之路段數量總和，且偵測器佈設之數量亦隨著路網規模而遞增。即表示面對運輸規劃或是交控管理時，不需要擁有全部路網的路段流量，透過策略性的擺設偵測器，亦能夠有效獲得一定涵蓋程度之交通量資訊；並且當路網需求越多時，將必須藉由更多的偵測器佈設，來蒐集路網中之重要資訊。另外，我們可以發現隨著偵測器數量的增加，透過每一個個別偵測器佈設的貢獻，皆能有效的改善路網起迄需求的涵蓋程度。如圖 5.5、5.6 所示。

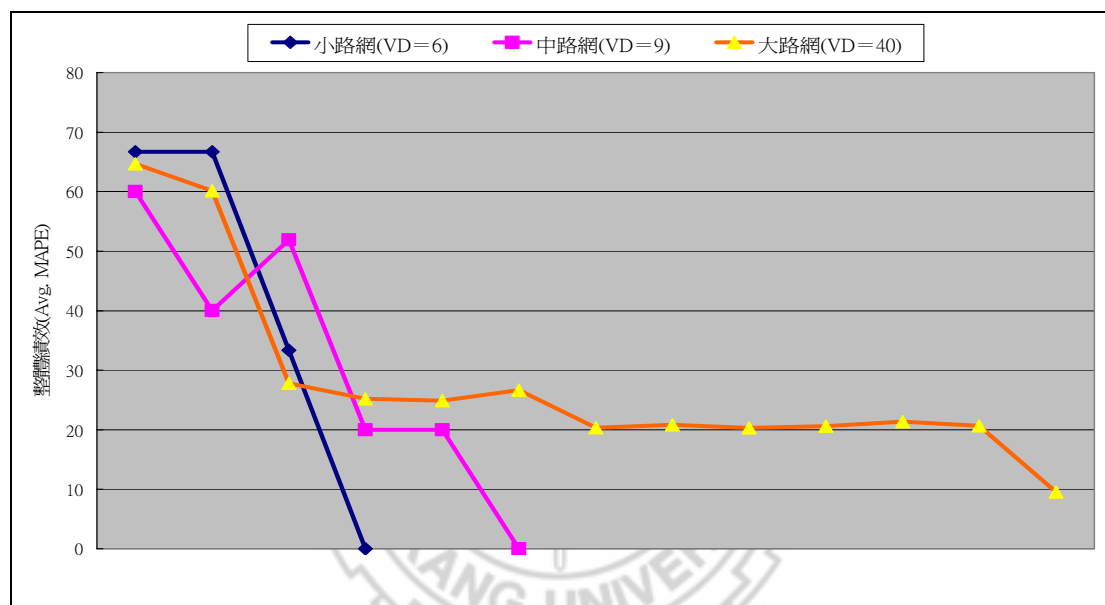


圖 5.5 原始 OD 需求下偵測器佈設數量增加與整體績效之關係圖

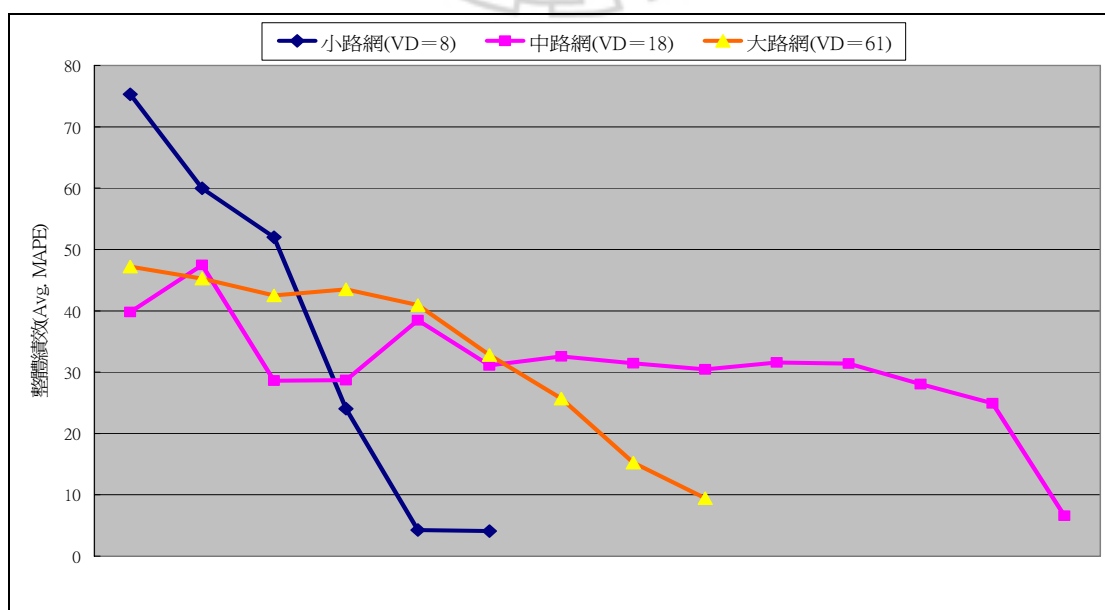
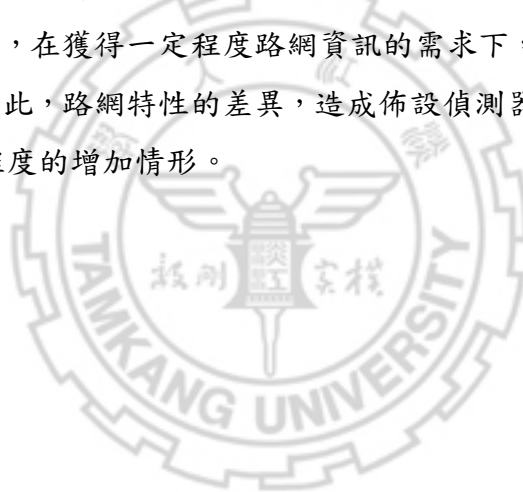


圖 5.6 兩倍 OD 需求下偵測器佈設數量增加與整體績效之關係圖

從上述圖 5.5、5.6 的結果中，我們也可以進一步發現，偵測器佈設組數及路網規模、路網需求間存在其互動關係，而探究造成此關係的主要因素即為路網中旅運者之路徑選擇行為(route choice)，隨著路網規模，以及路網需求量的改變，透過使用者均衡準則下，所反應的路網均衡路徑選擇行為，也隨路段成本、路段容量的限制下有所變化，因此，路網中的被使用路徑與路段數量，將隨著路網需求的提升，而有所增加，此一原因則為造成偵測器佈設組數變化的主要因素。

另外，我們發現到在小、中、大三類路網規模中，偵測器佈設數量隨著路網規模與路網需求改變下的增加率，並未有特定的規律存在，也就是說，在同一路網，需求提升下，偵測器佈設數量亦隨之增加；同一需求量，路網規模擴大下，偵測器佈設組數亦會增加，但以路網間的增加比率來看，將不存在一定的比例關係，由於不同路網間之路網組成，以及路網特性不盡相同，因此，隨著路網需求的提升，所反應的路徑選擇行為亦不同，這樣將造成被使用路徑數量增加的差異性，被使用路徑越多，在獲得一定程度路網資訊的需求下，所佈設偵測器的組數也將會隨之增加，因此，路網特性的差異，造成佈設偵測器組數增加比例在不同路網間，產生不同程度的增加情形。



### 5.3 考量獨立/相依路段之偵測器佈設策略

在車輛偵測器佈設的實務課題中，往往會碰到資源限制，無法完全佈設，或是政府相關單位逐年編列預算，進行有漸增式的建設，因此，在路網中佈設偵測器的現狀往往在運輸相關課題應用時，如：流量倒推旅次起迄量、旅行時間推估等問題中，將在無法獲得完全資訊下，而進行推估的工作。故本研究在此章節提出一想法，希望藉由考量獨立/相依路段下之偵測器佈設策略，將偵測器優先佈設於獨立路段上，如此將不需要應用路網中各路段之觀測流量，即可以進行偵測器佈設方案之提供。由於考慮當佈設偵測器議題遭遇到成本的限制或是缺少路段流量觀測值時，往往必須在有限數量的偵測器資源下，進行最有效率的佈設，因此本研究進一步提出當缺少路段觀測流量時，針對路網進行考量線性獨立/相依路段下，偵測器佈設策略之探討。經由路段/路徑鄰接矩陣(Link-Path Incident Matrix)的關係，找出路網中具代表性之獨立路段，並藉由此些獨立路段視為偵測器應佈設之路段點，進行旅次起迄需求量涵蓋程度之推估工作，詳細演算流程見4.4節。

#### 5.3.1 小型路網測試結果

在此部份的分析，針對原始 OD 需求量以及兩倍 OD 需求量進行小型路網中線性獨立路段別的求解，以及在線性獨立路段佈設偵測器之情況下，旅次起迄需求涵蓋程度為何，而原始之 OD 需求量見表 5-6。測試與分析之結果如下表 5-15、5-16 所示。

表 5-15 小型路網原始 OD 需求量之評估結果

線性獨立路段數	OD 需求量				OD 需求涵蓋程度		
		OD(1-6)	OD(2-5)	OD(3-6)	MAPE		
4	推估值	10.50	21.00	15.75	0.00	0.00	0.00
	完整資訊	10.50	21.00	15.75			

表 5-16 小型路網兩倍 OD 需求量之評估結果

線性獨立路段數	OD 需求量				OD 需求涵蓋程度		
		OD(1-6)	OD(2-5)	OD(3-6)	MAPE		
6	推估值	28.00	51.00	35.00	6.40	5.116	1.449
	完整資訊	29.92	53.75	34.50			

## 5.3.2 中型路網測試結果

在此部份的分析，亦針對原始 OD 需求量以及兩倍 OD 需求量進行中型路網中線性獨立路段別的求解，以及在線性獨立路段佈設偵測器之情況下，旅次起迄需求涵蓋程度為何，而原始之 OD 需求量見表 5-9。測試與分析之結果如下表 5-17、5-18 所示。

表 5-17 中型路網原始 OD 需求量之評估結果

線性獨立路段數	OD 需求量						OD 需求涵蓋程度				
		OD(1-5)	OD(3-8)	OD(5-13)	OD(8-13)	OD(20-23)	MAPE				
5	推估值	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	完整資訊	829.50	588.00	924.00	525.00	525.00					

表 5-18 中型路網兩倍 OD 需求量之評估結果

線性獨立路段數	OD 需求量						OD 需求涵蓋程度				
		OD(1-5)	OD(3-8)	OD(5-13)	OD(8-13)	OD(20-23)	MAPE				
7	推估值	1321.63	1320.00	1770.00	1795.59	814.72	31.15	4.28	3.16	56.06	23.24
	完整資訊	1919.68	1265.76	1715.76	1150.56	1061.40					

## 5.3.3 大型路網測試結果

在此部份的分析，依然針對原始 OD 需求量以及兩倍 OD 需求量進行大型路網中線性獨立路段別的求解，以及在線性獨立路段佈設偵測器之情況下，旅次起迄需求涵蓋程度為何，而原始之 OD 需求量見表 5-12。測試與分析之結果如下表 5-19、5-20 所示。

表 5-19 大型路網原始 OD 需求量之評估結果

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
線性獨立路段數		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
23	推估值	276.74	116.95	1346.39	866.28	600.53	101.75	41.65	26.54	20.65	34.67
	完整資訊	137.17	200.41	1064.03	1091.65	919.23					
線性獨立路段數		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
23	推估值	730.62	459.11	977.51	1051.40	881.83	39.17	19.88	6.29	14.70	9.50
	完整資訊	525.00	382.96	919.70	916.65	805.35					
線性獨立路段數		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
23	推估值	844.38	288.77	525.00	182.33	367.46	19.58	23.76	0.00	98.84	2.12
	完整資訊	1050.00	378.77	525.00	91.69	375.41					

表 5-20 大型路網兩倍 OD 需求量之評估結果

		OD 需求量					OD 需求涵蓋程度				
線性獨立路段數		OD(1-6)	OD(1-11)	OD(1-21)	OD(1-32)	OD(1-34)	MAPE				
36	推估值	114.66	930.47	1716.70	2034.74	1881.86	46.50	10.29	32.73	48.81	34.26
	完整資訊	214.31	843.63	2552.11	1367.34	1401.64					
線性獨立路段數		OD(1-36)	OD(6-11)	OD(6-21)	OD(6-32)	OD(6-34)					
36	推估值	1196.57	725.72	2051.02	2054.18	2420.54	20.01	1.76	12.87	6.05	209.86
	完整資訊	1495.97	713.16	2354.05	2186.53	781.17					
線性獨立路段數		OD(6-36)	OD(11-21)	OD(11-36)	OD(11-32)	OD(11-34)					
36	推估值	655.19	655.26	1050.00	794.31	731.61	60.39	32.69	0.00	19.88	64.15
	完整資訊	1654.03	973.46	1050.00	662.61	445.71					

### 5.3.4 小結

5.3.1~5.3.3 節根據不同路網型態以及不同需求量下，透過線性獨立/相依路段之偵測器佈設策略，選出路網中線性獨立之路段，進行偵測器佈設策略之擬定，並進行績效值之求解；經由整理後，整體平均之績效表現如下表 5.21 所示。

表 5-21 線性獨立路段佈設策略下之平均績效表現

模式	需求量別	小型路網	中型路網	大型路網
線性獨立路段佈設策略	原始	0.00(VD=4)	0.00(VD=5)	30.61(VD=23)
	兩倍	4.324(VD=6)	23.58(VD=7)	40.017(VD=36)

註：()內為佈設偵測器路段之數量。

從上表 5-21 之結果可以發現，透過線性獨立路段的偵測器佈設，能夠涵蓋路網一定的需求量資訊，但隨著路網規模的擴大，以及路網需求量的提升，都將使得績效明顯的下滑，如下圖 5.7 所示，換句話說，我們面對此些情形時，必須增加更多的偵測器佈設數量，來進行需求量涵蓋程度的改善。此結果與 5.2.4 節有類似的結論。其中，在大型路網的佈設情形，績效值皆較差，因此意謂著在大型路網中，必須增加更多的偵測器組數，將能夠獲得更多以及更完整資路網資訊，以利於進一步進行路網相關資料的應用與推估。不過透過線性獨立路段進行車輛偵測器的佈設與資料蒐集，的確能夠在沒有任何路段觀測流量資料的情形與資源限制下，針對路網中較為重要的關鍵路段，進行優先的佈設，並且獲得路網中一定程度的資訊量。

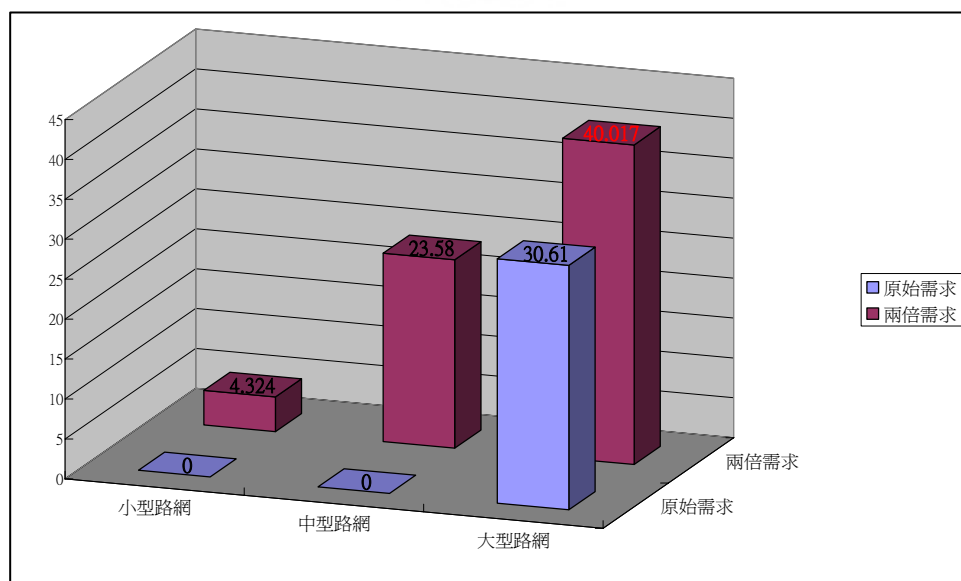


圖 5.7 不同路網規模/需求下線性獨立偵測器佈設策略之平均績效圖

## 5.4 模式測試結果綜合比較

根據 5.2 節之原始模式，以及 5.3 節經由線性獨立/相依路段佈設策略之分析結果，彙整出平均績效值之綜合比較表 5-22，偵測器佈設數量百分比圖 5.8，以及績效綜合比較關係圖 5.9。

表 5-22 不同模式/需求下之平均績效值綜合比較表

整體平均 績效表現 路網規模(路段數)		使用模式	原始模式	線性獨立 路段佈設
原始需求	小路網(14)		0.00 (6)	0.00 (4)
	中路網(66)		0.00 (9)	0.00 (5)
	大路網(154)		9.54 (40)	30.61 (23)
兩倍需求	小路網(14)		4.11 (8)	4.32 (6)
	中路網(66)		6.56 (18)	23.58 (7)
	大路網(154)		9.45 (61)	40.02 (36)

註：( )內為佈設偵測器路段之數量。

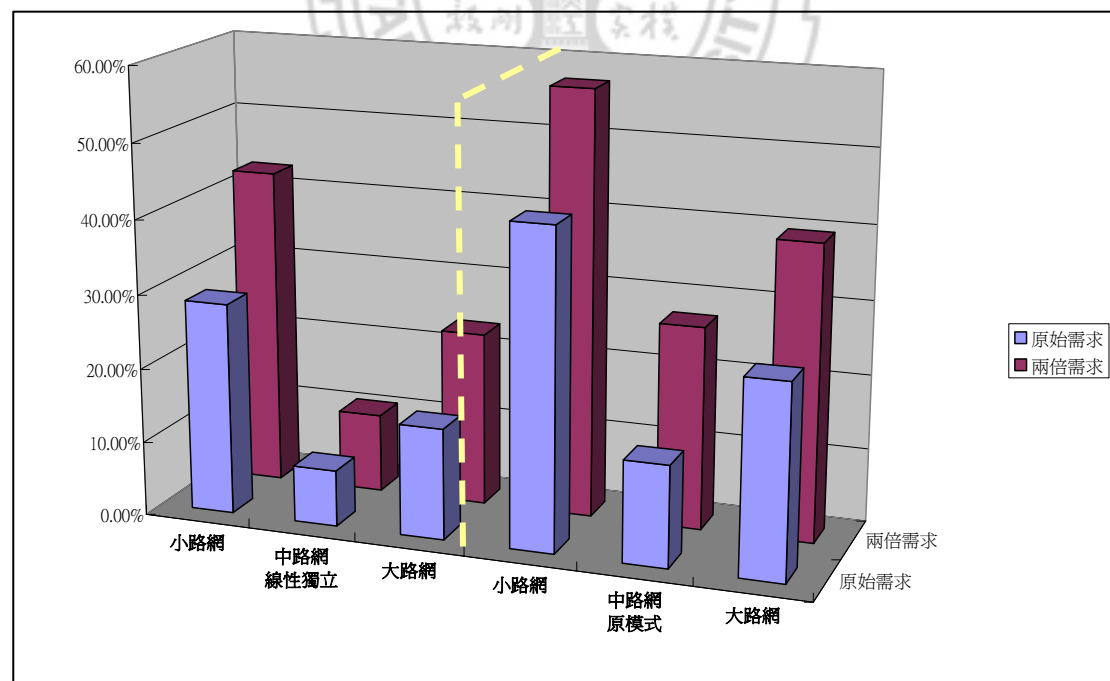


圖 5.8 不同路網規模/需求/模式下之偵測器佈設數量百分比圖



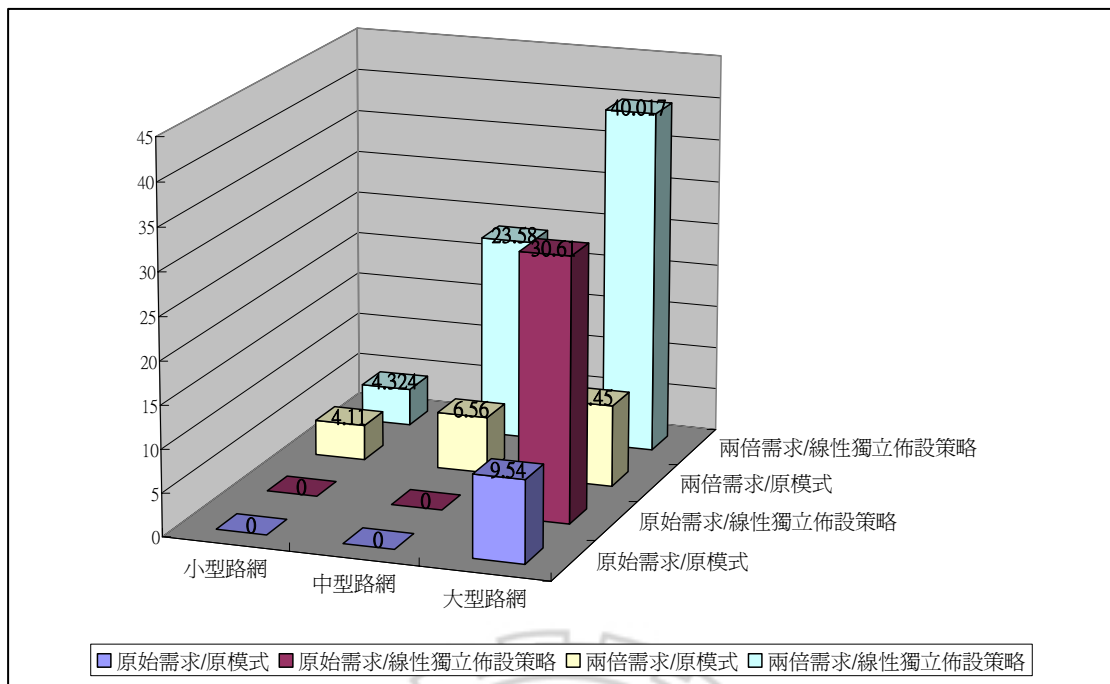


圖 5.9 不同路網規模/需求/模式下之平均績效值綜合比較關係圖

在圖 5.8 中，我們可以發現在小、中、大三類路網規模中，偵測器佈設數量隨著路網規模與路網需求改變下的增加率，並未有特定的規律存在，也就是說，在同一路網，需求提升下，偵測器佈設數量亦隨之增加；同一需求，路網規模擴大下，偵測器佈設組數亦會增加，但以路網間的增加比率來看，將不存在一定的比例關係，由於不同路網間之路網組成，以及路網特性不盡相同，因此，隨著路網需求的提升，所反應的路徑選擇行為亦不同，這樣將造成被使用路徑數量增加的差異性，被使用路徑越多，在獲得一定程度路網資訊的需求下，所佈設偵測器的組數也將會隨之增加，因此，路網特性的差異，造成佈設偵測器組數比例在不同路網間，產生不同程度的增加情形。

另外，從圖 5.9 及表 5-22 中可以發現當路網規模較小且需求量較低的情形下，利用線性獨立部份之路段佈設偵測器策略，即能夠透過較少的偵測器數量，擷取到路網中完整之需求資訊；但隨著路網規模的擴大，或者是路網中需求量的提升，透過線性獨立路段的選取，將無法完整描述路網中，完全資訊下所獲得之路網起迄需求，因此，可以發現，透過原始模式所獲得較多偵測器佈設數量與位置之解，將能夠有效使得 MAPE 改善至 10 以下，也就是說，當路網規模較大，或是需求量高的情形下，除了線性獨立路段為優先佈設考量外，仍然需要更多的資源，來獲取更完整的路網資訊。

最後，在原始模式所求得之偵測器佈設數量與位置，皆包含了線性獨立路段佈設策略中之路段別，也就是說，當資源有限或是資訊不足下，的確可以考慮針對線性獨立路段優先佈設之策略，使其成為佈設策略之起始解，當資源充足時，在依照後續各條未設置偵測器之路段，進行貢獻度之分析，並依序擺設之。未來針對相同路網，進行單核心或雙核心都市情境下，偵測器佈設策略之探討，或是進行同一路網中，使用者行為之差異，造成偵測器佈設策略有何相互的變化，將可能會獲得更有趣結果。



## 第六章 結論與建議

本研究以多目標數學規劃(Multi-goals programming model)模型來求解在一定的旅次起迄需求量涵蓋程度下，路網中偵測器佈設位置與數量，以及利用線性獨立/相依路段佈設車輛偵測器之策略，進行綜合之比較分析，並經由不同路網規模，以及不同交通需求型態進行模式測試，以瞭解模式求解結果之合理性與適用性。針對研究探討過程所遭遇之問題與研究結果，提出以下之結論與建議事項。

### 6.1 結論

1. 透過模式應用結果可以發現，進行長期運輸規劃與運輸工程相關工作時，並不需要透過路網中所有路段流量之蒐集，經由策略性的擺設偵測器，即能夠獲得一定程度涵蓋下之路網需求資訊。
2. 偵測器佈設數量皆少於路網中之路段數量總和，且偵測器佈設之數量隨著路網規模變大而遞增；偵測器佈設數量亦隨著路網需求提升而遞增。而主要影響偵測器佈設數量多寡之原因則為路網特性，以及 UE 下之使用者均衡路徑選擇情形(route choice)，不同的均衡情形，將產生不同之路徑、路段使用數量，也因此影響求解之偵測器佈設數量多寡。
3. 透過線性獨立路段的偵測器佈設，能夠涵蓋路網一定的需求量資訊，但隨著路網規模的擴大，以及路網需求量的提升，都將使得績效明顯的下滑；但在實務上若在資源有限或是資訊不足的情況下，以旅次起迄需求涵蓋程度最大為佈設準則時，建議可以針對線性獨立路段優先佈設之，並且在此模式中，可以不需要路段觀測流量的資料蒐集，則進行初步有效佈設策略之提供。

4. 本研究雖針對原始模式，以及線性獨立/相依路段佈設策略均求解出偵測器佈設數量與位置，但由於真實 OD 資料蒐集的困難，並未進一步針對真實 OD 進行績效評估，而是以旅次起迄涵蓋程度為評估準則進行相關數值分析。
5. 由於實際旅次起迄量之蒐集困難，因此本研究使用旅次起迄涵蓋程度之準則，進行偵測器佈設績效評估，結果顯示隨著偵測器擺設位置的不同與數量的增加，將能有效改善 MAPE 值，亦表示每個路段所提供之資訊，均有其不同的貢獻程度與差異之存在。
6. 針對路網大小、路網規模與偵測器佈設數量間，雖然可以發現其間之互動關係，但本研究尚未能尋找出彼此的特定函數關係式。



## 6.2 建議

1. 本研究所使用之績效評估準則，係以旅次起迄需求量涵蓋程度為判斷之依據，然而選定之擺設偵測器路段對於路網中真實 OD 的推估效益，是否能達到預期之效果，亦可進一步加以探討。因此在未來能夠嘗試經由車輛定位/辨識系統的普及或相關技術之應用，以進一步蒐集真實 OD 資料，並考量成本之影響，或是加入其他流量倒推 OD 之技術，例如：類神經網路、卡門濾波模式等，針對模式做進一步的驗證。
2. 本研究是以靜態長期運輸規劃之觀點進行偵測器佈設策略之分析，未來針對此議題是否有朝動態發展之可能性與必要性，可進一步加以討論。
3. 本研究中假設路段觀測流量為歷史起迄需求量透過使用者均衡後之均衡流量，進行 5% 的調整，後續研究亦可以針對此部份，進行更完整的假設與情境的設計，使得分析內容更趨於現實，亦更能進一步確立模式之實用性。
4. 本研究求解過程係利用兩階段求解方式，其中第一階段將使用者均衡問題與偵測器佈設問題，進行分段求解，未來研究針對此部份，可嘗試利用雙層規劃模型(Bi-Level Programming Model)進行模式構建與求解，如此將可以讓使用者均衡路徑選擇問題與偵測器佈設問題，進行同時求解，以期能改善求解之效率。
5. 在本研究中使用之旅次起迄涵蓋程度檢驗模式中，模式應用結果可以發現，路網中之每一路段流量的資訊，皆有其貢獻程度之存在，也因此可以透過偵測器有策略的佈設，達到此目標。因此，針對路網中，考量不同路段資訊所能發揮之貢獻度下，進行偵測器佈設策略之擬定，亦是未來值得進一步探討的問題。

6. 本研究在不同路網條件、交通需求量大小，與偵測器佈設數量間，可以瞭解其間之互動關係的存在，即當路網規模愈大、使用路徑數愈多、交通需求量愈高時，偵測器佈設之數量將隨之提高其需求；但關於路網大小、使用路徑數量、交通需求型態，與偵測器佈設數量間，是否存在特定之函數關係，亦期待後續研究能進一步針對該議題進行深入的研究。



## 參考文獻

### 中文部分

1. 卓訓榮，「以廣義反矩陣方法探討均衡路網流量的敏感度分析」，運輸計劃季刊，民國八十年。
2. 卓訓榮，「最短距離與廣義反矩陣敏感性分析方法之比較」，運輸計劃季刊，民國八十一年。
3. 張佳偉，「路徑變數產生法求解動態交通量指派模型之效率比較」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國八十六年。
4. 李宗憶，「考慮動態 OD 推估之適應性整體匝道儀控模式研究」，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國八十七年。
5. 楊兆升，「都市交通流—誘導系統理論與模型」，人民交通出版社，民國八十九年。
6. 廖珉鋒，「動態旅次起迄矩陣推估模型之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國八十九年。
7. 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」，民國九十年。
8. 胡守任，「智慧型運輸系統基礎理論系列研究(一)—濾波理論應用於流量倒推旅次起迄量及車流密度之推估」，交通部運輸研究所，民國九十年。
9. 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，民國九十年。
10. 李治綱、王清滢，「靜態、對稱性交通量指派模式之研究」，運輸計劃季刊，民國九十二年。
11. 陳韋廷，「路段容量限制交通量指派模型求解演算法之比較與分析」，國防大學國防管理學院國防決策科學研究所碩士論文，民國九十二年。
12. 賀寶福，「災害緊急救難路網重建與設計之研究」，國防大學國防管理學院國防決策科學研究所碩士論文，民國九十二年。

13. 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)」，民國九十三年。
14. 郭永慧，「旅次分佈與交通量指派整合模型應用於災害疏散救援與緊急路網重建之研究」，國防大學國防管理學院國防決策科學研究所碩士論文，民國九十三年。
15. 鄭正元，「高快速公路路網導引轉向點與導引比例之研究」，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國九十三年。
16. 王中允、胡守任，「集體式路徑導引系統最適導引資訊發佈位置及轉向設置點之研究」，中國土木水利工程學刊，民國九十四年。

#### 英文部分

1. Ashok, K. and Ben-Akiva, M. E., "Estimation and Prediction of Time-Dependent Origin-Destination Flows with a Stochastic Mapping to Path Flows and Link Flows," *Transportation Science*, Vol. 36, No. 2, 2002, pp.184-198.
2. Bianco, L., Confessore, G., and Reverberi, P., "A Network Based Model for Traffic Sensor Location with Implications on O/D Matrix Estimates," *Transportation Science*, Vol. 35, Issue 1, 2001, pp. 50-60.
3. Cascetta, E. and Nguyen, S., "A Unified Framework for Estimating or Updating Origin-Destination Matrices from traffic Counts," *Transportation Research-B*, Vol. 22B, 1988, pp.437-455.
4. Chan, K. S. and Lam, W. H.K. "Optimal Speed Detector Density for the Network with Travel Time Information," *Transportation Research-A*, Vol. 36, 2002, pp.203-223.
5. Chang, G. L. and Wu, J., "Recursive Estimation of Time-Varying Origin-Destination Flows from Traffic Counts in Freeway Corridors," *Transportation Research-B*, Vol. 28B, 1994, pp.141-160.



6. Chang G. L., and Tao X., "An Integrated Model for Estimating Time-Varying Network Origin-Destination Distributions," *Transportation Research-A*, Vol. 33, pp. 381-399, 1999.
7. Cremer, M. and Keller, H., "A New Class of Dynamic Methods for the Identification of Origin-Destination Flows," *Transportation Research-B*, Vol. 21B, 1987, pp.117-132.
8. Gan, L., Yang, H., and Wong, S. C., "Traffic Counting Location and Error Bound in Origin-Destination Matrix Estimation Problems," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, No. 7, 2005, pp. 524-534.
9. Hellinga, B. and Van Aerde, M., "A Statistical Analysis of the Reliability of Using RGS Vehicle Probes as Estimators of Dynamic O-D Departure Rates," *IVHS Journal*, Vol. 2(1), 1994, pp.21-44.
10. Horiguchi, R., Kuwahara, M., and Akahane, H., "The Optimal Arrangement of Infrared Beacons on A Road Network to Collect Vehicle Trajectories-Pattern Analysis Using Schema Theory," *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 4, No. 4, 2001, pp. 219-228.
11. Kim, K., Chon, K. and Park, C., "An Algorithm for Estimation of Dynamic Origin-Destination Matrices Using Kalman Filtering," *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2003.
12. Li B., and De Moor B., "Dynamic Identification of Origin-Destination Matrices in the Presence of Incomplete Observations," *Transportation Research-B*, Vol. 36, pp. 37-57, 2002.
13. Lo, H. P. and Chan, C. P., "Simultaneous Estimation of an Origin-Destination Matrix and Link Choice Proportions Using Traffic Counts," *Transportation Research-A*, Vol. 37A, 2003.
14. Nihan, N. L. and Davis, G. A. "Recursive Estimation of Origin-Destination Matrices from Input/Output Counts," *Transportation Research-B*, Vol. 21B, 1987,

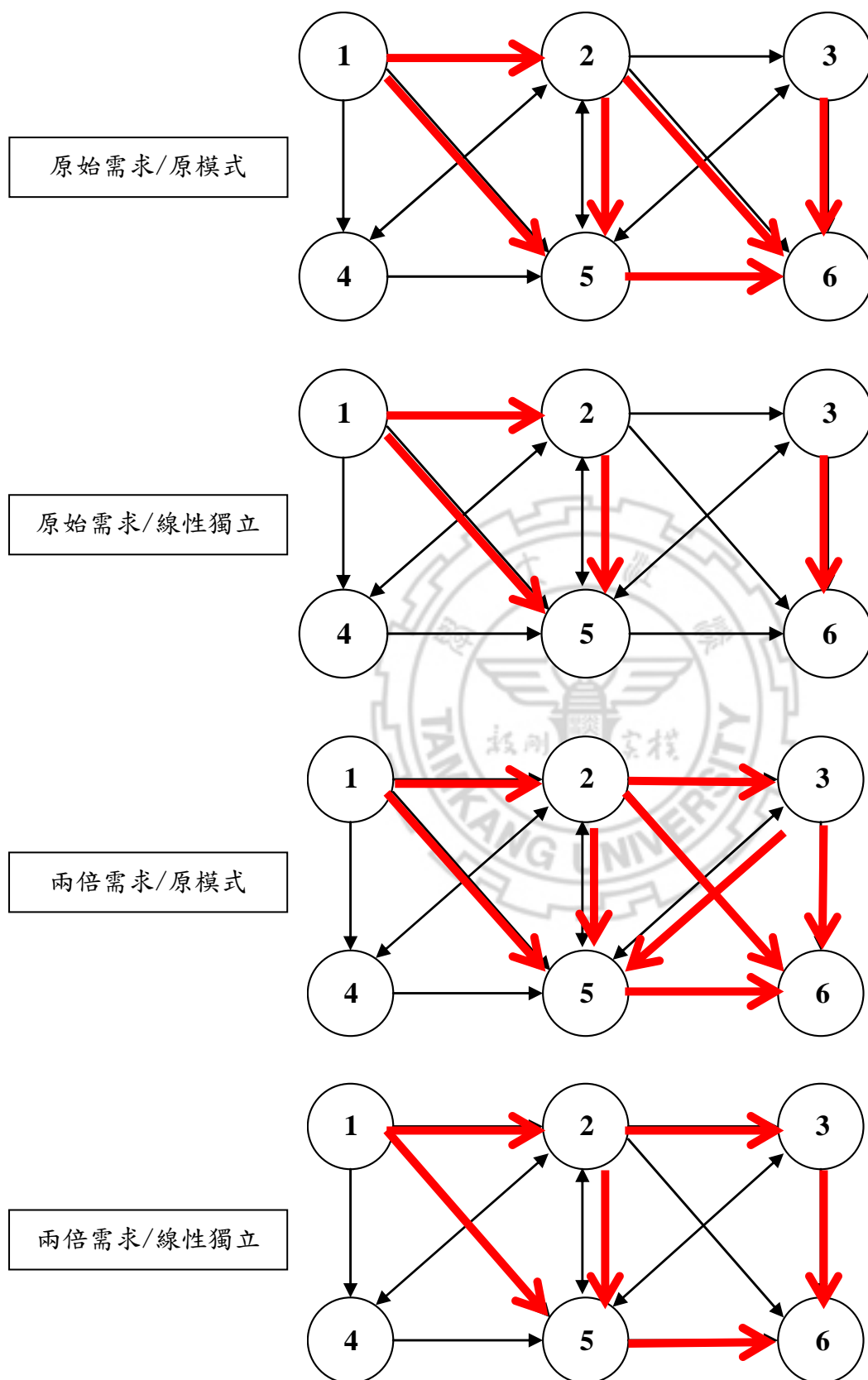
pp.149-163.

15. Nihan, N. L. and Hamed, M. M., "Mixed-Point Approach to Estimating Freeway Origin-Destination Matrices and the Effect of Erroneous Data on Estimate Precision," *Transportation Research Record* 1357, 1992, pp. 18-28.
16. Oh, C. and Ritchie, S. G., "Development of Methodology to Design Advanced Traffic Surveillance Systems for Traffic Information Based on Origin-Destination," *Transportation Research Record* 1935, 2005, pp. 37-46.
17. Sherali, H. D., Narayanan, A., and Sivanandan R., "Estimation of Origin-Destination Trip-Tables Based on A Partial Set of Traffic Link Volumes," *Transportation Research-B*, Vol. 37, 2003, pp. 815-836.
18. Spiess, H., "A Maximum Likelihood Model for Estimating Origin-Destination Matrices," *Transportation Research-B*, Vol. 21B, 1987, pp.395-412.
19. Suzuki, H., *et al.*, "Dynamic Estimation of Origin-Destination Travel Time and Flow on a Long Freeway Corridor Neural Kalman Filter," *Transportation Research Record* 1739, 2000.
20. van der Zijpp, N., "Dynamic OD-matrix Estimation from Traffic Counts and Automated Vehicle Identification Data," *Transportation Research Record* 1907, 1997.
21. Wu J., and Chang G. L., "Estimation of Time-Varying Origin-Destination Distributions with Dynamic Screenline Flows," *Transportation Research-B*, Vol. 30, No. 4, pp. 277-290, 1996.
22. Yang, H., Sasaki, T., Iida, Y., and Asakuba, Y., "Estimation of Origin-Destination Matrices from Link Traffic Counts on Congested Networks," *Transportation Research-B*, Vol. 26B, No. 6, pp. 417-434, 1992.
23. Yang H., and Zhou J., "Optimal Traffic Counting Locations for Origin-Destination Matrix Estimation," *Transportation Research-B*, Vol. 32, NO.2, 1998, pp. 109-126.

24. Yang, H., Yang, C., and Gan, L., “Models and Algorithms for the Screen line-based Traffic-counting Location Problems,” *Computers and Operations Research*, Vol. 33, 2006, pp. 836-858.

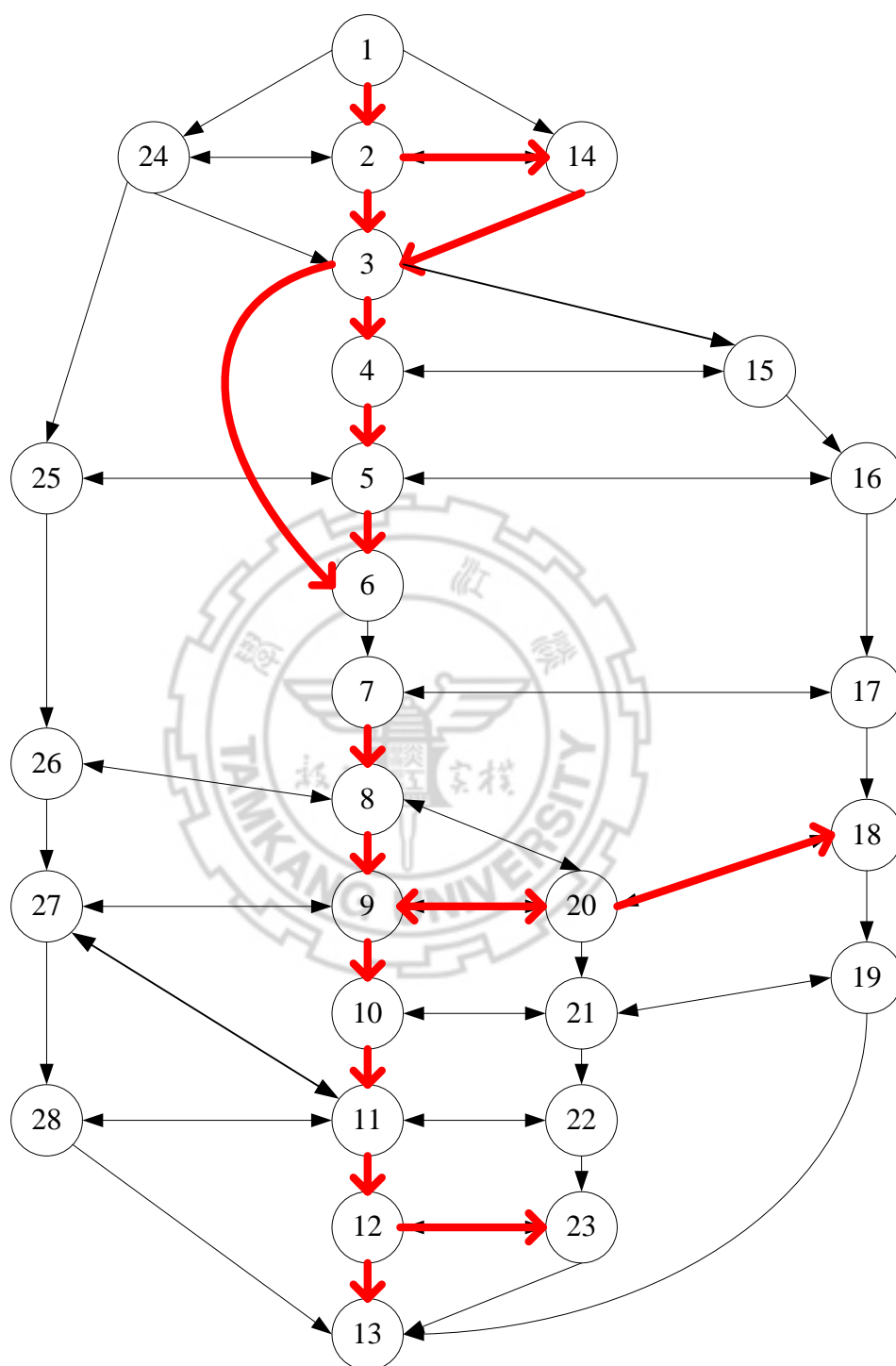


附錄一 小型路網不同模式/需求下之偵測器佈設情形



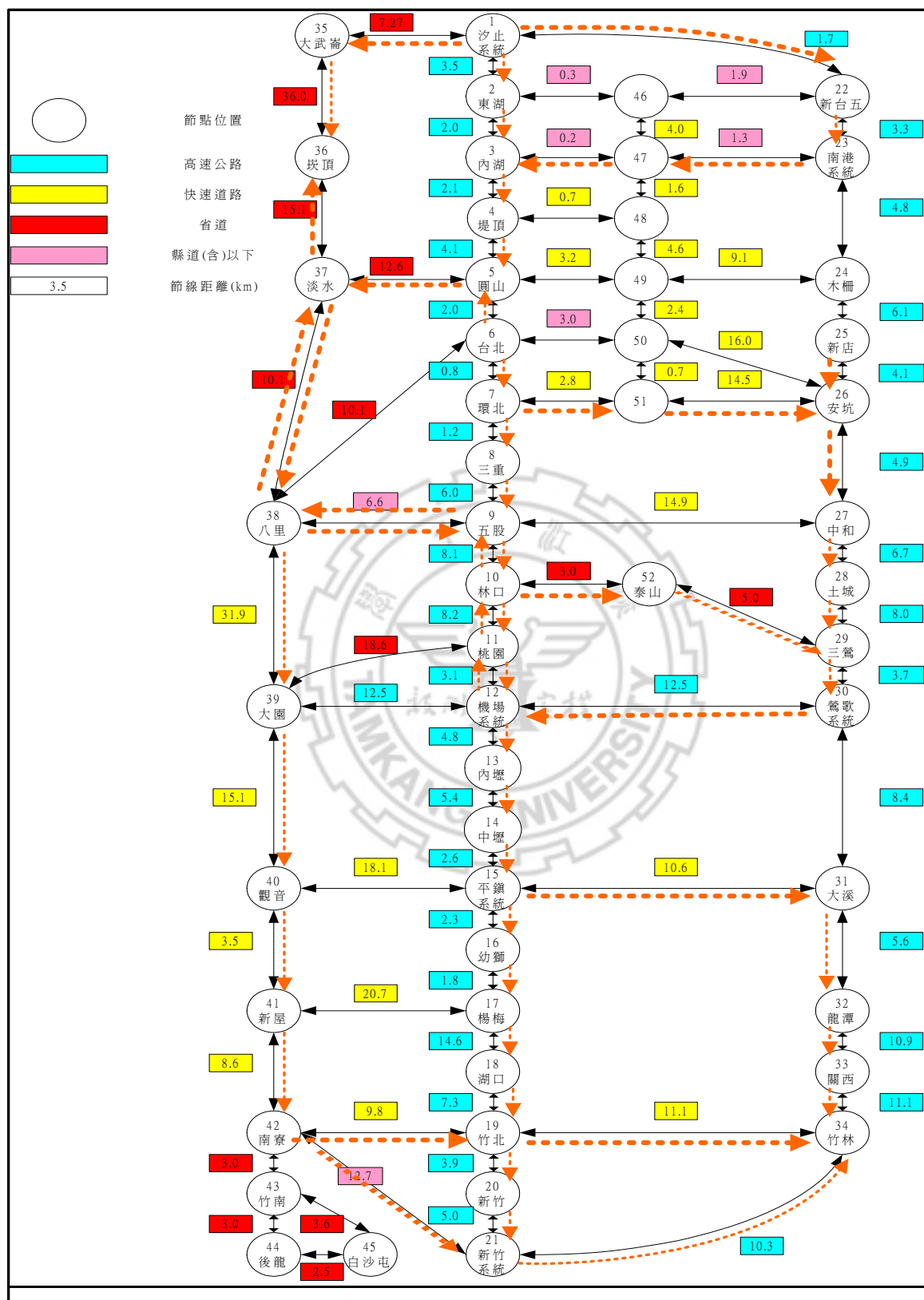
註：紅色線條及方向，表示有佈設偵測器之路段以及其佈設之方向。

附錄二 中型路網兩倍需求/原模式下之偵測器佈設情形



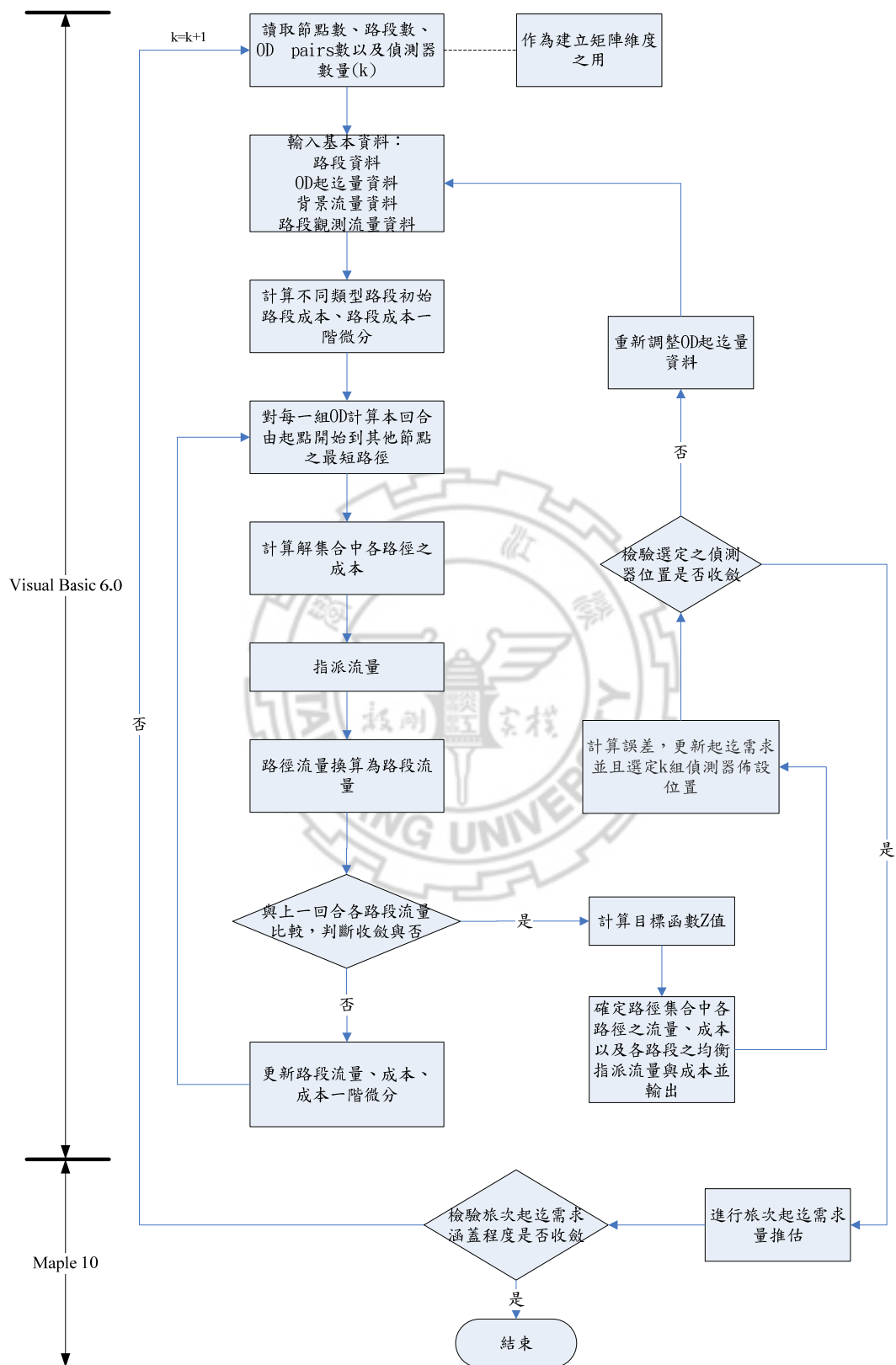
註：紅色線條及方向，表示有佈設偵測器之路段以及其佈設之方向。

附錄三 大型路網兩倍需求/原模式下之偵測器佈設情形

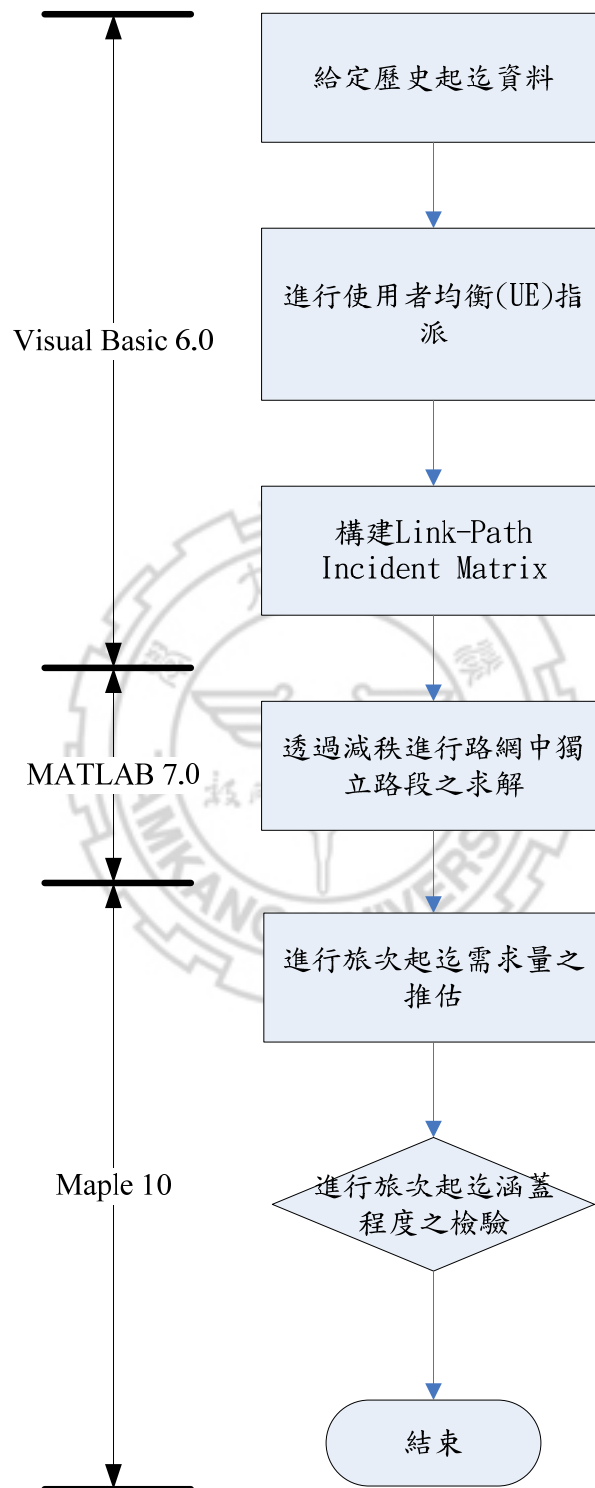


註：橘色虛線及方向，表示有佈設偵測器之路段以及其佈設之方向。

# 附錄四 原模式程式演算流程圖



附錄五 線性獨立/相依路段佈設策略之程式演算流程圖





附錄六 求解偵測器佈設位置程式碼之部份內容 (不包含梯度投影法程式碼)

Private Sub Command2\_Click()

```
Dim start_k As Integer
Dim end_k As Integer
Dim start_f As Integer
Dim end_f As Integer
Dim frequency As Integer
```

```
start_k = Val(Text4.Text)
```

```
end_k = Val(Text5.Text)
```

```
If end_k <= 0 Then
```

```
    end_k = start_k
```

```
End If
```

```
start_f = Val(Text6.Text)
```

```
end_f = Val(Text7.Text)
```

```
n = Val(Text1.Text)
```

```
l = Val(Text2.Text)
```

```
m = Val(Text3.Text)
```

```
frequency = Val(Text8.Text)
```

```
Dim f As Integer
```

```
Dim fs As New FileSystemObject
```

```
Dim fs2 As New FileSystemObject
```

```
Dim fs3 As New FileSystemObject
```

```
Dim txtf As TextStream
```

```
Dim txtf2 As TextStream
```

```
Dim txtf3 As TextStream
```

```
Dim pathFolder As String
```

```
Dim filename As String
```

```
Dim checkArray() As Double
```

```
Dim check1Array() As Double
```

```
Dim vdArray() As Double
```

```
Dim difference() As Double
```

```
Dim differenceAdd() As String
```

```

Dim odArray() As Double
Dim sortArray() As Double
Dim diff As Double
Dim odcontext As String
Dim errorValue As Double

pathFolder = Format(Now, "yyyyMMdd_hhmmss")
fs.CreateFolder (pathFolder)
fs.CopyFile "od.txt", pathFolder + "\od.txt"

Set txtf3 = fs3.OpenTextFile(pathFolder + "\error.txt", ForAppending, True)

For k = start_k To end_k
    fs.CopyFile pathFolder + "\od.txt", "od.txt"
    filename = pathFolder + "K=" + CStr(k) + ".txt"
    Set txtf = fs.OpenTextFile(filename, ForAppending, True)
    For f = 1 To frequency
        errorValue = 0

        Call oldprocess
        ReDim difference(1, 8) As Double
        ReDim differenceAdd(1, 1) As String
        ReDim sortArray(1, 4) As Double
        Dim tmpValue As Double
        Dim FilterArray() As Double
        Dim kArray() As Double
        Dim odArray_new() As Double

        checkArray = setArray("check.txt", 1, n + 5, 1, pathno)
        check1Array = setArray("check1.txt", 1, 1, 1, 6)
        vdArray = setArray("vd.txt", 1, 1, 1, 1)
        odArray = setArray("od.txt", 1, m, 1, 4)

        For i = 1 To 1
            For j = 1 To 6
                difference(i, j) = check1Array(i, j)
            Next j

```

```

difference(i, 7) = vdArray(i, 1)
diff = CDBl(difference(i, 7)) - CDBl(difference(i, 5))
difference(i, 8) = diff

sortArray(i, 1) = i
sortArray(i, 2) = vdArray(i, 1)
sortArray(i, 3) = diff
sortArray(i, 4) = Abs(diff)
errorValue = errorValue + Abs(diff)
Next i

txtf3.WriteLine "K = " & k & "," & vbTab & "Run = " & f & "," &
vbTab & "Value = " & errorValue

sortArray = sort(sortArray(), 1)

FilterArray = filterFuc(sortArray(), 1, start_f, end_f)

kArray = getK(FilterArray(), k)

For i = 1 To k
    differenceAdd(kArray(i, 1), 1) = "@"
Next i

odArray_new = getOd(kArray(), checkArray(), odArray(), pathno)

temp = "Run" + CStr(f) + "*****"
txtf.WriteLine temp
temp = "check.txt"
txtf.WriteLine temp
For i = 1 To n + 5
    temp = ""
    For j = pathno To 1 Step -1
        temp = Format(checkArray(i, j), "0.00") & vbTab & temp
    Next j
    txtf.WriteLine temp

```

Next i

txtf.WriteLine " "

temp = "check1.txt & vd.txt"

txtf.WriteLine temp

For i = 1 To 1

temp = differenceAdd(i, 1)

For j = 8 To 1 Step -1

temp = Format(difference(i, j), "0.00") & vbTab & temp

Next j

txtf.WriteLine temp

Next i

txtf.WriteLine " "

temp = "od.txt"

txtf.WriteLine temp

For i = 1 To UBound(odArray\_new)

temp = Format(odArray\_new(i, 4), "0.00")

For j = 3 To 1 Step -1

temp = odArray\_new(i, j) & vbTab & temp

Next j

txtf.WriteLine temp

Next i

temp =

"\*\*\*\*\*"

txtf.WriteLine temp

Set txtf2 = fs2.OpenTextFile("od.txt", ForWriting, True)

For i = 1 To UBound(odArray\_new)

odcontext = Format(odArray\_new(i, 4), "0.00")

For j = 3 To 1 Step -1

odcontext = odArray\_new(i, j) & vbTab & odcontext

Next j

```

        txtf2.WriteLine odcontext
    Next i

    txtf2.Close

Next f
txtf.Close

Next k
txtf3.Close
MsgBox "finish"

End Sub

Function setArray(ByVal tempFile As String, ByVal start_row As Integer, ByVal
end_row As Integer, ByVal start_col As Integer, ByVal end_col As Integer) As
Double()

    Open tempFile For Input As #60
    Dim tempArray() As Double
    ReDim tempArray(end_row - start_row + 1, end_col - start_col + 1) As Double
    For i = start_row To end_row
        For j = start_col To end_col
            Input #60, tempArray(i, j)
        Next j
    Next i
    Close #60
    setArray = tempArray

End Function

Function sort(tempArray() As Double, ByVal rownum As Integer) As Double()
    Dim sort1() As Double
    Dim sort2() As Double
    Dim sort3() As Double
    Dim sort4() As Double
    ReDim sort1(rownum) As Double
    ReDim sort2(rownum) As Double

```

ReDim sort3(rownum) As Double

ReDim sort4(rownum) As Double

For i = 1 To rownum

sort1(i) = tempArray(i, 1)

sort2(i) = tempArray(i, 2)

sort3(i) = tempArray(i, 3)

sort4(i) = tempArray(i, 4)

Next i

For i = rownum - 1 To 1 Step -1

For j = 1 To i

If sort4(j) > sort4(j + 1) Then

t = sort4(j)

sort4(j) = sort4(j + 1)

sort4(j + 1) = t

t = sort3(j)

sort3(j) = sort3(j + 1)

sort3(j + 1) = t

t = sort2(j)

sort2(j) = sort2(j + 1)

sort2(j + 1) = t

t = sort1(j)

sort1(j) = sort1(j + 1)

sort1(j + 1) = t

End If

Next j

Next i

For i = rownum - 1 To 1 Step -1

For j = 1 To i

If Format(sort2(j), "0.00") = Format(0, "0.00") Then

```
t = sort4(j)
sort4(j) = sort4(j + 1)
sort4(j + 1) = t
```

```
t = sort3(j)
sort3(j) = sort3(j + 1)
sort3(j + 1) = t
```

```
t = sort2(j)
sort2(j) = sort2(j + 1)
sort2(j + 1) = t
```

```
t = sort1(j)
sort1(j) = sort1(j + 1)
sort1(j + 1) = t
```

End If

Next j

Next i

For i = 1 To rownum

```
tempArray(i, 1) = sort1(i)
```

```
tempArray(i, 2) = sort2(i)
```

```
tempArray(i, 3) = sort3(i)
```

```
tempArray(i, 4) = sort4(i)
```

Next i

sort = tempArray

End Function

Function filterFuc(tempArray() As Double, ByVal rownum As Integer, ByVal  
lowValue As Integer, ByVal upValue As Integer) As Double()

If lowValue = 0 And upValue = 0 Then

```
filterFuc = tempArray
```

Exit Function

```

End If
Dim tempFirst() As Integer
ReDim tempFirst(0) As Integer
Dim tempAfter() As Integer
ReDim tempAfter(0) As Integer
Dim getNum As Integer
getNum = 0

If lowValue > 0 And upValue = 0 Then
    For i = 1 To rownum
        If tempArray(i, 2) >= lowValue Then
            ReDim Preserve tempFirst(UBound(tempFirst) + 1)
            tempFirst(UBound(tempFirst)) = i
        Else
            ReDim Preserve tempAfter(UBound(tempAfter) + 1)
            tempAfter(UBound(tempAfter)) = i
        End If
    Next i
End If

If lowValue >= 0 And upValue > 0 Then
    For i = 1 To rownum
        If (tempArray(i, 2) <= upValue And tempArray(i, 2) >= lowValue)
Then
            ReDim Preserve tempFirst(UBound(tempFirst) + 1)
            tempFirst(UBound(tempFirst)) = i
        Else
            ReDim Preserve tempAfter(UBound(tempAfter) + 1)
            tempAfter(UBound(tempAfter)) = i
        End If
    Next i
End If

Dim tempArray2() As Double
ReDim tempArray2(rownum, 4) As Double
getNum = 0
For i = 1 To UBound(tempFirst)
    getNum = getNum + 1

```



```

        For j = 1 To 4
            tempArray2(getNum, j) = tempArray(tempFirst(i), j)
        Next j
    Next i
    For i = 1 To UBound(tempAfter)
        getNum = getNum + 1
        For j = 1 To 4
            tempArray2(getNum, j) = tempArray(tempAfter(i), j)
        Next j
    Next i

```

```

    filterFuc = tempArray2
End Function

```

```

Function getK(tempArray() As Double, ByVal kValue As Integer) As Double()
    Dim tempArray2() As Double
    ReDim tempArray2(kValue, 4) As Double

    For i = 1 To kValue
        For j = 1 To 4
            tempArray2(i, j) = tempArray(i, j)
        Next j
    Next i
    getK = tempArray2
End Function

```

```

Function getOd(tempk() As Double, tempCheck() As Double, tempOd() As Double,
tempPathNo As Integer) As Double()
    Dim tempArray() As Double
    Dim tempArray2() As Double
    ReDim tempArray2(UBound(tempOd), 4) As Double
    Dim tempValue As Double
    For i = 1 To UBound(tempOd)
        tempArray2(i, 1) = tempOd(i, 1)
        tempArray2(i, 2) = tempOd(i, 2)
        tempArray2(i, 3) = tempOd(i, 3)
        tempArray2(i, 4) = tempOd(i, 4)
    Next i

```

```

Next i
For i = 1 To UBound(tempk)
    ReDim tempArray(0) As Double
    tempValue = 0
    For j = 1 To UBound(tempCheck) - 5
        For temp = 1 To tempPathNo
            If (tempk(i, 1) = tempCheck(j, temp)) Then
                ReDim Preserve tempArray(UBound(tempArray) + 1)
                tempArray(UBound(tempArray)) =
tempCheck(UBound(tempCheck) - 4, temp)
            End If
        Next temp
    Next j
    If UBound(tempArray) >= 1 Then
        tempValue = tempk(i, 3) / UBound(tempArray)
        For temp = 1 To UBound(tempArray)
            tempArray2(tempArray(temp), 4) = tempArray2(tempArray(temp),
4) + tempValue
        Next temp
    End If
Next i
getOd = tempArray2
End Function

```

