

逢甲大學  
交通工程與管理學系碩士班  
碩士論文

用於起迄交通量預估之車牌辨識系統區位規劃模式

Determining the Optimal Locations of License Plate  
Recognition Systems for Enhancing the Estimation of  
Origin-Destination Trips

指導教授：邱裕鈞

研究生：范智超

中華民國九十五年七月

## 摘要

高速公路起迄交通量(origin-destination (O-D) matrix)係交通管理政策研擬及交通設施規劃之重要資訊。然而，若是高速公路無匝道閉鎖式的收費及車輛追蹤系統，欲獲得此一資訊僅能透過龐大人工調查方式加以取得。因此，許多研究乃轉而利用路段所測得之流量資訊反推起迄交通量。但路段流量資訊所產生之流量方程式數目小於OD矩陣變數數目，因此必須藉由額外的資訊方能有效推估OD矩陣。車牌辨識系統(License plate recognition system, LRS)可用於自動辨識車牌號碼，並加以儲存、比對及處理。如在高速公路上部分路段加以設置，即可比對各通過車輛之實際行駛路段，較路段偵測器提供更多起迄流量推估之所需資訊。而增加起迄交通量之關係式或提供交通量相關資訊，便可有效提高推估準確度。但普遍設置LRS不僅需要高額成本，也易引起侵犯用路人隱私之爭議。如何在兼顧OD矩陣之有效推估，但又不致浪費及侵犯過多成本及隱私下，求解最佳LRS設置數量及位置，實值得加以研究。

因此本文建立一數學規劃模式，一方面求解LRS之最佳設置區位與數量(決策變數為區位變數，以0,1表之)，另一方面則推估OD矩陣(決策變數為起迄對交通量)，並同時考慮起迄交通量預估準確度最大化與LRS設置成本最小化以及侵犯用路人隱私程度最小化等三項目標。在求解方法上，本文利用遺傳演算法求解區位問題，再利用Robillard所建立的路段流量反推起迄旅次矩陣的模式，進行起迄交通量之推估。

為驗證本模式之有效性，本研究分別設計小規模(8座交流道)及大規模(42座交流道)之簡例，配合隨機產生之不同情境OD矩陣，俾據以驗證。結果顯示，起迄矩陣推估之誤差率隨著LRS座數之增加而遞減，其幅度約在5%-10%間。至於LRS佈設位置，發現先以高流量路段的中端及兩端各設置1~2座，其次便會由高流量路段兩端開始增設較多，以掌握較多及較長之旅次OD流量，其最佳LRS座數為6~9座。最後，為驗證本模式之應用性，本研究以民國84年調查之中山高速公路起迄矩陣作為實例應用。結果顯示，最佳LRS座數為7座，分別設在 汐止

交流道、圓山交流道、林口交流道、湖口交流道、台中交流道、新營交流道、高雄交流道等處，可使OD矩陣之推估準確率升高16.69%。顯示本模式確具有效性及應用性。

**關鍵詞：**起迄交通量推估、車牌辨識系統、遺傳演算法



## Abstract

The origin-destination (O-D) matrix is important information for proposing traffic management policy and planning transportation facilities. However, for a freeway system without ramp-closed tolling or vehicle tracking system, a large-scale survey is the only way to obtain such information exactly. Thus, numerous models have been proposed to estimate the O-D matrix from link traffic counts. However, the accuracies of these estimation models depend upon the traffic patterns and geometric layout of network. Their performance can not be guaranteed if no further information can be acquired except for limited information of link traffic. License plate recognition system (LRS) can automatically recognize and compare the license plate number of passing vehicle, and then determine the track of the vehicle. Therefore, with the extra information provided by LRS, the accuracy of estimated O-D matrix can be remarkably enhanced. Of course, if LRS are installed at all ramps of freeway, the O-D matrix can be exactly collected. Nevertheless, wide installation of LRS may invade the privacy of road users and consume a great deal of government budget. Therefore, it is an essential topic to determine the optimal number of LRS and their locations for the purpose of enhancing the estimation of O-D matrix.

Based on this, the present paper proposes a mathematical programming model to determine the optimal locations of LRS. Three objectives are considered: maximization of the accuracy of estimated O-D matrix, minimization of LRS installation cost and minimization of the privacy invasion. The O-D matrix estimation method proposed by Robillard (1975) is adopted, because the method is easy to incorporate the extra traffic equations provided by LRS and simple to manipulate. These extra traffic equations are derived from pairwise comparison of the recognized plate numbers between two arbitrary LRSs installed in different locations. Due to the combinatorial characteristics of problem, genetic algorithms (GAs) are employed to solve the optimal locations of LRS.

For investigating the validity of proposed model, The exemplified examples is a freeway with 8 interchanges and 42 interchanges randomly generated O-D matrix. The result shows, the error rate estimated of OD matrix decrease by the numbers of LRS increase. The decrease range about 5%-10%. The location of LRS discovered that we can set one or two LRS first at the middle and both sides of high flow section, then we increase the LRS in the both sides of high flow section. The best number of LRS is six to nine. For verifying the applicability of model, this

research takes the example application of No.1 national freeway of Taiwan of OD matrix. The result shows, best number of LRS is seven, and we need to set them at Shijr Interchange、Yuanshan Interchange、Linkou Interchange、Hukou Interchange、Taichung Interchange、Shinying Interchange、and Kaohsiung Interchange. It can make error rate drop by 19.66%, this result shows the validity and applicability of proposed model.

**Key words:** License plate recognition system, O-D matrix estimation, genetic algorithms



## 目錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	III
目錄 .....	V
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	IX
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 研究內容與流程 .....	3
第二章 文獻回顧 .....	5
2.1 車牌辨識系統之簡介 .....	5
2.2 遺傳演算法於區位上的應用 .....	6
2.3 靜態與動態之旅次起迄反推 .....	8
2.3.1 靜態旅次起迄反推 .....	8
2.3.2 動態旅次起迄反推 .....	11
第三章 模式建構 .....	15
3.1 問題說明 .....	15
3.2 LRS區位選擇模式 .....	15
3.3 準則計算 .....	16
3.3.1 基本假設 .....	16
3.3.2 OD計算方式 .....	17
3.3.3 成本計算方式 .....	23
3.3.4 侵犯用路人隱私程度計算方式 .....	23
3.3.5 目標值正規化 .....	24
3.4 遺傳演算法 .....	25
3.4.1 GA之編碼及解碼方式 .....	30
3.4.2 適合度值之計算方式 .....	30
3.5 整體模式運算流程 .....	31
第四章 簡例驗證 .....	33
4.1 小規模(未加入成本及隱私) .....	33

4.1.1 資料說明及參數設定 .....	33
4.1.2 結果分析 .....	33
4.2 大規模 .....	36
4.2.1 資料說明及參數分析 .....	36
4.2.2 個別座數之下LRS最佳區位分析 .....	39
4.3 敏感度分析 .....	44
4.4 情境分析 .....	45
4.4.1 情境說明 .....	45
4.4.2 分析結果 .....	47
第五章 實例應用 .....	62
5.1 實例範圍及參數設定 .....	62
5.2 實例結果分析 .....	64
第六章 結論與建議 .....	74
6.1 結論 .....	74
6.2 建議 .....	76
參考文獻 .....	78
附錄 .....	82



## 圖目錄

圖 2.1	車牌辨識系統示意圖 .....	6
圖 3.1	模式架構圖 .....	16
圖 3.2	高速公路及交流道示意圖 .....	17
圖 3.3	起迄路網圖 .....	18
圖 3.4	皆通過 $LRS_A$ 及 $LRS_B$ 之OD示意圖 .....	20
圖 3.5	僅通過 $LRS_A$ 之OD示意圖 .....	20
圖 3.6	僅通過 $LRS_B$ 之OD示意圖 .....	20
圖 3.7	設置三座LRS時之新增流量關係式示意圖 .....	21
圖 3.8	交流道示意圖 .....	21
圖 3.9	交流道新增LRS示意圖 .....	22
圖 3.10	交流道新增 2 座LRS示意圖 .....	22
圖 3.11	侵犯用路人隱私程度計算方式示意圖 .....	23
圖 3.12	遺傳演算法流程圖 .....	26
圖 3.13	蒙地卡羅轉盤示意圖 .....	28
圖 3.14	單點交配示意圖 .....	29
圖 3.15	雙點交配示意圖 .....	29
圖 3.16	LRS設置區位之編碼方式 .....	30
圖 3.17	演算流程圖 .....	32
圖 4.1	不同LRS座數下不同LRS區位組合之誤差率分佈圖 .....	35
圖 4.2	LRS之最佳設置區位 .....	36
圖 4.3	路段流量曲線圖 .....	42
圖 4.4	各LRS座數下Z值趨勢圖 .....	42
圖 4.5	$\alpha$ 值與LRS座數關係圖 .....	43
圖 4.6	反推OD準確度敏感度分析變化圖 .....	44
圖 4.7	成本敏感度分析變化 .....	44
圖 4.8	侵犯用路人隱私次數敏感度分析變化圖 .....	45
圖 4.9	情境二路段流量曲線圖 .....	46
圖 4.10	情境三路段流量曲線圖 .....	46



圖 4.11	反推OD準確度變化圖(情境二).....	55
圖 5.1	中山高北上路段流量圖 .....	64
圖 5.2	各LRS座數下Z值趨勢圖 .....	67



## 表目錄

表 2.1	以路段流量推估起迄旅次相關文獻整理 .....	9
表 4.1	起迄流量矩陣 .....	33
表 4.2	不同LRS座數下之最低誤差率 .....	35
表 4.3	交配率與突變率組合一覽表 .....	38
表 4.4	族群數變化一覽表 .....	38
表 4.5	調整過之參數一覽表 .....	39
表 4.6	不同LRS座數下之最佳區位設置表 .....	40
表 4.7	$\alpha$ 值與LRS座數關係表 .....	44
表 4.8	LRS分佈位置表(情境二) .....	48
表 4.9	調整過後之LRS區位表(情境二) .....	52
表 4.10	情境二Z值變動比較表 .....	54
表 4.11	LRS分佈位置表(情境三) .....	57
表 4.12	情境三Z值變動比較表 .....	60
表 5.1	LRS分佈位置表(中山高) .....	65
表 5.2	修改後LRS分佈位置表(中山高) .....	69
表 5.3	中山高Z值變動比較表 .....	71
表 5.4	$\alpha$ 值與座數、準確率及侵犯用路人隱私程度關係表 .....	72

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

高速公路起迄交通量係交通管理政策研擬（如匝道儀控、主線速率控制、通行費費率調整）及交通設施規劃（如匝道數、車道數、收費站區位設置）之重要參考資訊。然在未實施匝道閉闔式收費前，高速公路起迄交通量僅能透過龐大之人工調查方式加以取得，耗費大量人力與時間。因此，我國自民國78年以人工測得起迄交通量矩陣後，即未再實施相關之調查計畫。因此，許多研究乃轉而利用路段所測得之流量資訊來反推起迄交通量，其演算法如卡門濾波法、數學規劃法、最大概似法，以及最小平方法等。傳統運輸需求分析與預測，可分為旅次發生(Trip Generation)、旅次分佈(Trip Distribution)、運具分配(Modal Split)及交通量指派(Traffic Assignment)等四個步驟，有了起迄旅次量即可瞭解旅次分佈之情形。旅次起迄矩陣(O-D matrix)在運輸規劃程式及交通工程與管理上一直是一項相當重要的輸入資料。但是在實際獲得上卻是有困難，因其必須透過大規模的路邊調查，家戶、工作地點訪問才能獲得，卓訓榮及陳信雄整理其主要缺點及困難點如下：

- (1) 需要大量人力物力、時間及成本。
- (2) 實地調查困難，如需攔車及路邊訪問等。
- (3) 大批資料之後續處理困難。
- (4) 調查及處理資料時易發生錯誤。
- (5) 統計抽樣上的問題。

因此反推旅次起迄矩陣的主要目的便是在於降低傳統調查時所浪費的人力及成本，希望能構建一數學模型利用路段流量反推起迄旅次量，惟由於求解起迄交通量矩陣時，其變數數量遠超過路段流量關係式，所以無法聯立求解，故必須搭配用路人行為或歷史起迄矩陣等假設方能加以求解。因旅次資料取得容易，能夠較有效率的得到此一重要的運輸規劃重要資訊。起迄旅次矩陣可分為動態及靜態，所謂動態起迄旅次矩陣，便是靜態O-D 資料增加了時間維度，修正靜態O-D 在分析時區內可能發生旅次並未到達迄點之缺點，增加了出發時區的維

度使得我們的分析因時間改變而變化。因此，如能增加起迄交通量之關係式或提供交通量相關資訊，應仍有效提高預測準確度。由於智慧型運輸系統（Intelligent Transportation System, ITS）各項子系統的發展，原來使用傳統交通資訊的交通管理方式已經相形不足。例如 ITS 中的先進旅行者資訊系統（Advanced Traveller Information System, ATIS）及先進交通管理系統（Advanced Traffic Management System, ATMS），皆需要即時的交通路網資訊，根據即時的交通狀況進行各種管理控制。而以獲得旅次起迄此項資訊來說，想獲得即時之資訊有實質上的困難，因此設置車牌辨識系統（License plate recognition system, LRS）便可達成此項目標。理論上兩兩交流道間各設置一 LRS 便可達成此一目的，即時獲得高速公路全線之即時旅次起迄，但由於成本及侵犯用路人隱私之考量因此無法達成，因此本文將研究如何找出最佳區位裝設適合數量之 LRS，以期能未來在實務應用上提供相關單位作一參考。

## 1.2 研究目的

而本研究的目的在於利用車牌辨識系統（license plate recognition system, LRS）設置地點的不同，希望能得到不同路段的旅次及路段流量資訊，找出在實際應用上最為可行及有效的模式，以滿足交通管理之需求，及交通控制與先進交通系統管理之依據。主要的研究目的條列如後：

- （1）透過所蒐集之路段流量資料，求解出最佳設置之區位。
- （2）利用所得之最佳區位及流量資料，求出最經濟之設置數量。
- （3）將所得之最佳區位模式應用於未來旅次流量之反推及預測。

本研究以高速公路為研究對象，透過路段流量等相關交通資訊來求解最佳 LRS 區位及設置數量。由於反推 OD 的方法甚多，雖說近年來研究皆以動態 OD 之推估為主，但是以本研究為求解最佳區位的問題來說，以靜態之方法推估也有其實用性，因此本研究將以靜態方法來求解及反推 OD 之準確性。然而由於實務上高速公路之旅次起迄資料蒐集不易，因此本研究僅利用民國 84 年所調查之中山高速公路路段之交通量來進行驗證工作。

### 1.3 研究內容與流程

本研究主要建立一數學規劃模式，一方面求解 LRS 之最佳設置區位與數量（決策變數為區位變數，以 0,1 表之），另一方面則推估起迄交通量矩陣（決策變數為起迄對交通量）。至於模式目標則同時考慮起迄交通量預估之準確度、設置成本及侵犯用路人隱私程度。在求解方法上，由於本研究以靜態方式進行，因此鑑於遺傳演算法（genetic algorithms, GAs）在求解組合最佳化問題之績效，以及 Robillard 所建立之 OD 反推模式，求解起迄交通量之推估，以求出最適當之區位模式。而研究流程如圖 1.1 所示：



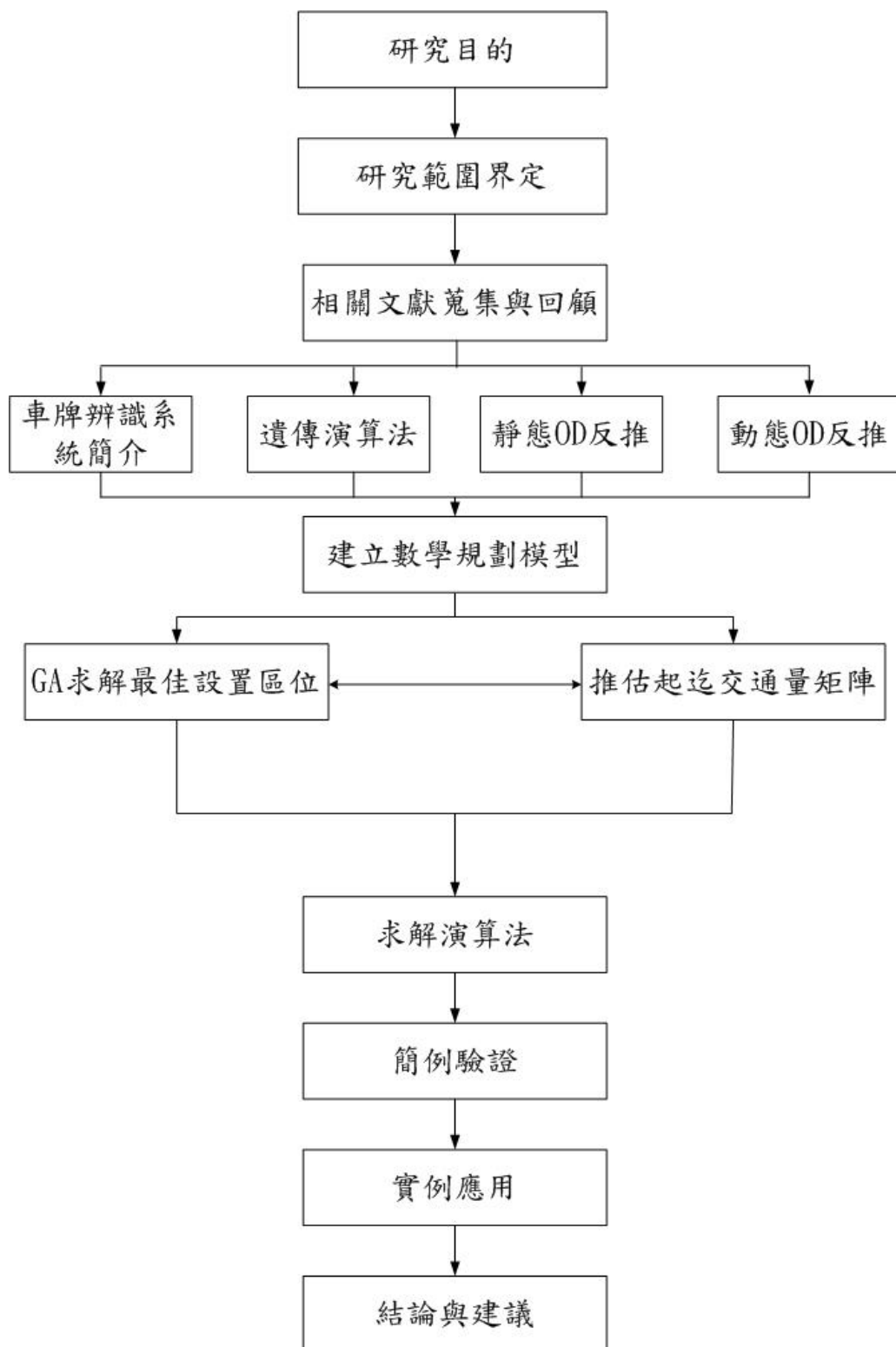


圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 車牌辨識系統之簡介

車牌辨識系統之應用層面甚廣，包括電子收費、違規執法、車輛追蹤及旅行時間推估等。而此系統在我國之應用主要係屬於高速公路電子自動收費系統（electronic toll collection, ETC）之一項子系統。根據「民間參與高速公路電子收費系統建置及營運」規劃報告所述，電子收費系統係利用多種技術，使車輛行經道路收費區或收費車道時，透過前端路側相關通訊設備/技術，與車輛上之車內設備單元（on board unit）相互運作，並加以後端之帳務處理而自動完成收費作業，車輛不必停車支付現金、減速投幣或繳交回數票。根據蔚台昌完整的電子收費系統包括前端的電子、通訊等技術，如自動車輛辨識（automatic vehicle identification, AVI）、自動車輛分類（automatic vehicle classification, AVC）及影像執法系統（video enforcement system, VES）等技術，以及後端之收費帳務服務系統。而其中的車輛自動辨識技術主要針對通過車輛之車輛相關資料進行擷取並辨識其身分。車牌辨識系統依照辨識技術不同可分為直接式車牌辨識技術與電子式車牌辨識技術。

直接式車牌辨識技術為透過影像處理技術直接對車輛之車牌進行辨識。整體系統架構為影像處理系統、路側電腦系統、錄影系統與主電腦系統等。而車牌辨識的流程為偵測到車輛進入系統的範圍時，即啟動CCTV(Close Circuit Television)監控攝影機擷取車輛影像直至離開，再根據CCTV監控攝影機所擷取之車輛畫面，由系統進行影像處理，以分離出影像中之車牌部分，此為車牌抽出；最後，根據前一步驟所鎖定之車牌畫面，針對車號逐一加以辨識，並將辨識出之車牌傳送至主電腦系統，以便進行後續作業，即完成車輛辨識作業。如圖一所示：

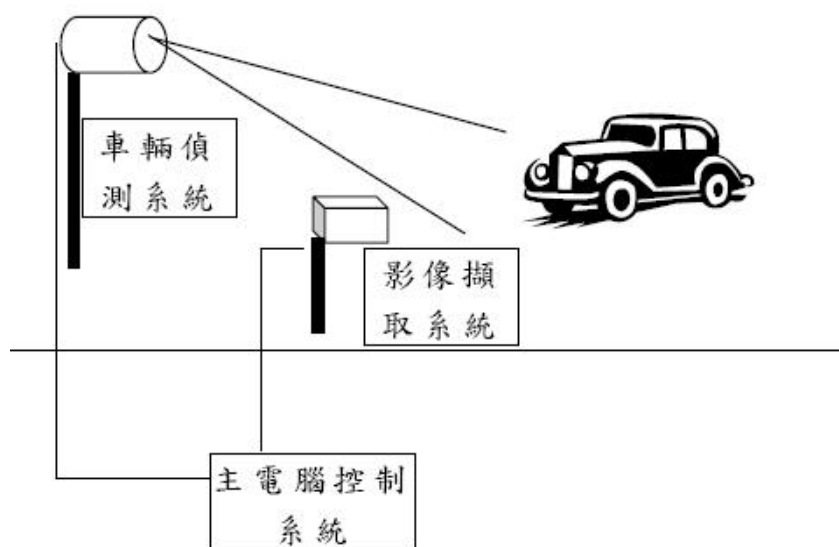


圖 2.1 車牌辨識系統示意圖

(摘錄自：廖鴻圖)

而電子式車輛辨識技術依擷取資料技術不同，分為雷射光、紅外線及無線電(微波)等三類。雷射光系統之技術原理是利用道路側邊的雷射掃瞄器發出雷射光，並掃瞄貼於擋風玻璃或車旁之條碼以取得車輛資料。不過，由於雷射光系統之條碼本身容易偽造、系統受天候與道路上灰塵的影響、再加上掃瞄器必須與車輛較為靠近等不易克服之缺點，因此目前世界各國大多採用無線電/微波(RF)系統與紅外線(IR)系統。無線電/微波(RF)系統與紅外線(IR)系統利用車上裝設於電子標籤(tag)，當車輛行經道路側邊之讀取設施(tag reader)時，讀取車輛電子標籤內的資訊。與雷射光系統相較之下，RF系統及IR系統的優點是通信距離較長，且讀取速度較快，但缺點則為RF系統之系統設計較為複雜，而當IR系統為主動偵測且當車量密度較高時會造成信號相互干擾之現象。

## 2.2 遺傳演算法於區位上的應用

自遺傳演算法的概念提出以來，已被廣泛的應用在各領域中。其中之一就是用來求解NP-hard 或NP-complete 等最佳化問題，目前並沒有數理證明可以求得最佳解，但是由於本身的求解特性，使得在區位選擇上有良好的績效，對於區位選擇0-1 整數規劃問題，效果尤佳。



曾國雄等(1997)認為區位選擇本質上係屬NP-hard 問題，逐步尋優方法 (stepwise algorithm, SA) 即針對規模較大之問題建立的一套具高效率性且高精確度之尋優模式，但是其程式上及操作上較為複雜，並且無法保證能求得整體最佳解。遺傳演算法求解NP-hard問題上效率較高，因此應用遺傳演算法，構建收費站區位元之評選模式，證明遺傳演算法之求解效率均優於逐步尋優法。林楨家(1998)研究規劃者所希望擁有的一套分析工具，主要是由一套遺傳演算法與一個多目標數學規劃模式所組成；前者則負責為這個模式找出近似可行解之集合做為替選方案，分析結果為接近柏拉圖最適化的替選方案，後者將配置問題簡要的構建成數學規劃模式，整體而言，這個分析工具應該符合規劃者的需要。Tate & Smith(1995)利用遺傳演算法來處理不同面積的區塊佈置問題，並提出了懲罰函數來建構適合度函數及消除一般佈置模式的限制，並也說明基因演算法可以穩健的應用在不同型態的問題。Houck & Kay(1996)比較遺傳演算法 (Genetic Algorithm)、隨機搜尋法 (Random Search) 和二選擇轉移法 (TWO-OPT Switching) 三種啟發式求解方法，研究發現小規模區位問題中三個方法表現差異不大，但在大規模的區位配置問題中遺傳演算法能求出比其他傳統的求解方法更好的解答，並且較有效率。Chootinan研究OD旅次表考慮雙目標交通流量計次位置問題。此問題在於設置計數器最佳的位置及數量以求能涵蓋整個路網。通常覆蓋最大範圍及最小的裝設點通常是衝突的。遺傳演算法被用來解決雙目標交通流量計次位置問題以產生非支配解。可以產生一數字化的解來證明此模型。主要結果說明遺傳演算法可以產生一非支配解的集合來幫助決定者選擇是最小成本或最大覆蓋面積，並且做出適當選擇而不須要重複運算。Effrey (1999) 研究說明遺傳演算法是一種啟發式求解的方法，利用在自然界中模仿進化論的基因再生、突變和複製的過程，進行演算達到收斂於最優秀的解。遺傳演算法使用相容性 (compatibility) 的新觀念應用在P-中位數法的規劃上，此求解方式為基因相互彼此交配以產生較優秀子代的解答，遺傳演算法有系統的闡明並且提供了計算的結果，提出延伸和未來的主題。蔡麗敏(2000)針對廢輪胎處理廠之區位指派與運送路線選擇問題，以模糊多目標規劃方法作一規劃研究，此類問題總目標之達

成亦具有不確定性，在考量營運成本、環境污染問題、運輸成本與對周圍交通之影響後，對廢輪胎處理廠做區位指派並決定可行之運送路線，然應用模糊多目標規劃模式，經簡化過後超出Lindo 套裝軟體之求解能力，因此採用基因演算法來求解此一大型實際問題。H. Jaramillo(2002)使用遺傳演算法在不同的區位問題上比較求解之效率，共比較比較(Uncapacitated)及有容量限制(capacitated)的Fixed Charge Problem以及最大覆蓋範圍模型(Maximum Covering Problem)。另外還有Medianoid和Centroid模型。遺傳演算法是為解決大規模組合最佳化問題的一個潛在地強有力的工具，而此文還是證明不論求解問題為何種形式，規模變大時使用遺傳演算法是較為有效率的方法。

遺傳演算法自1975發展以來，相關研究甚多，並且被廣泛用在交通各項領域中。藍武王利用遺傳演算法求解線性軸幅路網的接駁區位、排班及路線的規劃；而曾國雄利用遺傳演算法之平行處理能力發展出動態權重模式，提出樣板路徑觀念發展出一套適用於旅行推銷員問題之混合遺傳演算法（TPGA）；謝國倫發展一套改良式的遺傳演算法，探討遺傳演算法應用於捷運轉乘公車之最佳區位路徑問題，並針對最佳區位路徑問題設計出一套新的基因子代改善方式及群體位元交配方式以應用於最佳區位路徑問題的求解。而由以上文獻可知，遺傳演算法具有機率尋優、多點尋優、直接尋優及平行尋優等特性，只要有適合的適應函數，經過多次的疊代，便能得出一組非常接近最佳解的答案。相關文獻亦已驗證遺傳演算法應用於區位選擇問題時，具有良好的尋優效度及效率，對目標函數並無特定形式要求，因此合於本研究的要求，並且容易與OD反推之演算法結合為一。

## 2.3 靜態與動態之旅次起迄反推

### 2.3.1 靜態旅次起迄反推

有關路段流量反推起迄矩陣的研究甚多，廖珉鋒(2000)將其分為兩大類型：靜態起迄旅次矩陣(static O-D matrix)推估，以及依時性的動態旅次起迄矩陣(dynamic O-D matrix)推估。而在此兩大方向下，依照各個地區及交通環境不同的情況下各自發展了許多方法使有不同的

適用性。較早期的旅次起迄推估模式大部分假設旅次起迄間不需要考慮旅行時間，或是旅行時間唯一固定值，在此假設下的旅次起迄推估模式皆屬於靜態方式。靜態旅次起迄推估模式的優點為操作方便，並且在求解上較有效率，而解的品質也在可接受的範圍之內。首先由Robillard(1975)提出由路段觀測流量推估起迄旅次矩陣的觀念，顯示路段流量對於旅次量的推估，可以提供有效的資訊。該模型中起迄旅次量採用比例指派(proportional assignment model)的方式(即旅次使用路段的比例與起迄旅次量互相獨立)，以得到路段流量，且不考慮路段的容量限制。採用比例指派法的相關研究還有Willumsen(1982)、Van Zuylen and Willumsen(1980)和Bell(1983)等，其中Willumsen所採用的極大熵法跟Van Zuylen所採用的最小資訊法被應用的程度最廣。另外還有統計推估方法，此法是利用統計估計模式，加上交通量資料、抽樣估計、指派模式等資訊進行推估，使用此法的研究有Mather(1983)的Bayesian法、Cascetta(1984)的一般化最小平方法及Bell(1991)的限制最小平方法等。最後是均衡指派方法，此法假設駕駛者的路徑選擇模式滿足Wardrop(1952)的使用者均衡原則，為一旅次分佈交通指派結合的模式，以路段交通量資訊推估旅次起迄矩陣，相關研究有Erlander(1977)、Los and Nguyen(1983)、Fisk and Boyce(1983)和Fisk(1988)等。整理表如下：

表2.1 以路段流量推估起迄旅次相關文獻整理

(資料來源：廖珉峰、本研究整理)

作者	年代	函數種類	特性
比例指派方法			
Robillard	1975	最小平方法	不考慮路段容量限制，推估最接近旅次起迄矩陣。
Willumsen	1979	最小平方法	推估最接近旅次起迄矩陣。

Van Zuylen and Willusmsen	1980	極大熵法	比較兩種不同方法，其中旅次起迄採用比例指派法得到路段流量，結果顯示極大熵法演算較為迅速並很接近觀測矩陣。
Bell	1983	一般化最小平方方法	當路段流量相當準確時，最小平方法之結果會相當接近極大熵法，亦即先前資訊會影響推估品質。
統計推估方法			
Mather	1983	Bayesian法	藉由觀測路段流量推估起迄旅次量。該模型中起迄旅次量採用比例指派得到路段流量。
Cascetta	1984	一般化最小平方方法	藉由路徑選擇模型結合了直接抽樣與模型推估的結果。
Bell	1991	限制最小平方方法	利用拉氏鬆弛法求解，並提出以此法推估起迄旅次量之步驟。

惟這些演算法均有其假設前提與限制條件，無法適用於所有狀況，也難以保證其求解精確度。然隨著高速公路先進交通管理科技之發展，未來能獲得之交通資訊勢必逐漸增加，對於起迄流量之精確估計將更有把握。其中，車牌辨識系統（license plate recognition system, LRS）基於車牌之獨一性，利用影像辨識技術，自動記錄通過之車牌，作為自動收費或自動執法之依據。而透過兩座以上LRS之儲存車牌資料之比對，更可提供某一車輛之行跡，作為旅行時間（旅行速度）估計之基礎。除此之外，更重要的是，這些車牌記錄資料也能提供較路

段流量更有效之交通資訊，提高起迄交通量之關係式，有助於起迄流量之精準估計。

### 2.3.2 動態旅次起迄反推

最近二十多年來，許多研究方法正逐漸被應用於動態 OD 推估問題的求解上，利用交通路網上之交通流量數量來推估動態 OD 矩陣逐漸被重視。動態 OD 分佈是在既有路網的環境之下（包括路口、高速公路，以及一般道路路網），用路人旅次需求與分配的情形，主要的應用範圍分為一般都市路網和特殊路網兩方面。在推估這些動態交通旅次量時，可以應用過去所累積的歷史 OD 資料（prior OD data），作為推估之基礎；而且我們也可藉由車輛偵測器（Vehicle Detector, VD）來自動蒐集路段交通量，由此兩組資料來校估參數及建立推估模式。但是以統計的角度來說，任何用以推估動態交通旅次起迄量的資料都含有部份誤差。例如：統計的估計量含有隨機誤差（random errors）；而路段交通量則受 VD 精度的影響，存在量測誤差（measurement errors）。因此為了有效推估動態 OD，我們在建立模式時，需要考慮上述誤差，將誤差項納入模式中，以權衡不同誤差項對 OD 估計值的影響。例如貝氏定理（Bayesian Theorem）的推論方法即提供一個可以同時考量不同誤差值以推估未知變數的機制，具體言之，貝氏估計量（Bayesian estimator）是過去歷史資料（prior belief）及目前量測值（current observations）的加權平均數，而其加權權重則為前述隨機誤差與量測誤差的相對值（relative magnitudes）。

一般的動態 OD 推估，在資料部分大部分都是以偵測器取得或是以歷史資料當作初始值，而求解過程主要的差異僅在求解之模式及基本假設，而動態 OD 與路段流量間的關係如下式：

$$Z_i(k) = \sum_m \sum_{i \in o} \theta_{ii}^m(k) \cdot D_i(k-m) \quad (2-1)$$

$D_i(k)$ ：在時段 k 時，O-D 對起點 i 之總車輛數。

$Z_i(k)$ ：在時段 k 時，在路段 l 所偵測到的流量。

$\theta_{ii}^m(k)$ ：在時段 k-m 時所產生的  $D_i(k-m)$ ，分配到  $Z_i(k)$  的比例。

利用此流量守恒限制式可經推導得到流量之集合矩陣  $Z_i(k)$ ，也就是每個路段  $l$  的估計流量。

以下介紹的方法包括最小平方法、最大概似法、Kalman Filter。

### (一) 最小平方法

Cremer and Keller (1987)的假設為不考慮前期資訊，且輸出流量必須以線性關係連續以多個時階進入流量，共用四種方法進行推估：考慮相互關係矩陣的最小平方法、限制式最佳化方法、簡單遞迴推估公式、Kalman Filter 推估。在模式中，假設一連續時段  $K$  和矩陣  $Q$ 、 $Y$ ：

$$\bar{q} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k q_i(k) \quad \bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k y_j(k) \quad \Delta q(k) = q_i(k) - \bar{q} \quad \Delta y(k) = y_j(k) - \bar{y} \quad (2-2)$$

$$Q = \begin{bmatrix} \Delta q^T(1) \\ \Delta q^T(2) \\ \vdots \\ \Delta q^T(k) \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} \Delta y^T(1) \\ \Delta y^T(2) \\ \vdots \\ \Delta y^T(k) \end{bmatrix}$$

最小平方差誤差公式

$$\hat{B} = Q'Q^{-1} \cdot Q' \cdot Y$$

$y_j(k)$ ：時階  $k$  時，由路段  $j$  離開之車輛數

$q_j(k)$ ：時階  $k$  時，由路段  $i$  離開之車輛數

但此一模式並無法保證自然條件限制式成立，因此 Nihan and Davis (1987)進一步提出求解方法。

Nihan and Davis (1987) 延續 Cremer and Keller (1983)的方法，在限制式中增加旅行時間延滯的因素，利用遞迴預測將誤差極小化的方式，產生多時階的 OD。此種方法不需要動態指派模型也不需要前期資訊

### (二) 具限制式最小平方法(卓訓榮，2002)

主要以下式為最佳化求解模式：

$$\min. \sum_k [y(k) - b_j^T q(k)]^T \cdot [y(k) - b_j^T q(k)] \quad (2-3)$$

假設  $b(k)$  為 OD 轉向百分比，而  $B(k)$  為轉向百分比矩陣，若時間

很短時，則  $k$  為一常數，因此法考慮了特性的限制式，因此較最小平方方法可靠。

### (三) 最大概似法

最大概似法為假設資料的統計分配已知，在此是指 OD 流量比例  $b_{ij}(k)$  在時間上假設不變，用來求取觀測值及估計值的概似度 (likelihood) 最大，並具有一致性及有效性，且每個不同時段所觀測之 OD 為獨立且為常態分配。Cascetta and Nguyen (1988) 提出最大概似推估的函數是由 OD 流量樣本資料及路段交通量組成。並推論 Poisson 最大概似法比一般最大概似法較好。

### (四) Kalman Filter

Kalman Filter 進行遞迴推估為近來不少研究所使用的方法，最初是在 1960 年由 R.E.Kalman 所提出，大部分是用在控制工程中解決自動控制最佳化的問題。此法認為不同時段的 OD 矩陣是有相互關聯的，因此只須給定起始 OD 矩陣即可展開運算，無需前期的 OD 矩陣。

Okutani(1984)所建立的模式採用遞迴式的推估方法，狀態變數為未知的依時性OD流量，由於狀態變數間具有相關性因此Okutani使用標準的線性Kalman Filter在小型路網中推估動態OD流量其建立的自我迴歸關係如下

$$D_r(k+1) = \sum_{m=0}^p A_r^m(k) D_r(k-m) + W_r(k) \quad (2-4)$$

其中

$W_r(k)$  : 為一個平均值為零，變異數已知的隨機項

$A_r^m(k)$  : 為一個係數矩陣的集合

如果無法確實計算出  $A_r^m(k)$ ，可只假設起迄流量  $D_r(k)$  滿足隨機的漫步過程(random walk process)。假如有一指派模式和可得到前期的狀態變數，則此模式便可解決複雜的 OD 推估問題。而 Ashok and Ben-Akiva (1993) 修改 Okutani 所建立的模式，主要不同之處在於方程式 2-4 中的  $D_r(k)$  換成以歷史估計而得的 OD 矩陣誤差。

van de Zijpp and Hamerslag (1994)在不等限制式方面，應用貝式的更新原則產生 Kalman Filter 以結合不等限制式。藉由產生旅次模型在 Kalman Filter 方法中增加了噪音 (noise)變數。

Chang and Wu(1994) 所採用之方法係利用歷史資料之差異推估 OD 矩陣，採用上下匝道及主現交通量作為觀測資料，將歷史資料所得的 OD 矩陣作為推估係數矩陣之資料，然後利用歷史資料推估分析的 OD 車流差異量取代 Kalman Filter 中的實際車流量，但因為 Chang and Wu (1994) 所構建模式中，在加入主線道流量資訊及推估旅行時間方面仍有問題存在，因此，江勁毅 (1995) 針對這兩項問題予以修正，在旅行時間推估方法方面使用 Greenshield 模式，此模式以速度與密度之關係計算旅行時間，可解決 Chang and Wu (1994) 之模式只適用於擁擠發生前的缺失。

#### 小結：

由文獻回顧結果可知，在反推 OD 方面已發展出相當多的方法，主要分為動態及靜態兩大方面。近年來研究皆以動態 OD 之推估為主，但靜態的反推 OD 方法也有操作較為方便的特性，因此本研究選擇靜態方法中 Robillard 所建立的以路段流量推估起迄旅次矩陣的模式，此模式的輸入變數為路段流量及轉向比例，與本研究所欲輸入之資料一致，因此本研究選擇此一方法作為反推 OD 時的研究方法。



## 第三章 模式建構

本章主要分成五部分來說明，第一部分為說明問題，敘述欲研究之課題；第二部分則是說明模式內容及架構；第三部分為模式之準則運算方式的詳細內容；第四部分則是說明遺傳演算法並說明如何將變數進行編碼以利遺傳演算法之操作，最後一部分則是以流程圖表示本模式之運算過程

### 3.1 問題說明

理論上，若能於兩兩交流道間均設置一座 LRS 即可獲得正確之起迄流量矩陣，但由於設置成本與用路人隱私之考量，僅能選擇性地加以裝設。因此本章將根據前述之相關文獻，利用 Robillard 所提出之起迄流量推估模式及遺傳演算法，結合 LRS 所得之資訊、侵犯用路人隱私程度及設置成本三者加以綜合考量，以期能得到一 OD 資訊最多、用路人隱私侵犯最少及成本最少之模式。

### 3.2 LRS 區位選擇模式

第一部份為依據文獻中之演算法，分別求出在給定參數的狀況之下的 OD 資訊、所需成本及侵犯用路人隱私程度；第二部分即是依照多目標規劃中之正規化方法將此三者資訊正規化並求出評估值，再將之轉成單目標之數學規劃式以求其極大值；第三部分則是由前述之遺傳演算法，找出最適合之基因，以求出最佳之設置 LRS 地點。模式之架構如下圖：

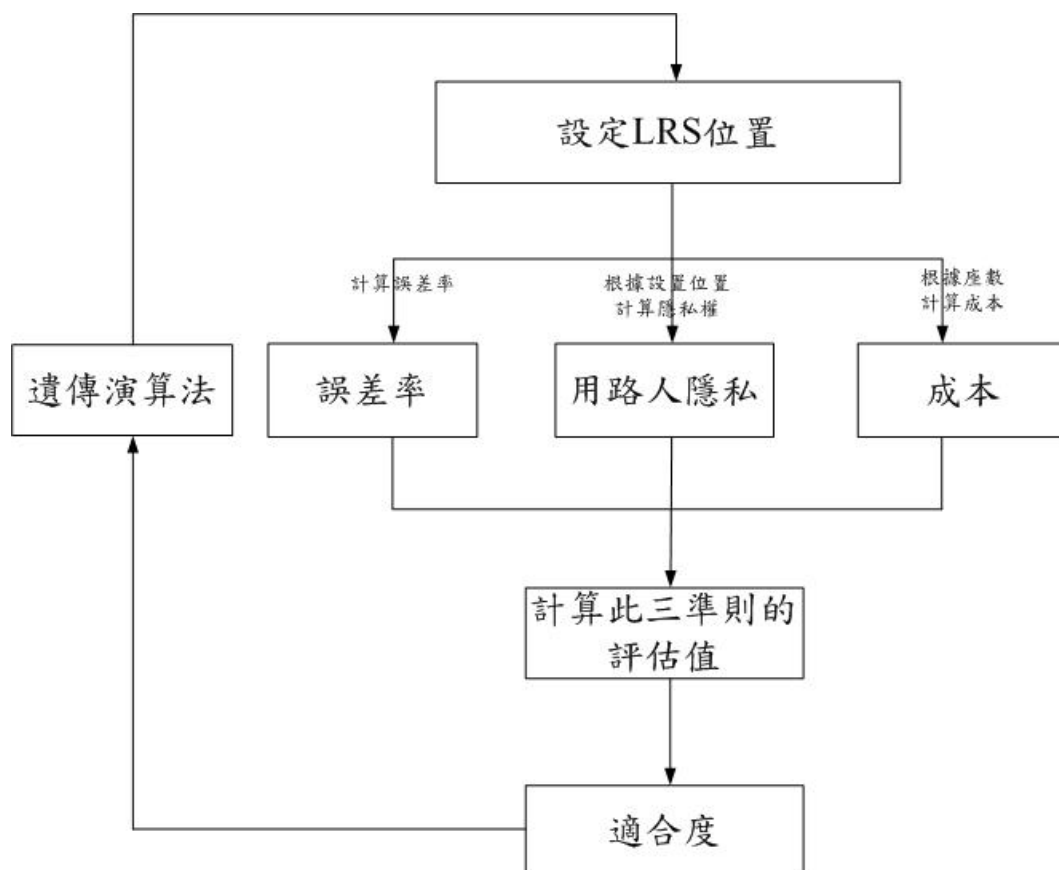


圖 3.1 模式架構圖

### 3.3 準則計算

在架構的第一部份之中，共有誤差率、侵犯用路人隱私程度及成本等三項準則需要計算，而在第二部分中則是將此三項準則加以正規化，而以下之章節便是說明此三項準則及正規化的計算方法。

#### 3.3.1 基本假設

至於LRS所提供車牌資訊，如何應用於起迄流量矩陣之推估模式中。茲以圖3.2兩座LRS為例，來加以說明。

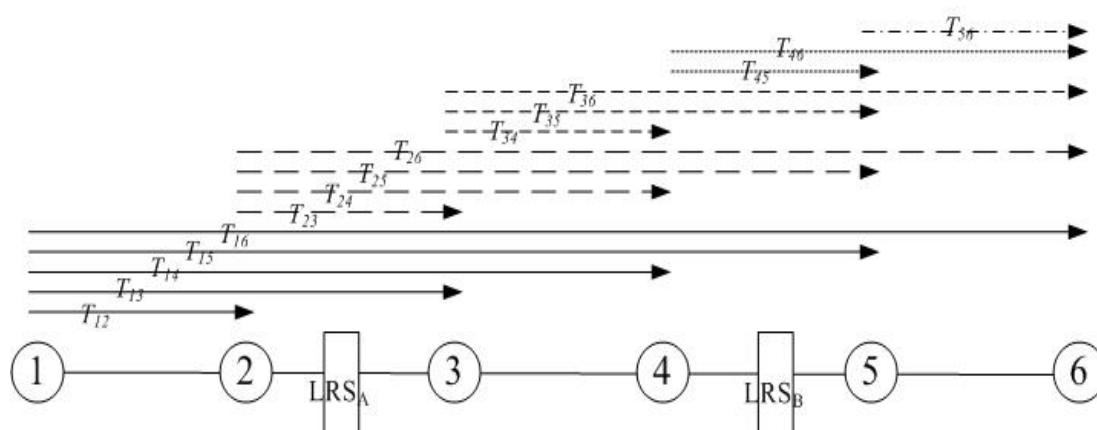


圖 3.2 高速公路及交流道示意圖

- (1) 圖3.2為六座交流道之高速公路，各路段假設均設有路段偵測器，①為高速公路交流道之起點，⑥為交流道之終點，中間的數字代表各交流道。
- (2) 假設在交流道②及交流道③間設置一座 $LRS_A$ ；以及交流道④及交流道⑤之間設置一座 $LRS_B$ 。
- (3)  $T_{ij}$ ：實際之起迄對 $ij$ 流量。  
 $i$ ：從第 $i$ 座交流道上高速公路。  
 $j$ ：從第 $j$ 座交流道下高速公路。

### 3.3.2 OD 計算方式

Robillard提出由路段流量推估起迄旅次矩陣之模式。該模式起迄旅次量係採用比例指派(proportional assignment model)的方式(即旅次使用路段的比例與起迄旅次量互相獨立)，以得到路段流量。此篇研究所採用的是都市路網，因此必須考慮路口轉向及比例指派，設定一簡單路網如下：

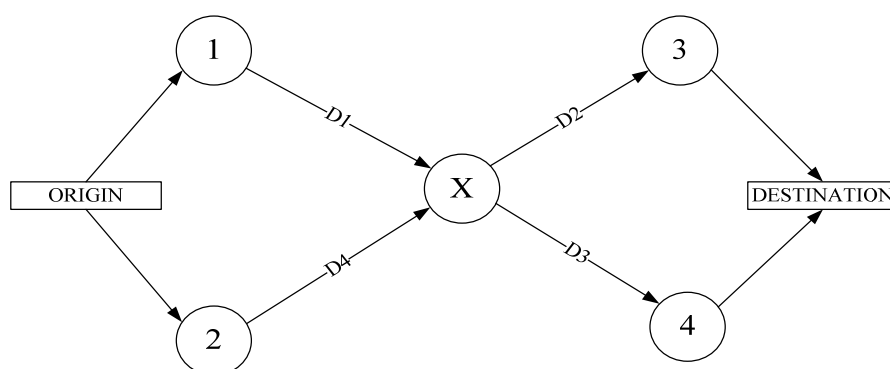


圖 3.3 起迄路網圖

路段流量與起迄流量及指派比例之關係如下列四式所示：

$$D_1 = T_{13}F_{D1}^{13}(1) + T_{14}F_{D1}^{14}(1) + e_1$$

$$D_2 = T_{13}F_{D2}^{13}(1) + T_{23}F_{D2}^{23}(1) + e_2$$

$$D_3 = T_{14}F_{D3}^{14}(1) + T_{24}F_{D3}^{24}(1) + e_2$$

$$D_4 = T_{23}F_{D4}^{23}(1) + T_{24}F_{D4}^{24}(1) + e_4$$

其中， $D_k$ ：路段 $k$ 之流量。 $T_{ij}$

$T_{ij}$ ：起迄對 $ij$ 流量（起點 $i$ 至迄點 $j$ ）。

$F_{Dk}^{ij}(1)$ ：路段 $k$ 流量分配至起迄對 $ij$ 流量之第1階段指派比例。

$e_4$ ：路段 $k$ 流量之分配誤差。

此四式亦可利用矩陣加以表示，即：

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{D1}^{13}(1) & F_{D1}^{14}(1) & 0 & 0 \\ F_{D2}^{13}(1) & 0 & F_{D2}^{23}(1) & 0 \\ 0 & F_{D3}^{14}(1) & 0 & F_{D3}^{24}(1) \\ 0 & 0 & F_{D4}^{23}(1) & F_{D4}^{24}(1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} T_{13} \\ T_{14} \\ T_{23} \\ T_{24} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

而在本研究中，由於求解的對象為高速公路，因此並無轉向問題，如圖3.2：

取消轉向後，路段流量與起迄流量關係式為下五式所示：

$$D_1 = T_{12} + T_{13} + T_{14} + T_{15} + T_{16} \quad (3-2)$$

$$D_2 = T_{13} + T_{14} + T_{15} + T_{16} + T_{23} + T_{24} + T_{25} + T_{26} \quad (3-3)$$

$$D_3 = T_{14} + T_{15} + T_{16} + T_{24} + T_{25} + T_{26} + T_{34} + T_{35} + T_{36} \quad (3-4)$$

$$D_4 = T_{15} + T_{16} + T_{25} + T_{26} + T_{35} + T_{36} + T_{45} + T_{46} \quad (3-5)$$

$$D_5 = T_{16} + T_{26} + T_{36} + T_{46} + T_{56} \quad (3-6)$$

此五式亦可利用矩陣加以表示，即：

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \bullet$$

$$\begin{bmatrix} T_{12} & T_{13} & T_{14} & T_{15} & T_{16} & T_{23} & T_{24} & T_{25} & T_{26} & T_{34} & T_{35} & T_{36} & T_{45} & T_{46} & T_{56} \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & e_4 & e_5 & e_6 & e_7 & e_8 & e_9 & e_{10} & e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} & e_{15} \end{bmatrix}$$

可簡單寫成  $\mathbf{D} = \mathbf{Ft} + \mathbf{e}$ ，我們所要求解的目標為  $\mathbf{t}$  矩陣，但是由於方程式不足以及此矩陣不是方陣無法求得反矩陣，因此我們必須利用虛擬反矩陣(pseudoinverse)來求解，可由公式  $\mathbf{t} = \mathbf{F}^T (\mathbf{F} \mathbf{F}^T)^{-1} \mathbf{L}$  求得。

每多設一座 LRS 即可額外提供推估起迄流量矩陣之所需資訊，進而降低該矩陣推估之誤差率。不過，因為起迄流量之未必均勻分佈，因此，設置於不同區位之 LRS 所能降低之誤差率，也不盡相同，故有必要建立有效率之 LRS 區位選擇模式，選定最佳設置區位。

再透過兩座 LRS 所記錄車牌資料之比對，可得到三類車牌之總輛數，即  $L_1$ 、 $L_2$  及  $L_3$  等三類。其中， $L_1$  為同時通過  $LRS_A$  及  $LRS_B$  之車流量，表示這些流量之起點一定是交流道 1 或 2，迄點則是交流道 5 或 6。 $L_2$  為僅通過  $LRS_A$ ，但未通過  $LRS_C$  之車流量，表示這些流量一定起於交流道 1 或 2，迄於交流道 3 或 4。 $L_3$  為未通過  $LRS_A$ ，但通過  $LRS_B$  之車流量，表示這些流量一定起於交流道 3 或 4，迄於交流道 5 或 6。因此，可額外增加下列 3 條關係式：

$$L_1 = T_{15} + T_{16} + T_{25} + T_{26} \quad (3-7)$$

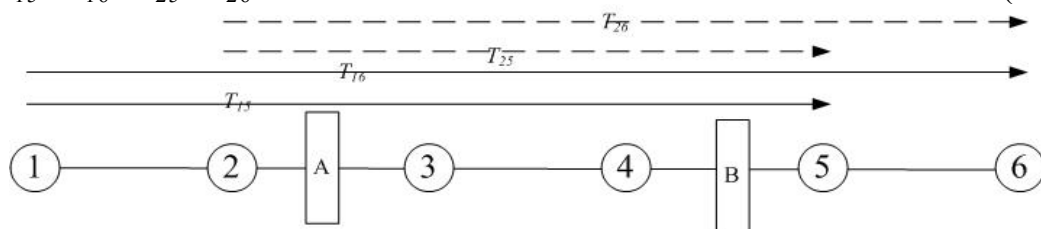


圖 3.4 皆通過  $LRS_A$  及  $LRS_B$  之 OD 示意圖

$$L_2 = T_{13} + T_{14} + T_{23} + T_{24} \quad (3-8)$$

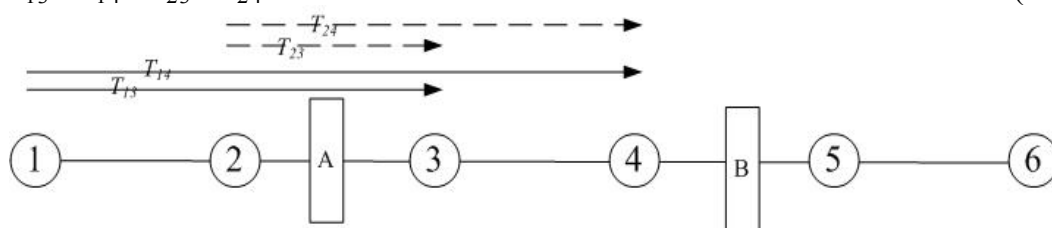


圖 3.5 僅通過  $LRS_A$  之 OD 示意圖

$$L_3 = T_{35} + T_{36} + T_{45} + T_{46} \quad (3-9)$$

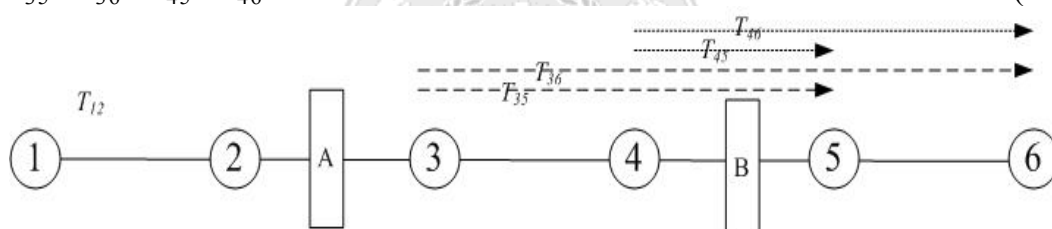


圖 3.6 僅通過  $LRS_B$  之 OD 示意圖

依據此8條關係式，即可利用Robillard所提出之起迄流量推估模式，求得各起迄旅次量之推估值，並據以計算誤差率。

當然，隨著LRS設置數量與區位之變化，所增加之關係式的內容與數量也會隨之變化。例如，若全線僅設置一座LRS，則由於無法與其他LRS比對所記錄之車牌，無法發揮追蹤效果，故其功能則與路段偵測器相同，僅能提供1條關係式。設置兩座LRS時，可增加3條關係式，設置三座LRS時，可增加6條關係式，設置四座LRS時，則可增加10條關係式，設置五座LRS時，則可增加15條關係式。增加關係式數量與LRS座數間之關係，恰等於上一座數LRS所能增加之關係式總數，再加上目前LRS座數，即其所能增加關係式總數。例如，4座LRS

可以增加6（3座LRS可以增加之關係式數量）+4（LRS座數）=10條關係式，如圖3.7。

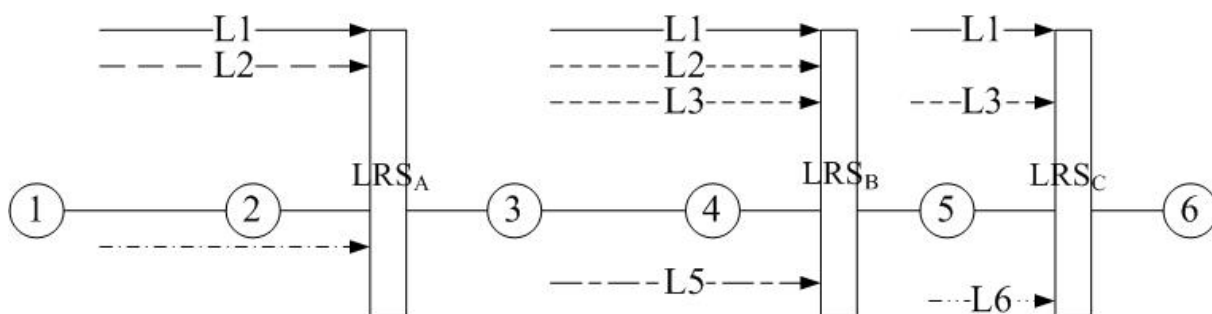


圖 3.7 設置三座 LRS 時之新增流量關係式示意圖

以圖3.7之規模而言，共有15個起迄流量變數需要求解。因此，如果能產生15條關係式，即可聯立求解。故以原路段流量之5條關係式，再加以4座LRS所額外增加之10條關係式，即可聯立求得正解。但若少於4座LRS時，則起迄流量僅能推估。

因此方程式產生流程如下：

假設共有m座交流道，設置n座LRS。

Step1：求出未設置LRS前之原始路段流量方程式。

方程式數量 $k=m-1$ 。

令所求路段流量之前一座交流道編號為u，後一座交流道編號為u+1如下圖，



圖 3.8 交流道示意圖

則u及u+1之間路段流量方程式之通式為下式：

$$D_{m-1} = \sum_{j=u+1}^m \sum_{i=1}^u T_{ij} \quad (3-10)$$

Step2：計算新增LRS時之新增流量方程式之數量及方程式內容：

若新增n座LRS，則方程式數量 $h=n*(n+1)/2$ 。而新增之 $L_1 \sim L_h$ 之流量方程式，可由兩方法產生。

(一) 由圖解法產生：以 $L_1$ 來說，我們可以圖3.4得知方程式內容為 $L_1=T_{15}+T_{16}+T_{25}+T_{26}$ ；

(二) 設定邏輯規則，由程式運算產生。由於LRS必在兩交流道間，因此令所求目標之LRS之前一座交流道編號為 $u$ ，後一座交流道編號為 $u+1$ ，如下圖：

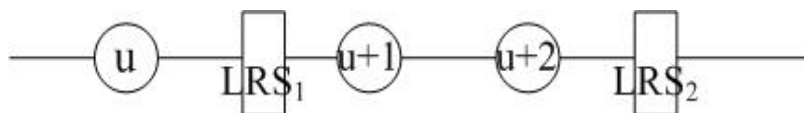


圖 3.9 交流道新增 LRS 示意圖

因此規則為：

(1) 若考慮只通過一座LRS時之OD對時，所求第 $h$ 條流量方程式

$$\text{為 } L_h = \sum_{j=u+1}^{u+2} \sum_{i=1}^u T_{ij} \quad (3-11)$$

$u+2$ 為下一座LRS之前一座交流道編號，如圖3.9。

例如圖3.5中僅通過 $LRS_A$ 之 $L_A = \sum_{j=3}^4 \sum_{i=1}^2 T_{ij} = T_{13} + T_{14} + T_{23} + T_{24}$

(2) 考慮同時被兩座或兩座以上之LRS偵測到之OD對時，可視兩座LRS為一座。如圖3.10，考慮同時被 $LRS_1$ 及 $LRS_2$ 同時偵測到之OD，令兩座中最前一座 $LRS_1$ 的前一交流道之編號仍為 $u$ ，兩座中之最後一座 $LRS_2$ 的下一交流道之編號仍為 $u+1$ ，而 $f$ 則為目標的兩座LRS之後，下一座LRS之前的交流道編號(亦即不一定是編號 $u+3$ )如下圖：



圖 3.10 交流道新增 2 座 LRS 示意圖

而所求流量方程式便如式3-11， $L_h = \sum_{j=u+1}^f \sum_{i=1}^u T_{ij}$ ，



$$\text{例如圖 3.6 之 } L_1 = \sum_{j=5}^6 \sum_{i=1}^2 T_{ij} = T_{15} + T_{16} + T_{25} + T_{26} \circ$$

由以上三個步驟我們便可得到原始之流量方程式及設置LRS後之新增流量方程式，便可以此繼續進行後續的運算。

### 3.3.3 成本計算方式

假設每座LRS的成本為N元，因此設置n座LRS時所需之設置成本為nN元，以本模式來，說希望能求得n最小，因成本越低越好。成本計算如下式：

$$C = n * N \quad (3-12)$$

C：設置總成本

N：LRS之單位價格

### 3.3.4 侵犯用路人隱私程度計算方式

由於我國國人對於隱私的觀念逐漸重視，雖然LRS為用於研究及收費的用途上，但對於民眾來說記錄車牌仍是有侵犯用路人隱私的問題，因此在LRS設置的數目上仍舊為越少越好。

本研究所採用之用路人隱私程度計算方式主要是以主線車流量為主。如下圖所示：

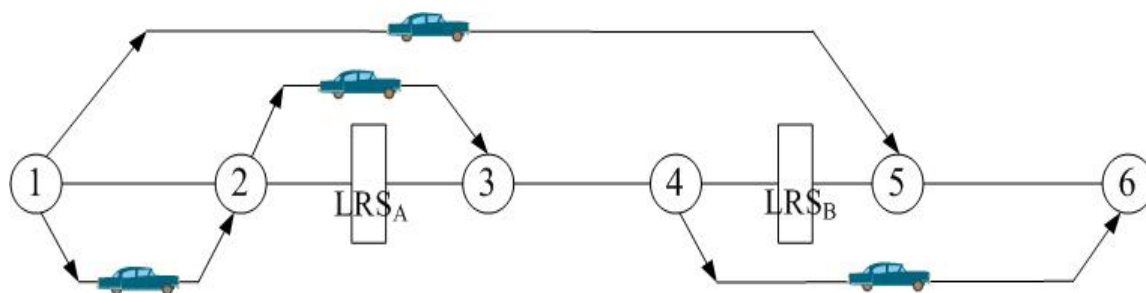


圖 3.11 侵犯用路人隱私程度計算方式示意圖

圖3.11為以高速公路交流道的簡單示意圖，數字1~6為交流道編號，A、B則為假設有裝置之LRS。以個別車輛來說，車輛一由1號交

流道上高速公路而由5號下交流道，沿途經過A偵測器及B偵測器，共被偵測兩次，因此用路人隱私也被侵犯兩次；而車輛三及車輛四分別僅經過A偵測器及B偵測器，因此用路人隱私僅被侵犯一次；而車輛二是由1號上交流道，2號下交流道，沿途未經過任何偵測器，因此並無被侵犯用路人隱私程度的問題。

以巨觀來看，若是在某一路段上裝設LRS時，行經此路段之車輛皆會被偵測到一次，亦即侵犯一次用路人隱私。因此量化侵犯用路人隱私程度的方法即為將行經有裝設LRS路段的主線車輛數加總，便為侵犯用路人隱私的次數，如下式：

$$P=\sum D_n \quad (3-13)$$

P：侵犯用路人隱私總次數

$D_n$ ：第n段有裝設LRS路段之主線車輛數

### 3.3.5 目標值正規化

由以上三目標之計算準則計算出三目標值之後，便要將此三目標值綜合考量，但由於此三目標單位各不相同，無法綜合做計算，因此必須將此三目標值正規化以便進行運算。本研究所採用的正規化方法是多目標規劃中用於TOPSIS（Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution）中的正規化方式，其主要之分析過程主要包括三項步驟，分別說明如下：

Step1：將評估準則正規化（normalization），利用以下公式：

$$r_{ij} = \frac{i \text{ 準則中第 } j \text{ 個方案之評估得點} - i \text{ 準則中所有方案之最小評估得點}}{i \text{ 準則中所有方案之最大評估得點} - i \text{ 準則中所有方案之最小評估得點}} \quad (3-14)$$

Step2：將正規化後之評估值乘上準則權重，則加權後之評估值如下式：

$$V_{ij}=W_i \times r_{ij} \quad (3-15)$$

$W_i$ ：準則 $i$ 之權重

$V_i$ ：方案 $j$ 在準則 $i$ 經過正規化且加權後之評估值

Step3：將三項準則之加權後之評估值帶入下式中：

$$\text{Max } F = \text{error} + \text{cost} + \text{private} \quad (3-16)$$

### 3.4 遺傳演算法

遺傳演算法乃透過模擬自然界演化的過程，將問題轉變為類似基因的型態，其中包含了染色體中基因的架構方式、編碼，其次則依各個可行解的優劣程度給予不同的適存函數，適合度函數愈高則所選擇出來的基因就愈多，再依照適合度函數進行基因的選擇，以及複製（reproduction）、交配（crossover）及突變（mutation）來產生新的群組，如此反覆進行世代進化的過程並產生新的物種。透過這種演進方式，其可保證得到較前次未進化前較好的染色體基因。而在遺傳演算法中，所有的參數都須預先編碼成固定長度的字串，雖然有許多各式各樣的編碼技巧，然而最常用的仍是二進位編碼，編碼的作用是為了便於模擬生物交配、突變等演化過程，此種演化過程的優點是對目標函數的限制需求較少；缺點則是搜尋精度將隨著字串長度而有所改變，太短的字串長度將使量化解析度降低，太長的字串長度又太浪費記憶空間及拖慢運算速度，因此必須在兩者之間取得折衷。傳統上許多找最佳解的方法都是在搜尋空間的某一點，利用某些轉移規則（transition rule），決定出下一點應該往哪個方向移動，這種點對點（point to point）的搜尋法較容易陷入局部最佳解（local optima），遺傳演算法基本上是採用一種隨機平行式的搜尋方式（randomized parallel search），利用基因學的特性，經過不斷演化後在搜尋空間找到一個最佳或近似的解答，這種搜尋最佳解的方式，可用在求解如最佳化這類擁有龐大求解空間的問題上。整體而言，遺傳演算法其主要演算程序可如圖3.12：

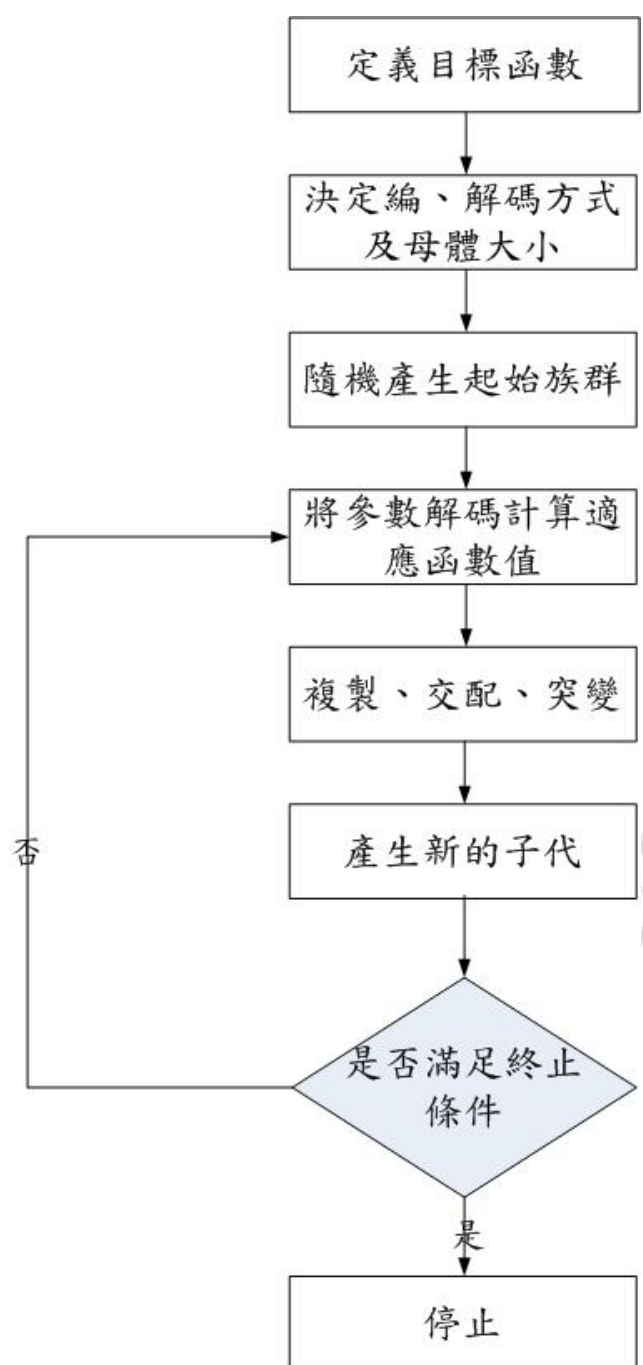


圖 3.12 遺傳演算法流程圖

傳統上許多找最佳解的方法都是在搜尋空間的某一點，利用某些轉移規則（transition rule），決定出下一點應該往哪個方向移動，這種點對點（point to point）的搜尋法較容易陷入局部最佳解（local optima），遺傳演算法基本上是採用一種隨機平行式的搜尋方式（randomized parallel search），利用基因學的特性，經過不斷演化後

在搜尋空間找到一個最佳或近似的解答，這種搜尋最佳解的方式，可用在求解如最佳化這類擁有龐大求解空間的問題上。而以下就簡單遺傳演算法之運作方式分述如下：

### 1、定義適合度函數

適合函數即為衡量染色體之一性能指標（performance index），其目的就是找出使目標函數值最佳的參數。使用遺傳演算法的演算過程中，各基因代表著各設施的區位，而各組基因染色體則代表著問題具有多種不同的解適合函數需能反應出不同物種間適應的程度差異，在基因變化後的每一世代族群，都需要檢查其適合函數的值，以增加新物種進入新世代族群的機會，使得能將次級的物種快速的淘汰以加速尋優過程。因此，適合函數是用來評估該染色體在演化過程中，被選中進行交配的機率高低，適合度值越佳者表示此基因染色體的適應度越高，越有被保留的機會；反之，適合度值越差者則容易被淘汰。

### 2、編碼解碼之方式

在進行遺傳演算法前，首先必須針對問題的特性，將欲求解之所有決策變數，轉換為GAs的基因字串或稱染色體，其中各基因的異同所產生的染色體也代表著不同的可能解，組成字串中的常用的編碼方式為二元編碼(binary coding)、排列編碼(permutation coding)及實數編碼(value coding)。就二元編碼方式來說，即是以0或1之基因值來形成染色體(chromosome)。例如，假設一染色體為1100111010010001，其中1表入選，0表未入選。至於解碼的方式則為反之運作。

### 3、遺傳演算法主要過程

#### (1)複製或選擇

複製是依照每一染色體的適應程度高低來決定其在下一子代中應被淘汰或複製且保留個數多寡的機制，適合度高的染色體在下一子代中將被大量複製，反之則被淘汰。適合度的測量則由適應程度來規劃，而複製的過程可以蒙地卡羅轉盤(Monte Carlo wheel)之觀念加以節

選，如圖3.13，亦即每一染色體之適應函數值越大，則在轉盤上所佔有的面積也越大，佔有面積比例的計算方式為：

$$P(n_i) = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^p f_i} \quad (3-17)$$

其中， $n_i$ 表第  $i$  個染色體， $P(n_i)$ 表第  $i$  個染色體被選中之機率， $f_i$ 表第  $i$  個染色體之適合度值， $p$  為族群數。因此，適合度較高者佔據之面積百分比愈大，獲選留下來繁殖下一代之機率亦較高。

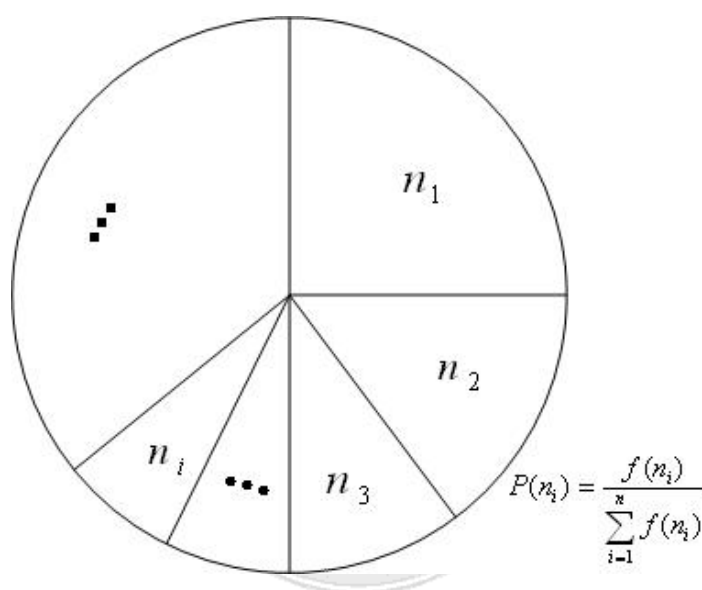


圖 3.13 蒙地卡羅轉盤示意圖

意即若是染色體在轉盤上佔有面積越大，被選中之機率越高，較優良之遺傳因數得以流傳與繼承。

## (2) 交配

交配過程乃是隨機的將複製過程所產生的染色體加以配對，再經由彼此間所進行之基因交換行為產生子代，因此子代可藉著累積母代的優秀位元資訊，合組成更具適應能力之染色體。交配方式有數種，但較常用之方法有三：單點交配、雙點交配及均勻交配。其中單點交配為隨機產生一交配點，母代保留配對點前之基因，互換後之基因而產生子代，如圖3.14。

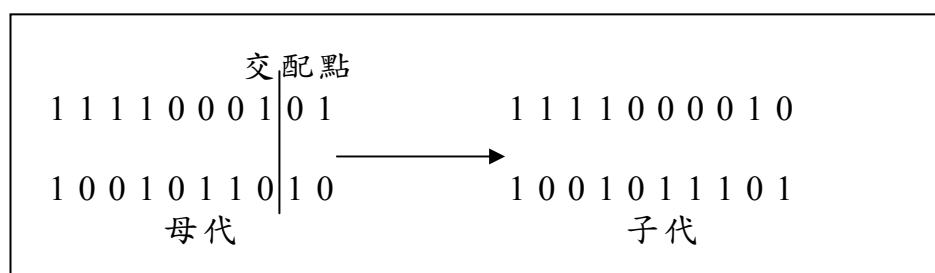


圖 3.14 單點交配示意圖

而雙點交配則是產生兩配對點，母代交換兩點間之基因，而保留其他部分，如圖3.15。

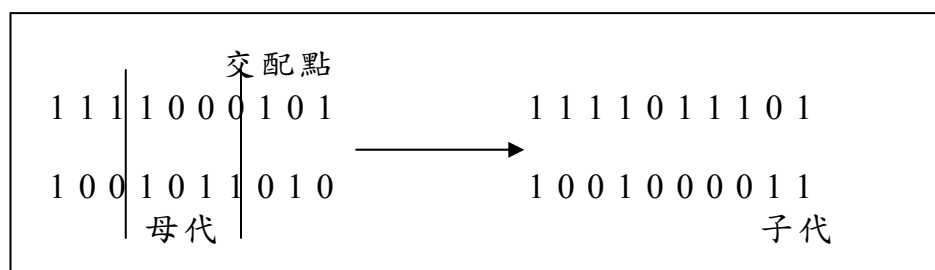


圖 3.15 雙點交配示意圖

雙點交配之擴充即成為多點交配。

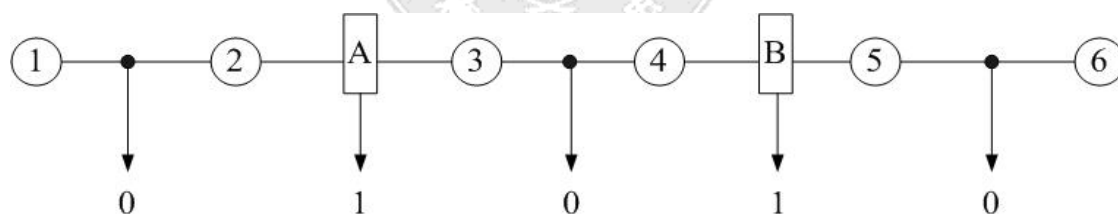
交配率的高低會影響母代能否繼續生存於下一世代之機率，一般設定的交配機率介於為0 至1 之間，大部分為0.8~0.9。例如，若交配機率為80%，則每次從交配槽中挑出兩個雙親個體時，必須先以隨機的方式決定是否進行交配，亦即先產生一個介於0~1 之間的實數亂數，若該數小於0.8 則進行交配產生新字串，否則就只將雙親基因完全複製給下一代即可，而不進行交配。交配率太高可能會造成優良的染色體從族群中被取走的速度可能比交配出來新染色體所產生的進化來的快，因而喪失交配原意；而太低的交配率，則會阻礙搜尋的速度，需要較長的時間收斂至最佳解。但如果交配的機制是由兩個母代產生兩個子代時，不一定以子代取代母代，而是挑選適合度值較高的兩個置回族群中，另外兩個則刪除，故不必設交配率。

### 3. 突變

突變的過程乃是隨機的選取一染色體上之字串，並且隨機的選取突變點並更動其中之基因值( $0 \rightarrow 1$ 或 $1 \rightarrow 0$ )，以防染色體在複製及交配過程中落入局部最佳解，亦即防止族群內染色體之僵化。一般來說，突變之方式有二：(1)基因突變，當產生之亂數低於設定之突變率時，即隨機更動某一基因值；(2)轉移突變，即變動同一染色體內各基因之位置，而其值不改變。突變率之設定對於尋優的影響很大，突變率過小，將無法發揮突變之功能；反之若是過大，將破壞子代繼承母代之優良基因。

### 3.4.1 GA 之編碼及解碼方式

由於遺傳演算法之染色體即代表問題之可行解，因此必須計算染色體的可行程度必須以適合度值來計算。以高速公路兩兩交流道間設置車牌辨識系統的問題來說，若是在同一區位設置兩座LRS並無意義。因此在兩兩交流道間之路段可視為LRS之候選區位，即為一0,1整數規劃問題，0表示該區位不設置LRS，1表示該區位設置LRS。以圖3.2之高速公路及LRS設置區位而言，可以圖3.16方式加以編碼，即其染色體為(0 1 0 1 0)，染色體長度為5。



圖註：  $\{0,1\}$ 表染色體之基因。

圖 3.16 LRS 設置區位之編碼方式

### 3.4.2 適合度值之計算方式

為利於遺傳演算法之演化求解，必須定義染色體之適合度值 ( $F$ )。本文旨在求解使起迄流量推估誤差率 ( $E$ ) 最低、設置成本最低 ( $C$ ) 及侵犯用路人隱私程度最少 ( $P$ ) 之LRS設置區位，但由於遺傳演算法之目的為求極大值，因此必須將其三項資訊先經過倒數後再



求其正規化後的總和，正規化的評估值如4.3.5節所述。而誤差率的公式如下，適合度值（F）設定如3-18式：

$$E = \frac{\sum_i \sum_j |T_{ij} - \hat{T}_{ij}|}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \quad (3-18)$$

$$F = E + C + P \quad (3-19)$$

其中， $T_{ij}$ ：實際之起迄對ij流量。 $\hat{T}_{ij}$ ：推估之起迄對ij流量。

### 3.5 整體模式運算流程

本研究之整體模式過程如下圖3.17所示。初始給定一隨機產生之族群，再根據個別染色體計算前述之三項準則加以正規化，給予每項準則權重之後相加得到一評估值，在根據此評估值作為適合度值，以GAs選出較優秀的下一子代，如此反覆運算，最後得出最佳解。



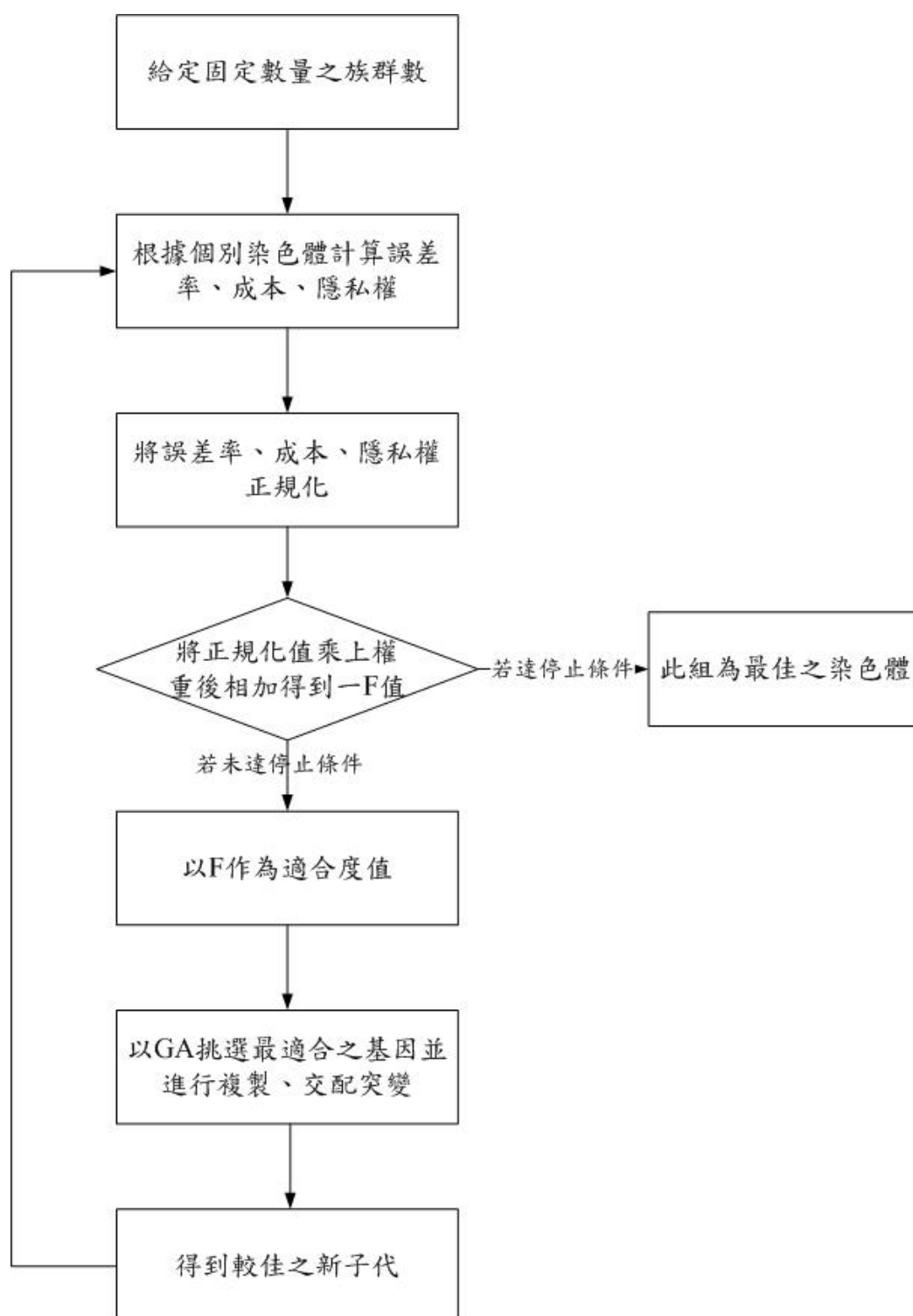


圖 3.17 演算流程圖

## 第四章 簡例驗證

本章主要分成四個部分，第一部份為以小規模高速公路為例，同時以窮舉法及遺傳演算法進行尋優，驗證模式的正確性；第二部分為等同中山高速公路規模的高速公路為例，以分析設置區位的原則及最適當的座數；第三部分則是對參數做出分析，以利往後章節及應用時之參數設定參考，第四部分則是同樣在大規模的情形下，設定不同路段流量的情境，以瞭解路段流量分佈對於設置區位的影響。

### 4.1 小規模(未加入成本及隱私)

#### 4.1.1 資料說明及參數設定

為驗證本模式之精確性與可用性，本文假設一條設有八座交流道之高速公路，共計七個可供選擇設置LRS之區位，並隨機產生一組起迄流量矩陣，如表4.1所示。由表知，此問題共有28個起迄流量變數待解。假設此一高速公路每一路段均設置車輛偵測器，以提供路段流量資訊（利用表4.1之起迄流量矩陣，產生各路段流量資訊）。至於遺傳演算法之相關參數設定如下：染色體長度為7，族群數設定為50，採雙點交配及基因突變，突變率設定為0.01。

表4.1 起迄流量矩陣

起/迄	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	32							
3	61	15						
4	44	39	23					
5	52	55	54	32				
6	46	47	66	51	33			
7	37	62	21	47	46	52		
8	21	31	48	61	49	49	20	0

#### 4.1.2 結果分析

由於全線至多可設置七座LRS，故染色體長度設定為7，所有可行

解之數量為 $2^7=128$ 組。由於本文擬同時利用窮舉法找出最佳解，用以驗證遺傳演算法之求解績效，故特設計此一規模路網。為探討不同座數LRS對起迄流量矩陣推估誤差率之影響，本節分別變化LRS之座數（由零座至五座），進行求解。由於本問題規模甚小，故遺傳演算法均約只需3-4代即達收斂。求解結果彙整如表4.2所示。由表知，不同LRS座數下，遺傳演算法均能求得與窮舉法相同之結果。其中，若不設置LRS，完全利用路段流量推估起迄流量，則誤差率高達47.96%，設置2座LRS時，則誤差率可降至36.73%，3座LRS時，降至26.03%，4座LRS時，降至20.93%，5座LRS則可將誤差率降至11.85%。每增設一座LRS可降低之誤差率約為5.10%-11.23%間。

惟即使是相同座數之LRS，若設置於不同區位，則所求解之誤差率變異仍甚大。圖4.1將窮舉法在窮舉過程中在不同LRS座數下，不同區位組合時，所求得起迄流量誤差率值。以3座LRS為例（ $n=3$ ），共有 $C_3^7=35$ 種區位組合。由圖知，其誤差率最高仍達40.25%，但最低卻只有26.03%，相差達14.22%，足見LRS設置區位之重要性。

進一步分析不同LRS座數下之最佳設置區位（如圖4.2所示），可發現LRS之設置區位大致具有兩大特性：第一係未必設置於路段流量較大處。一般認為LRS應設置於流量較多處，方能掌握（記錄）較多之車牌資料。但根據區位求解結果（以兩座LRS為例，即圖4.2(a)），LRS分別設於交流道2、3及交流道6、7間，該路段流量各僅510輛及494輛（如圖4.3），並非最高流量之路段。第二是不論設置多少座LRS，會儘量分散至高速公路之首尾處，以掌握較長之起迄對資料。

表 4.2 不同 LRS 座數下之最低誤差率

最低誤差率	LRS座數				
	0	2	3	4	5
遺傳演算法	47.96%	36.73%	26.03%	20.93%	11.85%
窮舉法	47.96%	36.73%	26.03%	20.93%	11.85%
每增設一座 LRS 之誤差率降低數值	-	11.23%	10.70%	5.10%	9.08%

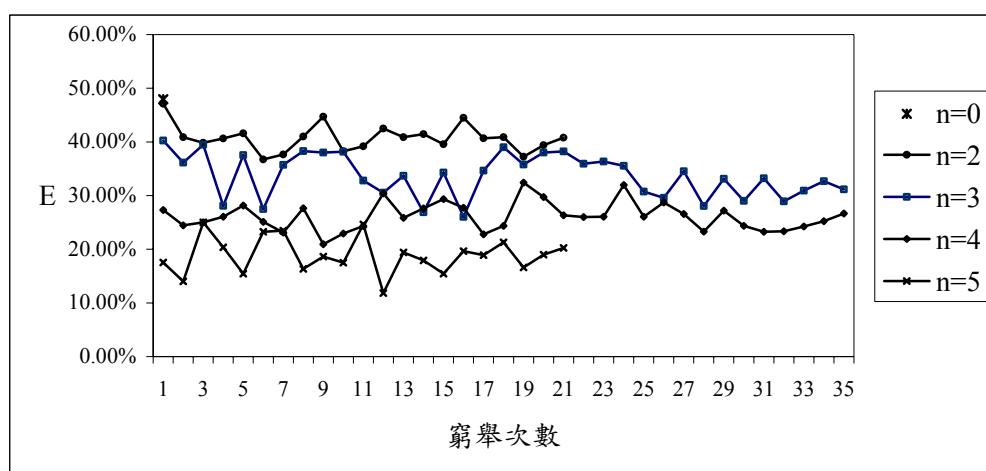
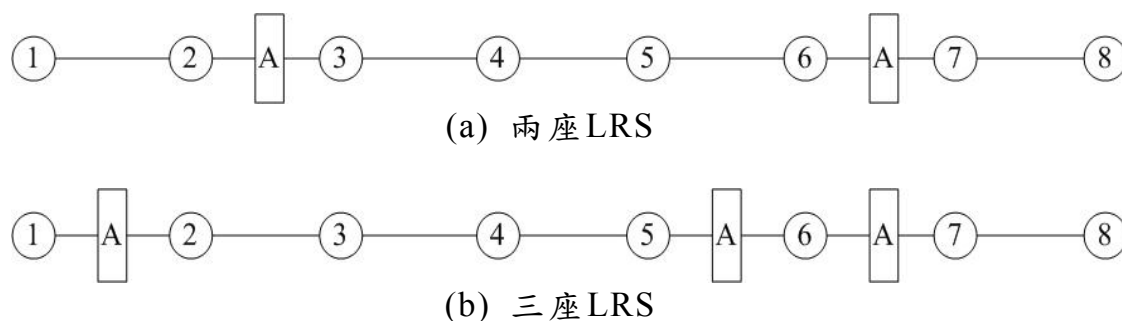


圖 4.1 不同 LRS 座數下不同 LRS 區位組合之誤差率分佈圖



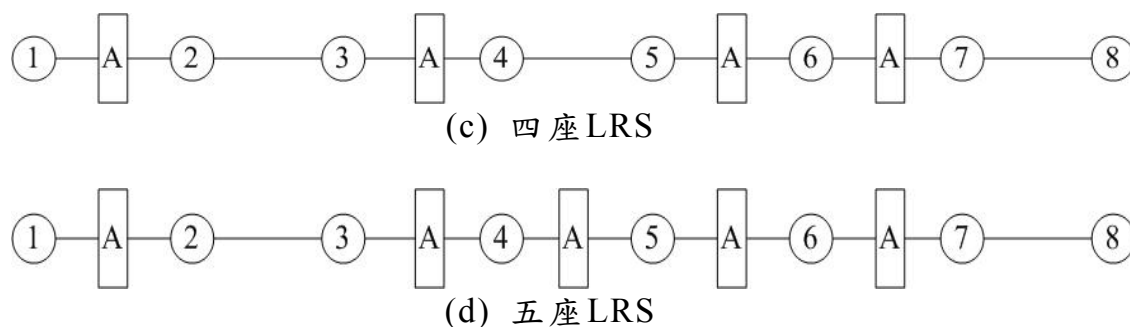


圖 4.2 LRS 之最佳設置區位

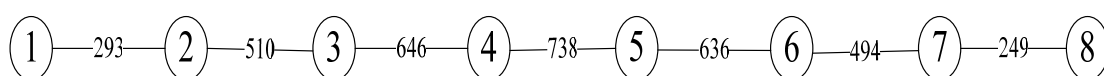


圖 4.3 路段流量統計

## 4.2 大規模

### 4.2.1 資料說明及參數分析

根據上小節所述，證明本模式在尚未加入侵犯用路人隱私程度及成本的情形下，僅考慮反推OD準確性時，與窮舉法比較為一可行之模式，因此在本節中將要以較大規模之範例，並且考慮成本及用路人隱私的侵犯，來驗證在大規模下本模式依然為一可行模式。

本文假設一具有四十二座交流道之高速公路系統(等同中山高速公路之規模)，共計四十個可供選擇設置LRS之區位，並隨機產生一組起迄流量矩陣，如附錄一所示。由附錄知，此問題共有861個起迄流量變數待解。由於本模式之最佳求解目標為在最少之座數之下有最高之反推OD準確率，因此可以數學規劃模式表示如下式：

$$\text{Max } Z = \alpha * \left( \frac{\sum_i \sum_j |T_{ij} - \hat{T}_{ij}|}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \right) + (1-\alpha) [0.5 * (\sum x_k \cdot N) + 0.5 * (\sum x_k \cdot D_n)]$$

(4-1)

$$\hat{T}_{ij} = f(x_k)$$

$$i=1,2,\dots,41; \quad j=1,2,\dots,41; \quad k=1,2,\dots,41;$$

$$\text{s.t.} \quad i > j$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = \sum_k D_k$$

$$i > 0, j > 0, k > 0$$

$Z$ ：最佳之目標值

$\alpha$ ：決策者之偏好參數

$\hat{T}_{ij}$ ：OD對之推估值

$x_k$ ：區位決策變數，若第 $k$ 路段設置LRS則  $x_k=1$ ，否則為0

$D_k$ ：第 $k$ 段路段上之車輛數

由於三項目標正規化後之值都在1~0之間，成本及侵犯用路人隱私程度次數為反向之目標(兩者皆為越少越好)，而反推OD準確率為正向之目標(準確率越大越好)，因此會造成都不設置LRS時目標值 $Z$ 會不斷升高往座數較少方向移動的趨勢(因有兩個反向目標)。此一現象可以將三個目標分別乘上不同權重來避免，但為了簡化模式的運作，所以本文將成本及侵犯用路人隱私次數等兩項目標使之為原值的二分之一，降低此種效果。

而遺傳演算參數及模式初始參數設定如下：

族群數：100

交配率：0.8

突變率：0.02

成熟率：80%

反覆停止條件：指定之世代數執行完畢為止

$\alpha$ 值：0.5

以下分別對於遺傳演算法中之交配率、突變率及族群數進行參數分析。本文並未進行成熟率之分析，因即使達到指定的成熟率仍有可能是因出現早熟之狀況，因此本文採用之停止條件為達到指定之世代數執行完畢為止，如此可藉由突變的過程來確保能尋優至最佳值。表4.3、4.4為交配率與突變率組合，以及族群數變化分析結果：

表4.3 交配率與突變率組合一覽表

交配率	突變率	尋優至最大值所需世代數	Z值
0.7	0.01	79	2.3523
	0.02	17	2.3523
	0.03	82	2.3523
	0.04	109	2.3523
0.8	0.01	22	2.3523
	0.02	29	2.3523
	0.03	20	2.347
	0.04	164	2.3523
0.9	0.01	38	2.347
	0.02	83	2.3523
	0.03	41	2.347
	0.04	67	2.3523

表4.4 族群數變化一覽表

族群數	尋優至最大值所需世代數
50	259
100	128
150	97
200	80

由表4.3、表4.4可知，交配率在0.7及突變率在0.02時能在最少的世代數內尋得最佳之Z值，而族群數在200時也能最快得到最佳Z值，但由於程式執行時間的問題，因此只能退而以母代150代來作為標準參數。後續要進行的在個別LRS座數下之最佳區位分析及情境分析將參照表4.5來加以設定。



表 4.5 調整過之參數一覽表

族群數	150
交配率	0.7
突變率	0.02
成熟率	80%
反覆停止條件	指定之世代數執行完畢為止
$\alpha$ 值	視決策者需求而定

#### 4.2.2 個別座數之下 LRS 最佳區位分析

本節將敘述在個別座數下時，LRS最佳之區位設置。由於設置過多或過少座數之LRS時，將較不符合經濟效益，因此在此節中將只進行設置6座~35座LRS之分析，橫軸代表LRS設置區位，縱軸代表座數，灰色區塊代表有設置LRS之區位，空白則代表無設置，結果如表4.6：





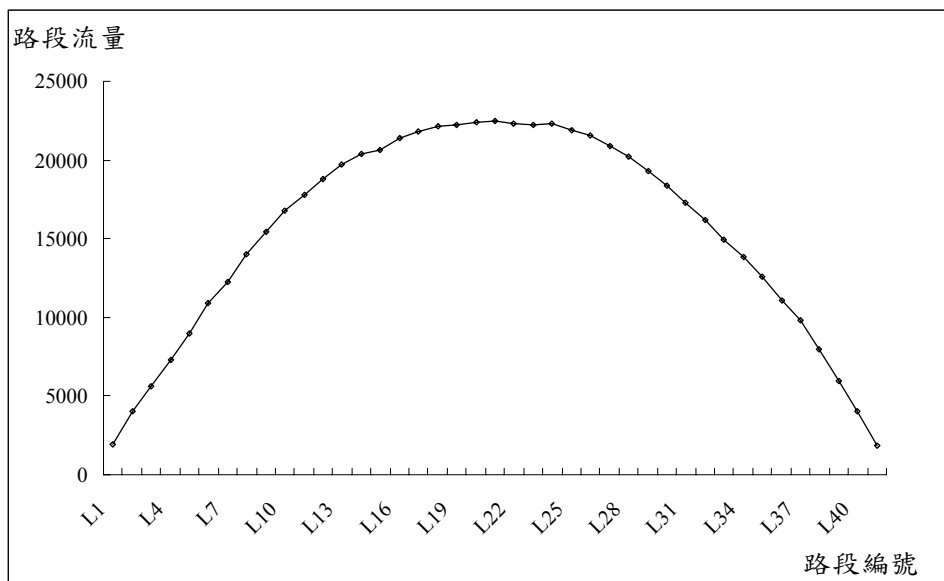


圖 4.3 路段流量曲線圖

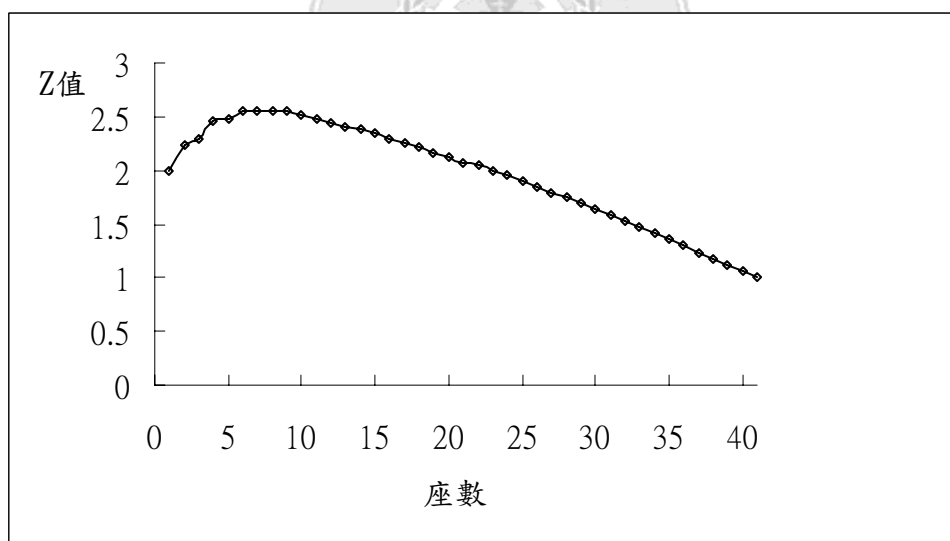


圖 4.4 各 LRS 座數下 Z 值趨勢圖

單一座數下的最佳區位便如表4.6所示。由於本情境OD表設計為隨機，因此是統計成路段流量圖時會中央路段附近流量較高，而兩端流量較低，如圖4.3所示。我們可先根據表4.6個別求出反推OD準確率改善的趨勢，並且我們可以由表4.6中觀察到設置9座LRS以內的區位大致上會先涵蓋流量大的中間路段，並均勻的散佈在高速公路路上；而

過了9座以後，反推OD的改善率遞增的幅度開始減少，LRS的設置便會由高速公路兩端開始設置起(第10座起)，並且我們可以由表看出當每增設一座LRS時，該座數下的最佳區位會與前一座數稍微有點不同，亦即設置 $n$ 座LRS與 $n+1$ 座LRS時，最佳之區位分佈大致上相同，但是會由於座數不同，使得分佈上有些許差異。

由圖4.4可知，在考慮了反推OD準確率、成本及侵犯用路人隱私程度後，單一座數下的最佳 $Z$ 值變化為由2到2.5移動，再由2.5向1移動，此點說明了在本文所假設的流量下，在設置八座之前每設置一座的邊際效用都相當高，可使 $Z$ 值達到極大值，此點是歸因於本文所發展之反推OD準確率方法可在初期做出相當大幅度之改善，因此使 $Z$ 值有大幅升高的效果，並顯示在每一個單一座數的設置下都一定有一組最佳解使得反推OD準確率、成本及侵犯用路人隱私程度三者能達到一最均衡的狀態。

而式(4-1)中的 $\alpha$ 值是一個可以隨著決策者的偏好，或是視實際情況而改變的參數。由於不同座數時，三個目標值在 $Z$ 值中都會佔了不同的比重，並且在決策時有時並不會所有目標都為重要變數，可能只注重一個或兩個目標(例如反推準確率及侵犯用路人隱私程度)，因此我們可對於此兩目標給予較大的權重，進而得到在有加權的狀況下所需要的最少座數及最佳的設置區位分佈，圖4.5及表4.7即為在各個不同 $\alpha$ 值下座數的變動。

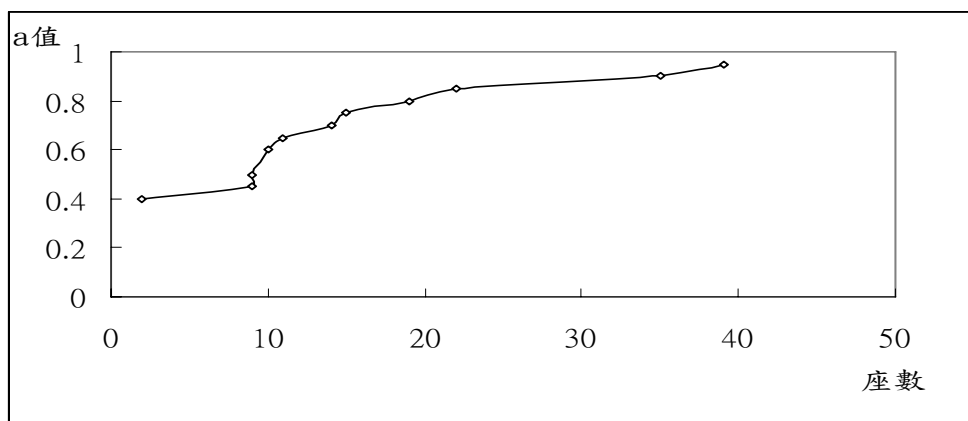


圖4.5  $\alpha$ 值與LRS座數關係圖

表 4.7  $\alpha$  值與 LRS 座數關係表

$\alpha$ 值	0.45	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95
座數	9	9	10	11	14	15	19	22	35	39

### 4.3 敏感度分析

本節旨在對於模式內的三個目標(反推 OD 準確率、成本、侵犯用路人隱私程度)作敏感度分析，以瞭解每增加一座 LRS 時對於 Z 值及各參數的影響程度，圖 4.6、圖 4.7、圖 4.8 為每增加一座 LRS 時，各自的目標值所變化的狀況。

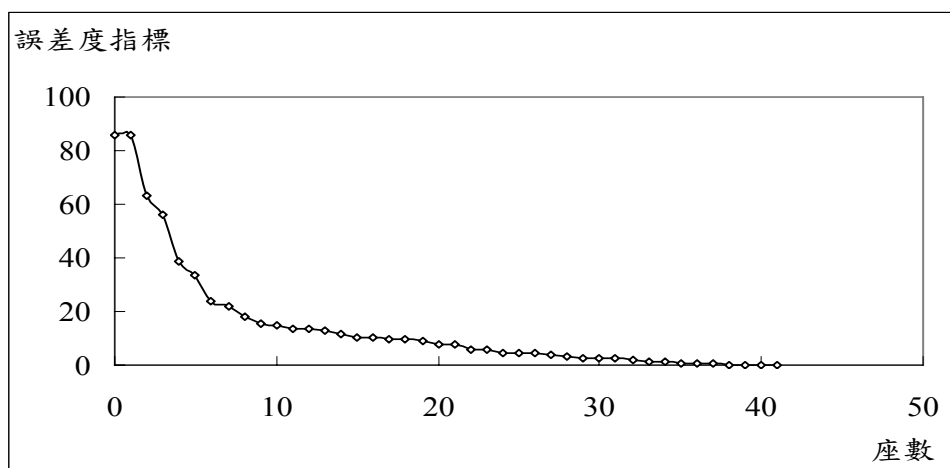


圖 4.6 反推 OD 準確度敏感度分析變化圖

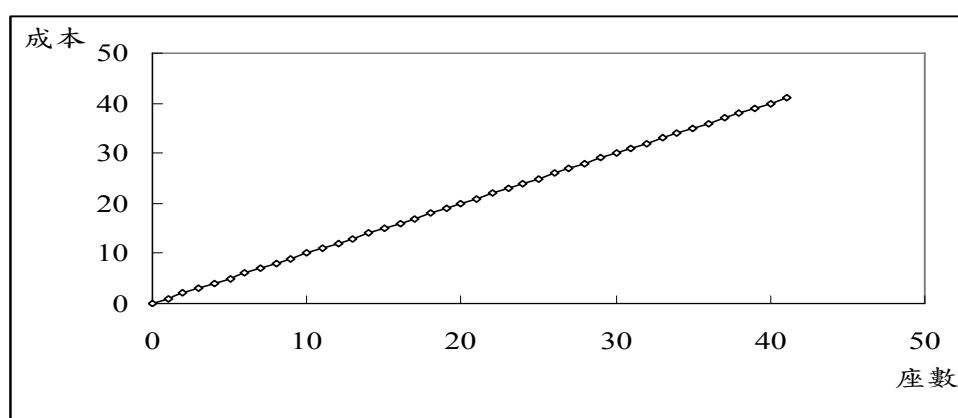


圖 4.7 成本敏感度分析變化

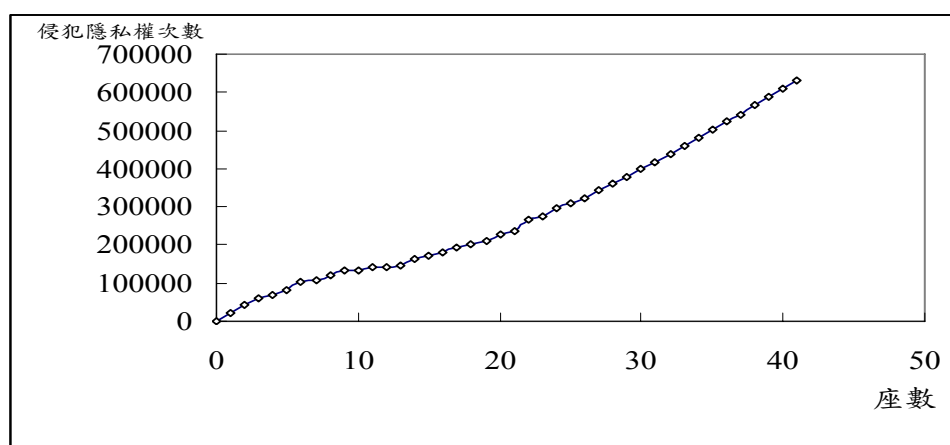


圖 4.8 侵犯用路人隱私次數敏感度分析變化圖

由上三圖可知本模式對於反推OD準確率的影響最為明顯，由圖4.6可以看出此模式在設置八座LRS時已經將誤差度指標改善71.25%，原因如上一小節所述，因LRS設置在流量較高路段因此可得到較多資訊反推OD，但如此便無法使用路人隱私獲得最大之保障，如圖4.8，侵犯用路人隱私曲線幾乎與成本相同，隨著座數上升而被隱私侵犯次數等量增加，若是要改善此一現象，可透過修改權重來尋找不同之區位設置

## 4.4 情境分析

### 4.4.1 情境說明

情境分析主要是增加兩種有別於4.2節之情境，4.2節所分析的情境為高速公路上各OD對的數量為隨機，並各路段流量顯示時為一類似常態分配的流量圖，兩端流量較小而中央路段流量較大如圖4.3。

而本節所要分析之情境有二：

(一) 為高速公路主線兩端流量較大但中央路段流量較小，如圖4.9所示。產生的方式為修改附錄一之OD表，將交流道1至交流道14，以及交流道28至交流道42的OD量各乘以五倍，並且將對角線上的OD量也乘以五倍，便可以得到圖4.9，產生之新OD表如附錄二。將上述三個OD表上的區段乘以五倍的原因是要模擬北部及南部都會區短程OD

量較大之情況，實際上情形並不一定是五倍，僅為了凸顯在流量分佈上在高速公路兩端有近似雙峰之狀況，並研究在此情境下LRS之佈設之狀況，因此設計此一情境，以下簡稱為情境二。

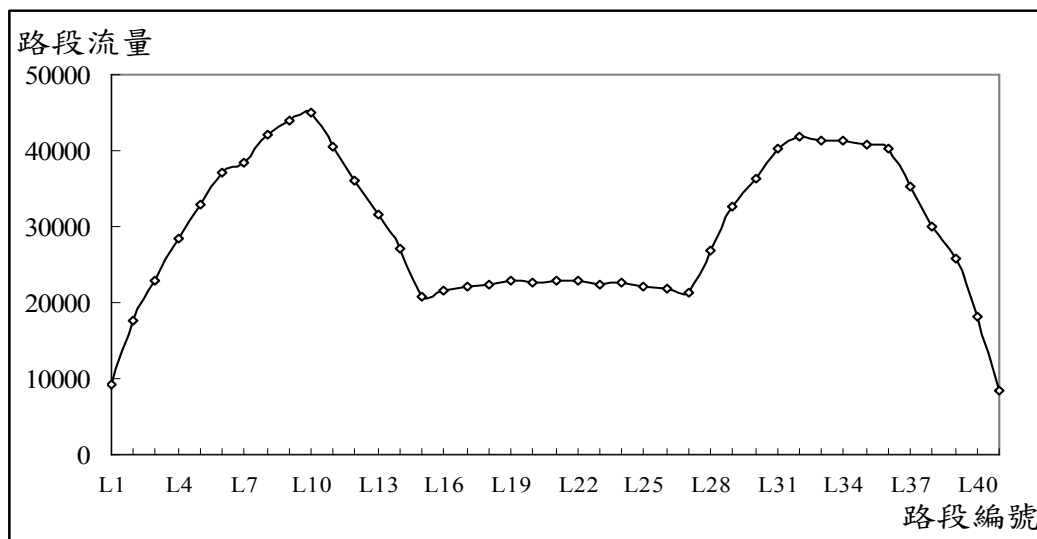


圖 4.9 情境二路段流量曲線圖

(二) 另外隨機產生一 OD 表，將 OD 表中之某些影響路段兩端及中央之區域加以修改，目的為產生一兩端及中央路段皆為高交通量之 OD 表，如圖 4.10 所示。設計此 OD 表的目的是在於模擬北部中部及南部都會區皆出現流量較高之情形，凸顯流量分佈接近三峰的狀態，並研究在此一情境下 LRS 之佈設狀況，以下簡稱此情境為情境三。

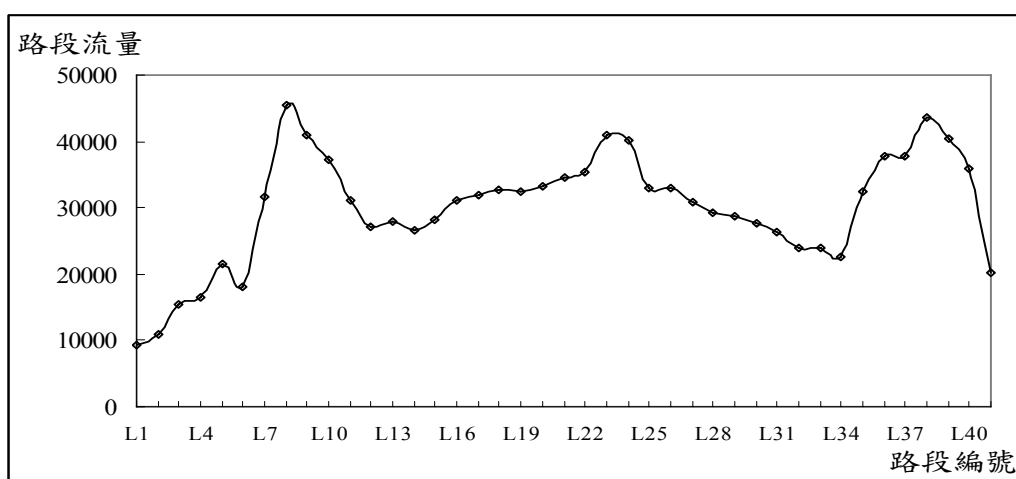


圖 4.10 情境三路段流量曲線圖



#### 4.4.2 分析結果

情境二：

分析時相關參數設定皆參照表4.5之參數設定，演化世代設定為四百代， $\alpha$ 值設定為0.5，表4.8為不同座數下的LRS分佈情況。





## 用於起迄交通量預估之車牌辨識系統區位規劃模式

[illegible]

綜合圖4.9及表4.8，我們可以較4.2節之情境發現一更明顯的事實，LRS的佈設前後端及中端流量最高部分之佈設同等重要，但是會先從高流量路段的兩端優先增設。我們可由圖4.9觀察到路段3及路段15為第一個高流量路段的前端及後端，路段27及路段38為第二個高流量路段之前端及後端，因此在表4.8中LRS設置六座時，便會先由上述路段的前後一兩個路段開始設置LRS，若還要再增設，便會在高流量路段的中端設置，以設置六座時來說，便是設在路段6、10、15、27、31、36等路段，設點的位置皆是在高流量路段的前中後端。

比較4.2節大規模時原始情境所分析出來之結果，接下來的設點方式應以高速公路之兩端開始設置，以偵測長途之旅次，但表4.8中並不完全支持此一結果，設置座數上升時，除了會先往高速公路兩端佈設LRS之外，另外在路段14至路段31(高流量段)之間也會有佈設的需要存在。可能的解釋應為：路段14至路段31雖為高速公路全線的中端，但由於路段流量呈現雙峰狀態，因此路段14至路段31可視為第一高流量路段(路段3至路段15)的後端，也可視為第二高流量路段(路段27至路段38)的前端，如此便能解釋情境二之LRS佈設狀況。

綜合表4.8整體來看，以圖形上的分佈狀況，我們可以發現白點(無設置LRS的區位)所形成的區域剛好與圖4.9之流量圖旋轉180度後的形狀非常相似，表4.8上黑點的區域(有設置LRS的區位)可以對應為圖4.9無流量的部分，而表4.8上白色的區域可以對應為圖4.9有流量的部分。但在表4.8中，並非高流量區域一定就是皆為白色，例如路段4至路段15間之區域為第一高流量區域，而其中又以路段10為流量的最高峰，因此我們觀察到：

- (1)在第一個高流量的區域內，設置20座以內時，除了兩端點之外，大部分都會設置在流量最高的路段上，例如路段10。
- (2)超過20座之後，由於有前後設置之LRS輔助，因此並不一定會設置在流量最高之處，而是設置在流量最高處的前後路段，例如路段9及路段11流量較小之處，原因是在於可以減少用路人

隱私程度的侵犯。

- (3)第二個高流量區域(路段28至路段39)也有類似的情形，由於圖4.9顯示第二個高流量區域的最高流量(路段31至路段36)大致上相同，因此基本上路段31及路段36皆會設置，座數多時只在路段34上增設，原因也是在於在最高準確率下侵犯最少隱私。

由上述可知，表4.8的LRS的設置區位分佈與路段流量圖有種類似相反的關係。而在某些路段，例如只觀察路段10及路段11，路段10及路段11為第一個高流量區域內設置LRS的重點位置，在設置20座之內時，大部分在設置路段10設置LRS；而在設置21座以上時，則大部分都設置在路段11，理論上設置的區位應該要有一致性，換句話說應該都設置在路段10或路段11，因為若是結果不一致的話將會影響增建LRS新區位的不確定性。而造成這種現象的原因可能有二：

- (1)遺傳演算法在某些座數下並未找出最佳解。

- (2)如上段所述，已經為最佳解，但為了減少侵犯用路人隱私的考量，或是與前後LRS設置區位關係的交互影響，因此設置區位出現跳動。

因此以下將試著調整表4.8，調整方式為以主觀判斷，觀察表4.8上之黑色區域，若是在各種座數下明顯LRS都設置在某一路段上，但有部分LRS設置在鄰近路段，此時我們即將此些在附近的LRS改設在我們所指定的路段之上，使LRS的區位分佈上有較高的一致性而非出現許多跳動。例如座數在20座之內時，將路段11上設置的LRS全部移至路段10，及座數在20座以上時，將路段11上之LRS全部移至路段10上，其他路段均依此原則修改，修改結果如表4.9：

表4.9 調整過後之LRS區位表(情境二)

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR S40	LR S41
6																																									
7																																									
8																																									
9																																									
10																																									
11																																									
12																																									
13																																									
14																																									
15																																									
16																																									
17																																									
18																																									
19																																									
20																																									

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR S40	LR S41
21																																									
22																																									
23																																									
24																																									
25																																									
26																																									
27																																									
28																																									
29																																									
30																																									
31																																									
32																																									
33																																									
34																																									
35																																									

考慮本模式綜合考量OD反推誤差率、成本及侵犯用路人隱私程度，因此可根據表4.9重新計算Z值，並與表4.8中最佳區位的值比較，藉此判斷遺傳演算法所求出Z值的正確性。各座數Z值的比較表如下：

表4.10 情境二Z值變動比較表

座數	原始Z值	修改後Z值	變動百分比
6	2.3734	2.3734	0%
7	2.3731	2.3731	0%
8	2.3597	2.3597	0%
9	2.3505	2.3505	0%
10	2.3295	2.3295	0%
11	2.3027	2.3040	0.056455%
12	2.272	2.2691	-0.12764%
13	2.2415	2.2410	-0.02231%
14	2.2062	2.2083	0.095186%
15	2.1685	2.1574	-0.51187%
16	2.1314	2.1294	-0.09384%
17	2.0920	2.0895	-0.1195%
18	2.0535	2.0449	-0.4188%
19	2.0121	2.0014	-0.53178%
20	1.9706	1.9686	-0.10149%
21	1.9304	1.9284	-0.10361%
22	1.8922	1.8909	-0.0687%
23	1.8513	1.8500	-0.07022%
24	1.8100	1.8087	-0.07182%
25	1.7668	1.7630	-0.21508%
26	1.7246	1.7208	-0.22034%
27	1.6844	1.6832	-0.07124%
28	1.6407	1.6773	2.230755%
29	1.5962	1.5950	-0.07518%
30	1.5483	1.5483	0%
31	1.5031	1.5031	0%
32	1.4560	1.4560	0%
33	1.4085	1.4085	0%
34	1.3608	1.3608	0%
35	1.3123	1.3123	0%



由表4.10可推論出兩點：

- (1) 假設原始求出之LRS區位分佈(即表4.8之結果)為近似最佳解，由表4.10可證實此一假設，因大部分改變後之區位所得之Z值皆比原始區位之Z值小，僅設置11座及設置28座時的Z有改進，因此我們可以說表4.8所求之區位修正11及28座的區位之後便為我們所要求的最佳區位。
- (2) 由表4.10可知，雖然表4.8所求出之區位大部分皆優於表4.9，但相差的幅度非常的小，相差最大的也僅有0.53%(19座時)，而且在實務上來說，表4.9較表4.8可行性高，因表4.9之設置區位較為一致，並且表現出來之績效幾乎相同，因此在實務上之設置應以表4.9為準。

而單純就反推OD的準確度指標來說，如圖4.11，由於設置LRS的原則與4.2節一致，會從高流量路段的兩端及中端開始設置，因此在準確度指標上，設置八座時改善的幅度為74.82%，顯示在初期就有相當大的改善。因此在此兩情境中，若是在適當之區位設置LRS，道路流量分佈之形式並不影響反推OD的準確性。

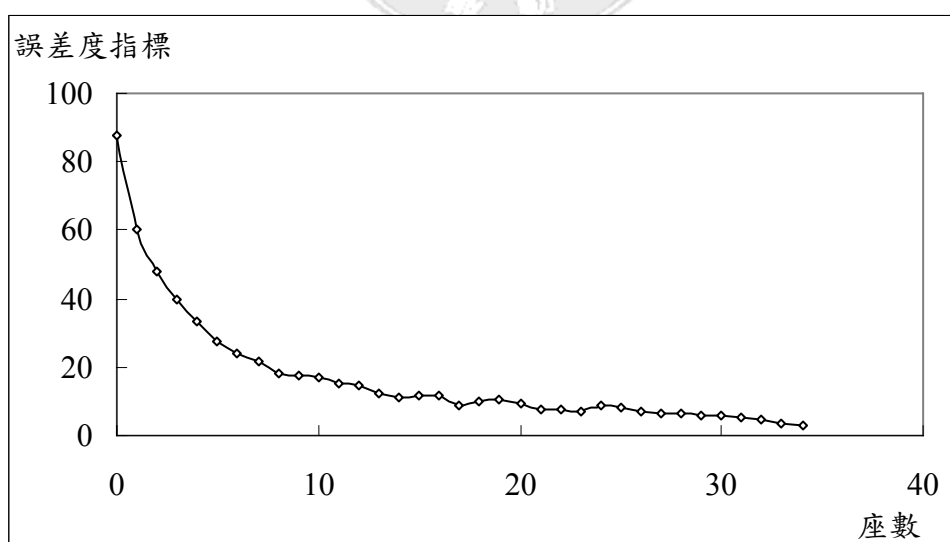


圖 4.11 反推 OD 準確度變化圖(情境二)

**情境三：**

分析時相關參數設定皆參照表4.5之參數設定，演化世代設定為四百代， $\alpha$ 值設定為0.5，表4.11為不同座數下的LRS分佈情況。



表4.11 LRS分佈位置表(情境三)

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR S40	LR S41
6																																									
7																																									
8																																									
9																																									
10																																									
11																																									
12																																									
13																																									
14																																									
15																																									
16																																									
17																																									
18																																									
19																																									
20																																									



情境三所設計的路段流量分佈為一近似三個峰態分佈的流量，因此在此 LRS 的設置區位上應有與原始情境及情境二不同的分佈。從表 4.11 及圖 4.10 來看，表 4.11 所表現出來的設置 LRS 區位的形式與情境二並不相同，而是隨著圖 4.10 的路段流量分佈，並且有如情境二所推論的結果一般，分佈狀況會與路段流量圖上的流量曲線有近似顛倒的情況發生。

而在設置狀況上來說，由於有三個流量的高峰，因此根據前文所做的推論，首先考慮設置的路段應該為三個高峰的中心及三個高峰的兩側，由表 4.11 可以看出座數 6 座時設置的區位為路段 1、5、8、14、34、38，但是在中部路段的尖峰並無設置，因此增設一座時(共七座)便設置在路段 22，與情境二所做的推論一致。

在此情境之下的三個高流量路段區域為路段 6 至路段 12、路段 16 至路段 30 及路段 34 至路段 41。可以觀察到 LRS 設置的分佈除了上段所述已設置的路段之外，增加座數時也會從高流量路段區域的兩端開始加設。以第一高流量路段(6~12)來說，理論上會從路段 1~5 及路段 12 之後開始增加，但是由於路段 1~5 間還有一個較不明顯的高峰，因此會先順著路段 1~5 間的流量下去佈設，由此也可看出本模式對於較小規模的流量也有足夠的敏感度。而在第二高流量區域及第三高流量區域則需要設置較多 LRS 後才能看得出明顯的趨勢，以表 4.10 來說，在設置 20 座之前並無明顯”將 LRS 設置在高流量區域兩端”的趨勢，而在設置 20 座之後，即顯著出現此種趨勢，因此在情境三下所表現出之設置原則與情境二及 4.2 節的原始情境相同。

同樣的，本研究也試著修改表 4.11，修改方式如同表 4.9，修改的目的為希望檢驗表 4.11 的正確性，並且找出一在實務上較為可行的設置區位，原始 Z 值與修改後之 Z 值比較結果如表 4.12：

表4.12 情境三Z值變動比較表

座數	原始Z值	修改後Z值	變動百分比
6	2.4419	2.4419	0%
7	2.4481	2.4481	0%
8	2.436	2.4329	-0.12726%
9	2.4122	2.4128	0.024874%
10	2.3937	2.3906	-0.12951%
11	2.3667	2.3636	-0.13098%
12	2.3344	2.3313	-0.1328%
13	2.3016	2.2985	-0.13469%
14	2.2681	2.2601	-0.35272%
15	2.2332	2.2252	-0.35823%
16	2.1959	2.1957	-0.00911%
17	2.1599	2.1597	-0.00926%
18	2.1186	2.1184	-0.00944%
19	2.0769	2.0767	-0.00963%
20	2.0348	2.0347	-0.00491%
21	1.9913	1.9911	-0.01004%
22	1.9466	1.9441	-0.12843%
23	1.9007	1.8982	-0.13153%
24	1.8545	1.8520	-0.13481%
25	1.8076	1.8051	-0.1383%
26	1.7603	1.7578	-0.14202%
27	1.7129	1.7105	-0.14011%
28	1.6652	1.6629	-0.13812%
29	1.6169	1.6169	0%
30	1.5681	1.5681	0%
31	1.5190	1.5190	0%
32	1.4697	1.4697	0%
33	1.4197	1.4197	0%
34	1.3699	1.3699	0%
35	1.3189	1.3189	0%

在表 4.12 中僅座數為 9 座時修改過後 Z 值比原始 Z 值大，其餘皆小於原始 Z 值，此現象說明兩點：

- (1)原始 Z 值可能已經為最佳解，因此修改過後 Z 值不會大於原始值，但若是嘗試不同區位組合有可能再提升 Z 值。

(2)不論原始  $Z$  值是否為最佳解，由於修改過後兩者差異幅度非常小，因此若是實際上裝設時，應以修改過後之 LRS 分佈區位為主，可達到較佳之設置效果。

以上之分析結果都為綜合考慮三個目標值所得的結果，若是僅考慮其中一目標值時，有可能會得到不同的區位

小結：

綜合 4.2 節及 4.4 節，我們可以發現在設置 LRS 時首先需得知的資訊就是路段的流量分佈狀況，因流量狀況影響設置區位甚巨。普遍認知為流量越多之路段區域越需密集裝設 LRS 來提高 OD 的偵測率，但以 4.2 節及 4.4 節之分析結論來看，除了高流量之路段必須裝設之外，高流量路段的兩端路段也必須裝設才能達到完整的效果，可避免僅偵測到短途之高流量 OD 的缺點。



## 第五章 實例應用

### 5.1 實例範圍及參數設定

本章所要探討的是在實際的高速公路上，設置LRS的最佳區位分析。所採用的資料是民國84年高速公路流量調查時的資料，調查項目包括如下：

- 1、各交流道進出匝道車輛車牌號碼之登錄。
- 2、各收費站通過車輛車牌號碼之抄錄。
- 3、各交流道間主線之交通量調查。

而調查的範圍為高速公路全線，由於人力及經費因素僅調查部分路段，剩餘路段之起迄量由反推OD之方法求得。而各交流道名稱及編號，以及交流道間之路段編號及長度如表5.1；路段流量圖如圖5.1；而實際上之OD表則如附件三。而遺傳演算法之相關參數皆與情境分析時相同。



表 5.1 交流道名稱、編號及路段編號、長度一覽表

交流道編號	交流道名稱	路段編號	路段長度
1	基隆端		
2	基隆交流道	L1	1
3	八堵交流道	L2	4
4	五堵交流道	L3	7
5	汐止交流道	L4	2
6	內湖交流道	L5	6
7	圓山交流道	L6	8
8	台北交流道	L7	5
9	三重交流道	L8	5
10	五股交流道	L9	14
11	林口交流道	L10	15
12	桃園交流道	L11	18
13	機場系統	L12	7
14	內壢交流道	L13	11
15	中壢交流道	L14	13
16	幼獅交流道	L15	10
17	楊梅交流道	L16	14
18	湖口交流道	L17	18
19	新竹交流道	L18	16
20	頭份交流道	L19	11
21	苗栗交流道	L20	7
22	三義交流道	L21	6
23	豐原交流道	L22	1
24	大雅交流道	L23	4
25	台中交流道	L24	6
26	王田交流道	L25	2
27	彰化交流道	L26	8
28	員林交流道	L27	3
29	西螺交流道	L28	5
30	斗南交流道	L29	2
31	大林交流道	L30	12
32	嘉義交流道	L31	22
33	水上交流道	L32	17
34	新營交流道	L33	4
35	麻豆交流道	L34	9
36	永康交流道	L35	19
37	台南交流道	L36	10
38	路竹交流道	L37	6
39	岡山交流道	L38	15
40	楠梓交流道	L39	8
41	高雄交流道	L40	11
42	高雄端	L41	11

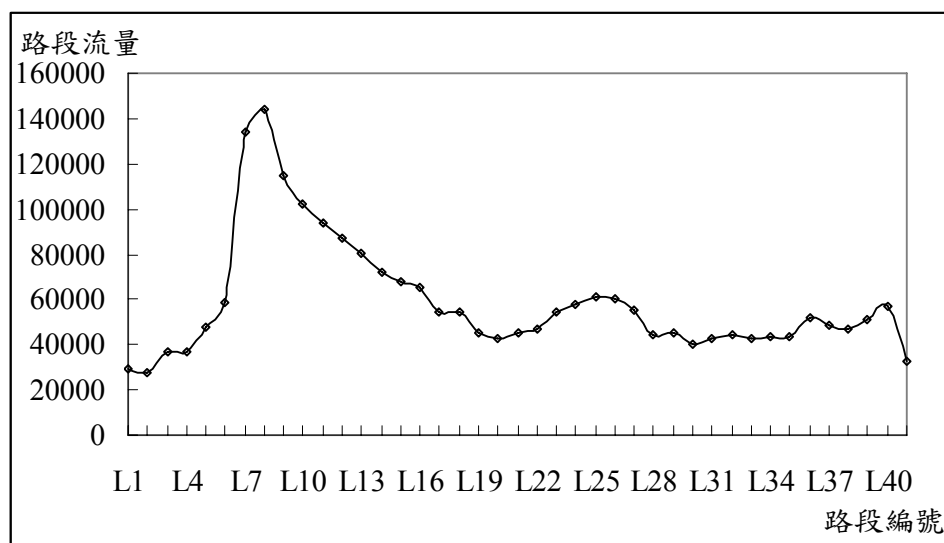


圖 5.1 中山高北上路段流量圖

## 5.2 實例結果分析

根據圖5.1，中山高速公路實際之路段流量分佈為北部車流量高於中南部甚多，大約是從內湖圓山一帶至新竹湖口，為交通流量較為集中之處，尤其以台北交流道至三重交流道間之路段(L8)交通量達到顛峰，過了新竹之後路段交通量便開始呈現起伏。而台中及高雄附近路段便如所預期的流量稍大，但並不如北部路段在流量圖上有如此明顯之波峰。

而我們便可根據此種流量分佈做出個別LRS座數下最佳設置區位之分析，如表5.2：

表5.1 LRS分佈位置表(中山高)

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR S40	LR S41
6																																									
7																																									
8																																									
9																																									
10																																									
11																																									
12																																									
13																																									
14																																									
15																																									
16																																									
17																																									
18																																									
19																																									
20																																									

用於起迄交通量預估之車牌辨識系統區位規劃模式

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR S40	LR S41	
21																																										
22																																										
23																																										
24																																										
25																																										
26																																										
27																																										
28																																										
29																																										
30																																										
31																																										
32																																										
33																																										
34																																										
35																																										

由圖 5.1 可看出實際上有有一個最明顯的高流量區域，即 L5~L20，還有兩個較不明顯但流量也較高的區域 L22~L28 及 L36~L41，因此在設置 LRS 的區位上來說，應該在第一高流量區域的兩端會有較多 LRS 設置的趨勢，亦即 L5 之前及 L20 之後。而由表 5.1 可以看出在設置 20 座之前此趨勢較不明顯，而在設置 20 座之後便有較明顯的設置趨勢。而對於中南部路段的兩個高峰來說，也是在設置 20 座後才有較明顯的”會設置在高流量路段兩端”的趨勢，即 L28~L35 會設置較多之 LRS。

而以最經濟的設置數量來說，考慮了反推 OD 準確率、成本及侵犯用路人隱私程度後，單一座數下的最佳 Z 值變化為由 2 到 2.38 移動，再由 2.38 向 1 移動，效用最高的 Z 值 2.38 出現在座數為七座時，此點說明了在本文所假設的流量下，在設置七座之前每設置一座的邊際效用都相當高，可使 Z 值達到極大值。可是實務上在設計時不會只設置七座，因此最佳之 Z 值為綜合考慮三個目標值後之最佳結果，實際上可能會就某一特定目標(例如反推 OD 準確率)來進行最佳設置位置評估。

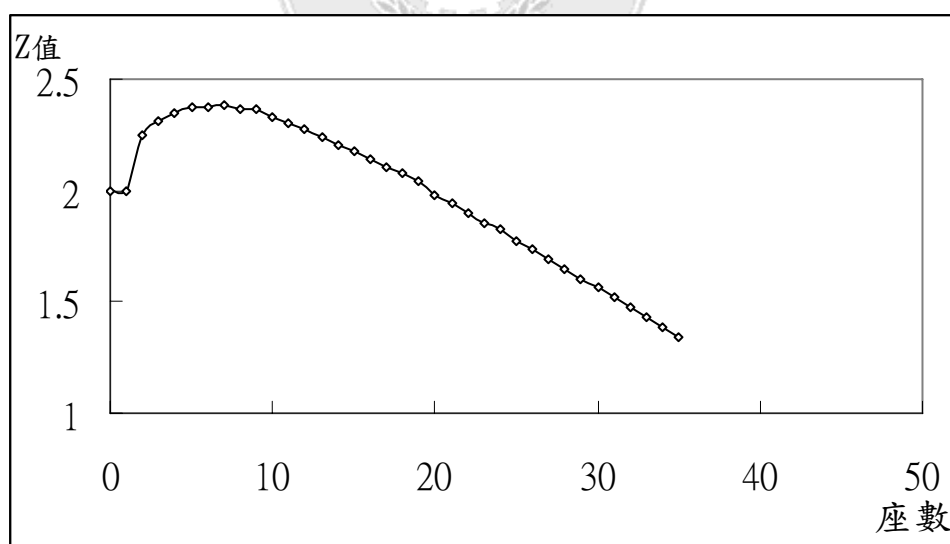


圖 5.2 各 LRS 座數下 Z 值趨勢圖

而在實際上應用的部分，雖然表 5.1 的 LRS 設置分佈狀況還是遵循著第四章的推論，在高流量的兩端需設置較多的 LRS 的情況，但在

設置 20 座以內時設置區位仍然有些許跳動的情況發生，此點便如第四章所述，可能為 GA 並未完全找出最佳解，或是資料本身限制影響結果。不過假設表 5.1 已為最佳解的情況下，在實際佈設上是有困難的，因此本研究將之整理成表 5.2，根據表 5.2 重新計算 LRS 區位修改過後之 Z 值，並與原始 Z 值比較如表 5.3，藉以瞭解表 5.1 是否為最佳區位。



表5.2 修改後LRS分佈位置表(中山高)

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR S40	LR S41
6																																									
7																																									
8																																									
9																																									
10																																									
11																																									
12																																									
13																																									
14																																									
15																																									
16																																									
17																																									
18																																									
19																																									
20																																									

	LR S1	LR S2	LR S3	LR S4	LR S5	LR S6	LR S7	LR S8	LR S9	LR S10	LR S11	LR S12	LR S13	LR S14	LR S15	LR S16	LR S17	LR S18	LR S19	LR S20	LR S21	LR S22	LR S23	LR S24	LR S25	LR S26	LR S27	LR S28	LR S29	LR S30	LR S31	LR S32	LR S33	LR S34	LR S35	LR S36	LR S37	LR S38	LR S39	LR 40	LR S41	
21																																										
22																																										
23																																										
24																																										
25																																										
26																																										
27																																										
28																																										
29																																										
30																																										
31																																										
32																																										
33																																										
34																																										
35																																										



表 5.3 中山高 Z 值變動比較表

座數	原始 Z 值	修改後 Z 值	變動百分比
6	2.3786	2.3774	-0.05045%
7	2.3802	2.3760	-0.17646%
8	2.3692	2.3562	-0.54871%
9	2.3553	2.3363	-0.80669%
10	2.3282	2.3153	-0.55408%
11	2.3054	2.3026	-0.12145%
12	2.279	2.2789	-0.00439%
13	2.2378	2.2427	0.218965%
14	2.207	2.2118	0.21749%
15	2.1761	2.1752	-0.04136%
16	2.1391	2.1617	1.056519%
17	2.1031	2.1022	-0.04279%
18	2.0812	2.0637	-0.84086%
19	2.0429	2.0204	-1.10138%
20	1.98	1.9809	0.045455%
21	1.9446	1.9428	-0.09256%
22	1.902	1.8928	-0.4837%
23	1.8549	1.8515	-0.1833%
24	1.828	1.8181	-0.54158%
25	1.7769	1.7504	-1.49136%
26	1.7346	1.7346	0%
27	1.6928	1.6923	-0.02954%
28	1.6499	1.6497	-0.01212%
29	1.6061	1.6067	0.037358%
30	1.5637	1.5637	0%
31	1.5203	1.5203	0%
32	1.4757	1.4757	0%
33	1.4303	1.4303	0%
34	1.3846	1.3846	0%
35	1.3385	1.3385	0%

表 5.2 產生的方式如第四章所述，將較不集中的 LRS 集中在明顯可以看出集中趨勢的區位上，然後產生修改過後之 Z 值並與原始 Z 值比較，如表 5.3。由表 5.3 可以看出此種方式所產生的 LRS 新區位大部分都較原始區位效果差，因此代表原來以 GA 所搜尋之區位幾乎都

已經為最佳區位，但在路段 13、16、20、29 上經修改後反而效果更好，代表此四路段當初並未搜尋到最佳值。

而由表 5.3 可以看出雖然修改過後之設置效果並不如原始區位，但實際上佈設卻會變的容易許多，而且由於是隨著明顯的設置集中趨勢修改，設置效果差異並不大，差異最大值僅有 1.49%，因此若是實際佈設時，便可依照此一原則佈設。

而如同 4.2 節所述在目標式中有一  $\alpha$  值可以隨決策者的偏好，或是視實際情況而改變的參數。由於實例驗證所得到之最佳結果為七座，設置七座時反推 OD 準確率僅能達到 35.84%，雖說這是綜合考慮三個目標值後的結果，但在實際上我們會希望反推 OD 的準確率能高些，因此我們可以藉著改變  $\alpha$  值，使準確率的在模式中能佔較高的比重，並且在此準確率下對於侵犯用路人隱私程度的侵犯狀況，表 5.4 即為在各個不同  $\alpha$  值下座數的變動。

表 5.4  $\alpha$  值與座數、準確率及侵犯用路人隱私程度關係表

$\alpha$ 值	座數	反推 OD 準確率	侵犯用路人隱私程度比例
0.3	6	32.56%	16.4%
0.35	7	35.84%	19.64%
0.4	8	39.05%	20.17%
0.45	8	39.29%	22.1%
0.5	10	50.91%	27.19%
0.6	11	56.92%	28.83%
0.65	12	57.21%	30.91%
0.7	15	61.52%	38.91%
0.75	16	65.66%	41.46%
0.8	18	68.01%	45.03%
0.85	19	71.91%	47.89%
0.9	24	80.83%	62.66%
0.95	29	90.84%	75.43%

由表 5.4 可以看出在  $\alpha$  值越高時所需要設置之 LRS 越多，而在反推 OD 準確率方面可以看出  $\alpha$  值在 0.5 以內時，反推 OD 的準確率都偏低，造成這種現象的原因是因為除了設置位置的影響外，每增加一座 LRS，求解方程式便會遞增，因此座數越多越準。 $\alpha$  值上升到 0.9 之後反推 OD 準確率已可上升到 80.83%，而此時的設置座數為 24 座，但是也有 62.66% 的旅次被偵測到。

另外由於權重( $\alpha$  值)不同，不但會影響設置 LRS 之座數，在相同座數之下有變動  $\alpha$  值及不變動  $\alpha$  值時的設置位置也會有些許差異，原因是用路人隱私及反推誤差率之互相影響。例如  $\alpha$  值為 0.95 時設置座數為 29 座，但個別座數分析下 29 座時的區位便會與  $\alpha$  值為 0.95 時的區為稍微有點差異， $\alpha$  值為 0.95 時的區位較為注重反推 OD 誤差率，在路段流量較高的路段會設立較多 LRS，與原始 29 座時會因用路人隱私問題而避開最高流量路段改設置在第二高流量或第三高流量路段不同。因此我們可以推測若是  $\alpha$  值為 1，在做個別座數下之流量分析時會優先在最高流量路段設置結束後再往兩端設置。



## 第六章 結論與建議

由於高速公路之 OD 資料一直是交通管理措施及交通設施設置的重要參考資料，因此能方便正確的收集到此一資訊為一重要課題。過去皆需要大量人力時間進行調查，但近幾年來發展了電子收費及車牌影像辨識系統(LRS)來節省人力物力時間。車牌辨識系統為一透過 CCTV 拍攝車牌後自動辨識車牌以利後端進行執法及扣款之系統。本研究主要是針對高速公路裝設車牌辨識系統之後，對於反推 OD 準確率的提升、減低設置成本及減少侵犯用路人的隱私進行研究，並且在此三目標之下選擇最佳 LRS 設置區位。

本研究假設一組小規模的 OD 矩陣，及兩組大規模的 OD 矩陣，用來對照反推 OD 之精確度，並假設每座 LRS 設置成本皆為相同，在侵犯用路人隱私程度部分，則是假設被一座 LRS 偵測到就算被侵犯一次隱私。而在研究方法上，反推 OD 採用 Robillard 所建立的比例指派流量推估模式，此方法之優點為操作簡便，不需繁瑣的計算過程，同時配合遺傳演算法在區位選擇問題上的尋優能力，來尋找高速公路設置車牌辨識系統之最佳區位。本研究對於固定座數下設置 LRS 的原則提出建議，並可以決策者對於此三項目標的重視程度或實際狀況需要來推估出所需座數及適合之區位，提供未來設置時之參考茲就本研究所得之幾點結論與建議，分述如下：

### 6.1 結論

- 一、由於 LRS 系統造價並不高昂，因此若是主線上每一路段皆設置 LRS 成本並不會太過昂貴，也可完全偵知所有的 OD，但由於用路人隱私的考量，因此必須有限度的裝設，以最少的座數達到最準確的效果。因此為使車牌辨識系統發揮最大功效，本模式除了考慮兩兩 LRS 偵測到之起迄對外並且另外考慮僅通過一座 LRS 時之車流量，如此可增加流量方程式以增進反推準確率。
- 二、本文共建立四組情境，分別之分析結果如下：
  - (一)規模小時—以八座交流道為例(不考慮成本及侵犯用路

人隱私)：

規模小時，全線至多可設置七座 LRS，所有可行解之數量為  $2^7=128$  組，因此可求得最佳解，解的結果顯示，相同座數之下由於設置的區位不同反推 OD 誤差率也相差甚大，誤差率相差的範圍在 5%~11% 之間；且以設置的區位來看，需先從兩端開始佈設會達到較好之偵測效果。

(二)原始情境：規模大時，共有 42 座交流道，路段流量為中央路段流量較大，而路段兩端流量較小：

(1)純粹就反推 OD 準確率來看，由於方法上的限制，完全不設 LRS 時準確率僅有 34.21%，而設置至八座時便已經可以將準確率提升到 55.11%，同時設置此八座的位置也可將侵犯用路人隱私程度降到最小，為一較佳之設置區位。

(2)以區位選擇的趨勢來看，在設置 LRS 時，需先從流量較大之路段開始設置起(中央路段)，並均勻的分佈在高速公路上，但一旦過了某一座數之後(以本文來說是八座)，便需要從兩端開始設置，再往中央集中，如此能達到比較好的偵測效果。

(三)情境二：規模大時，有 42 座交流道，但路段流量則是兩端流量較大，中央路段流量較小：

由於此情境的路段流量形式為主線之前端及後端路段流量較大，為高流量區，中端流量較小，因此 LRS 佈設時會先在兩個流量較大的路段的前後中端先設置，又第一高流量區之前端於第二高流量區之後端重疊，因此這種情境之高速公路中端及前後端為重點設置區域。由兩種大規模但流量分佈不同的情境可知，佈設 LRS 時的原則為先從高流量路段區的兩端及中端先行佈設，再視剩餘路段的流量及侵犯用路人隱私程度等考量排出佈設之順序，如此便可達成最佳區位之目標。

(四)情境三：規模大時，有 42 座交流道，路段流量為兩端及中央路段流量較高，類似三峰狀態分佈。

此情境佈設 LRS 的原則如同前兩個情境，必要的 LRS 設置完成之後，便會由高流量的兩端開始增加，由表 4.11 可看出此一趨勢，並且此表也明顯的顯示設置區位的分佈與流量圖曲線有類似相反的關係。

- 三、由 Z 值趨勢圖可知，上述之大規模情境最經濟之設置座數都在 6~9 座之間，但由於 Z 值為一綜合考量反推 OD 準確率、成本及侵犯用路人隱私程度的值，因此若是要單獨提升某一目標(例如準確率)之值，便必須再增設 LRS。
- 四、在實例應用方面，根據中山高流量資料所製成的 LRS 分佈位置表設置規則與情境分析時一致，最經濟的設置數量為 7 座，而修改區位分佈表後所降低的效果的最大也僅有 1.49%，因此可以照修改過後之表來進行佈設。而若是僅考慮 OD 反推準確率時，設置至 24 座時準確率可以上升到 80.83%。

## 6.2 建議

- 一、在模式的建構方面，由於為了計算方便，因此在反推 OD 的演算法上選擇 Robillard 所建構之演算法，但由於在 Robillard 之後又發展出許多更為精準之反推 OD 演算法例如最小平方法等，因此建議後續研究者可選擇其他之演算法來結合 GAS 做更精準之推估。
- 二、本研究僅建立三種情境來與原始情境做比較，驗證設置區位與流量之關係，建議未來可嘗試不同的路段流量分配，或以國外高速公路流量資料分析，輔以驗證本模式之有效性。
- 三、本模式所採用之目標式採用簡單加權法來計算，但實際上之狀況並不一定為此種關係，因此建議後續研究者可修改模式之目標式，使之更符合實際情況，或許可得出效果更加之解。
- 四、本研究所採用之遺傳演算法由於問題規模龐大，因此執行速度較慢，需花較長時間，因此在參數的設定上可嘗試更多的組合，或是在基因選擇機制的設定上也應嘗試多種方式。另外在流量方程式的產生上應該也有較為簡單的方式，後續可

以研究較為簡便的方式以利編碼的進行加快程式執行速度。

五、可以嘗試以其他啟發式解法，例如模擬退火法來取代遺傳演算法，測試其他的演算法是否能在求解品質及時間上優於遺傳演算法。



## 參考文獻

1. 陳齊邦，「高速公路動態旅行時間與旅次起迄推估之研究」，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國93年。
2. 林宏晉，「不確定因素考量下之都市鄰里公園區位選擇研究」，朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文，民國92年。
3. 廖鴻圖、邱孟佑、陳詩雅，「動態車牌辨識系統之研究」，「資訊、科技與社會」學報，中央警察大學 第75-86頁，民國90年。
4. 廖珉鋒，「動態起迄旅次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89年。
5. 林楨家、馮正民，「都市計畫草圖替選方案分析模式之實例研究」，交通運輸第十七卷，第193-162頁，民國87年。
6. 曾國雄、邱裕鈞、許書耕，「主線柵欄式收費站最佳區位遺傳演算尋優法與逐步搜尋法之比較分析」，中國土木水利學刊，第九卷第一期，第171~178頁，民國86年。
7. 卓訓榮、陳信雄，「使用路網資訊於FISK旅次矩陣估計模式之研究」，運輸計畫季刊，第二十一卷第四期，第432-436頁，民國81年。
8. 蔚台昌，「專題報導」，航港EDI網站，<http://www.mtedi.org.tw/index.htm>。
9. 許平和、林從遠、龍天立、張學孔，「高速公路旅次起迄矩陣推估模式適用性分析」，中華民國運輸學會第七屆論文研討會，第707-721頁，民國81年。
10. 蔡麗敏，「廢輪胎處理廠區位指派與運送路線選擇之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國89年。
11. 江勁毅，「動態路段流量推估動態O-D方法之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國83年。
12. Ashok, K. and Ben-Akiva, M., "Alternative Approaches for Real-Time Estimation and Prediction of Time-Dependent Original-Destination Flows," Transportation Science, Vol 34, pp. 21-36, 2000.



13. Bell, M.G.H., "The Estimation of an Origin-Destination Matrix from Traffic Counts ", *Transportation Science* 17, NO.2, pp.198-217, 1983.
14. Bell, M.G.H., "The Estimation of an Origin-Destination Matrix by Constrained Generalised Least Squares ", *Transportation Research* 25B, NO.1, pp.13-22, 1991.
15. Conway, D.G., and M.A. Venkataramanan, "Genetic search and the dynamic facility layout problem ," *Computer and operation Research*, Vol.21, No.8 pp.955-960, 1994.
16. Cascetta, E., "Estimation of Trip Matrices from Traffic counts Data and Survey Data: a Generalized Least Square Estimator ", *Transportation Research* 18B. No. 4/5. pp.289-299, 1984.
17. Chang G.L. and Wu J., "Recursive Estimation of Time-Varying Origin-Destination Flows from Traffic Counts in Freeway Corridors," *Transportation Research*, 28B, pp.141-160., 1994.
18. Cremer, M and Keller, H. , "A New Class of Dynamic Methods for the Identification of Origin-Destination Flows", *Transportation Research* 21B. No. 2. pp.117-132, 1987.
19. Cascetta E. and Nguyen S., "A Unified Framework for Estimating or Updating Origin/Destination Matrices from Traffic Counts," *Transportation Research*, 22B, 437-455, 1988.
20. Erlander S., "Accessibility, Entropy and the Distribution and Assignment of Traffic", *Transportation Research* 11, pp. 149-153, 1977.
21. Fisk C.S. and Boyce D., "A Note on Trip Matrix Estimation from Link Traffic Count Data", *Transportation Research*, 17B, pp.245-250, 1983.
22. Fisk C.S., "On Combining Maximum Entropy Trip Matrix Estimation with User Optimal Assignment," *Transportation Research*, 22B, pp.66-79, 1988.
23. Houck, C.R., Joines, J.A., Kay, M.G., "Comparison of Genetic

- Algorithms, Random Restart and Two-opt Switching for Solving Large Location-allocation Problems,” Computers and Operations Research, Vol.23, No.6, pp.587-596 ,1996.
24. Hazelton M.L., “Estimation of Origin-Destination Matrices from Link Flows on Uncongested Networks,” Transportation Research, 34B, 549-566, 2000.
25. Jaramillo, J.H., Bhadury, J. and Batta, R., “On the Use of Genetic Algorithms to Solve Location Problem,” Computers and Operations Research, Vol. 29, pp.761~779, 2002.
26. Jasmit, S.K., Bryce T.F. and Sunderesh, S.H., “Hope: A Genetic Algorithm for the Unequal Area Facility Layout Problem,” Computers and Operations Research, Vol. 25, pp.583~594, 1998.
27. Los M. and Nguyen S., “Solution Algorithm for a Combined Residential Location and Transportation Model”, Environment and Planning A, Forthcoming, 1983.
28. Okutani I. and Stephanedes Y. J., “Dynamic Prediction of Traffic Volume Through Kalman Filtering Theory,” Transportation Research 18B, No.1, pp. 1-11, 1984.
29. Nihan, N.L. and Davis, D.A. “Application of Prediction Error Minimization and Maximum Likelihood to Estimate Intersection O-D Matrices from Traffic Counts”, Transportation Science, Vol. 23, No. 2, pp.77-90, 1989.
30. Maher M. J.,” Inferences on Trip Matrices from Observations on Link Volumes : A Bayesian Statical Approach”, Transportation Research 17B, No.6, pp.435-447,1983.
31. Robillard, P., “Estimating the O-D Matrix from Observed Link Volumes,” Transportation Research, Vol.9, pp.123-128, 1975.
32. Runwei Cheng and Mitsuo Gen, “Parallel Machine Scheduling Problems Using Memetic Algorithms,” Computers and Industrial Engineering, Vol.33, No.3-4, pp.761-764,1997.
33. Spiess, H. “A Maximum Likelihood Model for Estimating

- Origin-Destination Matrices”, Transportation Research 21B, pp. 395-412, 1987.
34. Tate, D.M. and Smith, A.E., “Unequal-Area Facility Layout by Genetic Search”, IIE Transactions, Vol.27, No.4, pp.465-472, 1995.
  35. Van Zuylen J.H. and Willusmsen, L.G., “The Most Likely Trip Matrix from Traffic Counts”, Transportation Research 14B, pp. 281-293, 1980.
  36. Willusmsen L.G., “Estimating the Most Likely O-D Matrix from Traffic counts”, 11th Ann. Conf. Universities Transport Studies Group, University of Southampton, 1979.
  37. Wardrop J. C., “Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research”, Proceedings, Institute of Civil Engineers, Vol.1, pp.325-378, 1952.



## 附錄

附錄一：原始情境之 OD 表

附錄二：情境二之 OD 表

附錄三：中山高速公路之 OD 表



## 附錄一：原始情境之 OD 表

[illegible]

9.3	48.	40.	82.	55.	53.	99.	48.	43.	47.	46.	68.	10.	1.3	14.	89.	40.	89.	11.	20.	28.	77.	33.
821	601	323	703	782	517	709	986	569	419	891	591	612	793	054	199	326	805	328	383	623	204	04
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.	81.	68.	12.	96.	70.	34.	42.	18.	14.	94.	76.	88.	79.	12.	34.	66.	75.	81.	23.	6.5	40.	23.
465	087	876	839	13	195	618	36	127	474	491	598	894	418	047	566	008	31	464	422	267	397	055
0.7	40.	32.	84.	95.	87.	17.	79.	15.	49.	1.3	89.	59.	6.7	50.	80.	28.	15.	46.	89.	65.	27.	60.
328	571	589	226	127	504	605	568	381	434	974	766	504	283	274	841	606	255	152	849	702	971	493
81.	79.	92.	78.	73.	98.	6.7	76.	93.	53.	5.4	96.	1.2	31.	28.	99.	96.	71.	90.	78.	63.	22.	4.7
553	503	328	947	487	625	889	341	373	012	199	679	08	018	591	428	138	541	879	775	026	645	342
2.5	1.9	75.	34.	22.	88.	30.	23.	13.	71.	73.	90.	23.	34.	11.	78.	57.	84.	89.	18.	73.	14.	73.
01	377	713	483	256	531	94	889	627	024	845	579	831	001	197	106	656	164	632	298	153	481	655
42.	95.	40.	73.	49.	40.	33.	63.	99.	22.	63.	17.	12.	81.	50.	85.	96.	78.	20.	50.	95.	9.2	48.
42	666	111	85	663	484	476	511	855	747	557	858	362	678	005	181	663	346	698	574	491	795	773
3.3	85.	19.	5.9	0.7	62.	37.	23.	69.	93.	93.	97.	88.	0.4	37.	66.	51.	99.	87.	6.0	36.	70.	98.
802	492	611	51	024	714	617	154	062	499	097	849	078	373	79	061	392	783	409	985	933	272	578
67.	98.	40.	55.	31.	38.	95.	61.	96.	51.	46.	89.	81.	49.	27.	27.	86.	58.	23.	13.	6.9	68.	97.
67	631	028	865	619	546	221	594	104	769	096	799	323	382	056	211	422	611	729	528	403	121	848
32.	25.	15.	78.	73.	84.	71.	26.	77.	45.	51.	2.9	76.	61.	95.	24.	22.	36.	68.	2.2	86.	45.	14.
796	07	448	272	842	786	932	851	55	926	289	361	334	345	669	084	533	078	43	242	752	764	23
56.	48.	6.4	14.	79.	52.	77.	99.	10.0	77.	42.	28.	81.	37.	45.	42.	24.	37.	96.	86.	29.	53.	92.
007	252	571	077	034	685	934	121	724	674	448	202	039	408	807	592	346	391	012	983	466	234	896
42.	32.	12.	55.	40.	80.	61.	76.	32.	73.	41.	18.	68.	19.	24.	59.	89.	98.	42.	61.	55.	29.	1.5
481	461	035	765	028	74	766	032	547	38	592	79	225	831	502	756	883	722	658	412	337	835	826
15.	5.7	2.9	20.	39.	39.	64.	48.	5														

[illegible]

85 洛田上學。Thecus(04 學年度)

[illegible]



87

33	16	7	14	60	91	202	169	79	107	60	345	158	333	551	160	292	375	346	346	327	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	12	3	12	8	64	408	342	167	147	95	216	131	230	377	249	407	489	519	537	482	534	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
98	13	7	5	11	52	421	365	177	217	103	339	166	254	424	100	399	506	574	553	750	524	154 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
72	12	11	25	59	143	127 6	109 8	610	433	263	511	264	550	958	216	442	118 3	117 5	129 4	170 0	122 0	365 5	377 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
42	13	9	5	76	135	507	465	210	318	45	315	134	287	506	122	227	672	646	577	894	987	185 1	190 5	653 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
43	12	6	8	70	76	135	131	105	183	35	78	28	57	348	95	174	201	421	427	662	686	128 4	134 3	444 8	375 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	8	4	6	10	22	126	110	57	73	35	115	31	74	118	46	193	230	190	454	580	679	176 4	120 9	379 3	335 5	259 4	0	0	0	0	0	0	0	0		
24	8	4	1	5	5	40	43	25	26	11	38	11	15	30	14	23	46	47	47	154	133	347	389	115 9	949	499	359	0	0	0	0	0	0	0		
14	6	1	2	11	4	21	23	23	33	15	40	17	38	44	20	39	46	44	76	105	245	539	655	200 4	173 2	142 0	771	539	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	1	1	1	0	4	6	3	6	3	11	8	14	8	4	7	9	5	14	19	45	88	96	287	241	199	151	111	86	0	0	0	0	0		
26	5	1	2	2	5	73	68	30	29	14	45	22	22	38	19	33	44	22	25	70	74	332	355	111 8	122 9	933	703	394	370	281	0	0	0	0	0	
13	1	2	3	3	5	9	10	5	17	12	29	12	33	24	14	26	30	18	27	56	65	267	290	834	782	740	548	379	304	222	423	0	0	0	0	
9	1	3	5	3	3	9	8	6	16	8	39	18	35	57	17	39	40	22	23	32	71	122	268	105 2	942	694	519	476	409	346	470	210	0	0	0	0
3	1	2	1	0	1	8	9	4	10	8	16	12	23	54	16	24	28	15	17	17	26	120	127	371	734	681	498	350	359	381	633	181	382	0	0	
16	3	3	1	6	4	14	39	75	13	17	32	27	39	58	13	44	48	51	28	40	38	56	224	686	565	427	313	619	524	542	115 0	461	787	512	0	
17	5	4	2	5	4	20	17	7	13	8	47	17	44	62	17	28	68	72	61	40	46	81	286	111 1	944	727	524	876	788	7						

