

國立交通大學交通運輸研究所

碩士論文

台北都會區進城費之最佳收費周界與費率  
水準之研究

**On the Optimal Toll Cordon and Toll  
Level of In-Town Congestion Charge of  
Taipei Metropolitan**

The logo of National Central University (NCU) is visible as a watermark in the background. It features a circular emblem with a gear-like border, a central figure holding a scale, and the year '1896' at the bottom.

指導教授：邱裕鈞老師

研究生：鄭雅丹

中華民國九十九年七月

台北都會區進城費之最佳收費周界與費率水準之研究

On the Optimal Toll Cordon and Toll Level of In-Town

Congestion Charge of Taipei Metropolitan

研究生： 鄭雅丹

Student： Ya-Dan Cheng

指導教授： 邱裕鈞

Advisor： Yu-Chiun Chiou



Submitted to Department of Institute of Traffic and Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

June 2010

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

# 台北都會區進城費之最佳收費周界與費率水準之研究

研究生：鄭雅丹

指導教授：邱裕鈞博士

國立交通大學交通運輸研究所

## 摘要

本研究目的為發展一個雙層數學規劃模式，來決定台北都會區進城最佳化擁塞收費方案，上層決定最佳化收費方案來最大化社會福利，下層決定最佳化運具選擇(透過羅吉特模式)來最大化道路使用者的效用，以及決定最佳化的路線選擇(透過使用者均衡模式)來最小化旅行成本。針對汽機車持有者，進行大規模的問卷調查，以校估台北都會區的羅吉特模式。共有三個共生變數：旅行成本、旅行時間、收費費率為顯著的變數。

提出兩種最常用的擁塞收費的方案進行最佳化後加以比較：(1)以路線為基礎的方案，(2)以周界為基礎的方案，以路線為基礎的方案於本研究路網中的每個路線上決定最佳化收費費率，以周界為基礎的方案為決定最佳化收費周界(收費中心與收費半徑)與收費費率。使用基因演算法的軟體-Evolver 來解決這兩個方案。

根據文獻，設計一個小路網，共有兩個起迄點需求與七條路線，來進行簡例驗證，用來檢驗本研究提出的模式之合理性與適用性。針對某些重要的參數進行敏感度分析，也同時描述系統之間的關係。最後進行台北都會區的實例測試。結果顯示，徵收進城擁塞費後，以線段為基礎的方案可以增加 17.76%的社會福利，減少 7.55%的總旅行時間。值得提到的是，收費路線不一定根據高交通流量進行收費。最佳化收費水準從 7 元到 100 元(收費上限)。同時，以周界為基準的方案可以增加 47.09%的社會福利，減少 13.03%的總旅行時間，最佳化收費周界的中心點接近南京建國路口，收費半徑為 4.5km，收費費率為每次 100 元，於上午尖峰時間，只有進城要進行收費。顯然地，以線段為基準的方案的績效較以周界為基準的方案來得好。

**關鍵字：**擁塞定價，雙層數學規劃法，多項羅吉特，基因演算法，最佳化模式。

# On the Optimal Toll Cordon and Toll Level of In-Town Congestion Charge of Taipei Metropolitan

Student: Ya-Dan, Cheng

Advisor: Dr. Yu-Chiun Chiou

**Institute of Traffic and Transportation  
National Chiao Tung University**

## Abstract

This study aims to develop a bi-level mathematical programming model to determine the optimal in-town congestion charge scheme in Taipei metropolitan. The upper level is to determine the optimal congestion charge scheme for maximizing the social welfare (SW); while the lower level aims to determine the optimal mode choice (by a Logit model) for maximizing road users' utility and the optimal route choice (by an user equilibrium model) for minimizing their travel cost. A large-scale questionnaire survey is conducted on car or motorcycle owners in Taipei metropolitan for the estimation of the Logit model. Three generic variables: travel cost, travel time and toll level are significantly estimated.

Two types of congestion charge schemes are respectively proposed and compared: the Link-based scheme and the Cordon-based scheme, where the Link-based scheme determines the optimal toll level on each link in the study network and the Cordon-based scheme determines the optimal toll cordon (center and radius) and toll level. An genetic algorithm software – Evolver is used to solve the both schemes.

An exemplified example with a small network of 2 OD pairs and 7 links is designed to examine the reasonability and applicability of the proposed models. Sensitivity analysis on some important parameters is also performed to depict the relationships among the system. At last, a case study on Taipei metropolitan is conducted. The results show that the Link-based scheme can increase the social welfare by 17.76% and decrease total travel time by 7.55% by levying in-town congestion toll. It is worth noting that the tolled link may not be those which originally bear high traffic flows. The optimal toll levels range from NT\$7 to NT\$100 (upper toll limit). Meanwhile, the cordon-based scheme can increase social welfare by 47.09% and decrease total travel time by 13.03%. The optimal center and radius of toll cordon is located near the intersection of 10th Ave. and 7th Blvd and 4.5 km with a toll level of NT\$50 per entrance during the morning peak hour. Obviously, the Cordon-based scheme performs better than the Link-based scheme.

**Keywords:** congestion pricing, bi-level mathematical programming, Logit model, genetic algorithm.

## 誌 謝

承蒙指導教授邱裕鈞老師這兩年來的諄諄教誨，碩士生涯跟著老師學到很多，不僅僅是做學問的態度與寫論文的技巧，老師待人處事的方式，也實在令人敬佩，學生能有幸成為老師的指導學生，真的深感榮幸。老師對於真理的執著，也深深地影響學生，本論文的順利完成，首先要感謝邱裕鈞老師不遺餘力的指導，感恩的心情溢於言表。

論文口試期間，承蒙成功大學胡大瀛教授與逢甲大學林良泰老師的細心審查，提供許多寶貴的意見與建議，使得本論文可以更加詳細與完整，對於老師們的不吝指教，真的敬上深深的謝意。同時感謝交通運輸研究所的所有教授們，有幸和老師們學習各種交通領域的專長，實感榮幸。論文研討期間，汪進財老師、馮正民老師與陳慕臻老師提供許多寶貴的意見，讓這篇論文得以更加完善，非常感謝老師們的不吝指正。同時感謝溫傑華老師，每次遇到問題和老師討論，老師總是熱心的幫助我解決，真的非常感謝老師。

於研究所的兩年時光中，同是邱家的邦政、思毫、螃蟹、鎮蓬，謝謝你們總是不吝與我討論論文的方向，互相鼓勵與加油，真的很感謝你們，每每和大家討論後，總能在自己結成謎團的思緒中，找到一絲曙光。特別感謝邦政，你清楚的思緒與非常有邏輯的想法，讓我深感佩服，總是不厭其煩的幫助我解決論文中遇到的問題，真的非常感謝。也謝謝螃蟹，總是認真的提醒大家所有論文中該注意的事，細心的你，真的令人感到很貼心。還有思豪跟鎮蓬，你們兩個三不五時的關心，常常讓我又能重新燃起研究的心，感謝你們。碩二 Lab 的大家，醫仲、寶慧、秉宏、UNO、珮怡、千瑜、戊吉、國禎、朝偉、偉丞、彥霖、文婷、德欣、文雅、彥聖、啟安，謝謝你們總是願意傾聽我的想法，給我支持與鼓勵。特別感謝醫仲，總是不厭其煩的解答我所有問題，超有耐心的幫助我在慌亂的思緒中，找到出路。還有碩一、碩二的大家，研究所的生活因為認識你們，才能變的如此多采多姿。特別感謝佩子，於口試期間擔任記錄時，細心的記下需要改進的支微末節，辛苦你了。還有學妹猴子，謝謝你總是幫我打氣，每次遇到你都能重新有活力起來。

也感謝學長姐們悉心的教導，博班的喬文學姊，謝謝你在工作忙碌之餘，撥空提供許多珍貴的意見給我，也往往能讓我從另一個角度省思自己的論文。還有邱家的阿肥學長、傅強學長，謝謝你們的不吝指教，Mud學長，謝謝你總是替我打氣加油，所有交研所的大家，陳姊、楊姊、鄭姊以及所辦的柳姊、洪姊，交研所有你們更可愛，更歡樂，謝謝你們默默為交研所的付出，特別感謝圖書館的陳姊和計中的楊姊、鄭姊，每次打工和你們相處，都讓嚴肅的碩二論文生涯，增添許多歡樂的氣氛。

感謝我的朋友們，瑤瑤、Daisy、孟樺、猴子、比古力、君慧、瓊裕、柚子、酷比、小英，總是在我要放棄的時候，給我力量，讓我有勇氣繼續堅持下去，也願意傾聽我所有的想法，你們是我心靈的泉源，生活的力量，有妳們這些朋友，我真的很幸福也很幸運。還有感謝總是替我打氣加油的高中學長姐們，SIMA、小心心、蓮吉、外國人、Madewater，你們是我認識最棒的大哥哥大姐姐們，每次和你們聚完餐，總能感受到像家人一樣溫暖的幸福感覺，謝謝你們總是幫助著我，也每每提醒著我要努力向優秀的你們看齊。

感謝犢犢總是每天提醒著我論文的進度，願意傾聽我所有對於論文的想法與看法後，提出許多寶貴的意見，並在我難過與痛苦的時候，關心我、鼓勵我，謝謝你的貼心與細心，能認識你是我的福氣。

最後，感謝我摯愛的家人，沒有你們沒有今天的我。爸爸媽媽，你們真的很棒，寫論文的期間，小心翼翼的呵護著我，深怕我寫的太拼命生病了，每天燉雞湯、削水果給我吃，重新回到台北念書，重新體會家的溫暖，真的很幸福。想叫我照顧身體早點休息，卻又深怕論文的進度趕不上，不敢強迫我早點睡覺，你們的掙扎我都看得出來，很可愛的家人們，我愛你們。還有妹妹，總是陪伴我在北大法律的自習室寫論文，即使累得睡著了，還要撐到我寫完的最後一刻，常常跑來北車送吃的給我，督促我認真之餘，也不要忘記吃晚餐，你真的很可愛，有你這個妹妹，是我的驕傲。謝謝曾經幫助過我的大家，這篇論文能順利寫完的功勞，歸功於我身邊的所有人，誠摯的感謝你們。

鄭雅丹 謹誌於 國立交通大學台北校區

# 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
誌 謝 .....	III
目 錄 .....	V
表目錄 .....	VII
圖目錄 .....	IX
第一章、緒論.....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究對象與範圍 .....	4
1.4 研究內容與流程 .....	5
第二章、文獻回顧.....	9
2.1 擁塞收費之最佳費率水準.....	9
2.2 擁塞收費最佳收費周界.....	17
2.3 擁塞收費之實例介紹.....	19
2.3.1 英國倫敦 .....	19
2.3.2 瑞典斯德哥爾摩.....	22
2.3.3 新加坡.....	24
2.3.4 挪威卑爾根、奧斯陸、特隆赫姆.....	25
2.3.5 美國橘郡 .....	25
2.3.6 美國聖地牙哥市.....	25
2.3.7 各國擁塞收費制度之總整理.....	26
第三章、研究方法.....	29
3.1 雙層數學規劃法 .....	29
3.2 基因演算法 .....	30
第四章、模式建構.....	35
4.2 模式建構.....	36
4.3 求解演算法設計 .....	39
第五章、簡例分析.....	43
5.1 簡例設計.....	43
5.2 參數設定.....	45
5.2.1 基因演算法 .....	45
5.2.2 多項羅吉特模式.....	47
5.3 結果分析.....	52
5.4 敏感度分析 .....	56
第六章、實例應用 .....	64

6.1 實例資料蒐集 .....	64
6.2 參數設定.....	66
6.3 結果分析與建議 .....	69
第七章、結論與建議 .....	101
7.1 結論.....	101
7.2 建議.....	103
參考文獻 .....	105





## 表目錄

表 2.1 雙層數學規劃法之目標式、限制式以及需求函數總整理.....	15
表 2.2 雙層數學規劃法之目標式、限制式以及需求函數總整理(2).....	16
表 2.3 各國實施擁塞收費周界與費率之整理.....	26
表 2.4 各國實施擁塞收費後之實施效果整理.....	28
表 2.5 各國實施擁塞收費制度之目標.....	28
表 4.1 以線段為基礎(Link-based)的收費方案的編碼(收費水準).....	40
表 4.2 以周界為基礎(Cordon-based)的收費方案的編碼(收費水準與周界).....	40
表 5.1 路線容量與自由車流旅行時間.....	44
表 5.2 彈性需求函數與參數假設.....	45
表 5.3 範例 1 測試參數設定表.....	46
表 5.4 範例 2 測試參數設定表.....	47
表 5.5 擁塞定價方案選擇模式變數說明表.....	49
表 5.6 擁塞定價方案選擇模式參數設定表.....	49
表 5.7 擁塞定價方案特定變數之平均值.....	50
表 5.8 台北都會區機車模式校估結果表.....	51
表 5.9 台北都會區總旅行成本平均值與標準差.....	51
表 5.10 台北都會區總旅行時間平均值與標準差.....	52
表 5.11 彈性需求值.....	52
表 5.12 求解彈性需求之最佳化路線收費與路線流量.....	54
表 5.13 收費費率水準與總效用變化情形.....	57
表 5.14 汽車收費費率水準與運具選擇機率變化情形(OD1).....	57
表 5.15 汽車收費費率水準變化與運具選擇機率變化情形(OD2).....	57
表 5.16 機車收費費率水準變化與運具選擇機率變化情形(OD1).....	57
表 5.17 機車收費費率水準變化與運具選擇機率變化情形(OD2).....	58
表 5.18 汽機車使用者於不同起迄點間運具選擇的移轉比率(收費 100 元).....	63
表 6.1 參數設定.....	66
表 6.2 路網交通區旅次起迄表(單位:人旅次/日).....	69
表 6.3 最佳化台北路網社會福利改善比例.....	69
表 6.4 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(南向).....	72
表 6.5 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(南向).....	72
表 6.6 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後道路的績效水準 V/C(南向).....	73
表 6.7 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後旅行時間(南向).....	74
表 6.8 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(東向).....	75
表 6.9 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(東向).....	75
表 6.10 台北市主要幹道最佳化機車收費費率道路的績效水準 V/C(東向).....	76
表 6.11 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率後旅行時間(東向).....	77

表 6.12 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(北向) .....	78
表 6.13 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(北向) .....	78
表 6.14 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後道路的績效水準 V/C(北向).....	79
表 6.15 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後旅行時間(北向).....	80
表 6.16 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(西向) .....	81
表 6.17 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(西向) .....	81
表 6.18 台北市主要幹道最佳化機車收費費率道路的績效水準 V/C (西向).....	82
表 6.19 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率後旅行時間 (西向).....	83
表 6.20 不同擁塞收費方案下雙層數學目標式變動的百分比.....	86
表 6.21 不同擁塞收費方案下社會福利、平均旅行成本與時間變動的百分比....	87
表 6.22 各 OD 起訖點於不同收費方案下的平均旅行時間.....	88
表 6.23 汽車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點及的一般化旅行成本.....	90
表 6.24 機車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點的一般化旅行成本.....	90
表 6.25 汽車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量.....	92
表 6.25 不機車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量.....	93
表 6.26 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例 .....	95
表 6.27 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例 .....	95
表 6.28 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化.....	97
表 6.29 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化.....	98
表 6.30 不同 OD 起訖點於不同收費方案下的雙層數學目標式.....	100
表 6.31 不同收費方案下最佳化的決策變數值.....	100

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	5
圖 2.1 倫敦實施擁塞收費的周界.....	20
圖 2.2 倫敦實施擁塞收費的路段.....	21
圖 2.3 倫敦擁塞收費的告示牌.....	21
圖 2.4 斯德哥爾摩的擁塞收費時段.....	22
圖 2.5 斯德哥爾摩的擁塞收費門檻(gate).....	23
圖 2.6 斯德哥爾摩的擁塞收費周界.....	24
圖 3.1 基因演算法流程圖.....	34
圖 4.1 模式架構圖.....	35
圖 4.2 雙層數學規劃架構圖.....	39
圖 5.1 小規模路網圖.....	43
圖 5.2 線段 1 的旅行時間.....	53
圖 5.3 線段 2 的旅行時間.....	53
圖 5.4 路線 1(OD=13)的一般化旅行成本(假設收費=2.24 元).....	54
圖 5.5 路線 2(OD=13)的一般化旅行成本(假設收費=0 元).....	55
圖 5.6 路線 1(OD=24)的一般化旅行成本(假設收費=6.92 元).....	55
圖 5.7 路線 2(OD=24)的一般化旅行成本(假設收費=0 元).....	56
圖 5.8 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD1).....	58
圖 5.9 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD2).....	59
圖 5.10 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD1).....	59
圖 5.11 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD2).....	60
圖 5.12 機車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD1).....	60
圖 5.13 機車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD2).....	61
圖 5.14 機車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD1).....	61
圖 5.15 機車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD2).....	62
圖 6.1 台北市主要幹道.....	65
圖 6.2 台北市主要幹道路網示意圖.....	67
圖 6.3 台北市主要幹道路網起迄點示意圖.....	68
圖 6.4 路網起迄點需求量示意圖.....	68
圖 6.5 最佳化台北市主要道路汽車之收費費率(link-based).....	70
圖 6.6 最佳化台北市主要道路機車之收費費率(link-based).....	70
圖 6.7 最佳化台北市主要道路汽機車收費費率(cordon-based).....	84
圖 6.8 不同擁塞收費方案下雙層數學目標式變動的百分比.....	86
圖 6.9 不同擁塞收費方案下社會福利、平均旅行成本與時間變動的百分比.....	87
圖 6.10 各 OD 起訖點於不同收費方案下的平均旅行時間.....	88
圖 6.11 汽車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點的一般化旅行成本.....	89

圖 6.12 機車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點的一般化旅行成本.....	90
圖 6.13 汽車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量.....	92
圖 6.14 機車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量.....	93
圖 6.15 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例 .....	94
圖 6.16 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例 .....	94
圖 6.17 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化 .....	97
圖 6.18 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化 .....	97
圖 6.19 不同收費方案下汽機車使用者運具選擇的比例 .....	99



# 第一章、緒論

## 1.1 研究背景與動機

隨著我國經濟發展快速，至民國 98 年 8 月底為止，我國機動車輛登記數量已經超過 2100 萬輛。至民國 96 年 12 月底，汽車登記數量更是已經超過 676 萬輛。由於車輛使用多仰賴石油產品，我國運輸部門之石油產品消耗量僅次於工業部門，且逐年快速成長，導致嚴重的空氣汙染問題。有效管理交通擁塞，增加能源使用效率與降低汙染排放，一直是各國政府推動永續運輸(sustainable transportation)的重要方向。

隨著汽車持有率逐漸攀升，台北都會區擁塞程度日益嚴重，道路容量已經無法負荷運輸需求。Mark Frankena(1979)的文獻中提到，當車流量超過道路交通容量，則會造成其他車輛速度之降低，且所有車輛的旅行成本都會隨之增加。若是忽略擁塞所造成的社會成本，則會導致所有車輛的旅行時間皆增加，且造成空氣汙染，故希望提出有效的交通管理策略，控制交通流量，改善擁塞狀況，達到道路有效的使用，也降低擁塞造成的能源排放汙染。

為因應台北都會區龐大的交通量與改善尖峰擁塞的情況，台北市政府於民國 59 年開始興建台北市大眾捷運系統，於民國 85 年 3 月正式通車。然而，根據交通部運輸研究所的文章中提到，至 96 年底，台北市捷運的使用率為 19%，公車使用率為 28%，大眾運輸使用率約為 48.3%，捷運旅次只能轉移部份的尖峰交通量，台北都會區尖峰時刻的擁塞情形還是十分嚴重。

然而，交通擁塞不只會造成用路人無效率的使用道路以及增加旅行時間的成本，更會帶來空氣汙染。空氣汙染不僅造成國民生活品質下降，更會使得用路人的能見度下降，造成更多交通事故的發生。根據前文提到，車輛排放的廢氣，已成為全國空氣汙染排放之因，其排放量僅次於工業部門所排放的廢氣，故為了達到永續運輸的精神，空氣汙染的管理也是交通擁塞管理的必要之因。

台北都會區為台灣最為高度發展的經濟區，交通問題之中最嚴重的便是經濟發展所帶來的擁塞問題，於上下班尖峰時段，台北都會區的道路堵塞非常嚴重，即使台北大眾捷運系統已經轉移部份的上下班尖峰旅次，但道路擁塞程度仍然無

法改善，故探討加入擁塞費的措施來有效管理交通擁塞的問題。

自 1970 年，經濟學家 Pigou 提出擁塞收費的概念後，國外已有許多國家實施擁塞收費的制度，如新加坡、挪威、英國、美國等。新加坡於 1975 年便開始實施擁塞收費的制度，收費方式是採取收費周界，在 600 公頃的控制區域 (Restricted Zone, RZ)，於早上尖峰時段(7:30-9:30)進行擁塞收費，費率水準為每天收取 3 新幣。

挪威於 1987 年也開始實施擁塞收費，位於挪威的卑爾根(Bergen)，其收費方式採取收費環(Toll Ring)的制度，當小客車通過收費環，則收取計次的費用，進城才收取擁塞費，而出城不用，此種收費方式稱作以周界基礎為準的擁塞收費 (Cordon-based Congestion Charge)，共有七個收費門檻(Gate)，主要是以天然邊界的橋梁為主設置門檻，費率水準為小汽車每次 5 挪威幣，重型車輛為每次 10 挪威幣，收費時間為週一至週五早上六點至晚上十點。之後於 1990 年，挪威也在奧斯陸(Oslo)實施擁塞收費的制度，和卑爾根不同的是，收費不分時段，仍為分車種收費，每次進城皆收取小汽車 10 挪威幣，重型車輛 20 挪威幣，但是，奧斯陸並無天然邊界，如橋梁、隧道等設施，故共設置了 19 個收費門檻，來對使用者進行收費。由於前兩個擁塞收費制度產生了不錯的績效，於 1991 年，挪威也在特隆赫姆(Trondheim)進行擁塞收費的制度，於週一至週五的早上六點至晚上五點，根據不同時段進行動態收費，一般汽車每次收費最多為 10 挪威幣，重型車輛則每次最多為 20 挪威幣。

1995 年，美國於加州橘郡(Orange County)SR91 公路，進行尖峰擁塞收費的收取，收費時間為往東(3:00-22:00)，往西(2:00-21:00)，依照不同交通擁塞程度進行動態定價，費率水準為 0.7-3.5 美元，共有 8 個收費水準，高乘載車輛(3 人以上之車輛)不用進行收費。

然而，有關擁塞費之相關研究，大多係以參酌國內外學術理論或實施經驗，再配合國內特性與需要，加以研訂而成，較缺乏客觀量化之效果可供佐證。其中，最困難的地方即在於難預測個人願意支付之擁塞費，以及對於各種管理策略之實施的反應行為，以及不同的擁塞費，所可能產生之能源消耗與污染排放量。使得交通與環保主管機關在研議、評估及選擇管例策略時之困擾。因此，實有必要建構因應實施之擁塞費管理策略之擁塞收費模式，並進一步鏈結其能源消耗與污染排放間之關係，考慮使用者選擇行為，來做政策擬定的方向。

在擁塞收費與收費周界選擇的方面，國內外已有相當多的研究。擁塞收費定

價大致可分為邊際成本收費(Marginal cost pricing, MCP)，以及雙層數學規劃模式(Bi-level mathematical model)，這兩大類的研究。MCP 係以外部成本內部化的角度出發，強調使用者付費的精神，透過計算邊際社會成本和邊際私人成本的差值，將過度擁塞的車輛，引起的外部成本，也就是擁塞以及空氣汙染等，將其內部化，此理論可用簡單的模式，計算出擁塞收費，不用考慮交通路網均衡，也未考慮到使用者意願(Pigou, 1996)。雙層數學規劃模式則以交通路網均衡為基礎，計算社會福利最大化的收費模式，同時考慮到政府收益的預算限制，來加入限制式中，此類理論的最大特點是同時考慮到收費後，相對的交通流量變化量，在同時加入預算限制式、收費限制式等，可供決策者進行相關策略的調整(Yang and William, 2003)。

雖使用 MCP 理論可較為簡單的計算出擁塞收費，進而對使用者直接對外部成本的部分進行收費，唯許多研究(例如，Zhang and Yang, 2004)指出，如以 MCP 理論計算出擁塞定價的解，則會造成並未考慮到營運成本和大眾接受度，不切實際地在每條路網上對使用者收取費用。但若以 Bi-level 的模式來建構擁塞收費定價，則又必須考慮限制式的設定與目標式的設定，故國內目前較少相關的研究是使用 Bi-level 的模式來探討擁塞定價的大眾接受度。大部分的研究皆使用多項羅吉特模式(Multinomial Logit Model)去探討不同的擁塞定價下，使用者的偏好程度，來去判斷大眾接受度，(例如，溫傑華，民 93)。然而，透過問卷調查使用者的偏好，並無法採用太多種方案的擁塞定價，屬性數目多，雖容易顯示主題，但對於受訪者的評估是一大考驗(Kores and Sheldon, 1998)。多項羅吉特模式底下的擁塞收費，往往只有兩到三種方案供使用者做偏好的選擇。因此，本研究希望整合 Bi-level 和多項羅吉特模式之優點，使擁塞定價策略既能反應政策對於使用者之影響，又能精確推估擁塞定價之最大化社會福利，亦值得加以研析。

## 1.2 研究目的

本研究期望能透過整合雙層數學規劃模式與多項羅吉特發展一個演算法，期望由 Bi-level 的模式，建立台北都會區擁塞收費的定價以及擁塞收費的周界模式，配合多項羅吉特模式，觀察使用者運具移轉的影響，以及能源汙染的減量。

期望能訂定出台北都會區擁塞收費以及收費周界，此模式不僅可以計算出最佳化的擁塞收費，也能同時訂定出最大化社會福利的收費周界。

因此，本研究預計完成的工作項目如下：

1. 回顧各國擁塞定價的收費情形與收費周界的選擇與相關文獻，比較其各種模式的理論、性質、限制式、應用範圍等。
2. 建立收費周界與費率水準之最佳化模式，建立一個考量社會福利之下，限制收費周界的路段流量必須滿足需求的最佳化模式。
3. 研擬一套求解演算法。
4. 設計一簡化路網及交通量資料，俾利程式之驗證
5. 蒐集台北都會區路網及交通流量的資料，以作為模式應用。
6. 透過情境分析與敏感度分析之結果，做相關管理策略之研擬。

### 1.3 研究對象與範圍

本研究探討使用者對於進城費的方案偏好選擇。探討政府實施上午尖峰收取擁塞費，來分析汽車使用者移轉運具或改變出發時間的移轉比率。

透過多項羅吉特模式來估計，找出影響方案選擇的變數，以及小汽車使用者的選擇偏好。再透過基因演算法，探討不同的進城費，對於小汽車使用者的方案選擇偏好，透過此研究，來探討若實施不同的進城費，會對使用者造成的影響，以及使用不同的方案，會對使用者的運具選擇以及使用狀況的改變情形。

此外，本研究將依據台北市政府的台北都會區路網及交通流量調查的資料，期望實證研究結果與研擬出適合之擁塞收費管理策略，進而擬定出台北都會區收費周界與費率水準之管理策略，以提供政府相關單位於未來訂定新措施時之參考。



## 1.4 研究內容與流程

本研究之進行流程如下圖 1.1 所示：

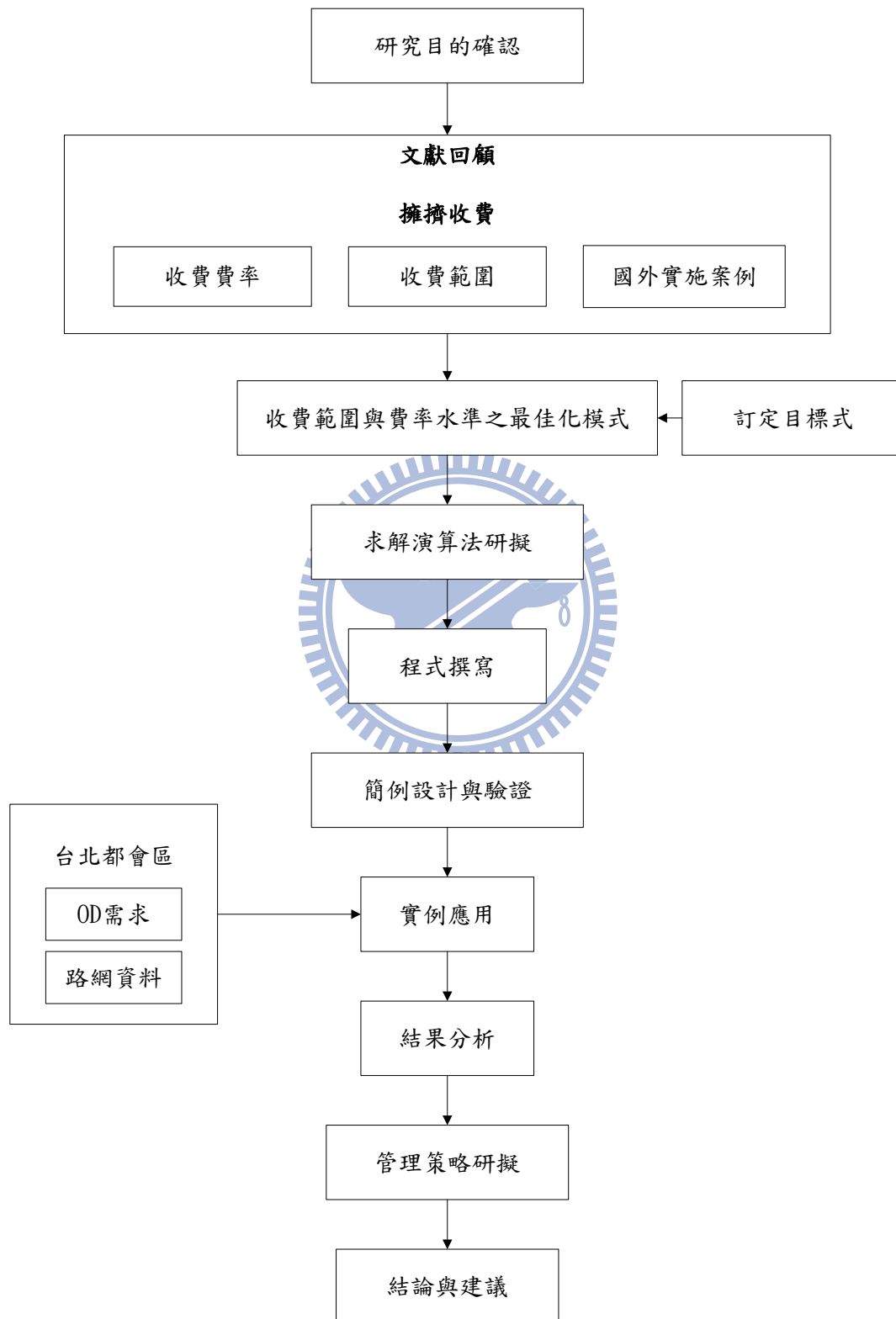


圖 1.1 研究流程圖

本研究之研究內容分述如下：

### 一、研究目的確認

本研究目的為建立收費周界與費率水準之最佳化模式，來對台北都會區進行擁塞收費的定價，包括建立擁塞收費的範圍以及費率水準。

### 二、文獻回顧

回顧以往文獻中擁塞收費的相關研究，包括瞭解各模式的發展，加以歸納整理其模式的目標式、限制式與其決策變數。同時回顧國內外擁塞定價的實施情形，針對不同國家進行探討。

### 三、收費周界與費率水準之最佳化模式

回顧國內外文獻，發現大多使用邊際成本定價理論與雙層數學規劃模式來解決擁塞定價的問題，而在雙層數學規劃模式，通常會採用啟發式解法當作求解演算法。模式的選擇本研究採用基因演算法來做為收費周界之最佳化求解，績效為社會福利最大化，編碼為二元變數，決定路段是否收費。之後採用雙層數學規劃模式來做為費率水準的求解模式，上層目標式為社會福利最大化，下層目標式為旅行成本最小化與使用者意願最大化，限制式為流量必須滿足需求量。

### 四、求解演算法研擬

回顧國內外相關文獻，發現在解決收費周界最佳化的問題，多半採用基因演算法來做求解雙層數學規劃模式的演算法，而且也得到不錯的績效，故本研究採用基因演算法做為雙層數學規劃求解的演算法。

### 五、程式撰寫

透過基因演算法將雙層數學規劃模式的變數編碼，適應函數則採用目標式，來進行交配、複製、突變等動作，使用 Evolver 軟體來進程式之撰寫，透過調整其不同的交配率、突變率與使用不同的取代方式，進行比較其績效，找到最適合此模式的基因演算法之訂定。

## 六、簡例設計與驗證

針對求解演算法，進行簡例設計。使用雙層規劃數學模式與基因演算法進行求解簡例的最佳收費周界與費率水準，觀察其求解後收費周界與費率水準之合理性，對於程式進行修正與分析，之後對於簡例之結果進行解釋。

## 七、實例應用

依據本研究所設定之模式進行實證研究，利用問卷與調查所得之研究資料，使用基因演算法與雙層規劃數學模式，將收費周界與費率水準做求解。

## 八、結果分析

將實例應用求得之結果，進行敏感度分析，觀察其收費範圍變動後，社會福利會如何去做變動，因此，當收費範圍變動後，可以讓收費費率跟著去做改變，觀察路段流量的改變，提供決策者最佳化的方向。

## 九、管理策略研擬

根據敏感度分析，改變一點點收費的範圍，去看收費費率的改變，故可從敏感度分析中看出兩者間之相關，透過此資訊，可衍伸出道路定價的管理策略研擬與評估。

## 十、結論與建議

根據管理政策之研擬，提出其結論與建議。

擁塞收費定價所需考慮之因素相當多，因此，本研究先透過文獻了解國外實施擁塞收費之現況，再根據文獻與現況的內容，根據此文獻與現況設計出實施擠收費的假設情境，預測用路人的反應，在建構選擇模式，以分析擁塞收費後用路人之旅運行為的改變情形，研究內容整理如下：

1. 了解目前各國實施擁塞收費之現況，以確定本研究之目的與方法，及研究範圍之界定。
2. 回顧國內外有關擁塞收費之理論與實務等方面的文獻，藉以了解實施擁塞收費需探討之方向。

3. 經由相關文獻之整理，研擬實施擁塞收費及用路人選擇行為的決策模式，並以此作為情境模擬及後續模式建立之依據。
4. 整合雙層數學規劃模式及多項羅吉特模式之概念，及其所應用的範圍及方法，以確實地運用於模式的建構。
5. 透過文獻回顧及資料的整合，研擬擁塞收費中雙層數學規劃模式的限制式與目標式，及擁塞收費模擬之實施方式，進而利用擁塞收費模式來設計簡單的案例來做測試。
6. 建構雙層數學規劃模式及多項羅吉特模式的整合，探討使用者旅運選擇行為，以及不同擁塞收費下，使用者的運具轉移比率，同時探討不同的收費方案下，使用者的旅運選擇行為。



## 第二章、文獻回顧

本章包括三部份(1)針對擁塞收費相關研究，進行文獻的回顧，首先，先介紹不同的文獻中，如何採取不同的模式來建立擁塞定價，之後，介紹擁塞收費的雙層數學規劃模式與非雙層數學規劃模式的回顧。(2)針對最佳化收費周界的相關研究，進行文獻的回顧。(3)國外擁塞定價實施情形及方式，針對不同國家來進行探討，以作為本研究之參考。

### 2.1 擁塞收費之最佳費率水準

擁塞定價最早始於經濟學家 Pigou(1993)所發表的文獻。文章中提到”擁塞收費”是解決交通擁塞的有效方法。以經濟學的理论來說，使用者付費，才能將外部成本內部化，讓使用道路的人，所產生的社會成本，如擁塞，甚至能源排放汙染這些看不到的外部成本內部化(Internalization)，如此才能達到道路有效的管理及利用。

然而，擁塞定價的理论，邊際成本定價理论也隨之發表在 Yang(1997)等許多學者的文章。透過計算邊際社會成本，也就是外部成本與邊際私人成本的差距，即可求得需收取的”擁塞收費”，此理论為時間獨立的空間定價(The space dimension of road pricing)並未考慮到實際路網的限制式。只期望能尋找到系統最佳平衡(The System Optimal Equilibrium)。

雖然 MCP 理论已被證實可有效地改善交通擁塞問題，但在 Lam et al.的文章中提到”MCP 的理论使用在實際案例時，由於未考慮到”營運成本”，每條路線收取不同的費用，在真實世界中無法實施，故發展一套啟發式解法來解決香港的實際道路收費”。此篇文章中也發展其擁塞定價的目標函數與期限制式。而且，Yang and William(1996)提出 MCP 理论並未考慮到高度擁塞的路網，像是香港，擁有極長的汽車等候線，卻未將等候線成本計算在旅行成本內，且交通流量和等候線規模的大小都應和收費型態有關，故提出結合交通指派與一般路網的道路定價理论(包含等候線和擁塞情形)，發展出一套雙層數學規劃模式(bi-level)來降低尖峰小時的擁塞，來找到一組有效的路線收費組合。

雙層數學規劃模式的理论又稱為次佳擁塞定價(The second-best congestion

pricing)。隨之，雙層數學規劃模式的理論出現在許多人的文章中，考慮流量與交通量指派的同時，計算出最佳化的收費模式。Yang and Yagar(1994)發表「以敏感度分析為基礎的演算法(Sensitivity analysis based algorithm ,SAB)」，求得雙層數學規劃模式，其解得到不錯的績效。Yang and William 的文章中，也採用 SAB 的方法計算簡單的路網。Sawansirikul et al.(1987) and Friez et al.(1990)發展的「均衡分解優化(Equilibrium decomposition optimization ,EDO)」，也被用來計算雙層數學規劃模式的問題，當限制式皆為線性時使用均衡分解優化(EDO)，而當限制式為非線性時，則使用 SAB 的模式。

Zhang and Yang(2004)討論擁塞收費周界的選擇，使用次佳的擁塞定價模式(Second-best pricing)，也就是雙層數學規劃模式，在路網上選擇最佳化收費周界以及收費程度，選擇一組道路路網，來描述成收費周界，透過檢驗路網的關聯矩陣(the incidence matrix)，最大化社會福利，並受限於具彈性需求的交通均衡模式。之後，求解基因演算法和貪婪法在雙層數學規劃模式上，同時決定收費周界和收費程度，也用來實際驗證一些簡例。

Yang et al(2009)也探討到擁塞定價模式需要收集許多相關資料，如起訖點需求、路段旅行時間以及使用者對時間節省的計算價值(value of time, VOT)，然而這些資料又較難收集，所以若沒有收集到這些資料，也就是在需求以及成本函數未知的情況下，探討使用一連串的實驗與計算來找到擁塞收費的收斂值，希望在未知旅行時間、需求函數以及 VOT 下，計算出最佳化的擁塞收費。

Yang and Bell(1997)探討到，所有擁塞定價模式皆為將流量限制在路段的容量底下，也就是不希望流量超過容量，而造成擁塞，以及產生等候線(Queuing line)後，就會產生延遲時間(Time delay)。然而，環境也會因為交通擁塞而產生空氣汙染以及溫室氣體效應，故考慮到永續運輸，此研究考慮到環境容量(Environmental capacity)，來當作流量的容量限制，此模式重新探討到永續的運輸問題，實為值得我們繼續探討，在擁塞定價的模式底下，結合生態環境的永續精神。

Yang et al.(2004)討論在高速公路的擁塞定價下，也就是在不同的出入口收費的最佳擁塞收費模式，結合路網均衡模式，討論路段收費以及路段額外收費的方案，使用 Bi-level 的模式，透過 Frank-Wolfe 演算法來尋找最佳定價。

透過上述，發現 MCP 的定價理論過於理想，在實際社會上，若在各個道路上皆收取不同的費用，可能會造成營運成本的提升，且無法向使用者提出完善的

解釋，可能造成社會的反彈。而且，次佳化的道路定價理論，已經廣泛的被使用在許多文獻，雙層數學規劃模式不但同時考慮擁塞與等候線的情形，也同時考慮到交通指派問題。和傳統的邊際定價理論相比，雙層數學規劃模式可加入限制式，設定政府預期達到的收益，或是等候線的長度，同時，績效方面也可以考慮不同的層面，目標式設定的部分，較為彈性。在同時考慮最小化旅行成本的同時，也可考慮政府收益最大化，故本研究決定採取雙層數學規劃模式，來做為台北都會區道路定價的演算法。

如前文所提，擁塞定價的收費方式有許多種，不論是 MCP 理論、雙層數學規劃模式的次佳化道路定價，其求解的皆是路網中最佳化收取的道路擁塞定價。然而，考慮到實際層面，在不同的路段，收取不同的擁塞定價，可能提升營運成本，同時實施在都會區，也可能造成社會大眾的反彈。然而，國外實際案例實施都會區擁塞定價也通常是採用周界收費的方式，來做擁塞收費，故以下文獻探討如何先決定擁塞定價收費的周界，再回顧雙層數學規劃問題的模式。

Yang 與 Lam(1995)曾使用雙層規劃模式(Bi-level programming approach)來決定道路收費(Optimal Road Toll)的型式。下層(lower-level)問題為「等候路網均衡模式(Queueing network equilibrium)」，描述在等待與擁塞的情況下，使用者路徑選擇的行為。上層(Upper-level)問題則是當考慮使用者路徑選擇行為後，最佳化系統的績效，決定道路收費。

此方法明顯違反傳統的邊際成本定價策略，邊際成本定價策略是去計算每條路段的價格，也就是等於邊際社會成本與邊際私人成本的差距，強調將外部成本內部化，降低社會無謂的損失。雙層規劃模式的特色有兩點，第一是去考慮一組路線的組合以及收費受限於最低門檻和最高門檻值。第二，「考慮等候路網均衡模式」，可以準測的預測等候延遲的時間。故不但可以藉由限制式的訂定去呈現不同的收費策略，也可以準確的預測等候延遲時間，如此便可以簡單的實行等候管理策略。雙層數學規劃模式(Bi-level mathematical program)如下：

上層 (Upper-level)：最佳化系統績效決定道路收費

$$\text{Minimize}_{\mathbf{u}} \quad F(\mathbf{u}, \mathbf{v}(\mathbf{u}), \mathbf{d}(\mathbf{u}))$$

Subject to

$$v_a d_a \leq Q_a^{\max}, a \in A \quad (2-1)$$

$$\sum_{a \in A^*} u_a v_a \geq G \quad (2-2)$$

$$U_a^{\min} \leq u_a \leq U_a^{\max}, a \in A^* \quad (2-3)$$

Where  $v(u)$  and  $d(u)$  are obtained by solving lower-level:

符號說明：

F:上層決策者的目標函數(系統管理員)

$u$ :上層決策者的決策向量(道路收費模式)

$v$ :下層決策者的決策向量(路網流量模式)

$d$ :等候延遲的時間

$Q_a^{\max}$ :限制路線  $a$  的最大等候車輛數目

$u_a$ :路線  $a$  的收費

$U_a^{\min}$ :路線  $a$  的最小收費

$U_a^{\max}$ :路線  $a$  的最大收費

式(2-1)為限制路線的等候車輛數，式(2-2)為限制政府的基本總收益，式(2-3)為限制每段路線收費的最大值以及最小值，上層為考慮系統績效後，最佳化道路收費，也就是考慮三種不同的績效，包含總路網旅行成本、政府總收益以及同時考慮最大化政府總收益，最小化總路網旅行成本，如式(2-9)-式(2-11)所示。

下層 (Lower-level)：等候路網均衡模式(Queueing Network Equilibrium Model)

$$\text{Minimize}_v \quad \sum_{a \in A} \int_0^{t_a} c_a(x, u_z) dx$$

Subject to

$$\sum_{r \in R_w} f_r = D_w, w \in W \quad (2-4)$$

$$\sum_{r \in R_w} f_r \delta_{ar} = V_a, a \in A \quad (2-5)$$

$$v_a \leq C_a, a \in A \quad (2-6)$$

$$f_r \geq 0 \quad (2-7)$$

符號說明：

W:一組起迄點(O-D pairs)的集合

A:路網中的路線集合

R:路網中的路徑集合

$R_w$ :一組起訖點  $w$  的路徑集合

$D_w$ :一組起訖點  $w$  之間的需求

$V_a$ :路線  $a$  的流量



$C_a$ :路線 a 的容量

$f_r$ :路徑 r 的流量

$\delta_{ar}$ :假設路徑 r 通過路線 a，則  $\delta_{ar}=1$ ，反之，則  $\delta_{ar}=0$

式(2-4)為需求限制式，式(2-5)為流量守恆限制式，式(2-6)為限制流量必須小於容量，式(2-7)為非負限制式，下層為等候路網均衡模式，也就是當路網的流量剛好為容量，則會出現等候線( $Q_a$ :路線 a 的等候線長度)，進而產生延遲時間( $d_a$ :路線的等候延遲時間)，如式(2-8)所示。

$$v_a \leq C_a, a \in A \quad (2-6)$$

$$\begin{cases} d_a = 0, \text{ if } v_a < c_a \\ d_a \geq 0, \text{ if } v_a = c_a \end{cases} \quad (2-8)$$

符號說明：

$d_a$ :路線 a 的等候延遲時間

此 Bi-level 模式在尋找最佳化收費模式  $u^*$ ，使得系統目標函數  $F(u, v(u), d(u))$  最佳化，(此目標函數選擇  $F_1$ 、 $F_2$  以及  $F_3$ ，如式(2-9)、式(2-10)、式(2-11)所示)。

$$F_1 = \sum_{a \in A} \{ v_a t_a(v_a) + v_a d_a \} \quad (2-9)$$

$$F_2 = \sum_{a \in A} u_a v_a \quad (2-10)$$

$$F_3 = \sum_{a \in A} v_a u_a / \sum_{a \in A} v_a t_a(v_a) \quad (2-11)$$

式(2-9)為總路網旅行成本，包含總旅行時間與總延遲時間，式(2-10)為政府總收費，式(2-11)為同時考慮式(2-9)的總收益和式(2-10)的總成本。

本研究即是運用此模式的架構下去做修改，此模式的優點在於可同時考慮使用者路徑選擇行為，也讓決策者自行決定收費的門檻。當使用邊際成本定價時，為了要讓系統績效最佳化，會算出太高的擁塞收費值。使用雙層數學規劃時，就可透過限制式來設定擁塞收費的門檻值。

然而，本研究除了考慮使用者路徑選擇行為，也會同時考慮，擁塞收費後對於使用者生活品質的衝擊，期望在探討不影響使用者生活品質之下，求得最佳的擁塞收費。藉由探討相關文獻，將衡量生活品質的指標放入目標式，來重新計算出最佳的擁塞收費。除了生活品質之外，污染排放降低的值，也會考慮加入目標式中，去做求解。

同時透過羅吉特模式，探討使用者的運具選擇情形。透過決策變數的調整，如公車班次、擁塞收費定價、大眾運具服務水準等，去計算出使用者替代運具的移轉情形，供決策者去更深入的了解擁塞定價對於使用者的影響。透過此模式，可預先去調整以及模擬相關配套措施的訂定與實施，期望透過擁塞定價，來轉移使用者的運具選擇，降低道路擁塞情形，提升大眾運輸的使用率，藉此達到永續運輸的發展。

Yang 與 Lam(1995)除了使用雙層數學規劃模式(Bi-level programming)，來解決擁塞定價的問題，同時也使用敏感度分析(Sensitivity Analysis)，來做為下層模式，也就是等候路網均衡模式的績效，透過調整路段收費，去看均衡路線流量改變的值，衍伸出額外道路定價策略評估，以及在雙層道路定價問題上，發展啟發式解法。以下是敏感度分析的步驟：

### 敏感度分析演算法

步驟零、決定一組起始路線的收費  $u^{(0)}$ ，假設  $n=0$ 。

步驟一、求解下層模式，等候路網均衡問題，已知收費型態  $u^{(n)}$ ，使用懲罰函數的方法，得到固定收費下，每個線段的流量  $v^{(n)}$ 和等候延遲的時間  $d^{(n)}$ 。

步驟二、使用敏感度分析計算出敏感值  $\partial v^{(n)} / \partial u$  和  $\partial d^{(n)} / \partial u$ 。

步驟三、使用微分的資訊，產生上層目標函數以及考慮限制式後，得出區域線性最佳解。透過增加額外的解  $y$ ，去求解引發的線性模式。

步驟四、當  $\alpha$  值已知，計算收費的值。

$$u^{(n+1)} = u^{(n)} + \alpha^{(n)}(y - u^{(n)}) \text{ where } \alpha^{(n)} \text{ is given by } \alpha^{(n)} = \beta / (1 + n)^\gamma$$

where  $\beta, \gamma$  are parameters ( $\beta > 0, \gamma \geq 1$ )

步驟五、計算所有線段收費的變化量  $|u_a^{(n+1)} - u_a^{(n)}| \leq \varepsilon$  for all  $a \in A^*$ ，若是  $\varepsilon$  達到先前設定的容忍值，則停止。否則設定  $n := n+1$ ，回到步驟一。

透過雙層數學規劃模式與敏感度分析，此文獻使用假設的路網呈現三個案例。第一個案例為敏感度分析的計算過程以及其衍伸。第二個案例是考慮理想的情況下，使用雙層道路定價模式，檢驗傳統的邊際成本定價理論。最後一個案例則是考慮實際的限制式，使用雙層道路定價模式去計算擁塞道路定價。

第一個案例，使用敏感度分析的擁塞道路定價，事先已知收費模式，也就是需收費

的路段。在已知每條路段的旅行時間及容量下，進行敏感度分析。透過敏感度分析，將路線收費進行微調後，可預測出均衡流量、等候延遲以及系統目標函數的變化量。而系統目標式共有三種績效，總路網的旅行成本、總收益、以及前兩項績效之比率。

結果顯示在極度擁塞的路段，也就是在即使有採取擁塞收費的措施，仍然會出現等候線的路段上，增加收費的比率，並不會改變流量。因為在極為擁塞的路線上，增加收費後，可降低等候延遲，如此就能抵消費對於流量所產生的影響。

而這些變動的資訊，可用來解釋許多隨之延伸出來的涵義，可解釋在擁塞路網上的營運效率和不同道路定價策略所帶來的經濟意涵。衍伸的資訊中顯示，在擁塞均衡流量模式下，路段的收費會最為敏感，也因此，此時的路線收費最需要被考慮該如何改善擁塞道路系統的效率，這些資訊也提供給使用者一個方向。結果也顯示，路線的敏感值是相互對稱的，符合標準路網均衡問題的概念。

本研究也會透過敏感度分析，來提供決策者管理的策略方向。以台北都會區為例，提出一個最佳的收費方案與收費周界，以及提供收費值與收費周界的敏感度分析，提供決策者做資源的有效管理。

各文獻中雙層數學規劃法之目標式、限制式以及需求的函數整理如表 2.1-2.2 所示。

表 2.1 雙層數學規劃法之目標式、限制式以及需求函數總整理

Authors	Bi-level Mathematical Programming Model			
	upper-level objective function	upper-level constraints	lower-level objective function	lower-level constraints
Yang and Bell, (1996)	Max. 1. total travel demand 2. consumer surplus 3. total revenue	1. Physical capacity (or environmental) 2. non-negative toll	Min. (total travel cost) -(consumer surplus)	1.the O-D demand 2.the flow conservation 3.non-negative flow

<b>Yang and William, (1995)</b>	Min. 1. total travel time Max 2. total revenue Max 3. total revenue /total travel time	1. capacity 2. budget 3. toll charge with lower and upper bound	Min. total travel cost	1.the O-D demand 2.the flow conservation 3.non-negativity 4.capacity
---------------------------------	---	---	---------------------------	---

表 2.2 雙層數學規劃法之目標式、限制式以及需求函數總整理(2)

Authors	Bi-level Mathematical Programming Model			
	upper-level objective function	upper-level constraints	lower-level objective function	lower-level constraints
<b>Zhang and Yang, (2004)</b>	Max. SW	none	Min. (total travel cost) -(consumer surplus)	1.the O-D demand 2.the flow conservation 3.non-negative flow
<b>Yang et al., (2004)</b>	Max. 1.SW 2.revenue	5 alternative tolling scheme specific to individual entry and exit points A. subject to a lower bound and an upper bound. B. longer distances traveled are subject to higher toll charges, two or more sub entry-exit pairs, its toll charge should be less than or equal to the sum of the toll charges for these sub-pairs. C. link-specific toll	Min. (travel time) + $\beta$ *(travel cost) -(consumer surplus)	1.the O-D demand 2.the flow conservation 3.non-negative flow 4.the traffic flow entry-exit pair on the tolling sub network

		D. proportional to the distance traveler E. constant toll charge		
--	--	---	--	--

## 2.2 擁塞收費最佳收費周界

Zhang and Yong(2004)曾使用基因演算法與貪婪搜尋法，同時求解最佳化收費周界與收費程度。以上海市中心的路網為案例，在不同的收費方式下，包含單層與雙層的收費周界，使用次佳化收費定價模式進行求解。

雙層數學規劃模式(次佳化收費定價)為此文獻的求解模式，其上層目標式為最大化社會福利，即為最大化使用者意願與最小化所有用路人的旅行時間，下層則使用 Sheffi(1985)所提出的「交通均衡模式」，也就是一般化旅行成本，包含收費費用，來進行求解，目標式為最小化旅行成本，包含所有用路人的旅行時間與擁塞收費，及最大化收費後的使用者意願，限制式共有三個，其一為限制流量必須小於容量，如此才能使道路的速度維持一定的水準，其二為起訖點間路徑總流量必須等於起迄點的需求量，即為流量必須滿足需求量，其三為流量必須大於零。

求解後將次佳化定價的結果與最佳化定價做比較，探討不同收費水準下，次佳化定價與最佳化定價的社會福利差距。隨後，再探討不同旅次長度對於以收費周界為基準的定價策略實施後所產生不同的影響。最後，對於需求彈性做其敏感度的分析。

求解後發現單層收費周界的最佳費率水準為 10.6(HK\$)，最大化之社會福利為  $1.634 \times 10^7$ (HK\$)。和尚未實施收費制度前相比，增加 0.93%的社會福利，與最佳化定價相比，損失 2.27%的社會福利。

最佳化雙層收費周界的結果為，內層收取 2.9(HK\$)，外層收取 8.5(HK\$)，最大化之社會福利為  $1.641 \times 10^7$ 。和尚未實施收費制度前相比，增加 1.35%的社會福利，與最佳化定價相比，損失 1.85%的社會福利

和最佳化定價的績效相比，單層收費周界的社會福利績效有達到增加 28.3% 而雙層收費周界的社會福利更是達到 41.51%。可從數據中發現，雙層收費周界的社會福利增加的比率比較大。

根據用路者旅次長度(分鐘)的資料中，觀察交通需求量的變化，可發現實施擁塞收費制度後，對於旅次長度較短的需求量並沒有減少，反而需求量會增加，這是因為擁塞收費對於小於 10 分鐘的旅次並無太大的影響，旅次長度較短的使用者並不會跨越收費周界，因此可以避免繳交費用，故反而從路網擁塞減低中獲得利益，需求量隨之跟著增加。與最佳化收費定價之相比，也可發現單層與雙層收費周界的定價的旅次需求量較為高。

然而，介於 10-35 分鐘，旅次較長的使用者，其需求量會隨著擁塞收費制度實施之後隨之降低，單層與雙層收費周界的定價也比最佳化收費定價來的低。

當旅次長度大於 35 分鐘，當擁塞收費制度實施後，需求量隨之降低，與邊境成本定價相比，需求量較高，這代表長距離的旅次需求會隨著周界定價的制度超過社會最佳化需求的水平。

敏感度分析中，此文獻探討到的是具彈性的旅運需求，以不同的需求彈性來求解出不同的最佳化費率水準，透過調整需求函數的參數，介於 0.1-1.0 之間，我們可發現隨著需求彈性的增加，最佳化的費率水準隨之遞減，不論是單層收費周界的費率水準，或是雙層收費周界中內層與外層的費率水準，都是隨著彈性增加隨之遞減，此結果也可以看出，當需求彈性增加時，費率水準必須隨之遞減，達到社會福利最大化。然而，考慮到實際的需求彈性，也就是介於-0.3~-0.4 之間，社會福利的效率只達到最佳化定價的 20%-60%，有可能是因為單層收費周界的制度，並無法改變使用者的路徑選擇，故社會福利的效率也隨之無法提升到如最佳化定價那麼高的比率。

故此篇文獻得到，以上海城市道路路網為案例來進行收費周界為基準的次佳化定價求解，增加之社會福利只能達到最佳化定價的 20-60%，而當實施收費周界制度後，中間長度旅次的需求量影響最大，會降低許多，而短時間長度的旅次的需求量會因為道路擁塞程度改善且不會跨越收費周界而增加，長時間長度的旅次影響不大，會減少一點點。

在這篇研究中最特別的是，使用基因演算法，來求解收費周界與費率水準。大部份的文獻中多半只探討到最佳化擁塞費率水準，關於最佳化擁塞收費周界，並無多做討論，然而，在實際的道路路網中，當政府欲實施擁塞收費制度時，必

須先決定收費周界的位置，若是想透過傳統的離散最佳化法則去求解路網位置的問題是非常困難的，除了必須選定候選的收費路徑，還必須求解雙層的周界收費最佳化模式。這篇研究採用 1998 年 Haupt and Haupt 提出的基因演算法，來做為求解演算法。染色體代表求解的可行解收費範圍，染色體的績效則為最大化社會福利，透過基因演算法來將收費周界和費率水準的求解模式做結合，與其他的文獻中最大的不同則是可同時最佳化收費的周界以及收費的費率。

## 2.3 擁塞收費之實例介紹

### 2.3.1 英國倫敦

倫敦於 2003 年 2 月正式推出擁塞收費 (Congestion Charge) 制度，由於倫敦交通擁塞堵塞道路，嚴重威脅到企業和損害倫敦的地位，在英國，倫敦為交通擁塞最嚴重的地區，同時也是歐洲交通堵塞最嚴重的區域，駕駛者在倫敦市中心花費的旅行時間超過 50% 在等候線中，每個工作天的上午，更相當於 25 條十分繁忙的高速公路車道試圖進入倫敦中心。根據倫敦交通部 (Transport of London) 的調查，倫敦每週的擁塞造成損失的時間，估計約為 200-400 萬英鎊之間。2000 年，倫敦市長於上任時提出擁塞收費來解決交通堵塞的方案，經過擁塞收費的制度，倫敦市中心收費區內每日的交通量減少 16%，約為 7 萬台車輛，公車乘客也增加 6%，收費區外的總交通量減少 14%，外環型的交通量也增加 12% 的旅次，同時收益達到 1.4 億英鎊，用於投資改善倫敦的交通。收費周界為倫敦市中心，如圖 1.1 所示，收費時間是平常上班日週一至週五 (07:00-18:00)，節慶假日不予以收費，費率水準為每天 8 英鎊。

## Central London Congestion Charging zone

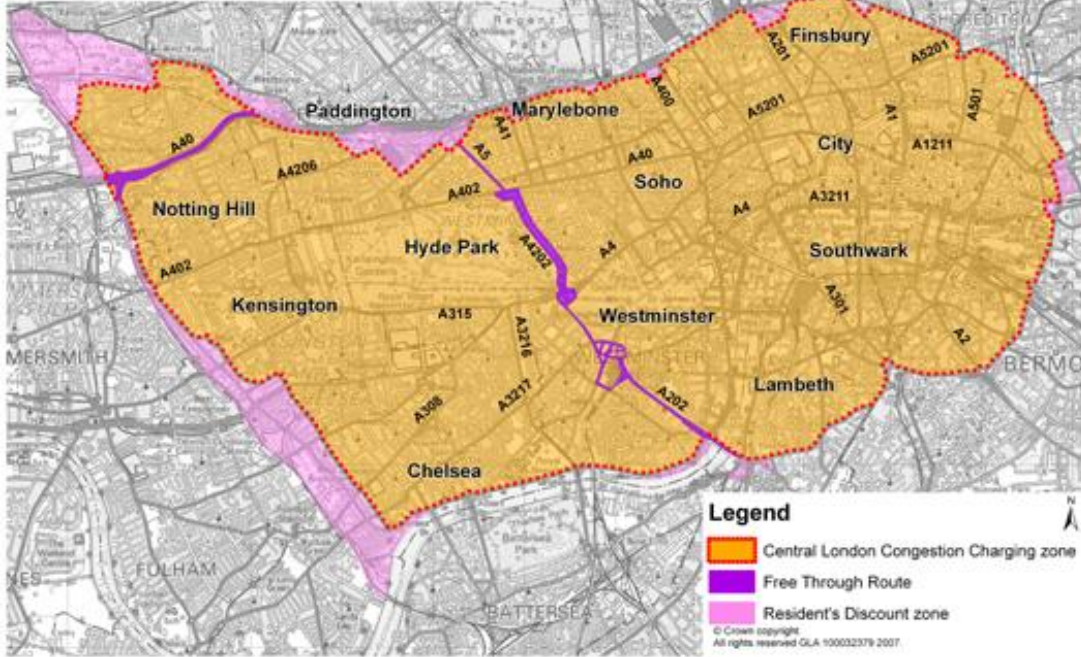


圖 2.1 倫敦實施擁塞收費的周界

圖 2.1 中可看出收費周界為紅色虛線，也就是橘色區域的位置。住在擁塞收費周界的居民，也就是粉紅色區域以及橘色區域中的居民，可以享有九折折扣的費率。而周界內有兩條道路，如圖中紫色所示，不用收費，如果透過此兩條道路通過收費周界，則可以不用繳納擁塞費。透過圖 2.2 可更清楚的看出擁塞收費的路段。





圖 2.2 倫敦實施擁塞收費的路段

倫敦的擁塞收費方式採取直接對車牌號碼採取收費，而於擁塞收費區內，設置攝影機將車牌號碼直接放入資料庫，於車牌號碼的帳戶之中，直接進行扣款的動作，如圖 2.3 所示。



圖 2.3 倫敦擁塞收費的告示牌

### 2.3.2 瑞典斯德哥爾摩

瑞典於 2006 年在斯德哥爾摩，也就是瑞典的市中心，實施擁塞稅(Congestion Tax)的制度，目的為降低擁塞，增加可及性，以及改善環境。根據不同進城與出城時段，進行收費的制度，如圖 2.4 所示，收費時段為週一至週五(6:30-18:30)，每次進城或出城收取 10、15 或 20 克朗的費用，每天最多收費為 60 克朗，收費周界為斯德哥爾摩市中心，如圖 2.5 所示，共有 18 個收費門檻(Gate)，繳費方式有三種，分別為月繳制度，每個月會寄帳單到家裡，通知這個月應收的擁塞稅，或是透過電子收費系統直接從車主的帳戶直接扣除，或是直接扣除 Autogiro 這個帳戶。

Time of day	Tax
00:00 – 06:29	0 SEK
06:30 – 06:59	10 SEK
07:00 – 07:29	15 SEK
07:30 – 08:29	20 SEK
08:30 – 08:59	15 SEK
09:00 – 15:29	10 SEK
15:30 – 15:59	15 SEK
16:00 – 17:29	20 SEK
17:30 – 17:59	15 SEK
18:00 – 18:29	10 SEK
18:30 – 23:59	0 SEK




圖 2.4 斯德哥爾摩的擁塞收費時段  
(來源:Wikipedia.Amounts in Swedish krona.)

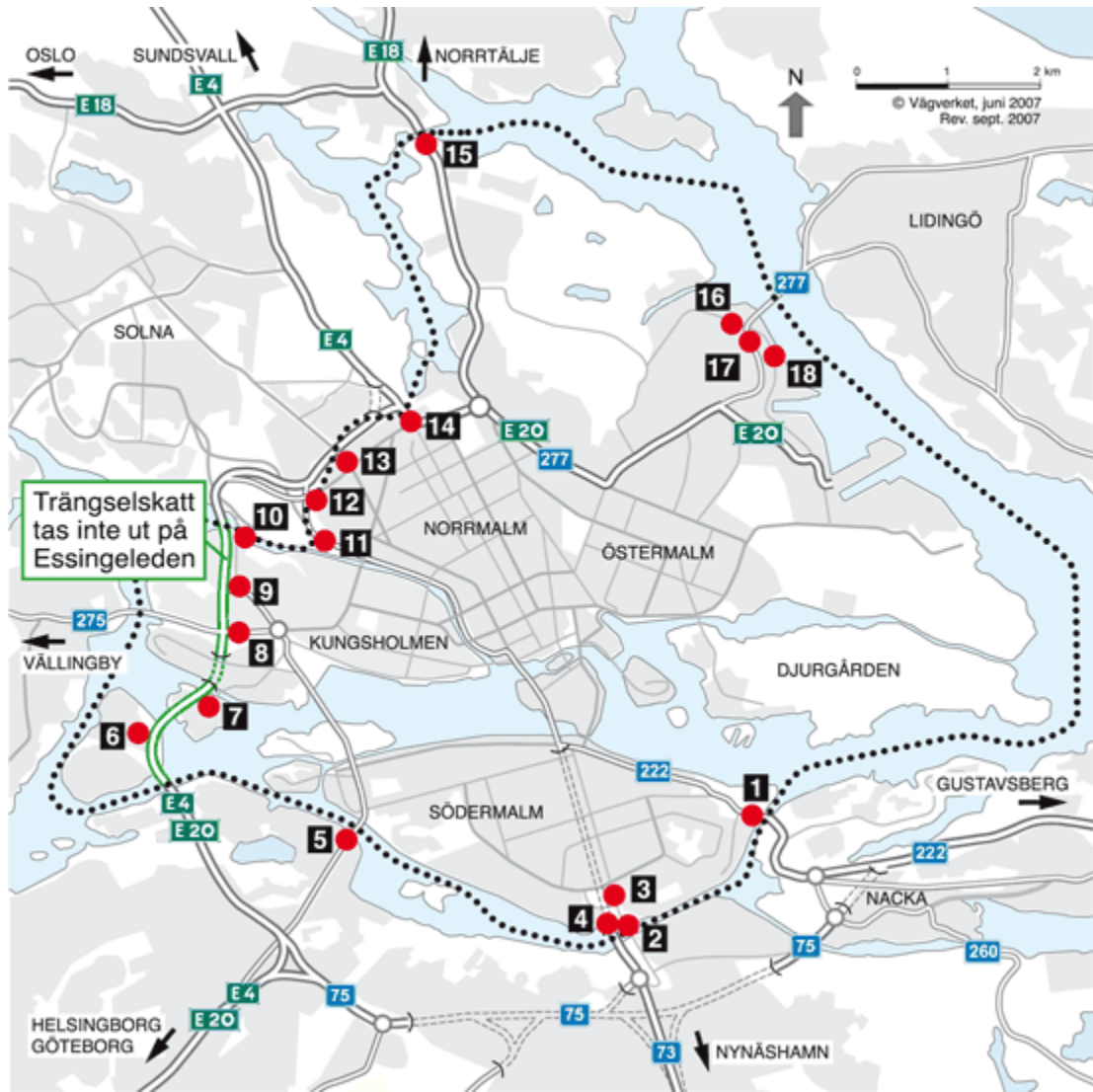


圖 2.5 斯德哥爾摩的擁塞收費門檻(gate)  
 (來源:Swedish Road Administration)



圖 2.6 斯德哥爾摩的擁塞收費周界  
 (來源:Head of the Congestion Charge Secretariat, City of Stockholm)

### 2.3.3 新加坡

新加坡於 1975 年便開始實施擁塞收費的制度，收費方式是採取收費周界，在 600 公頃的控制區域(Restricted Zone, RZ)，於早上尖峰時段(7:30-9:30)進行擁塞收費，費率水準為每天收取 3 新幣。除了公車以及高載客率的車輛，其他進入收費區的車輛必須出示區域通行證，稱為區域通行證制度(Area License Scheme, ALS)，剛開始實施的時候，每天收費 3 新幣，一個月收取 60 新幣，當時尖峰小時交通量下降了 45%，平均車速也從每小時 18 公里增加至每小時 35 公里，使用公車上班的比率高達 50%，達到總上班比率的 46%，汽車共乘的比率也增加很多。

### 2.3.4 挪威卑爾根、奧斯陸、特隆赫姆

挪威於 1987 年也開始實施擁塞收費，位於挪威的卑爾根(Bergen)，其收費方式採取收費環(Toll Ring)的制度，當小客車通過收費環，則收取計次的費用，進城才收取擁塞費，而出城不用，此種收費方式稱作以周界基礎為準的擁塞收費(Cordon-based Congestion Charge)，共有七個收費門檻(Gate)，主要是以天然邊界的橋梁為主設置門檻，費率水準為小汽車每次 5 挪威幣，重型車輛為每次 10 挪威幣，收費時間為週一至週五早上六點至晚上十點。之後於 1990 年，挪威也在奧斯陸(Oslo)實施擁塞收費的制度，和卑爾根不同的是，收費不分時段，仍為分車種收費，每次進城皆收取小汽車 10 挪威幣，重型車輛 20 挪威幣，但是，奧斯陸並無天然邊界，如橋梁、隧道等設施，故共設置了 19 個收費門檻，來對於使用者進行收費。由於前兩個擁塞收費制度產生了不錯的績效，於 1991 年，挪威也在特隆赫姆(Trondheim)進行擁塞收費的制度，於週一至週五的早上六點至晚上五點，根據不同時段進行動態收費，一般汽車每次收費最多為 10 挪威幣，重型車輛則每次最多為 20 挪威幣。



### 2.3.5 美國橘郡

1995 年，美國於加州橘郡(Orange County)SR91 公路，進行尖峰擁塞收費的收取，收費時間為往東(3:00-22:00)，往西(2:00-21:00)，依照不同交通擁塞程度進行動態定價，費率水準為 0.7-3.5 美元，共有 8 個收費水準，高乘載車輛(3 人以上之車輛)不用進行收費。

### 2.3.6 美國聖地牙哥市

1996 年，美國於聖地牙哥市(San Diego)I-15 公路，進行尖峰擁塞收費的收取，收費時間為早上尖峰小時(5:45-9:15)，晚上尖峰小時(15:00-19:00)，費率水準為每月 70 美元，以人工的方式取締違規。

1998 年，美國於聖地牙哥市(San Diego)I-15 公路，改變尖峰擁塞收費的收取制度，收費時間也為早上尖峰小時(5:45-9:15)，晚上尖峰小時(15:00-19:00)，費

率水準為採取動態收費，以需求為基礎的動態費率(Demand-Based Dynamic Pricing)，費率水準為以 0.5 美元起跳，以 0.25 美元為一次變動起伏，尖峰費率最高可達 4 元。

### 2.3.7 各國擁塞收費制度之總整理

表 2.3 各國實施擁塞收費周界與費率之整理  
(文獻來源:本研究整理)

國家	收費周界	收費時間	費率水準
新加坡 (1975)	600 公頃 控制區域 (Restricted Zone, RZ)	早上尖峰 (7:30-9:30) 週六(7:30-14:00) 快速道路 (7:30-9:30)	(計次收費)  1.尖峰費率 (1)小型車 1.5-3(新幣/次) (2)大型車 2.25-2.5(新幣/次) (3)聯結車 3-6(新幣/次) 2.離峰費率 (1)小型車 0.5(新幣/次) (2)大型車 0.75(新幣/次) (3)聯結車 1(新幣/次) 3.公共車輛、高載客率的小汽車(3 人以上)免收費
挪威 Bergen (1987)	7 個收費門 檻(Gate) 3 座橋 6 個主要道 路	週一至週五 (6:00-22:00)	1.一般汽車：5(挪威幣/次) 2.重型車輛(超過 3500kg)：10(挪威 幣/次) 3.預付、季節性的通行證則可有折扣
挪威 Oslo (1990)	19 個收費 門檻(Gate)	不分時段	1.一般汽車：10(挪威幣/次) 2.重型車輛(超過 3500kg)：20(挪威 幣/次)。 3.預付、季節性的通行證則可擁有折 扣
挪威 Trondheim (1991)	12 個收費 門檻(Gate)	週一至週五 (6:00-17:00)	1.一般汽車：≤ 10(挪威幣/次) 2.重型車輛(超過 3500kg)：≤20(挪威 幣/次)。 3.預付則可有折扣。 4.根據時段作變動。

美國 加州 橘郡 SR91 (1995)		往東(3:00-22:00) 往西(2:00-21:00)	依交通擁塞程度而定 1. 0.7~3.5 美元(8 個收費水準) 2. 高乘載車輛(三人以上)不收費。
美國 聖地牙哥 市 I-15 (1996)	高乘載專用 車道(HOV)	早尖峰小時 (5:45-9:15) 晚尖峰小時 (15:00-19:00)	月費 1.70 美元/月 2. 人工取締違規
美國 聖地牙哥 市 San Diego I-15 (1998)		早尖峰小時 (5:45-9:15) 晚尖峰小時 (3:00-7:00)	計次收費(動態) 以需求為基礎的動態費率 (Demand-Based Dynamic Pricing) 1.0.5 美元起跳, 以 0.25 美元為一次 變動起伏, 尖峰費率最高可達 4 元。
韓國首爾 南山隧道 (1996)		平日(7:00-21:00) 周六(7:00-15:00)	1. 高乘載(3 人以上)免費行駛。 2. 2000 韓元(新台幣 57 元/次)
加拿大 407 高速 公路		上午尖峰小時 (6:00-10:00) 下午尖峰小時 (15:00-19:00)	1. 尖峰費率 (1) 小型車 12.95(分/km) (2) 大型車 25.90(分/km) (3) 聯結車 38.85(分/km) 2. 離峰費率 (1) 小型車 12.10(分/km) (2) 大型車 22.20(分/km) (3) 聯結車 33.30(分/km)
瑞典 (2006)	斯德哥爾摩 市中心 (Stockholm)	週一至週五 6:30-18:29	每次 10、15 或 20 克朗。 最多為每天 60 克朗。(9.85 美元)
英國 (2008)	倫敦市中心	週一至週五 07:00-18:00	每天 8 英鎊

表 2.4 各國實施擁塞收費後之實施效果整理  
(文獻來源:本研究整理)

國家	實施效果
新加坡	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.高峰小時交通量下降 45%(其中 70%以上的為單獨駕駛者)。</li> <li>2.平均車速從每小時 18km 增加到每小時 35km。</li> <li>3.使用公車上班的比率增加了近 50%，達到總上班旅次的 46%旅次量。</li> <li>2.汽車合乘比率也大大提高。</li> </ol>
韓國 首爾	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.實施一年後，該區域整體路網交通量減少 3.9%，且平均速度也明顯增加許多。</li> </ol>
瑞典 斯德哥 爾摩	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.在上午與下午尖峰擁塞時段，降低交通流量 10-15%。</li> <li>2.改善公車與汽車進入市區的可行性。</li> <li>3.乘坐大眾運具的人數，每日增加了 4 萬人次。</li> <li>2.溫室氣體排放量降低 40%。</li> </ol>
英國	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.收費區內每日交通量降少 16%。(70,000 車輛/日)。</li> <li>2. 於收費時間，公車乘客增加 6%。</li> <li>3. 收費區外總交通量減少 14%。</li> <li>2. 收費區外環型交通增加 12%的旅次。</li> <li>5. 在 2007 年增加約 1.4 億英鎊，用來投資改善倫敦的交通。</li> </ol>

表 2.5 各國實施擁塞收費制度之目標  
(來源:本研究整理各網站所得)

國家	目標式
瑞典	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.降低二氧化碳、氮氧化物以及顆粒物的排放量。</li> <li>2.讓民眾感受到改善環境後，街道增加的水準。</li> </ol>

表 2.4 與表 2.5 可發現實施擁塞收費可有效的降低交通量，增加平均車速與降低旅行時間，同時也會增加大眾運具的使用比率。實施收費周界時，收費周界內外的的交通量都會下降，但是外環型的交通量會增加。除了增加政府用來投資改善交通環境的收益，同時降低環境汙染，提升國民生活品質。



## 第三章、研究方法

本研究旨在建構擁塞收費的收費周界與費率水準的最佳化選擇，進一步探討最佳化之目標式，評估各種不同的目標式，所達成不同的擁塞收費定價與收費選擇之周界。因此，本研究必須具備下列幾項特性：

1. 必須能清楚訂定擁塞收費的周界，以及擁塞收費的方式(每次收費、每月收費、通行證)，在不同的擁塞收費方式下之社會福利與旅行成本，並探討能源減量以及等候線減少的程度。
2. 必須要能清楚反應實施不同擁塞定價下對用路人之使用影響程度以及量化數值，亦即對於用路人生活品質的影響。
3. 必須要能清楚反應不同用路人之各項運具移轉的行為。
4. 必須要能具備最佳化各種交通管理策略之能力。
5. 必須要能整合所有相關影響擁塞收費的模式(雙層數學規劃模式、多項羅吉特模式)。
6. 必須提供決策者一個方便使用及改變政策的擁塞收費定價模式。



### 3.1 雙層數學規劃法

雙層數學規劃法，與賽局理論的概念類似，其決策者分為上、下雙層。上、下雙層分別考慮各自的目標式，也分別有各自的決策變數，而兩者的決定又會互相影響，故雙層數學規劃法亦可視為賽局理論的一種，其上層為領導者(Leader)，下層為跟隨者(Follower)，下層會根據上層的決策進行決策，上層也會根據下層的決策進行決策，故兩者皆會互相影響。以下為雙層數學規劃的一般定式：

$$\max_{x \in X} F(x, y)$$

$$\text{s. t. } G(x, y) \leq 0$$

$$\min_{y \in Y} f(x, y)$$

$$\text{s. t. } g(x, y) \leq 0$$

雙層數學規劃法即是使用此種概念，由於決策者有政府以及道路使用者，在交通管制政策規劃時，不能只考慮政府的決策方向，也須同時考慮到路使用者的感受，當政府決定擁塞收費的路段與收費的費率後，道路使用者會根據政府訂定的擁塞收費，選擇其最小旅行成本的路徑行走，故決策者有上下層之分。上層決策者為政府，考慮社會福利最大化，在限定的收費費率上下限內，決定不同車種收費的水準。下層決策者為道路使用者，根據政府決定的收費值，考慮旅行成本最小化，決定其選擇的路徑。

故下層決策者會根據上層決策者的決策方向進行決策，而上層決策者又會根據下層決策者的決策進行最佳收費的決策，以求最大(小)化目標式。故上層的結果會為下層的輸入值，而下層的結果又會影響上層的決策，上層考慮下層的結果後，尋找決策的方向，進行擁塞收費的調整，以求最大化目標函數。故雙層數學規劃法的最佳化是在兩者會互相影響的決策者間，尋找系統最佳化的值，其下層又可視為上層的限制式。

### 3.2 基因演算法

最早是由Holland (1975)所提出，其原始構想是利用生物染色體基因架構的觀念，來表示一個複雜系統的結構。舉例而言，一個0-1 整數規劃問題中，每個決策變數皆可視為是一個基因 (Genes)，而每個可行解視為是染色體

(Chromosome)；若任意產生一些可行解做為「父代 (Parents)」，再經由基因間的複製、交配 (Crossover) 產生新的可行解「子代 (Offspring)」，然後保留最佳的幾個解再產生下一組子代。重複執行此過程多次後，將可找到最佳解或甚佳的近似解。

#### 1. 初始族群(Initial Population)

在進行基因演算法之前，必須先隨機產生  $S$  個染色體(Chromosome)，這  $S$  個染色體稱為初始族群。族群中的每一個染色體都屬於一個個體 (Individual)，而族群之大小一般依據問題之複雜度而定。

初始族群常以隨機方式產生，目的為使用隨機的選擇讓族群中之基因能具有多樣性，使得搜尋具有多點之特性。

## 2. 基因編碼(Encoding)

基因演算法包含多種編碼型態，二進位編碼、整數編碼、文字編碼或符號編碼等，在一個染色體中通常使用同一種編碼型態，但也可同時使用多種；下列舉兩例說明：

### (1) 二元編碼

針對問題模式的型態定義可能的解集合，然後將問題編碼成二進位碼 0 或 1，接著將二元數字組成一組字串，稱為染色體，多用於數值問題。

### (2) 實數編碼

實數編碼直接以數字的排列來表示染色體，通常用於排列順序型的問題。

## 3. 適應函數(Fitness)

適應函數是基因演算法用以衡量染色體優劣的標準，用以評估原始問題的目標函數。透過此函數的運算，計算每一個染色體的適應值，而此適應值即表示染色體的優劣程度。

適應值的高低表示個體在族群中的合適程度，當適應值越大，表示生存力越好，被保留下來遺傳後代的機率就高；反之，適應值較小的容易被淘汰。

## 4. 複製(Reproduction)

複製運算主要目的在保留族群中優質的染色體，使其得以繁衍優良的後代。常用的複製方法有兩種：

### (1) 輪盤式選擇法(Roulette wheel selection)

每個個體的適應函數值如同在輪盤中所占的面積，所以適應值越大的越容易被選中。

### (2) 競爭式選擇法(Tournament Selection)

由族群中隨機選出數個個體彼此競爭，將適應函數值高的個體放到交配槽，如此重複直到交配槽的個體數與族群的個體數相同為止。

## 5. 交配(Crossover)

隨機選取兩個父代染色體，彼此交換位元資訊，族群內適應能力較好的擁有較大的機會被隨機選取到，透過交配的方式以產生新的子代，以期望可

以得到較高適應值的染色體。常用的交配策略為以下三種：

(1) 單點交配(One-Point Crossover)

隨機挑選一個交配點，將其交配點之後的基因互換。

(2) 兩點交配(Two-Point Crossover)

隨機挑選兩個交配點，將其交配點之間的基因進行互換。

(3) 均勻交配(Uniform Crossover)

每個點都是交配點，由機率決定該點之基因是否該進行交換。

## 6. 突變(Mutation)

為了避免族群趨向過度單一化，或落入區域最佳解，加入突變因素，增加母體的變異程度。以生物的觀點來說，突變的機率非常低，但在求解過程都會提高突變率，以尋找適應性較強的物種；

突變有以下幾種型式：

(1) Swap Mutation(SM)

任選兩個基因，將其互調。

如 5 4 2 3 1 8 7 6 → 5 1 2 3 4 8 7 6

(2) Three Swap Mutation(TSM)

任選三點，採用隨機分式交換

如 5 4 2 3 1 8 7 6 → 7 4 5 3 1 8 2 6

(3) Adjustment Swap Mutation(ASM)

任選兩相鄰的點交換

如 5 4 2 3 1 8 7 6 → 5 4 3 2 1 8 7 6

## 7. 取代(Replacement)

在經過複製、交配及突變三個過程之後，在交配槽內會產生新世代族群的個體，這個族群必須經過取代舊族群並負起繁衍下一代之任務，通常族群取代的方法有下列兩種：

(1) 整群取代

將舊族群中的舊個體全部以新族群的新個體取代，成為新的族群。

(2) 保留菁英

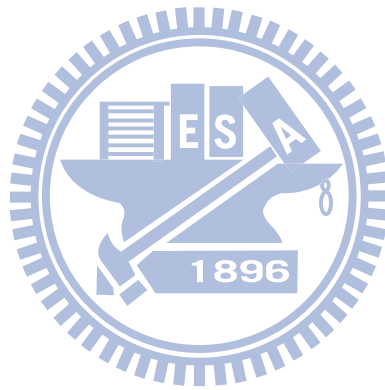
將舊族群中的適應函數值最高者或前幾名保留下來，新的個體則淘汰

掉適應函數值最低的幾名取代舊族群，成為新的族群。保留菁英法最大的好處是能夠確保新一代的族群適應函數值不會降低。

## 8. 終止條件

一般而言，基因演算法之終止條件有三種決定方式：

- (1) 當搜尋結果達到所要目標
- (2) 當搜尋結果停滯不前或已經達到某種飽和現象
- (3) 當搜尋到指定代數時



基因演算法之流程圖如圖 3.1 所示：

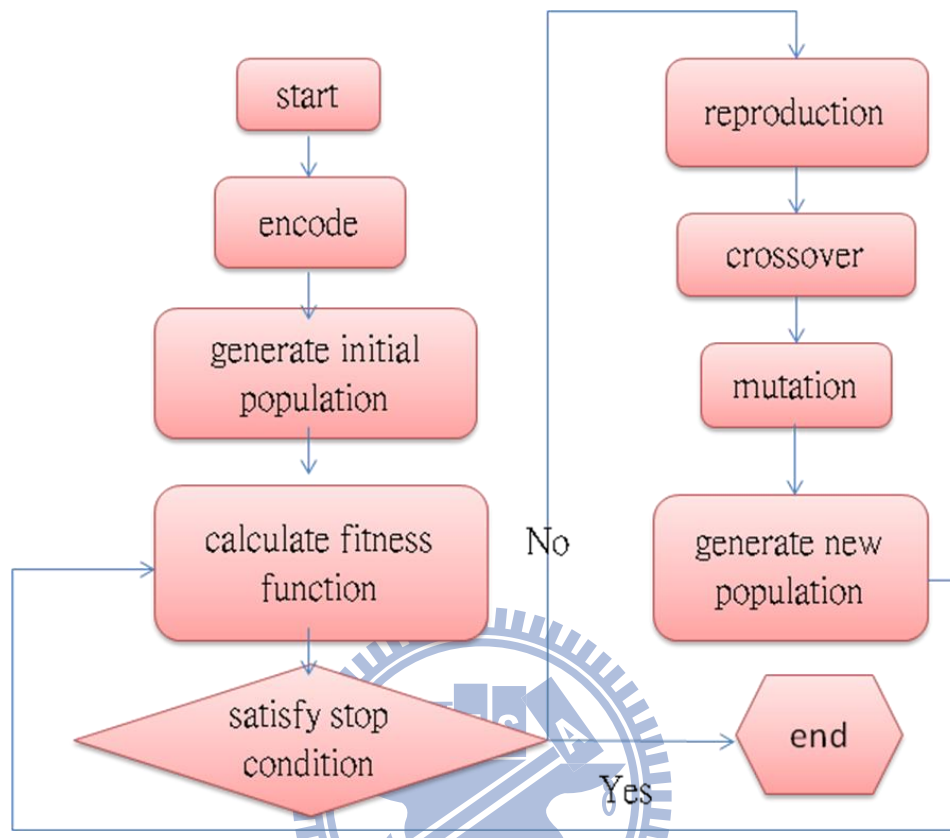


圖 3.1 基因演算法流程圖  
(本研究整理)

## 第四章、模式建構

### 4.1 模式架構圖

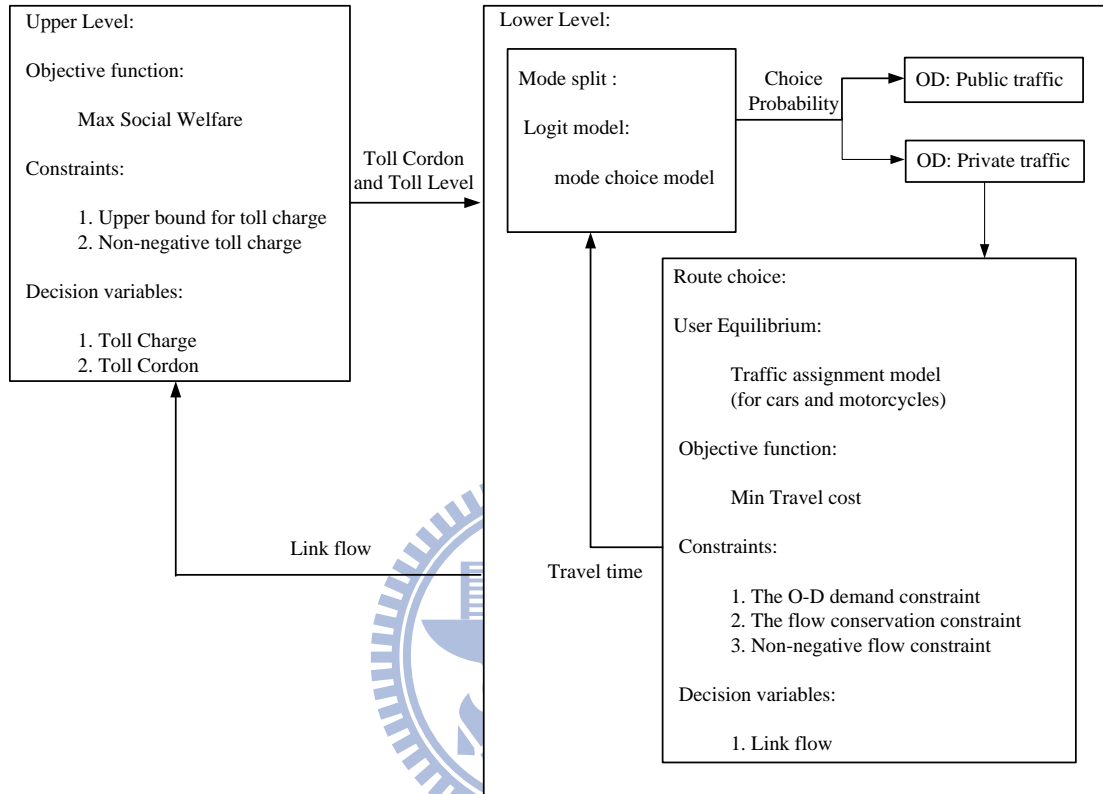


圖 4.1 模式架構圖

根據圖 4.1 所示，上層決策者為系統管理者，即為政府，而下層決策者為道路使用者，透過雙層數學規劃法，求解最大化社會福利後，即可找到最佳化擁塞收費周界與費率水準。

上層的目標函數為最大化社會福利，限制式分別為限制收費費率水準的最大值與最小值以及最小值不得小於零，決策變數為收費周界與費率水準。

將上層決定的收費周界與費率水準帶入運具選擇模式，決策者會根據旅行時間(TT)、旅行成本(TC)、以及收費費率(x)，進行運具的選擇後，選擇私人運具的需求量會繼續透過使用者均衡(UE)，來進行路徑選擇，道路使用者會根據起迄點中不同路徑的旅行成本，包含旅行時間與收費，進行路徑的選擇。下層求解其大眾與私人運具的選擇機率，再根據下層的選擇機率決定新的收費周界與費率水

準，以求得最大化社會福利。

下層為透過羅吉特模式，將人旅次的需求量，進行運具選擇的指派，而運具選擇的機率分別考慮不同起迄點下，大眾運具與私人運具的使用機率，再將私人運具的使用機率，透過汽機車的乘載率，將人旅次的需求量轉換成車旅次的需求量，帶入下層的使用者均衡模式。目標式同時求解最小化旅行成本與最大化社會福利，透過彈性需求路網均衡模式，包含汽車與機車的使用，計算出旅行時間。再將旅行時間帶入羅吉特模式之中，便可求得新的運具選擇機率與總效用。

下層的交通路網均衡模式中，目標式為旅行成本最小化，限制式有三條，分別為需求限制式，流量守恆限制式，流量非負限制式。決策變數為路線流量。

## 4.2 模式建構

本研究除了考慮路徑選擇，同時加入運具選擇的模式進行探討。預計加入多項羅吉特模式，將原本 Bi-level 的模式，加以修改，增加其上層的限制式，來衡量消費者的偏好。下層原本採用使用者均衡行為(User Equilibrium, UE)，來探討使用者衡量旅行成本後，包含旅行時間與收費，將所有路徑之旅行成本最小化後選擇路徑，進而求出各個路段的流量。此模式除了考慮汽車與機車的旅行成本外，也考慮加入其他變數，如大眾運具、腳踏車的旅行成本等，來衡量消費者的偏好與選擇行為的改變，故考慮採用多項羅吉特，來衡量使用者的行為，取代原文獻中所假設的需求函數，故原本 Bi-level 的模式，修改成以下之模式：

上層 (Upper-level)：最大化社會福利

$$\begin{aligned} & \max_x \sum_w \sum_i U_i^w(TT^w, TC^w, x^w) + (-\beta_3) * x^w \\ & = \max_x \sum_w \ln \sum_i e^{V_i^w(TT^w, TC^w, x^w)} + (-\beta_3) * (x_a * v_a) / \sum_w D_w \end{aligned}$$

Subject to

$$V_i^w = f(TT^w, TC^w, X^w) = \beta_0 + \beta_1 TT^w + \beta_2 TC^w + \beta_3 x^w \quad (3-4)$$

$$P_i^w = e^{V_i^w} / \sum_{j \in A} e^{V_j^w} \quad (3-5)$$



$$d_w = D_w * P_c^w / l_c + \alpha * D_w * P_m^w / l_m \quad (3-6)$$

$$x^w = \sum_{r \in R_w} x_r^w f_r^w / \sum_r f_r^w \quad (3-7)$$

$$TT^w = \sum_{r \in R_w} t_r^w f_r^w / \sum_r f_r^w \quad (3-8)$$

$$x_r^w = \sum_{a \in R_w} x_a \delta_{ar}^w \quad (3-9)$$

$$t_r^w = \sum_{a \in R_w} t_a \delta_{ar}^w \quad (3-10)$$

符號說明：

$x^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的平均收費費率(決策變數)

$TT^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的平均旅行時間

$TC^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的平均旅行成本

$x_r^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的路徑  $r$  的收費費率

$t_r^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的路徑  $r$  的旅行時間

$x_a$ ：路段  $a$  的收費費率

$t_a$ ：路段  $a$  的旅行時間

$\delta_{ar}^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間，假設路徑  $r$  通過路線  $a$ ，則  $\delta_{ar}^w=1$ ，反之，則  $\delta_{ar}^w=0$ 。

$D_w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的人旅次需求

$d_w$ ：在一組起迄點  $w$  之間的车旅次需求

$l_c$ ：汽車的乘載率

$l_m$ ：機車的乘載率

$U_i^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間決策者選擇方案  $i$  的總效用

$V_i^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間決策者選擇方案  $i$  的可衡量效用

$P_i^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間決策者選擇方案  $i$  的機率

$P_c^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間決策者於上午尖峰時間選擇汽車的機率

$P_m^w$ ：在一組起迄點  $w$  之間決策者於上午尖峰時間選擇機車的機率

$\alpha$ ：機車的小汽車當量

下層 (Lower-level)：交通均衡模式(Traffic Equilibrium Model)

$$\begin{aligned} \min_v \quad & \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} c_a(\omega, x) d\omega \\ & = \sum_{a \in A} \left\{ t_a^0 \left( 1.0 + 0.15 \left( \frac{v_a}{C_a} \right)^4 \right) + 1/\beta \cdot x_a \right\} \end{aligned}$$

subject to

$$\sum_{r \in R_w} f_r^w = d_w, \quad w \in W \quad (3-11)$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} f_r^w \delta_{ar}^w = v_a, \quad a \in A \quad (3-12)$$

$$f_r^w \geq 0, \quad w \in W \quad (3-13)$$

符號說明：

A:路網中的路線集合

W:一組起迄點(O-D pairs)的集合

$f_r^w$ :一組起迄點 w 之間，路徑 r 的交通流量

$v_a$ :路線 a 的流量

$t_a(v_a)$ :路線 a 的旅行時間，與路線流量  $v_a$  具有連續增加的函數

$d_w$ :一組起迄點 w 的需求量

$c_a(v_a, x)$ :路線 a 的一般化旅行成本

$C_a$ :線段 a 的容量

$t_a^0$ : 路線 a 於自由車流的旅行時間

$\beta$ :使用者的時間價值

### 4.3 求解演算法設計

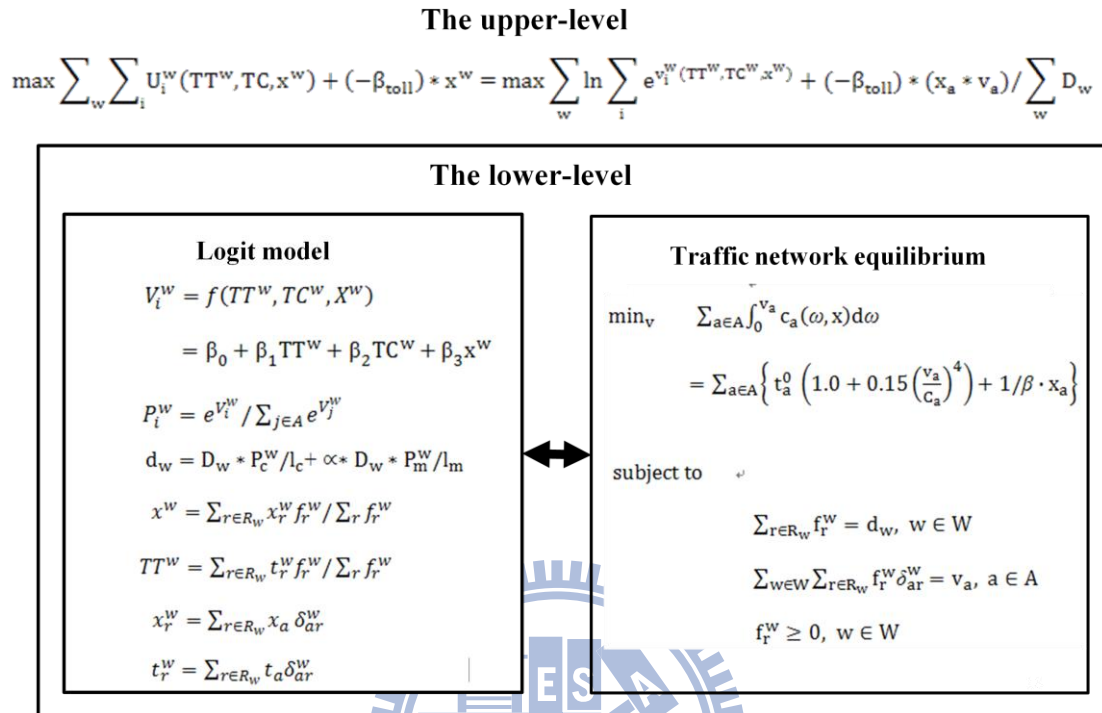


圖 4.2 雙層數學規劃架構圖

如圖 4.2 所示，上下層各有不同的使用者，分別有不同的目標式與限制式，在考慮限制式的情況下，找到最大化(或最小化)目標式的決策變數，來進行最佳化的求解，求解演算法則使用基因演算法做為雙層數學規劃法的求解方法。

上層使用 EVOLVER 求解基因演算法，編碼為收費周界與費率水準，下層的羅吉特模式則使用 EXCEL 計算出運具選擇機率後，將私人運具的旅次做為彈性需求路網均衡模式的需求量。之後將需求量帶入下層的使用者均衡模式，下層的使用者均衡模式則使用 EXCEL VBA 的規劃求解後，即可得到最小化旅行成本後的路線流量。

基因演算法的染色體為線段的收費費率水準，基因為路線的收費費率，經過交配、複製、突變後可求得適應值較高的染色體，適應值設定為社會福利，也就是運具的總效用。由於收費的方案的不同，所採用的基因演算法之編碼也會不同。此研究實例的收費方案有兩種，包含以線段為基礎以及以周界為基礎的收費方案，故採用兩種編碼方式如下表所示：

表 4.1 以線段為基礎(Link-based)的收費方案的編碼(收費水準)

(integer)	Link1		...	Link 164		Link1		...	Link 164	
	(toll level)			(toll level)		(toll level)			(toll level)	
	(car)			(car)		(motor)			(motor)	
chromosome	0	0	...	0	0	0	0	...	0	0

表 4.2 以周界為基礎(Cordon-based)的收費方案的編碼(收費水準與周界)

(integer)	x(toll cordon)		y(toll cordon)		R(toll cordon)		toll level (car)		toll level (motor)	
	chromosome	0	0	0	0	0	0	0	0	0

從表 4.1 可以發現，以線段為基礎的收費方案，只需決定每條路段的收費水準，而以周界為基礎的收費方案，需要同時決定收費的周界以及收費的水準。以線段為基礎的收費方案是在每條路段上皆進行收費，每條路段皆收取不同的費用，而此方案為根據車種訂定不同的收費費率，由於汽車與機車對於收費的敏感度不一樣，故分車種進行收費。而以周界為基礎的收費方案，會決定收費的中心點，以及收費的半徑，由於此研究是探討上午尖峰時間，故進入收費周界的才需要進行收費。除了決定收費的周界，也同時決定收費的水準，包含小汽車使用者以及機車使用者的收費費率。

收費費率設定的收費範圍為 0-100，將各個路段收費費率的基因值設定為兩個，分別為十位數以及個位數，而基因值範圍設定為 0-9。而收費周界的基因值也是設定為兩碼，基因值範圍也是 0-9，收費中心以及半徑的值，會根據計算出來的基因值進行標準化後得到可行解，如此以來才不會在交配後產生不可行解。

基因演算法之求解演算法各步驟方法設定說明如下：

### 1. 初始族群

起始族群通常根據問題的大小設定，此研究根據文獻中較常設定的值，設定為 100 個起始族群。

### 2. 基因編碼

本研究同時考慮以線段為基礎的收費方案以及以周界為基礎的收費方案，故有兩種不同的編碼方式，將其分別進行求解，再進行比較。

#### (1) 以線段為基礎的收費方案 (Link-based)

每條路線(link)皆可以進行收費，而收費的範圍本研究設定為 0-99 元，故每條路線的收費費率設定為兩個基因值，分別為十位數與個位數，其求解範圍為 0-9，使用整數編碼的型式。

#### (2) 以周界為基礎的收費方案 (Cordon-based)

先決定收費周界的中心以及收費周界的半徑，再決定其收費的費率水準。收費周界的中心點，包含 X 座標值以及 Y 座標值。收費周界的中心點決定後要決定收費周界的半徑 R，最後再決定收費水準，包含汽車與機車兩種不同的收費費率。

由於收費周界的中心點、收費周界的半徑、以及收費費率的範圍不同，在交配的時候，可能會產生不可行解的發生，故將所有的範圍進行標準化後進行求解。故經過標準化後，將基因求解的編碼皆設定為 0-9，每個數值皆有兩個基因來表式，每個決策變數的求解範圍皆為 0-99。之後，再經由標準化準化為原本設定各個決策變數的求解範圍。

### 3. 適應函數

上層求解的目標函數為社會福利的最大化，故適應值即為社會福利，當適應值越大代表其染色體在族群中的適應能力越強，則代表為越好的解，越容易被挑選出來進行交配。

### 4. 複製

複製選用輪盤式選擇法，其適應值的大小代表輪盤所站的面積，面積越大被

選擇的機率越大，故適應值越大的越容易被選取到進行交配。

#### 5. 交配

交配選擇均勻交配法，每個基因值皆會隨機產生一個亂數，當此亂數值大於交配率則進行交配，交配率設定為 0.5。

#### 6. 突變

隨機選取一個染色體，隨機產生一個亂數值，當亂數值大於突變率，則進行突變，突變率設定為 0.1，突變的方式採用 Swap Mutation，任選兩個基因進行互換。

#### 7. 取代

採用保留菁英法，經過複製、交配、突變後，會產生新的個體，放入族群槽進行排名，淘汰適應值較低的個體，永遠都留下適應值較高的 100 個染色體，將其他適應值較低染色體進行淘汰。

#### 8. 終止條件

本研究設定為當搜尋到指定代數時，即會停止搜尋，停止條件為 400 個世代，即停止。



## 第五章、簡例分析

本章節設計兩個簡例，分別為小規模與大規模路網，先使用小規模路網，針對費率水準最佳化進行測試後，再針對收費周界與費率水準的最佳化模式，進行大規模路網的測試。

本章包括四個小節，(1)針對最佳化模式進行簡例的設計，(2)根據文獻進行基因演算法和羅吉特模式的參數設定，(3)進行最佳化收費後的結果分析，(4)調整總需求量，進行敏感度分析。

### 5.1 簡例設計

根據最佳化費率水準模式，設計小規模的路網，觀察其收費的合理性與社會福利變動的情形，故先採用節點與節線數較少的小規模路網，針對最佳化費率水準模式進行測試。

將路網進行雙層數學規劃模式，上層求社會福利最大化，下層求旅行時間最小化後，可得到路網的路線流量與旅行時間，透過路線收費，求得社會福利最大化後的擁塞收費，如此可將旅行時間節省，也同時考慮消費者付費意願，來增進社會福利。

小規模路網採用 Yang and Lam(1995)文獻中所設計的簡例，由於此路網為文獻中最小之路網，故先使用此路網來進行測試，共有七條節線和六個節點所組成的路網，路網的示意圖如圖 5.1 所示。

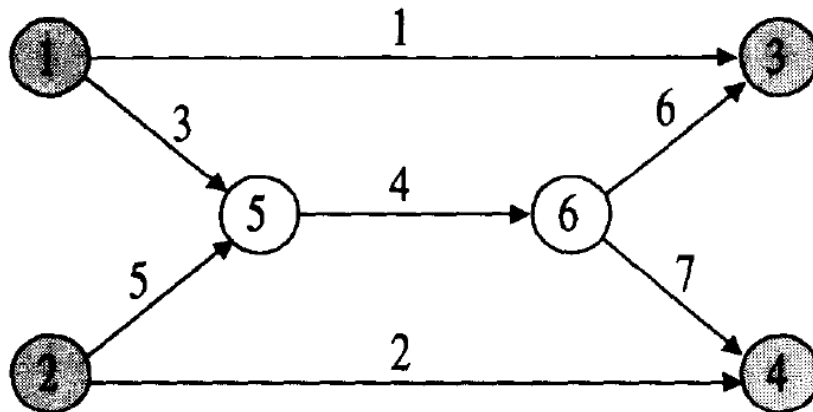


圖 5.1 小規模路網圖  
(資料來源：Yang and Lam(1995))

路線之自由車流時間與容量如下：

表 5.1 路線容量與自由車流旅行時間

Link a	1	2	3	4	5	6	7
$t_a^0$	8.0	9.0	2.0	6.0	3.0	3.0	4.0
$c_a$	20.0	20.0	20.0	40.0	20.0	25.0	5.0

(資料來源：Yang and Lam(1995))

如表 5.1 所示， $t_a^0$  為路線 a 自由車流的旅行時間，其單位為分鐘。 $c_a$  為路線的容量，單位為每小時所通過的車輛數。

當路線的流量增加，旅行時間也會相對增加，故根據流量，可求得不同的旅行時間。路線流量與旅行時間的函數，通常使用美國公路局(U.S Bureau of Public Roads, BPR)所建立的公式(根據 Yang and Lam(1995))。透過 BPR 公式，則可帶入流量求得旅行時間，如式(5-1)所示， $v_a$  代表路線 a 的流量。求得路線的旅行時間後，可透過彈性需求函數求得需求量與旅行成本的變動情形，如式(5-2)所示， $c_w$  代表一組起迄點 w 的平均旅行成本， $A_w$  為一組起迄點的起始需求， $B_w$  為需求的彈性參數。

BPR Function 如下：

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left\{ 1.0 + 0.15 \left( \frac{v_a}{c_a} \right)^4 \right\} \quad (5-1)$$

彈性需求的函數如下：

$$d_w = A_w \exp(-c_w/B_w) \quad (A_w > 0, B_w > 0), w \in W \quad (5-2)$$

在簡例中，起迄點(OD pair)有兩對，分別為起點 1 與迄點 3、起點 2 與迄點 4，起始需求( $A_w$ )各設定為 60(veh/hr)與 50(veh/hr)，如表 5.2 所示。

彈性需求函數之中，參數設定同時也採用 Yang and Lam(1995)的彈性參數，根據不同起迄點，需求的彈性值，分別設定為 0.04 與 0.03，需求彈性參數( $B_w$ )為需求彈性值的倒數，如表 5.2 所示，分別為 25 與 33.33。



透過彈性參數的設定，固定需求變為彈性需求，如此以來，路網的需求，便會根據路網的收費進行變化，當收費增加，路網的需求便會降低，彈性需求的路網求解最佳化費率，較貼近實際使用情形。q13 代表起點 1 與迄點 3 的需求量，q24 代表起點 2 與迄點 4 的需求量。

根據起迄點的平均旅行時間，可求得彈性需求的變化量。彈性需求韋數與參數假設如表 5.2 所示。

表 5.2 彈性需求函數與參數假設

elastic-demand function	Aw	Bw
$q13=60*\exp(-0.04*(travel\ cost))$	60.00	25.00
$q24=50*\exp(-0.03*(travel\ cost))$	50.00	33.33

從圖 5.1 中可看出，起迄點有兩組，分別為 q13 與 q24，兩組起迄點各分別有兩條路線。q13 的路線 1 為線段 1；路線 2 為線段 3、線段 4 與線段 6。q24 的路線 1 為線段 2；路線 2 為線段 5、線段 4 與線段 7。

而路線之中，又以線段 4 同時為 q13 的路線 2 與 q24 的路線 2，流量有可能分別從起點 1 與起點 2 同時進入此路線，造成擁塞，故此路網亦十分值得加以探討線段 4 的使用情形。

## 5.2 參數設定

### 5.2.1 基因演算法

為了控制基因演算法之運算績效，因此必須對參數做適當的調整，至於控制參數一般主要控制變因有群體大小(Population size)、交配率(Crossover rate)、交配點的數目、交配的方式及突變率(Mutation rate)等等，擇要說明如下：

#### (1).群體的大小

群體大小為同一代群體中染色體的個數。在基因演算法中群體的大小通常是設為固定的值，群體設的越大中，每一代執行所需要的時間就越長，計算成本也

就越高，但是搜尋的廣度也較大，較不易落入區域最佳解(Local Optimal)。若是群體設定的較小，每一代交配所需的時間也較短，交配的品質可能也會因為搜尋廣度較低，而較易落入局部最佳解，使得求解品質變的較差。所以必須依照解決問題的特性和複雜度，選擇一個適當的群體大小，才可以使基因演算法同時兼顧效率和效用。

## (2).交配率

交配運算是提供進化的主要運算，交配率指的是設定交配發生的機率，如果交配率設的越高則交配發生的越頻繁，因此就可以獲得較好的績效。但是有些時候為了讓某一些群體的基因特性穩定的保留到下一代，又必須降低其交配率，故應視需要決定交配率。

## (3).突變率

突變之目的為進行廣度搜尋使現有解能跳脫局部最佳解，通常開始進行時，突變率值較大，在進行到世代數較大時，突變率則會漸漸降低，再利用交配進行深度搜尋。突變率 Davis 於 1989 年提出以線性方式來變化交配及突變的機率。Booker 則於 1987 年提出根據適應值的分佈來改變交配率及突變率。截至目前為止，還沒有一套完整的理論可以用來證明基因法一定可以找到整體之最佳解，但許多國內外研究驗證了基因演算法的搜尋效能，本研究將參數設定為文獻中之求解績效較好之參數，以期達到最佳效果。

本研究之測試過程是藉由 Intel Core 2 Duo 2.66GHz, 2.96G RAM 的電腦進行測試，作業系統為 Microsoft Windows XP 使用 Visual Basic.NET 編譯器撰寫演算法。相關參數設計如下：

表 5.3 範例 1 測試參數設定表

收費費率範圍	0-100
起始需求(車旅次/小時)	$O_1D_3=60$ $O_2D_4=50$
突變率	0.1

交配率	0.5
染色體個數	50

表 5.4 範例 2 測試參數設定表

收費費率範圍	0-100
起始總需求(人旅次/小時)	100、150、200、250、300、350、400、 450、500、550
突變率	0.1
交配率	0.5
染色體個數	50

### 5.2.2 多項羅吉特模式

雖然彈性需求模式可反應出需求與旅行成本的關係，可透過彈性需求模式求得最佳費率水準。但是，彈性需求模式並未考慮使用者移轉至其他運具後，是否會降低整個大眾運具的服務品質。

若只考慮改善私人運具使用路網的總效用，則可透過擁塞收費大幅的改善路網總效用。但是，並未考慮移轉使用者的比率，是否會降低大眾運具的效用，若是大幅降低大眾運具的服務水準，反而會降低整體社會福利。

本研究希望加入多項羅吉特模式，同時探討使用者運具選擇與路線選擇的情形，期望在不降低大眾運具的效用下，透過擁塞收費，增加使用者的總效用，包含大眾運具與私人運具。本研究將上層的社會福利，設定為使用者運具選擇的總效用，透過多項羅吉特模式，探討使用者針對不同擁塞收費，選擇私人運具與大眾運具方案的比率，再將私人運具的使用者需求量，做為下層使用者均衡的需求量，進行最小化旅行成本的求解，期望透過多項羅吉特模式，探討擁塞收費對於使用者運具選擇行為的改變，期望在不降低大眾運具的服務水準下，求得最佳化擁塞收費以改善路網的總旅行時間。同時，運具選擇比率的變化，亦可做為決策者的相關管理政策分析，透過運具選擇比率的變化情形，可看出使用者對於方案的偏好情形，可從使用者移轉的比率分析出使用者選擇運具的行為。

依據陳佛鐘(民 98)提出的台北都會區使用者旅運選擇行為模式，來作為本研究的運具選擇模式，由於此文獻也是探討徵收擁塞費，並分析小客車與機車的使用者行為之影響，同時模式中也有考量旅行時間、旅行成本以及擁塞費等變數，故選用此文獻所校估的多項羅吉特進行運具選擇研究。由於台北都會區的私人運具使用包含小客車以及機車，故本研究同時探討台北都會區汽車與機車運具旅運選擇行為模式，說明如下。

## 1. 台北都會區方案選擇模式

台北都會區之中，汽車與機車為主要的道路的交通流量，故同時考慮汽車與機車持有與使用的多項羅吉特模式，來探討台北都會區交通的實際情況。此為本研究與相關文獻最不同的地方。加入多項羅吉特模式，同時探討大眾運具與私人運具的使用情形，在使用者均衡模式中，同時考慮汽車與機車的路線選擇行為。

本節分為兩個部分探討，包含汽車持有家戶選擇模式，以及機車持有家戶選擇模式，作為汽車與機車的運具選擇行為。

汽車與機車持有家戶選擇模式中，都各有四個方案供使用者做選擇。汽車持有家戶選擇模式之中，包含「開車付費進入市區」、「不進入市區或改於離峰時間再開車進入市區」、「改搭其他交通工具-大眾運具」、「改搭其他交通工具-其他替選私人運具」，大眾運具假設為「捷運」，私人運具則為「機車」。

機車持有家戶選擇模式，則為「騎車付費進入市區」、「不進入市區或改於離峰時間再騎車進入市區」、「改搭其他交通工具-大眾運具」、「改搭其他交通工具-其他替選私人運具」，大眾運具假設為「捷運」，私人運具則為「自行車」。

汽車持有家戶選擇模式之中，會根據汽車的擁塞收費進行方案選擇，選擇「改搭其他交通工具-其他替選私人運具」的使用者，也就是選擇使用機車的使用者，則會再次透過機車持有家戶選擇模式，根據機車的擁塞收費，再次進行方案選擇。如此以來，便可同時考慮不同的汽車與機車擁塞收費。

依據陳佛鐘(民 98)提出的台北都會區使用者旅運選擇行為模式，將汽車持有家戶選擇模式與機車持有家戶選擇模式的參數設定說明如下。

(1) 汽車持有家戶選擇模式

汽車持有家戶選擇的多項羅吉特模式之中，共有三種模式，包含方案特定常數、共生變數以及方案特定變數，本研究僅針對方案特定常數與共生變數的部分做探討，只考慮共生變數的改變，也就是進城費、旅行時間、旅行成本三個變數，探討方案選擇機率的改變。

由於進城費、旅行時間以及旅行成本的增加，會降低各替選方案的效用，故可透過多項羅吉特模式計算出進城費增加後，各個方案的選擇機率，同時進城費改善的旅行時間，也會放入多項羅吉特模式，來模擬使用者對於進城費的實施後，運具選擇的改變情形。擁塞定價方案選擇模式變數說明如表 5.5 所示。

表 5.5 擁塞定價方案選擇模式變數說明表

解釋變數	變數意義	變數衡量	說明
方案特定常數	付費進入市區	虛擬常數	方案四「改搭其他交通工具--其他替選私人運具」為基礎方案。各模式皆為以方案四為基準的替選方案。
	不進入市區或改於離峰時段再開車進入市區		
	改搭其他交通工具-大眾運輸		
共生變數	進城費	十元	若通行費、總旅行成本與總旅行時間越高時，則方案的效用越低，被選擇的機率也越低。
	總旅行成本		
	總旅行時間	十分	

本研究只針對探討方案特定常數與共生變數的模式做探討，台北都會區汽車模式的參數校估結果，如表 5.6 所示，方案特定變數的平均值如表 5.7 所示。

表 5.6 擁塞定價方案選擇模式參數設定表

解釋變數		係數	t 值
方案特定	付費進入市區	1.5125	0.655
	不進入市區或改於離峰時段再開車進入市區	0.6875	1.045

常數	改搭其他交通工具 --大眾運輸	-0.0166	-1.432
	擁塞費	-0.1024	-3.087***
共生變數	總旅行成本	-0.0744	-2.440**
	總旅行時間	-0.3122	-3.181***

表 5.7 擁塞定價方案特定變數之平均值

方案特定變數	平均值
平均每週開本車通勤上班(學)天數<方案 3>	3.2338
平均每週開本車旅遊或訪友天數<方案 2>	1.3803
家中到大眾運輸場最近的步行距離<方案 1>	0.3652
主要駕駛人年齡層 【51 歲以上】<方案 4>	0.4254
主要駕駛人性別 【0:女性;1:男性】<方案 1>	0.8563
主要駕駛人職業 【軍公教】<方案 1>	0.1859
主要駕駛人教育程度 <方案 4>	1.3817
主要駕駛人平均個人月收入<方案 1>	4.6113
以汽車為主要交通工具上班(學)<方案 1>	0.5183
以大眾運輸為主要交通工具上班(學)<方案 3>	0.1014

## (2) 機車持有家戶選擇模式

本研究期望能同時考慮台北都會區的汽機車使用情形，故同時探討汽機車的方案選擇模式，來加入運具選擇的模式之中。

機車持有家戶選擇的多項羅吉特模式之中，包含不同的變數，變數有方案特定常數、共生變數以及方案特定變數，本研究僅針對方案特定常數與共生變數的部分做探討，只考慮共生變數的改變，也就是進城費、旅行時間、旅行成本三個變數，探討方案選擇機率的改變。擁塞定價方案選擇模式變數說明如表 5.5 所示。

表 5.8 台北都會區機車模式校估結果表

解釋變數		係數	t 值
方案特定常數	付費進入市區	1.1855	3.736***
	不進入市區或改於離峰時段再開車進入市區	0.4335	1.452
	改搭其他交通工具 --大眾運輸	0.2149	1.095
共生變數	擁塞費	-0.2941	-4.792***
	總旅行成本	-0.1044	-1.915*
	總旅行時間	-0.2691	-2.319**
LL(0)		-1.27818	
LL( $\beta$ )		-1.19324	
$\rho^2$		0.066	
樣本數		628	

本研究假設旅行成本為汽車消耗的燃油費用，由於模擬之單位時間為一小時，故假設消耗的燃油費用不會隨著擁擠費與旅行時間做改變，其旅行成本平均值如表 5.9 所示，將台北都會區旅行成本的平均值帶入多項羅吉特模式，則可做為路網的旅行成本。若為求解簡例路網，則考慮台北都會區路網與簡例路網的平均旅行距離之比例後，即可將平均旅行成本進行調整，再帶入多項羅吉特模式進行求解。大眾運具的旅行成本同時也可根據路網比率調整後，帶入模式。

而旅行時間也分為大眾運具與私人運具，大眾運具則帶入表 5.10 的平均值，私人運具則根據下層所計算出路網的平均旅行時間，帶入多項羅吉特模式求解。汽機車旅行成本與時間假設如表 5.9 與表 5.10 所示。

表 5.9 台北都會區總旅行成本平均值與標準差

總旅行成本(元)		方案一&二		方案三		方案四	
都會區	模式	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
台北	汽車	26.9	26.1	31.8	54.7	3.9	8.2
	機車	11.5	13.2	22.9	17.3	3.0	13.9

表 5.10 台北都會區總旅行時間平均值與標準差

總旅行時間(分)		方案一		方案二		方案三		方案四	
都會區	模式	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
台北	汽車	33.4	12.9	26.4	10.4	40.3	13.5	34.1	29.1
	機車	26.8	12.3	21.1	9.7	34.8	11.8	26.2	21.3

### 5.3 結果分析

透過彈性需求函數，可求得到在收取最佳化擁塞費用後，q13 需求量從原始需求 60(veh/hr)降至 27(veh/hr)，q24 需求從 50(veh/hr)降到 25(veh/hr)。經過求解雙層數學規劃模式，可求得系統化最佳流量與收費。

彈性需求值如下圖所示：

表 5.11 彈性需求值

Demand(O-D pair)	Elastic-demand
q13	26.61
q24	25.22

此路網一開始的流量都會分別出現在線段 1 與線段 2。這是由於在自由車流時，線段 1 與線段 2 的自由車流時間都非常短，分別只有 8min 與 9min，相對 11min 與 13min 的其他路線，車輛均會選擇線段 1 與線段 2。

但是，當流量超過容量，則會造成旅行時間的上升，透過 BPR 函數，可算出旅行時間與流量的關係。線段 1 與線段 2 的容量各為 20，當路線流量超過 20 時，旅行時間會迅速上升，如下圖所示：



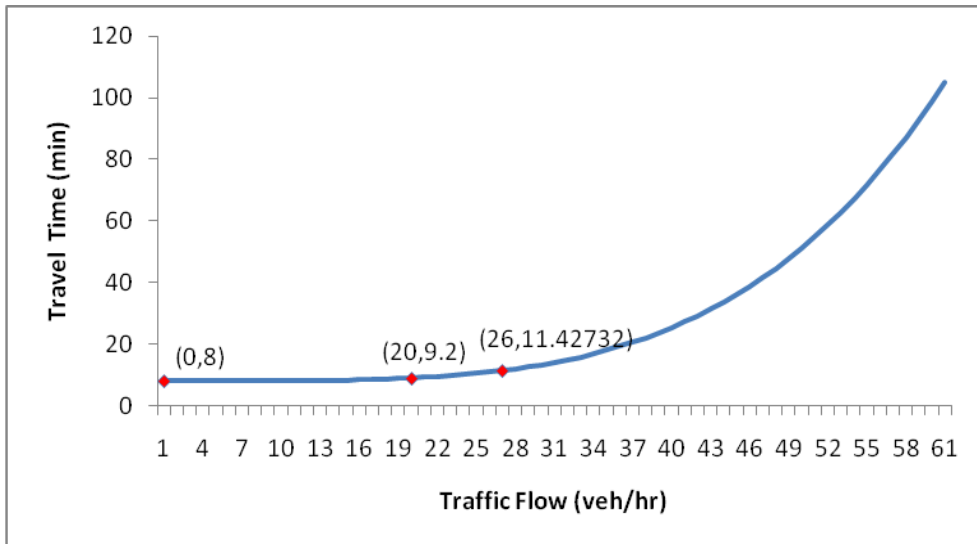


圖 5.2 線段 1 的旅行時間

可從圖 5.2 看出，當流量超過容量每小時 20 輛時，旅行時間會瞬間上升，當流量來到每小時 26 輛時，旅行時間會增加到 11 分鐘，車輛才會開始使用路線 2。

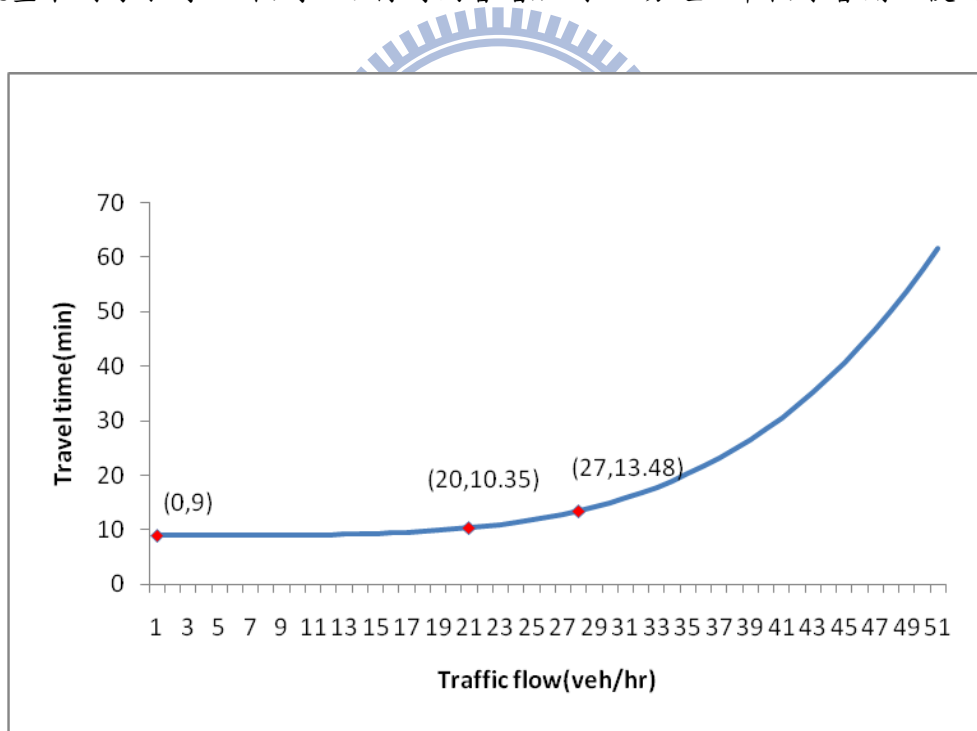


圖 5.3 線段 2 的旅行時間

可從圖 5.3 看出，當流量超過容量每小時 20 輛時，旅行時間會瞬間上升，當流量來到每小時 27 輛時，旅行時間會增加到 13 分鐘，車輛才會開始使用路線 1。

表 5.12 求解彈性需求之最佳化路線收費與路線流量

Link number	1	2	3	4	5	6	7
System optimum flow	20.00	0.49	4.33	24.33	20.00	4.33	20.00
Optimum toll solution	2.24	6.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total network cost in system optimum = 528.38							
Total network cost in user-equilibrium without toll charge = 576.87							
Social Welfare without toll charge = 7033.91							
Social Welfare in system optimum = 7928.80							

從求解之結果，表 5.12 可發現，當在 Link1 與 Link2 分別收取費用 2.24(元) 與 6.92(元)會增加社會福利，從原本的社會福利從原本的 7034 增加至 7928，增加 12.72%的社會福利，總路網的旅行時間也從 577(min)降低至 529(min)，降低 9.18%的旅行時間。

先假設旅行時間與收費的價值相等，也就是  $VOT=1(\$/min)$ ，故收取 2.24(元)的費用在 link1，會使得 link1 原有的自由車流旅行時間為 8min，旅行成本為 8，增加至 10.24，旅行成本為旅行時間 8min 加上收費 2.24(元)。自由車流旅行成本從 8 變成 10.24，故旅行成本如下圖所示：

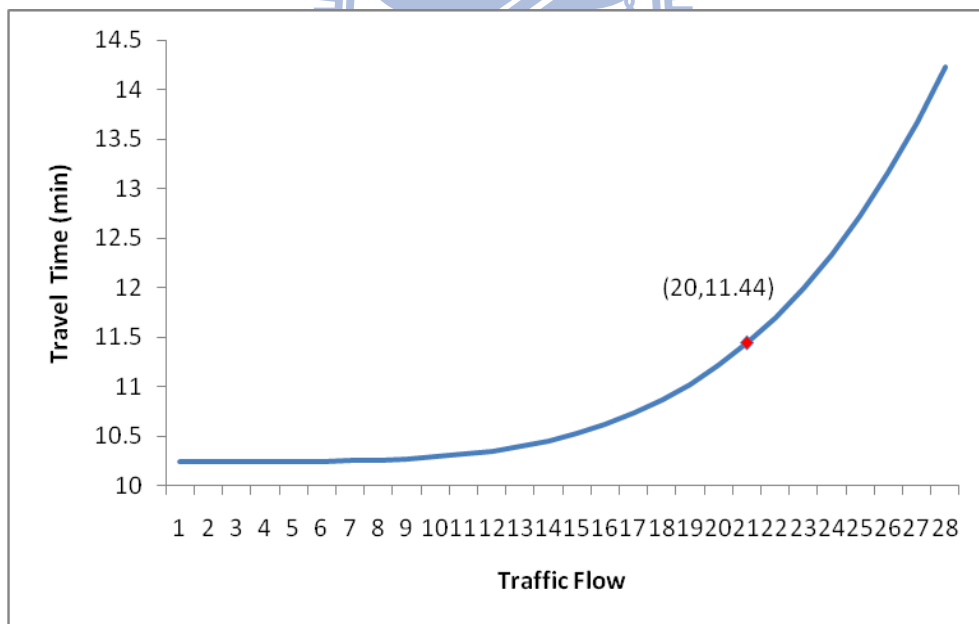


圖 5.4 路線 1(OD=13)的一般化旅行成本(假設收費=2.24 元)

當流量剛好為容量時，旅行時間為 10.35 分鐘，加上收費 2.24 元，旅行成本為 11.44 元，另一個路線不收費，旅行時間為 11 分鐘，正好達到系統均衡的條件，在旅行時間最小化的時候，每個路線的流量一致，旅行時間又是最小化。

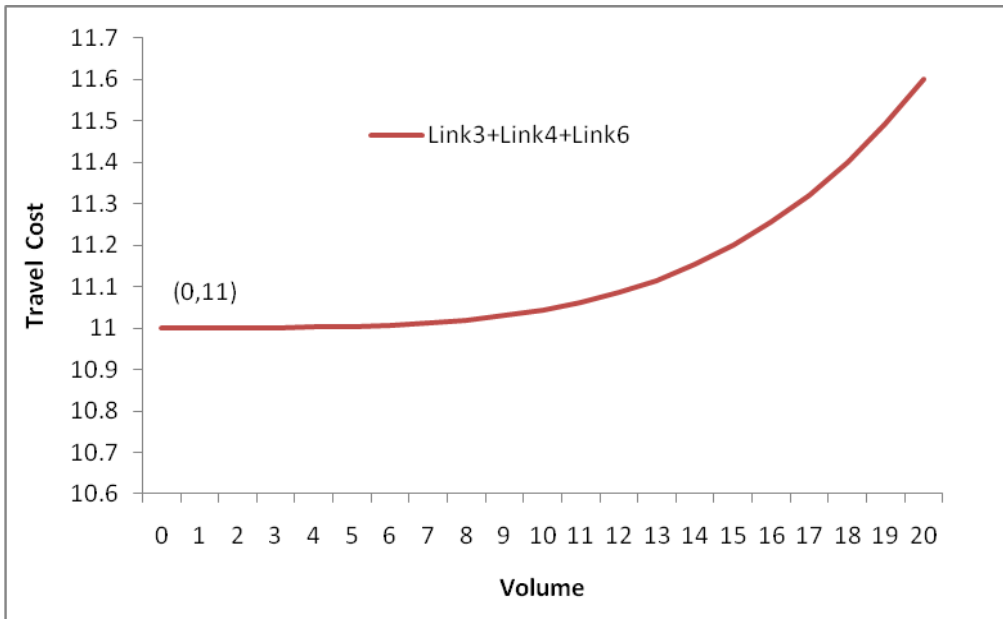


圖 5.5 路線 2(OD=13)的一般化旅行成本(假設收費=0 元)

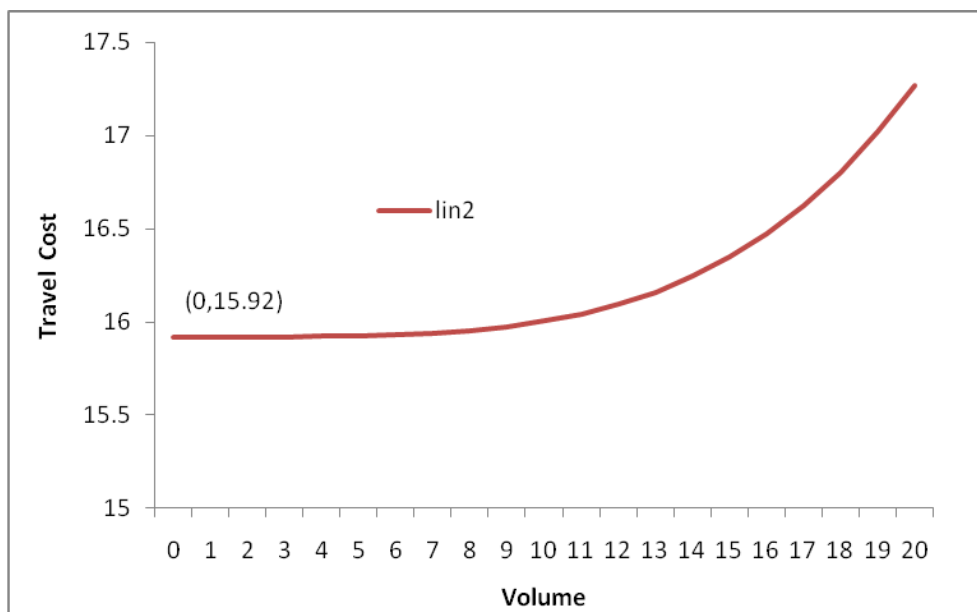


圖 5.6 路線 1(OD=24)的一般化旅行成本(假設收費=6.92 元)

當沒有流量時，旅行時間為 9 分鐘，加上收費 6.92 元，旅行成本為 15.92 元，另一個路線不收費，旅行時間為 13 分鐘，所有使用者均選擇旅行成本較低的路線 2，需求為 20(veh/hr)的時候，選擇路線 2 的旅行成本增加至 13.81 分鐘，也就是 13.81 元，故所有車輛均選擇路線 2，透過 VOT 的轉換後，旅行成本為 13.81 元。

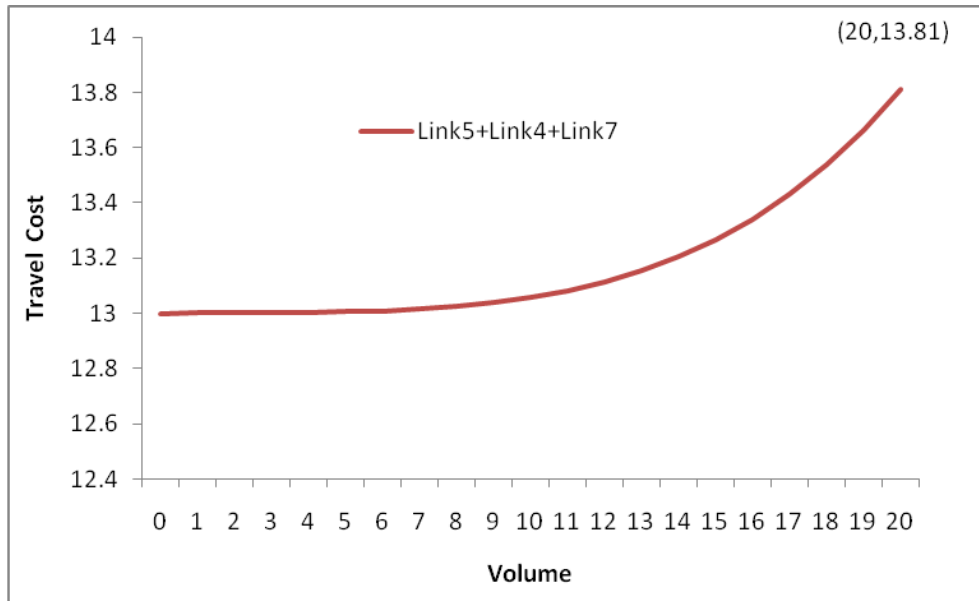


圖 5.7 路線 2(OD=24)的一般化旅行成本(假設收費=0 元)

線段 4、線段 5 與線段 7 的容量分別為 40、20、25，當流量剛好為容量時，旅行時間可以達到最小化，來到旅行時間為 13.81 分鐘，收費為 0 時，旅行成本為 13.81 元。

#### 5.4 敏感度分析。

本節將針對費率水準的模式進行敏感度分析，並說明其求解結果與敏感度分析結果之意涵。

將費率水準設定從 0-100(元)，每次增加 10(元)，觀察其運具選擇的變化比率，需求為 500(pl/hr)。如圖 5.2-圖 5.9 所示，從圖中可發現，收取擁塞費在簡例路網中，均會造成總效用的下降，當收費費率增加，會降低於尖峰時刻使用小客車的選擇機率，大眾運具的選擇機率與離峰時段在進城的選擇機率皆會增加，又以離峰時段的選擇機率隨著費率水準的增加，方案選擇的機率增加最大，可從圖中發現，隨著費率水準的增加，機車的選擇機率也會隨之降低，都是由於路網收取擁塞費的關係，造成私人運具的效用下降。

需求為 500(pl/hr)時，所有路線的流量與容量比(v/c)大約為 2，也就是流量大於路線流量的兩倍，會使旅行時間大幅度的增加，然而路線收費的費率限定為 0-100 的收費水準，大幅下降機車的使用情形，但是並未大幅下降汽車的使用情形。

表 5.13 收費費率水準與總效用變化情形

Toll Level(\$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Total Utility	1.425	1.384	1.347	1.331	1.275	1.261	1.217	1.204	1.170	1.155	1.128

表 5.14 汽車收費費率水準與運具選擇機率變化情形(OD1)

OD1 probability/Toll Level(\$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
car(peak)	0.43	0.42	0.41	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.33	0.32	0.30
off-peak	0.33	0.34	0.35	0.35	0.37	0.37	0.39	0.39	0.41	0.42	0.44
MRT	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19
motor	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07

表 5.15 汽車收費費率水準變化與運具選擇機率變化情形(OD2)

OD2 probability/Toll Level(\$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
car(peak)	0.37	0.38	0.38	0.39	0.37	0.37	0.35	0.35	0.33	0.32	0.30
off-peak	0.38	0.38	0.38	0.36	0.38	0.38	0.40	0.40	0.42	0.43	0.44
MRT	0.16	0.16	0.16	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19
motor	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07

汽車運具選擇模式中，如表 5.13 所示，收費從 0 元增加至 100 元時，效用值從 1.425 下降至 1.128。如表 5.14 與表 5.15 所示，選擇尖峰時間進城的汽車比率分別從 43% 降低至 30% 以及 37% 降至 30%，人旅次也從 108(pl/hr) 降低至 76(pl/hr)、93(pl/hr) 降低至 76(pl/hr)，尖峰時間的旅次雖然有降低，但是，由於旅行時間的減少對於效用的變化量沒有收費來得敏感，故效用依然是下降的，有可能是因為汽車使用者對於收費並不敏感，且小規模的路網對於旅行時間的減量還不夠顯著影響效用函數。

表 5.16 機車收費費率水準變化與運具選擇機率變化情形(OD1)

OD1 probability/Toll Level(\$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
motor(peak)	0.41	0.35	0.29	0.24	0.19	0.16	0.12	0.10	0.07	0.06	0.04
off-peak	0.28	0.30	0.33	0.34	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42
MRT	0.19	0.21	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29
bike	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.24

表 5.17 機車收費費率水準變化與運具選擇機率變化情形(OD2)

OD2 probability/Toll Level(\$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
motor(peak)	0.33	0.30	0.26	0.23	0.18	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04
off-peak	0.31	0.32	0.34	0.35	0.38	0.38	0.40	0.40	0.42	0.42	0.42
MRT	0.18	0.20	0.22	0.23	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.28
bike	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.22	0.23	0.24

然而，機車運具選擇模式中，如表 5.16 與表 5.17 所示，當收費從 0 元增加至 100 元時，選擇尖峰時間進城的機車比率會大幅下降，分別從 33% 降低至 4%、41% 降 4%，人旅次也從 103(pl/hr) 降低至 11(pl/hr)、83(pl/hr) 降低至 11(pl/hr)，尖峰時間的機車旅次會大幅度下降，但是，由於旅行時間的減少對於效用的變化量沒有收費來得敏感，故效用依然是下降的，有可能是因為小規模的路網對於旅行時間的減量還不夠顯著影響效用函數。

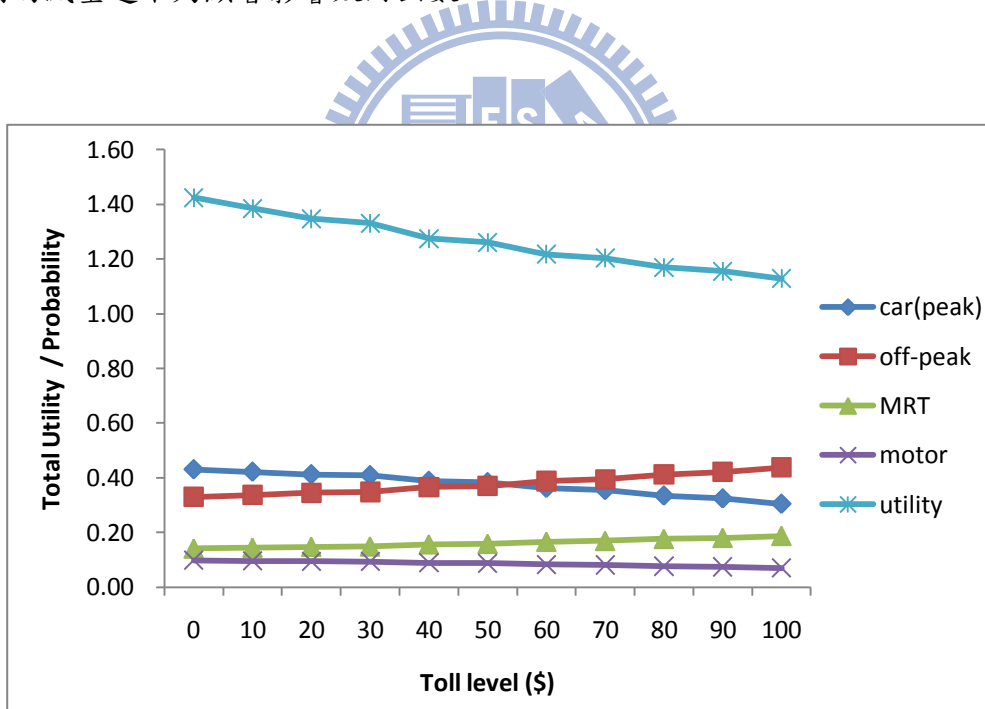


圖 5.8 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD1)

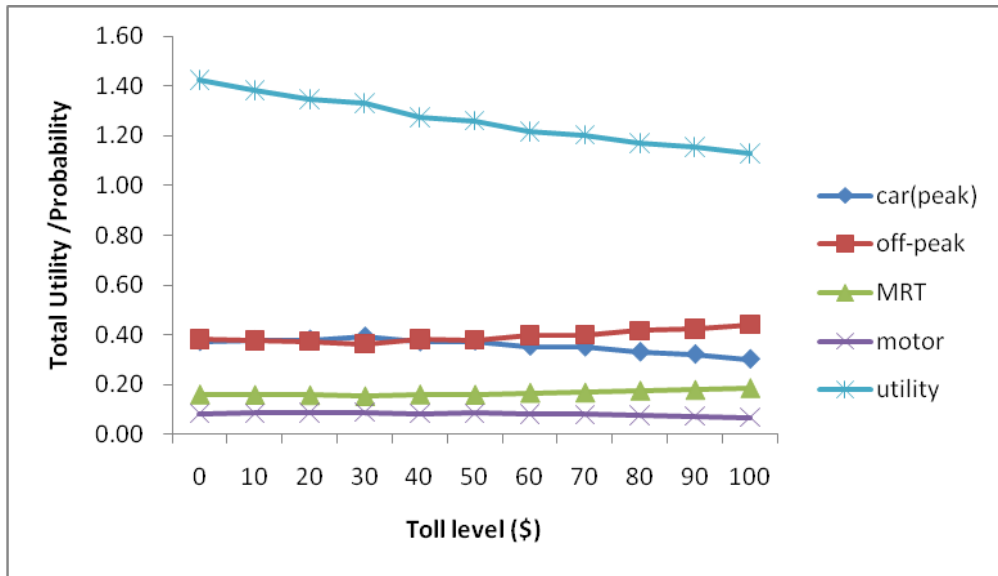


圖 5.9 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD2)

圖 5.8 和圖 5.9 可發現，當收費上升，會改變使用者選用不同運具的機率，但使用者的效用都會下降。

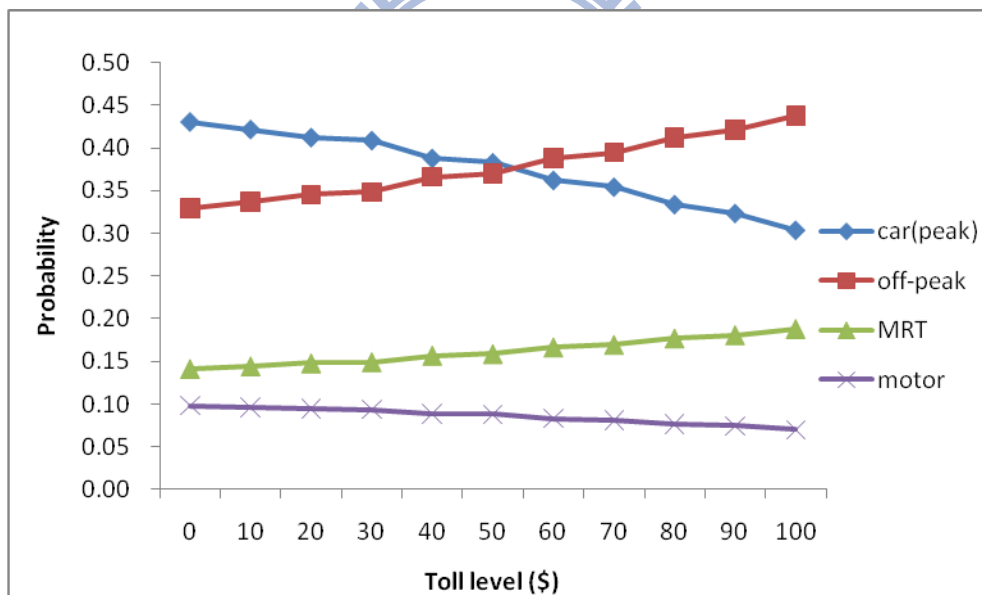


圖 5.10 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD1)

而圖 5.10，可觀察到汽車使用者，運具選擇的變化情形，當收費費率從 0 元增加至 100 元，汽車使用者會將尖峰使用的比率移轉至離峰使用汽車以及搭乘大眾運具。以此範例路網來說，OD1 原本尖峰使用小客車的機率值為 0.43，比率為 43%，當收取費用 100 元，則會降低 13% 的尖峰使用汽車機率，增加 11% 的離峰使用汽車機率，且增加 5% 使用大眾運輸的機率，降低 3% 騎乘機車的機率。

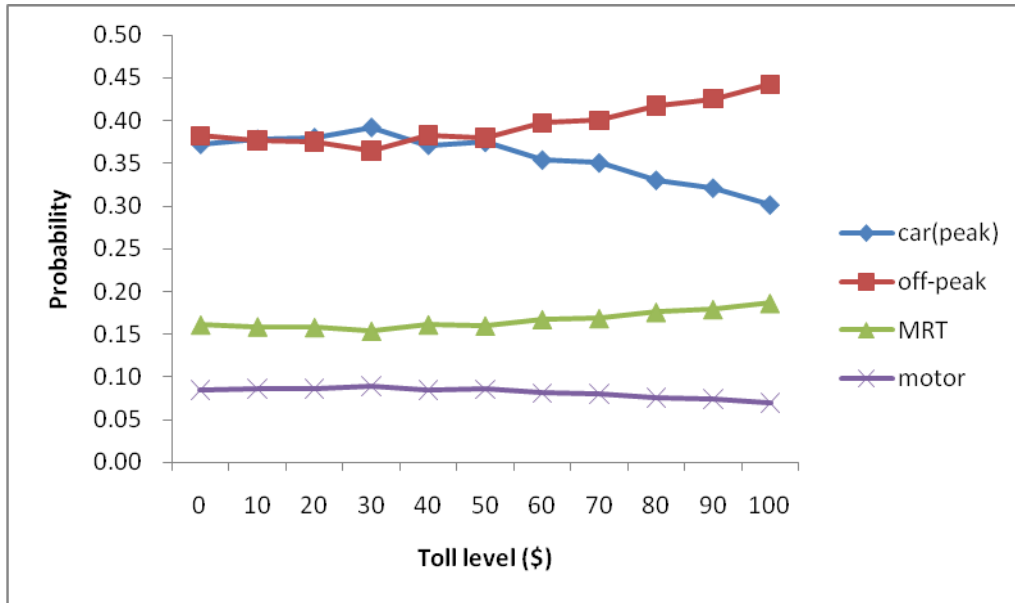


圖 5.11 汽車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD2)

而圖 5.11，可觀察到不同的起迄點，運具選擇的移轉情形也會不同，OD2 於自由車流的旅行時間較 OD1 來的長，可發現收取相同的擁塞收費後，尖峰時間使用小客車移轉至其他方案的比率會較 OD1 低。由於 OD2 的旅行時間較長，增加相同的旅行成本所相對降低的效用值比率較 OD1 低，故轉移機率也較低。原本尖峰使用小客車的機率值為 0.37，比率為 37%，當收取費用 100 元，則會降低 7% 的尖峰使用汽車機率，增加 6% 的離峰使用汽車機率，且增加 3% 使用大眾運輸的機率，降低 1% 騎乘機車的機率。

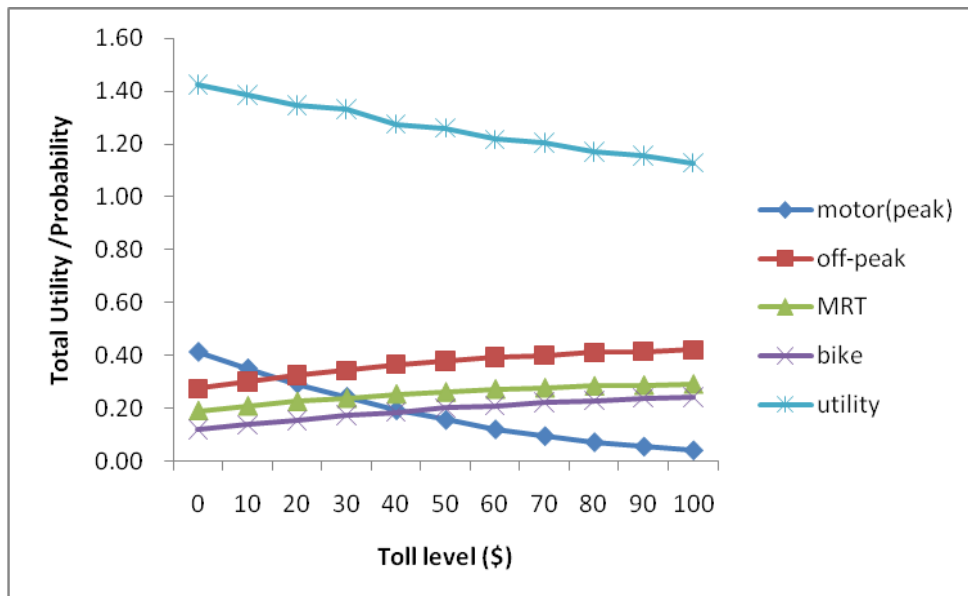


圖 5.12 機車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD1)



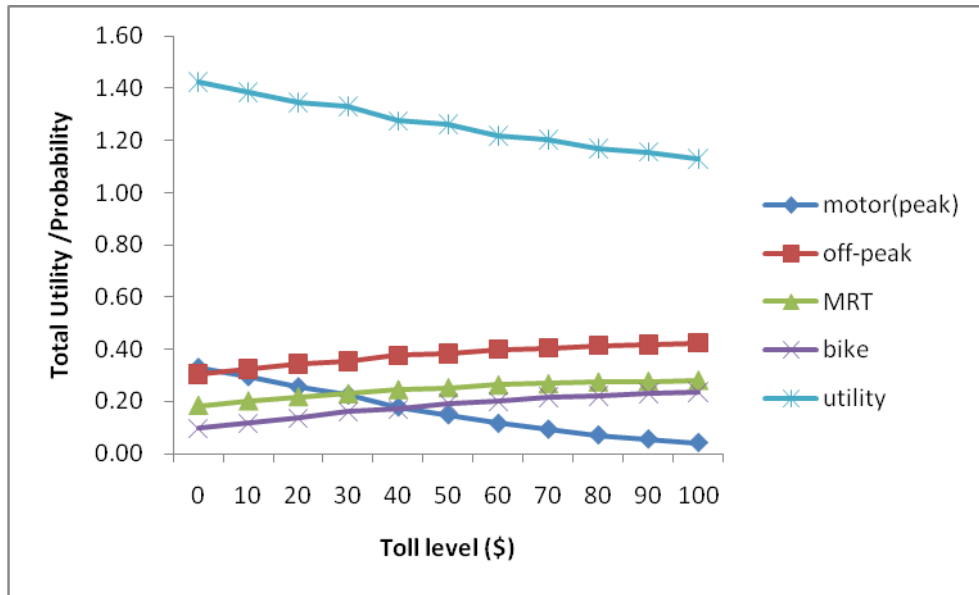


圖 5.13 機車徵收擁塞費的運具選擇機率與總效用變化圖(OD2)

圖 5.12 和圖 5.13 可發現，當收費上升，機車使用者選用不同運具的機率變化率高於汽車，但使用者的效用都會下降。

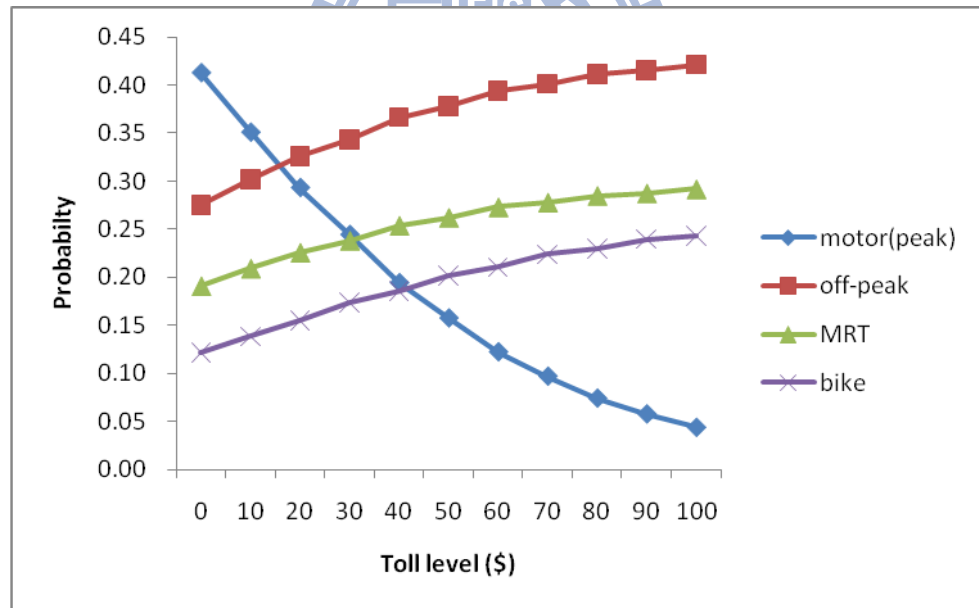


圖 5.14 機車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD1)

圖 5.14，可觀察到機車使用者，對於收費費率較為敏感，當收費費率從 0 元增加至 100 元，機車使用者會將尖峰使用的比率移轉至離峰使用機車、搭乘大眾運具以及騎乘腳踏車。以此範例路網來說，OD1 原本尖峰使用機車的機率值為 0.41，比率為 41%，當收取費用 100 元，則會降低 37% 的尖峰使用機車，增加

14%的離峰使用機率、10%使用大眾運輸的機率與12%騎乘腳踏車的機率。

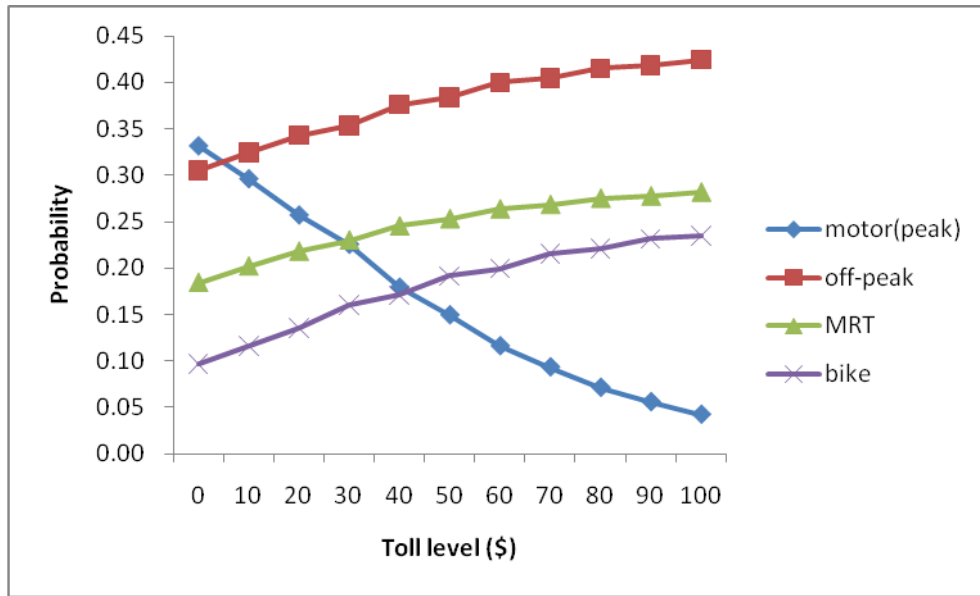


圖 5.15 機車徵收擁塞費的運具選擇機率變化圖(OD2)

圖 5.15，可觀察到不同的起迄點，運具選擇的移轉情形不只汽車，機車也會不同。但對於機車來說，和旅行時間相比，機車對於擁塞收費較為敏感。故汽車於 OD2 的尖峰轉移機率較 OD1 低很多，但機車使用者的尖峰轉移機率於 OD1、OD2 都差不多，原因是收費費率對於機車來說效用降低的幅度較大，機車會選擇其他不用付費的方案，而旅行時間的降低對效用的影響較小，故機車會優先選擇其他方案。原本尖峰使用機車的機率值為 0.33，比率為 33%，當收取費用 100 元，則會降低 29% 的尖峰使用機車機率，增加 11% 的離峰使用機車機率、10% 搭乘大眾運輸的機率、14% 騎乘腳踏車的機率。

表 5.18 汽機車使用者於不同起迄點間運具選擇的移轉比率(收費 100 元)

OD1 probability/Toll Level	+\$100	OD2 probability/Toll Level	+\$100
<b>Total Utility : -26%</b>			
<b>Car model</b>			
car(peak)	-13%	car(peak)	-7%
off-peak	11%	off-peak	6%
MRT	5%	MRT	3%
motor	-3%	motor	-1%
<b>Motor model</b>			
motor(peak)	-37%	motor(peak)	-29%
off-peak	14%	off-peak	11%
MRT	10%	MRT	10%
bike	12%	bike	14%

表 5.18 可發現當尖峰時段收取擁塞費用，從 0 元增加至 100 元，其效用值會下降 26%，也就是使用者感受會下降，故不能只收取擁塞費用，用來做其他用途，要將收取的擁塞費用拿來做道路建設、提升大眾運輸的服務水準，如此以來，才能將使用者感受到損失的效用，重新回饋給使用者，讓使用者付費的同時，也可以享受到交通服務品質的提升，這也是模式中目標式除了考量效用值，還有將政府收益所帶給使用者的效用也加入考量，如此即可透過收取擁塞費用，降低旅行時間的同時，也考慮使用者感受，增加整體社會福利。

## 第六章、實例應用

實例應用上，希望能將此模式應用於台北都會區，觀察最佳化擁塞收費與台北都會區尖峰流量之間的關係。實例資料欲蒐集台北都會區的 OD 需求以及路網資料，透過相關參數的設定後，進行最佳化擁塞費的結果分析與建議。

### 6.1 實例資料蒐集

台北路網實例測試的輸入資料主要有兩項，分別為台北都會區的旅次需求量與台北市路網的資料。故收集台北都會區的旅次需求量以及台北市主要幹道的自由車流旅行時間以及容量，將其資料輸入至路網進行測試。

大台北都會區的旅次需求量蒐集，根據 81 年交通運輸研究所的大台北都會區旅次調查的文獻中所獲得，其中，將台北都會區共分為 172 個交通小分區，15 個交通大分區。而本研究，主要針對台北市的主要幹道進行分析，根據台北市交通局所選定台北市的主要幹道，分別篩選八個南北向道路，以及五個東西向道路，進行台北市主要幹道的交通旅次分析。選定出來的路網分布在 4 個交通大分區，故將交通旅次的起迄流量進行整理後，找到路網間的起迄需求量。

將調查中的旅次起迄點需求量輸入至路網中，透過羅吉特模式進行運具選擇以及使用者均衡進行路線選擇，則可計算出使用者的旅行時間以及不同運具選擇的機率。

政府則透過這些資料，去計算該在哪些路段上進行收費，可以讓整體路網的旅行時間下降，增進整體社會福利。使用者透過路線收費的資訊，也可知道哪些路段較為擁塞，那些路段較不擁塞，透過資訊的傳遞，即可找到旅行成本最小的路線來進行選擇。如此以來整體路網的旅行時間會變更小，擁塞的情況也會消失，擁塞收費可增加政府收益，拿來進行其他運具的補貼，也可使其他運具的效用增加。如此良性循環下，即可使大眾運具以及私人運具的效用都增加，故透過交通管理策略，便可降低交通擁塞程度，增加大眾運具的服務水準，使整體社會福利最大化。

故根據輸入的旅次需求量以及旅行時間和流量的關係，即可找出各個路段的擁塞收費，來最大化社會福利，使用者也可最小化旅行時間。旅行時間和流量的關係，主要根據 BPR function 求得，輸入的資料主要為路線的自由車流時間以及

容量，根據台北市地圖可計算出各個路口的距離，再根據速限，以及各個路口的距離，來計算出路口間自由車流的旅行時間，容量則假設一個車道 1100(pcu/hr)，蒐集各個主要幹道的車道數，透過計算則可得到不同路線的容量。

台北市總共有 10 條南北向以及 14 條東西向的主要幹道，如圖 6.1 所示，從中選取八條南北向以及六條東西向的道路當作此研究的主要路網進行分析。選定的路網主要有 48 個路口，82 個路段，8 個南北向道路以及 6 個東西向道路，南北向道路分別為，重慶南北路、金山南北路、新生南北路、中山南北路、建國南北路、復興南北路、敦化南北路、光復南北路。東西向道路主要有民權東西路、民生東西路、南京東西路、市民大道、忠孝東西路、仁愛路(信義路)如圖 6.2 所示。

台北市主要幹道的速限主要為 50(km/hr)，在此路網中，只有市民大道的速限為 40 (km/hr)，假設每條車道的容量為 1100(pcu/hr/lane)，根據各個路口的距離以及速限則可計算出自由車流時間，將自由車流旅行時間與流量帶入 BPR function 即可求得旅行時間。



圖 6.1 台北市主要幹道

## 6.2 參數設定

參數設定上，基因演算法的交配率與突變率根據相關文獻中，績效較好的設定值來做為本研究的參數設定，設定值如下。

表 6.1 參數設定

parameter setting (GA)		
Population size		100
Chromosome size	link-based	656
	cordon-based	10
Crossover rate		0.8
Mutation rate		0.01
Stop condition		500 trial
Toll level range		0-100

從表 6.1 中可發現，不同的收費方案會有不同的編碼方式，故染色體的大小也不同，Link-based 的收費方案要決定每條路段的收費費率，故如圖 6.2 所示，本研究共有 164 條路段，每條路段都有其方向性，故即使是鄰近相同路口的兩個路段，如線段 1 與線段 83，也可根據不同的方向之擁塞程度收取不同的費用，而汽車使用者與機車使用者的收費費率可獨立收取不同的費用，由於機車對價錢較為敏感，故假設機車之收費費率設定為與汽車不同，故共有 328 個收費費率為決策變數，又將 0-100 之收費費率切割為兩位數的整數進行編碼，故染色體的基因共有 656 個。而 Cordon-based 的收費方案只需決定收費周界的中心點，包含 X 與 Y 值，以及收費周界的半徑，還有汽、機車使用者的收費費率，再切割為兩位數的整數，做為染色體的基因值，故染色體的基因共有 10 個。

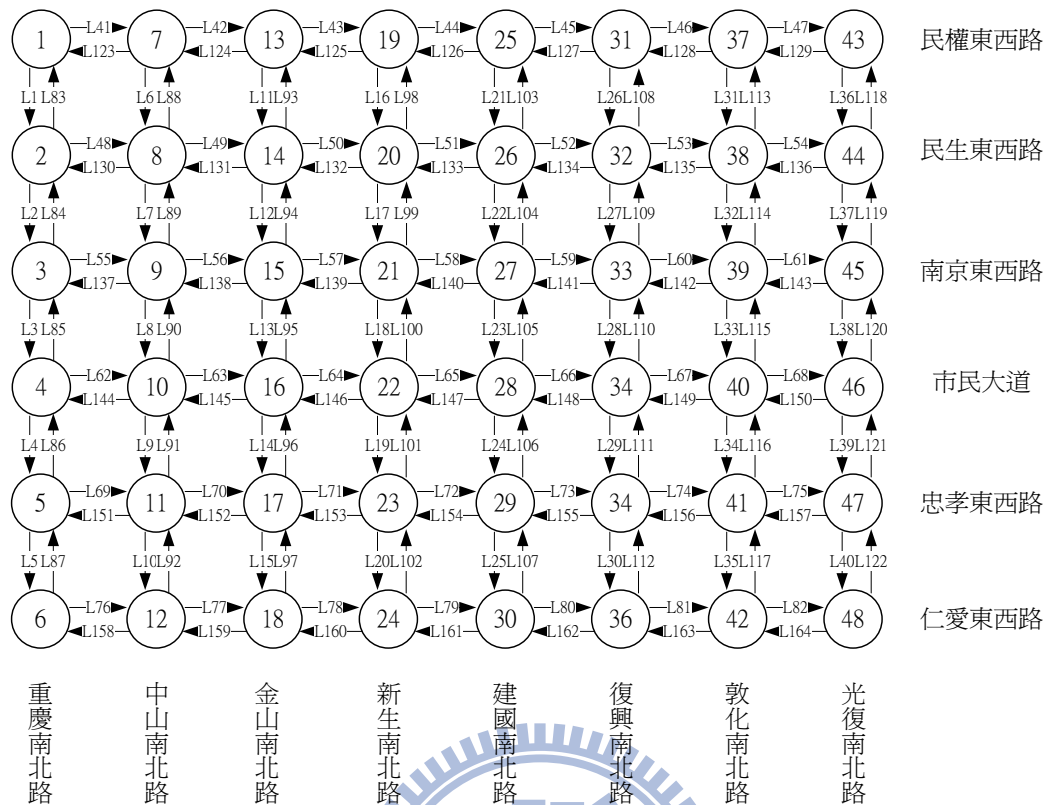


圖 6.2 台北市主要幹道路網示意圖

圖 6.2 中，台北市主要幹道路網示意圖，採用主要的路段進行標示，於實際路網中，金山北路與市民大道路口以北為新生北路。而新生北路與市民大道路口以北為松江路。仁愛路與信義路於中山至敦化南路口皆為單行道，於仁愛敦化南路口以西的仁愛路為西向單行道，以東則為雙向道，西端到中山南路口，信義路於中山信義以東為東向單行道，東端在此路網只標示到信義敦化南路口，用來表示仁愛路東向的替代道路，而仁愛路與中山南路口以西則為凱達格蘭大道。重慶南路位於襄陽路與北平西路之間為南向單行道(凱達格蘭大道(仁愛中山路口以西)與市民大道間)，故此段的重慶南路北向以附近最近的替代道路作為此路網單行道之替代道路。

假設台北都會區的車流量皆會透過路網的四個端點進入此路網，故需求量集中在路網的四個端點，節點一、節點六、節點四十三與節點四十八。路網的起點車流量示意圖如圖 6.3 所示，而路網起迄點需求量的示意圖根據圖 6.4 所示。採用 81 年交通運輸研究所的報告，台北都會區住戶交通旅次起迄調查，所整理而得。

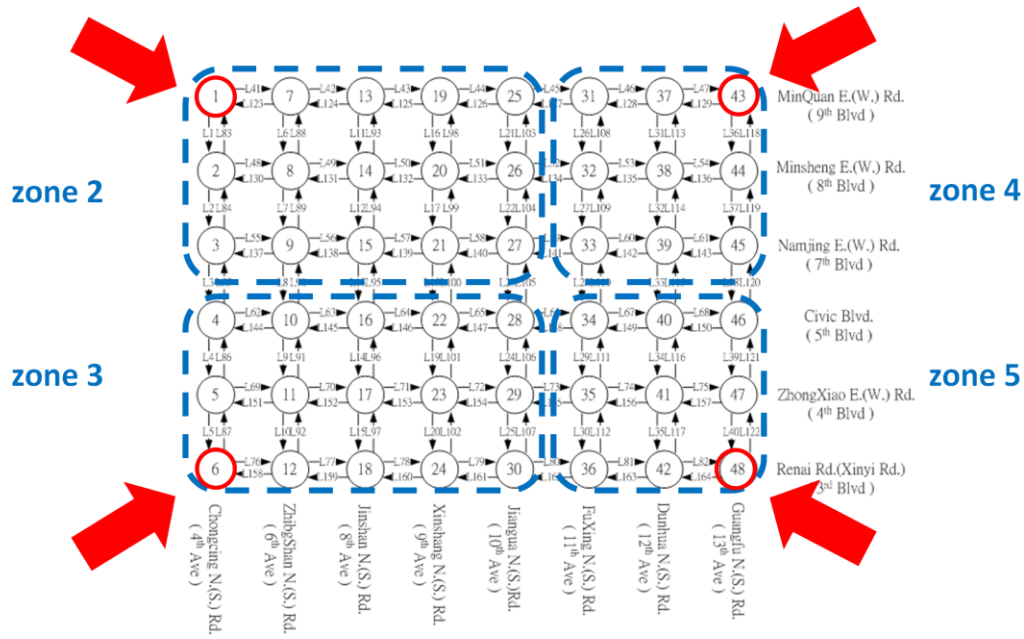


圖 6.3 台北市主要幹道路網起迄點示意圖

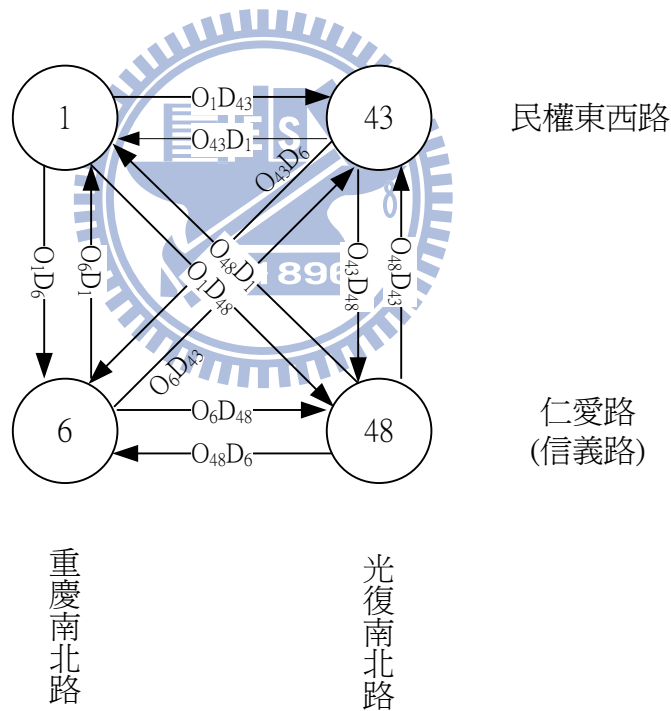


圖 6.4 路網起迄點需求量示意圖

根據交通運輸研究所的台北都會區住戶旅次調查的資料中，共將台北都會區住戶交通旅次區分為 15 個交通大分區。而本研究所選定的台北市主要幹道路網，如圖 6.1 所示，涵蓋範圍為 15 個交通分區中的其中 4 個分區，分別為交通分區 2 至交通分區 5，如圖 6.3 所示，位於台北都會區的中心，也是主要幹道分



布的區域。將 15 個交通分區分為東南西北四個方向之後，將會經過本研究路網的交通旅次做整理後，可得到表 6.2 的起迄需求量矩陣。

本研究的路網，如圖 6.2 所示，共有 48 個節點，164 個線段，故將起迄點的流量整理後，可得到表 6.2。從表 6.2 可觀察到，起點 6 的旅次需求較其他四個端點來得高，故可從此發現，於上午尖峰時刻，台北都會區的旅次需求之中，會進入市區道路的需求，以重慶南路與仁愛路口(凱達格蘭大道)進入的旅次需求為最高。

表 6.2 路網交通區旅次起迄表(單位:人旅次/日)

node	1	43	6	48
1	409373	130070	277052	64675
43	135219	254545	185728	94628
6	260412	173311	1118210	199341
48	59992	96238	201350	218255

### 6.3 結果分析與建議

表 6.3 最佳化台北路網社會福利改善比例

效用值(Utility) (Social Welfare)	
$SW_{\text{non-toll}}$	1.4130
$SW_{\text{toll\_link-based}}$	5.2045
Increased $SW_{\text{toll\_link-based}}$ (%)	268.34%
$SW_{\text{toll\_cordon-based}}$	4.7240
Increased $SW_{\text{toll\_cordon-based}}$ (%)	234.33%

進行最佳化擁塞收費周界與費率模式時，分為兩個方案進行最佳化的求解，以線段為基礎(link-based)的收費方案，以及以周界為基礎(cordon-based)的收費方案。從表 6.3 可發現，尚未收費時的社會福利為 1.4130，當採用以線段為基礎的方案進行收費時，其社會福利會從 1.4130 上升至 5.2045，其社會福利上升 268.34%；當採用以周界為基礎的方案進行收費時，其社會福利會從 1.4130 上升至 4.7241，其社會福利上升 234.33%。可從表 6.3 中發現，以線段為基礎的方案其績效會比以周界為基礎的方案來得好，其求解出來的收費費率如下所示，

1. 以線段為基礎的收費方案(Link-based congestion charge scheme)

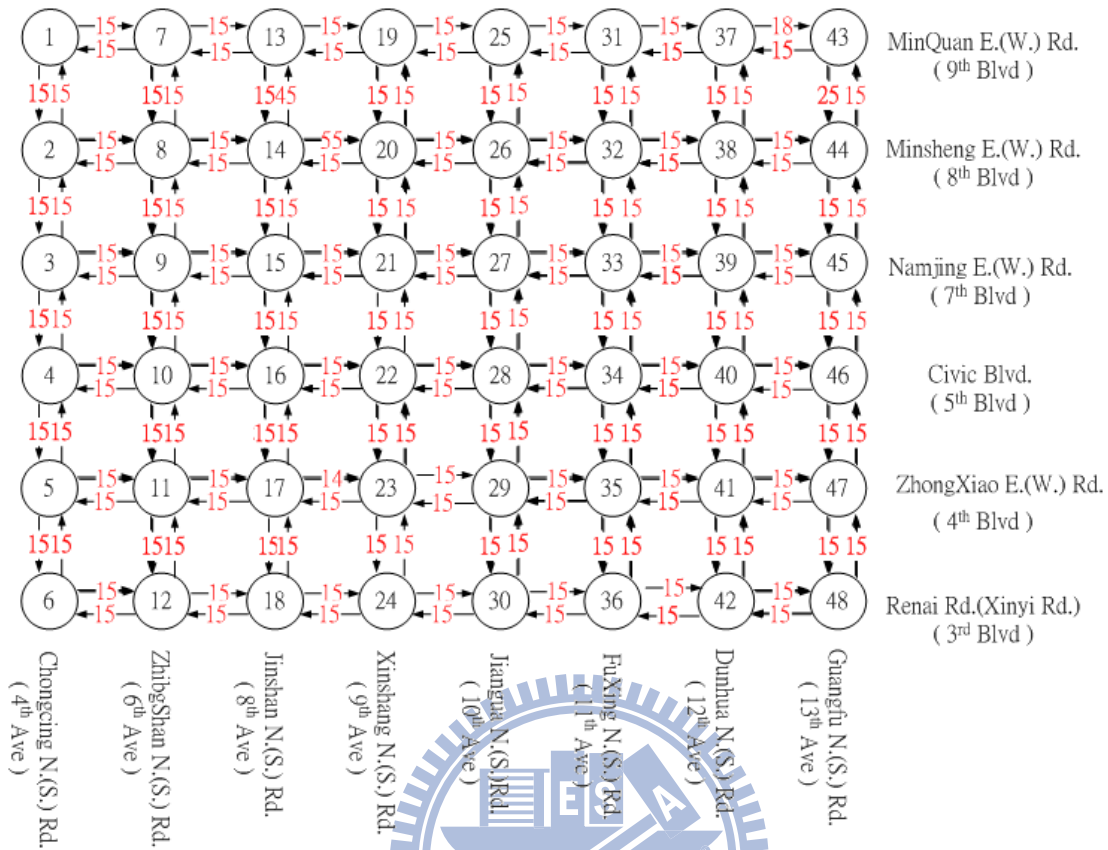


圖 6.5 最佳化台北市主要道路汽車之收費費率(link-based)

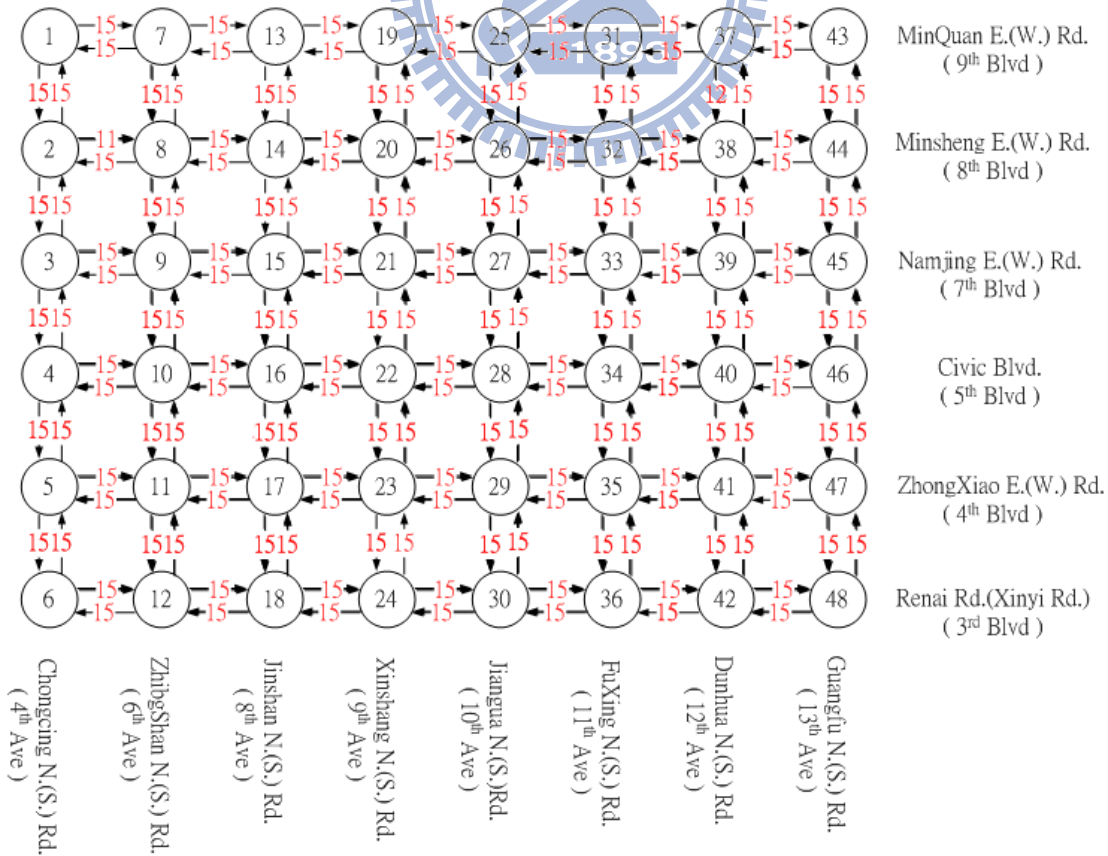


圖 6.6 最佳化台北市主要道路機車之收費費率(link-based)

從圖 6.5 及圖 6.6 可發現，上午尖峰時間的台北主要幹道路網的擁塞狀況十分嚴重，故每條路段都會進行收費，且每條路段可收取不同的擁塞費，汽車與機車也可獨立收取不同的費用。求解出來的收費費率大致上為 15 元，只有某些路段的收費費用有些許的不同。

汽機車獨立收費是由於汽車與機車對於收費費率的敏感度不同，故本研究考慮將汽機車分開收取不同的擁塞費。如果汽機車的收費費率相同，機車的移轉比率會變得相當的高，當收取一樣的費用時，機車使用者對於收費的感受會比汽車使用者的感受來得敏感，故效用值也就是社會福利會快速的下降。所以分開針對不同的運具，進行不同收費費率的求解，如此才能考慮不同的族群對於收費費率的影響，進而調整到最佳的收費費率以最大化社會福利。

雖然是獨立求解不同運具的擁塞費，但路網卻是同時進行使用，故於下層進行路徑選擇時，是同時進行汽機車的路徑指派，分別考慮不同的時間價值(Value of time, VOT)後，汽車的時間價值為 3.05(\$/分鐘)，機車的時間價值為 0.91(\$/分鐘)，進行一般化旅行成本的運算，一般化旅行成本為旅行時間加上擁塞費，將擁塞費經過時間價值的轉換後，計算出一般化旅行成本( $TT_a = t_a + 1/\beta * u_a$ )，也就是把每條路段(link a)的收費費率( $u_a$ )，透過時間價值( $\beta$ )的倒數的計算後，將金錢轉換成旅行時間，使用者會同時考慮每條路徑的一般化旅行成本後，在進行路徑的選擇。

路徑指派上，採用增量指派法(incremental assignment)的方法，由於進行全或無指派法(all-or-nothing assignment)，會造成所有的需求量皆集中在同幾個路徑上，並且無法同時將各個起訖點間的旅次進行指派，故考慮真實的車流情形，將需求量採用比例的方式進行分配，每個起訖點的需求量皆分為十等份，進行最短路徑的指派。由於汽機車的指派也需同時進行，故將汽機車的需求量分為十等份後，將汽車的每等份進行指派後，也同時將機車的需求量進行分配，如此以來，即可同時考慮汽機車的旅次指派。

故將東、西、南、北向的汽機車收費費率，分別如下表所示。

(1) 最佳化汽機車擁塞收費費率-南向

表 6.4 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(南向)

汽車收費費率(元)	民權-民生	民生-南京	南京-市民	市民-忠孝	忠孝-仁愛
重慶	15	15	15	15	15
中山	15	15	15	15	15
金山	15	15	15	15	15
新生	15	15	15	15	15
建國	15	15	15	15	15
復興	15	15	15	15	15
敦化	15	15	15	15	15
光復	25	15	15	15	15

表 6.5 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(南向)

機車收費費率(元)	民權-民生	民生-南京	南京-市民	市民-忠孝	忠孝-仁愛
重慶	15	15	15	15	15
中山	15	15	15	15	15
金山	15	15	15	15	15
新生	15	15	15	15	15
建國	15	15	15	15	15
復興	15	15	15	15	15
敦化	12	15	15	15	15
光復	15	15	15	15	15

如表 6.4 與表 6.5 所示，最佳化汽機車擁塞收費中，南向的路段皆要進行收費，可從此發現上午尖峰時間的台北路網擁塞程度十分嚴重，每條路段進行 15 元的收費。唯一不同的是汽車於光復民權路口南向光復民生路口進行 25 元的收費；以及機車於民權敦化路口南向民生敦化路口進行 12 元的收費。

若是從重慶民權路口直行到重慶凱達格蘭大道(仁愛)路口，則需繳交每條路段 15 元，有 5 個路段，共需繳交 75 元的擁塞費用，對於汽車使用者相當於增加

25 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上，對於機車使用者相當於增加 82 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上。透過收取擁塞費用，可將原本擁塞所造成的外部化成本內部化。透過增加一般化旅行成本降低需求，即可舒緩尖峰時段路網的擁塞狀況，並將此收費運用在道路建設、大眾運具服務水準的提升等，用來增加使用者因為收取擁塞費用所降低的效用值，而且將路段原本的旅行時間降低至 3.9 分鐘，如表 6.7 所示，交通流量與道路容量的比值(volume/capacity ratio, V/C)也降低至 0.94，如表 6.6 所示。從中山、金山、新生、建國、復興、敦化、光復民權路口南向至仁愛(信義)路口，也需繳交 75 元的擁塞費用，除了汽車使用者於光復民權路口南向至仁愛(信義)路口需繳交 85 元，以及機車使用者於敦化民權路口南向至仁愛(信義)路口需繳交 73 元，其他路段之旅行時間也降低至 3.36 至 4.53 分鐘，其 V/C 也降低至 0.95 以下。

根據 2001 年台灣地區的「公路容量手冊」(Highway Capacity Manual, HCM)，V/C 可視為道路績效(Measurement of Effective, MOE)的服務水準(Level of Service, LOS)考量因素之一，故探討 V/C 值的下降，代表道路服務水準的提升，若是 V/C 值從大於 1 下降至小於 1，則代表此路段之服務水準提升，在流量沒有超過容量之下，並不會造成擁塞的情形，故道路的績效可維持在一定的服務水準。

表 6.6 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後道路的績效水準 V/C(南向)

流量/ 容量比 (V/C)	民權- 民生	民生- 南京	南京- 市民	市民- 忠孝	忠孝- 仁愛	平均 流量/ 容量比 (V/C)
重慶	1.37	1.06	1.32	0.66	0.26	0.94
中山	0.66	1.13	0.99	0.99	0.99	0.95
金山	0.27	0.53	1.63	1.12	1.17	0.94
新生	0.00	0.00	0.59	0.13	0.00	0.14
建國	0.00	0.03	0.00	0.84	0.71	0.31
復興	0.26	0.18	0.00	0.00	0.00	0.09
敦化	1.52	0.35	0.00	0.00	0.00	0.37
光復	0.00	0.02	0.16	0.10	1.19	0.29

從表 6.6 可發現，南向道路 V/C 的平均比值，以重慶、中山與金山南北路(新生北路)最為接近 1，大約為 0.94，代表南向的主要幹道中，重慶、中山與金山南北路的南向車流量與容量比值最大，為車多的情形，但不至於到擁塞；而建國、敦化、光復南北路的 V/C 值約為 0.33，車流量約為道路容量的 1/3 倍，而復興、新生南北路的流量較低，V/C 值只有 0.12 左右。

表 6.7 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後旅行時間(南向)

旅行時間 (分鐘)	民權- 民生	民生- 南京	南京- 市民	市民- 忠孝	忠孝- 仁愛	總旅行 時間
重慶	1.23	0.47	0.89	0.32	0.98	3.90
中山	0.57	1.04	0.74	0.40	1.19	3.95
金山	0.56	1.32	1.16	0.39	1.11	4.53
新生	0.56	0.84	0.90	0.51	0.56	3.36
建國	0.56	0.84	0.93	0.58	0.60	3.50
復興	0.56	0.84	1.02	0.46	0.51	3.39
敦化	1.02	0.85	1.02	0.46	0.51	3.86
光復	0.57	0.87	1.05	0.52	0.73	3.74

南向的路段中又以敦化民權往敦化民生路口車流量最大，V/C 值約為 1.52，這是由於擁塞收費的南向路段中，以此路段的擁塞收費最低，相對其他路段收取 15 元的擁塞費用，此路段針對機車使用者收取 12 元的擁塞費用，故較多的機車會選擇此路段，但是並不會達到擁塞的情形，旅行時間從自由車流時的 0.57 分鐘增加至 1.02 分鐘，如表 6.7 所示。而光復民權往光復民生路段，針對汽車收取的擁塞費用為 25 元，較其他路段高，故此路段的 V/C 值為 0，也就是沒有流量，汽車使用者會選擇旅行成本較低的路徑。

(2) 最佳化汽機車擁塞收費費率-東向

表 6.8 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(東向)

汽車收費 費率(元)	重慶- 中山	中山- 金山	金山- 新生	新生- 建國	建國- 復興	復興- 敦化	敦化- 光復
民權	15	15	15	15	15	15	18
民生	15	15	55	15	15	15	15
南京	15	15	15	15	15	15	15
市民	15	15	15	15	15	15	15
忠孝	15	15	14	15	15	15	15
仁愛 (信義)	15	15	15	15	15	15	15

表 6.9 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(東向)

機車收費 費率(元)	重慶- 中山	中山- 金山	金山- 新生	新生- 建國	建國- 復興	復興- 敦化	敦化- 光復
民權	15	15	15	15	15	15	15
民生	15	15	15	15	15	15	15
南京	15	15	15	15	15	15	15
市民	15	15	15	15	15	15	15
忠孝	15	15	15	15	15	15	15
仁愛(信義)	15	15	15	15	15	15	15

如表 6.8 與表 6.9 所示，最佳化汽車與機車擁塞收費中，東向的路段也皆要進行收費，可從此發現上午尖峰時間的東向路網擁塞程度也十分嚴重，每條路段進行 15 元的收費。唯一不同的是汽車於民權敦化路口東向民權光復路口進行 18 元的收費，以及民生新生北路口(金山北段)東向往民生松江路口(新生北段)收取 55 元的費用，由於這些路段的旅行時間較其他路段長，故從此路徑經過會增加旅行時間，故收取較高的費用；以及汽車於忠孝金山路口東向忠孝新生路口進行 14 元的收費，由於此路徑的旅行時間較其他路徑短，故從此路徑經過可降低旅行時間，故收取較低的費用。

若是從南京重慶路口直行到南京光復路口，需繳交每條路段 15 元，共有 7 個路段，共需繳交 105 元的擁塞費用，對於汽車使用者相當於增加 34 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上，對於機車使用者相當於增加 115 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上。表 6.11 中可發現，透過收費將路段原本的旅行時間降低至 6.87 分鐘，流量/容量比也降低至 0.86。從民權、民生、南京、仁愛(信義)重慶路口東向至光復路口，也需繳交 105 元的擁塞費用，除了汽車使用者於民權重慶路口東向至光復路口需繳交 108 元；民生重慶路口東向至光復路口需繳交 145 元；忠孝重慶路口東向至光復路口需繳交 104 元。其他路段旅行時間也降低至 6.78 至 7.89 分鐘，其 V/C 也降低至 1.2 以下。

表 6.10 台北市主要幹道最佳化機車收費費率道路的績效水準 V/C (東向)

流量/ 容量 比 (V/C)	重慶- 中山	中山- 金山	金山- 新生	新生- 建國	建國- 復興	復興- 敦化	敦化- 光復	平均 流量/ 容量比 (V/C)
民權	0.80	1.24	1.47	0.98	0.98	1.03	1.90	1.20
民生	1.09	1.32	0.56	0.53	0.75	0.66	1.49	0.91
南京	0.53	1.39	0.65	0.98	0.68	1.07	0.74	0.86
市民	0.00	0.00	1.33	0.84	0.00	0.00	0.00	0.31
忠孝	0.71	0.53	0.93	0.93	0.82	0.82	0.82	0.79
仁愛 (信義)	1.76	0.82	0.65	0.49	0.84	0.51	0.71	0.83

從表 6.10 可發現，東向道路 V/C 的平均值，以民權東西路為最大，值為 1.20，代表東向的主要幹道中，民權東西路的東向車流量與容量的比值最大，為車多的情形，但不至於到擁塞；而民生、南京、忠孝、仁愛的 V/C 值約為 0.8 至 0.9，車流量約為道路容量的 0.85 倍，而市民大道的流量較低，V/C 值只有 0.31 左右，這是由於市民大道的速限較低，故旅行時間較其他東西向的道路來的長，選擇此路徑的車輛較少。



表 6.11 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率後旅行時間 (東向)

旅行 時間 (分鐘)	重慶- 中山	中山- 金山	金山- 新生	新生- 建國	建國- 復興	復興- 敦化	敦化- 光復	總旅 行時 間
民權	1.28	0.88	1.18	0.32	1.37	1.03	1.52	7.59
民生	1.49	0.95	0.71	0.28	1.27	0.81	1.29	6.80
南京	1.25	1.24	0.86	0.32	1.25	0.78	1.17	6.87
市民	1.33	1.65	0.52	0.38	1.51	0.81	1.68	7.89
忠孝	0.90	1.33	0.56	0.52	1.09	0.69	1.69	6.78
仁愛 (信義)	1.14	1.54	0.67	0.61	0.95	0.66	1.88	7.44

東向的路段中又以民權敦化往民權光復路口車流量最大，V/C 值約為 1.90，故擁塞收費的東向路段中，以此路段的擁塞收費較高，相對其他路段收取 15 元的費用，此路段針對汽車使用者收取 18 元的擁塞費用，雖然較多的汽機車會選擇此路段，但是並不會達到過度擁塞的情形，旅行時間從自由車流時的 0.51 分鐘增加至 1.52 分鐘，如表 6.11 所示。而民生新生北路(金山北段)至民生松江(新生北段)路口，其汽車的擁塞收費相對較高為 55 元，但是 V/C 比值為 0.56，顯示仍有車流量通過此路段，代表即使汽車使用者的一般化旅行成本從 0.70 分鐘增加至 18.75 分鐘，與其他路段的一般化旅行成本為 6 分鐘相比較高，汽車使用者不會使用此條路段；相對機車使用者的一般化成本只有從 0.28 分鐘增加至 16.28 分鐘，與其他路段的一般化旅行成本約為 17 分鐘相比，此路段的旅行成本較低，故即使汽車使用者的旅行成本較高，但機車使用者的旅行成本相對其他路段較低，故仍然會有車流量通過，透過擁塞收費此路段的 V/C 可降低至 0.56。忠孝新生北路(金山北段)至忠孝松江(新生北段)路口，其擁塞收費相對較低為 14 元，代表此路段仍能通過車流量，並不會導致擁塞發生，故可看到 V/C 值為 0.93，旅行時間於自由車流時為 0.50 分鐘增加至 0.57 分鐘。

(3) 最佳化汽機車擁塞收費費率-北向

表 6.12 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(北向)

汽車收費費率(元)	民生-民權	南京-民生	市民-南京	忠孝-市民	仁愛-忠孝
重慶	15	15	15	15	15
中山	15	15	15	15	15
金山	45	15	15	15	15
新生	15	15	15	15	15
建國	15	15	15	15	15
復興	15	15	15	15	15
敦化	15	15	15	15	15
光復	15	15	15	15	15

表 6.13 台北市主要幹道最佳化機車收費費率(北向)

機車收費費率(元)	民生-民權	南京-民生	市民-南京	忠孝-市民	仁愛-忠孝
重慶	15	15	15	15	15
中山	15	15	15	15	15
金山	15	15	15	15	15
新生	15	15	15	15	15
建國	15	15	15	15	15
復興	15	15	15	15	15
敦化	15	15	15	15	15
光復	15	15	15	15	15

最佳化汽車擁塞收費中，北向的路段也皆要進行收費，可從此發現上午尖峰時間的台北主要幹道的路網，其擁塞程度十分嚴重，每條路段收取 15 元的擁塞費用，唯一不同的是新生(金山北段)與民生路口北向新生民權路口針對汽車使用者進行 45 元的收費，由於此路徑的旅行時間較其他路徑短，故從此路徑經過可降低旅行時間，故收取較高的費用，降低此路段的需求。

北向與南向路段大致相同，從重慶凱達格蘭大道(仁愛)路口直行到重慶民生路口，需繳交每條路段 15 元，有 5 個路段，共需繳交 75 元的擁塞費用，相當於增加 24.6 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上。唯有金山信義(仁愛)北向新生(金山北段)民生路口汽車使用者需繳交 105 元的擁塞費用。

表 6.14 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後道路的績效水準 V/C(北向)

流量/ 容量比 (V/C)	民生- 民權	南京- 民生	市民- 南京	忠孝- 市民	仁愛- 忠孝	平均 流量/ 容量比 (V/C)
重慶	0.98	1.58	1.53	1.02	0.90	1.20
中山	0.74	0.74	0.98	0.98	0.98	0.88
金山	0.71	0.00	1.33	1.54	0.98	0.91
新生	0.00	0.49	0.98	0.24	0.49	0.44
建國	0.00	0.33	0.00	0.28	0.44	0.21
復興	0.06	0.00	0.33	0.24	0.24	0.17
敦化	1.31	1.47	0.98	0.98	0.39	1.02
光復	2.48	1.26	0.28	0.19	1.06	1.05

從表 6.14 可發現，北向道路 V/C 值，以重慶南北路的 V/C 值最高，大約為 1.2，而敦化與光復南北路 V/C 值約為 1，代表北向的主要幹道中，重慶、敦化與光復南北路的南向車流量與容量比值較大，為車多的情形，但不至於到擁塞；而中山、金山南北路的 V/C 值約為 0.9，車流量也很大，而新生的 V/C 值約為 0.44，相對建國、復興南北路的流量較低，V/C 值只有 0.17 至 0.21 左右。北向的路段中，又以光復民生往光復民權路口車流量最大，V/C 值約為 2.48，旅行時間從自由車流時的 0.57 分鐘增加至 3.83 分鐘，如表 6.15 所示。

表 6.15 台北市主要幹道最佳化擁塞收費後旅行時間(北向)

旅行時間 (分鐘)	民權- 民生	民生- 南京	南京- 市民	市民- 忠孝	忠孝- 仁愛	總旅行 時間
重慶	0.91	0.76	1.11	0.36	1.08	4.23
中山	0.58	0.87	0.74	0.40	1.19	3.78
金山	0.58	1.30	0.82	0.57	0.99	4.27
新生	0.56	0.84	1.00	0.51	0.56	3.48
建國	0.56	0.84	0.93	0.54	0.58	3.45
復興	0.56	0.84	1.02	0.46	0.51	3.39
敦化	0.81	1.44	1.16	0.53	0.51	4.46
光復	3.82	1.20	1.05	0.52	0.67	7.26

由於本研究的旅次需求點假設位於路網的四個端點，包含光復民權路口，故位於本研究路網端點的地方，即使收取擁塞費用，能選擇行駛的路段只有兩條，若是兩條路徑的旅行成本相差太大，較容易發生其中一條路段產生擁塞的情形。從圖 6.2 中可發現，假若需求旅次的迄點為節點 43，則可選擇路線 47(Link 47) 與路線 118(Link 118) 進行路徑的指派，故從圖 6.3 中可發現當汽車的收費費率分別為 18 元與 15 元，就會造成 15 元的路線造成擁塞的情形。從表 6.9 可發現，民權東路東向自敦化往光復路口其 V/C 值為 1.90，也非常的高，故汽車使用者皆會選擇旅行成本較低的光復北路北向自民權往民生路口，所以此路段的 V/C 值也會相對的較高為 2.48，而旅行時間也相對較高為 3.82 分鐘，如表 6.15 所示。

(4) 最佳化汽機車擁塞收費費率-西向

表 6.16 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(西向)

汽車收費 費率(元)	中山- 重慶	金山- 中山	新生- 金山	建國- 新生	復興- 建國	敦化- 復興	光復- 敦化
民權	15	15	15	15	15	15	15
民生	15	15	15	15	15	15	15
南京	15	15	15	15	15	15	15
市民	15	15	15	15	15	15	15
忠孝	15	15	15	15	15	15	15
仁愛(信 義)	15	15	15	15	15	15	15

表 6.17 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率(西向)

機車收費 費率(元)	中山- 重慶	金山- 中山	新生- 金山	建國- 新生	復興- 建國	敦化- 復興	光復- 敦化
民權	15	15	15	15	15	15	15
民生	15	15	15	15	15	15	15
南京	95	15	15	15	15	15	15
市民	15	15	15	15	15	15	15
忠孝	15	15	15	15	15	15	15
仁愛(信 義)	15	15	15	15	15	15	15

如表 6.16 與表 6.17 所示，最佳化汽車與機車擁塞收費中，西向的路段也皆要進行收費，西向路網於上午尖峰時間的擁塞程度也十分嚴重，每條路段進行 15 元的收費。唯一不同的是機車於南京中山路口西向南京重慶路口進行 95 元的收費。

西向與東向路段的情形大致相同，若是從民權光復路口直行到民權重慶路口，需繳交每條路段 15 元，共有 7 個路段，共需繳交 105 元的擁塞費用，對於汽車使用者相當於增加 34 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上，對於機車使用者相當於增加 115 分鐘的旅行時間於一般化旅行成本上。透過收費將路段原本的

旅行時間降低至 7.21 分鐘，流量/容量比也降低至 1.05。從民生、南京、市民、忠孝、仁愛(信義)重慶路口西向至光復路口，也需繳交 105 元的擁塞費用。除了機車使用者於南京光復路口西向至重慶路口需繳交 185 元。其他路段旅行時間也降低至 5.91 至 7.71 分鐘，其 V/C 也降低至 1.05 以下。

表 6.18 台北市主要幹道最佳化機車收費費率道路的績效水準 V/C (西向)

流量/ 容量比 (V/C)	中山- 重慶	金山- 中山	新生- 金山	建國- 新生	復興- 建國	敦化- 復興	光復- 敦化	平均 流量/ 容量比 (V/C)
民權	0.78	1.07	0.84	0.56	0.84	1.34	1.90	1.05
民生	0.17	0.96	1.11	0.83	0.83	0.71	0.25	0.69
南京	0.56	0.90	0.01	0.40	0.40	0.23	0.00	0.36
市民	0.00	0.00	0.61	0.28	0.00	0.00	0.00	0.13
忠孝	0.31	0.31	0.97	0.84	0.65	0.65	0.65	0.63
仁愛(信 義)	1.03	0.20	0.00	0.00	0.22	0.22	0.33	0.28

從表 6.18 可發現，西向道路 V/C 的平均值，以民權東西路為最大，其值為 1.05，代表西向的主要幹道中，民權東西路的西向車流量與容量的比值最大，為車多的情形，但不至於到擁塞；而民生、忠孝西向的 V/C 值約為 0.65 左右，而南京、仁愛、市民大道的流量較低，V/C 值只有 0.13 至 0.36 之間。

西向的路段中又以民權敦化往民權光復路口車流量最大，V/C 值約為 1.90，故擁塞收費的西向路段中，以此路段的擁塞收費較高，這也是由於上述所說，旅次需求的起迄點位於路網的四個端點，故可選擇的路徑相對較少。從本研究的路網中，圖 6.2 可發現，假設旅次需求的起點為節點 43，則可選擇路線為西向路線 129 (Link 129)與南向路線 36(Link 36)進行路徑的指派，故從圖 6.3 中可發現當汽車的收費費率分別為 15 元與 25 元，會造成 15 元的路線產生擁塞的情形。從表 6.9 可發現，民權東路西向自光復往敦化路口其 V/C 值為 1.90，非常高，造成汽車使用者皆會選擇旅行成本較低的民權東路西向，而敦化北路南向的路段反而沒車輛選擇，即使為機車使用者其南向的旅行時間較長，故所有的使用者皆選擇西向民權東路作為出發的路段。

表 6.19 台北市主要幹道最佳化汽車收費費率後旅行時間 (西向)

旅行 時間	中山- 重慶	金山- 中山	新生- 金山	建國- 新生	復興- 建國	敦化- 復興	光復- 敦化	總旅 行時 間
民權	1.27	0.78	0.75	0.28	1.30	1.31	1.52	7.21
民生	1.23	0.73	0.85	0.30	1.29	0.82	0.74	5.97
南京	1.26	0.88	0.84	0.28	1.21	0.65	1.12	6.23
市民	1.33	1.65	0.36	0.35	1.51	0.81	1.68	7.71
忠孝	0.87	1.32	0.57	0.50	1.05	0.67	1.62	6.60
仁愛 (信義)	0.54	1.44	0.65	0.61	0.88	0.65	1.82	6.59

從表 6.19 中可發現，西向道路中，以市民大道的旅行時間最長為 7.71 分鐘，以民生東西路的旅行時間最短為 5.97 分鐘，根據表 6.18 可發現市民大道最為順暢 V/C 值為 0.13，車最多的為民權東西路 V/C 值為 1.05。

透過路網的最佳化擁塞收費圖，圖 6.3 與圖 6.4，可發現，不論是汽車或是機車收費費率大約為每條路段 15 元。其汽車使用者的一般化旅行成本大約為 71.11 分鐘，而機車使用者的一般化旅行成本大約為 212.40 分鐘，故機車使用者的移轉比率較高，汽車使用者的移轉比率較低。由於收費費率水準的範圍訂定為 0-100 元，收費費率大致上為 15 元，最低的收費費率為 11 元，最高的收費費率為 95 元，代表收費費率水準的上限尚未達到，故此上限能計算出以線段為方案之最佳化的擁塞收費。

## 2. 以周界為基礎的收費方案(Cordon-based congestion charge scheme)

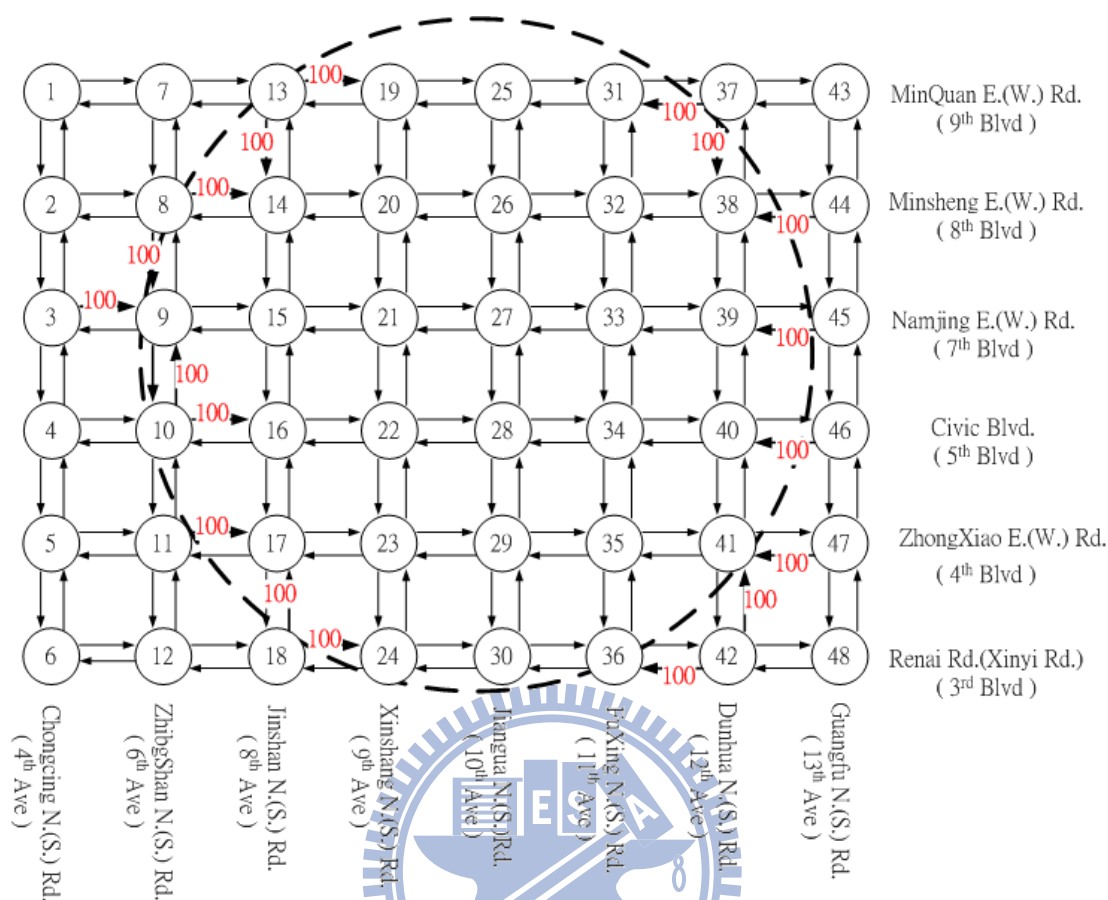


圖 6.7 最佳化台北市主要道路汽機車收費費率(cordon-based)

以周界為基礎的收費方案為通過收費周界，就要進行擁塞費的收取，而本研究設定於上午尖峰時間，故進入收費周界才需繳納擁塞收費，如圖 6.7 所示，汽機車使用者每次進入收費周界就須繳納 100 元的費用。

從圖 6.7 中可發現最佳化台北市主要道路的汽機車擁塞收費費率相同，收費周界的中心點接近南京金山路口，其收費半徑約為 4.5 公里，汽機車的收費費率皆為 100 元。假設重慶民權路口(節點 1)為 X 與 Y 座標的起點，即 X 座標值與 Y 座標值皆為 0 時，最佳化收費周界的中心，其 X 座標值為 6.95 公里，Y 座標值為 -3.55 公里。參數設定上，X 與 Y 座標的求解範圍分別是 X 座標為 0 ~ 13.76 公里，Y 座標值為 -7.17 ~ 0 公里，而收費周界半徑的求解範圍為 0 ~ 12.25 公里。

為了加速求解，將收費周界半徑的求解範圍設定為可變動的。由於當收費周界的半徑過大或過小，皆無法選取到任何的路段來進行收費，故不收費的情形相當容易產生，當周界的半徑小於最接近的節點，或大於最遠離的節點，則收費周界沒有跨越任何的路段，故進行收費周界中心以及汽車與機車擁塞收費費率最佳



化的求解，容易使演算法沒有效率，導致產生許多相同績效的解，故為了避免產生太多相同的可行解，故根據收費周界的中心，決定收費周界的半徑求解範圍，將其收費周界的半徑最小值設定為最接近收費周界中心的節點距離，而最大值設定為最遠離收費周界中心的節點距離，如此以來，收費周界半徑才能有效的進行求解。故以此收費周界中心座標來說，當(X,Y)為(6.95,-3.55)時，收費周界半徑為 1.13~7.80 公里，離周界中心最近的節點為節點 27，最遠的節點為節點 1。

從圖 6.4 可發現，由於路網的旅次起迄點位於四個端點上，故收費周界選取的位置十分重要，希望收取到最大的擁塞費用，同時降低需求量以及旅行時間，並考慮使用者的效用，不可收取過高的成本否則會降低太多使用者的效用，故最佳化的收費周界不可以太小，如此會造成周界外的旅行時間增加，而周界內的旅行時間雖然減少，但是卻會造成周界外的擁塞更為嚴重，故最佳化周界收費的位置同時針對所有的旅次起迄點進行收費，不論行走的路徑的方向，皆能收取相同的擁塞費用，以達到降低旅次需求量以及旅行時間，但從圖 6.4 可發現，只有進城才會進行收費，當使用者通過收費周界時，只需繳納 100 元的擁塞費用，而汽機車的擁塞收費費率之範圍為 0-100 元，求解後之最佳化收費費率已達到收費費率的上限，故若將收費費率的上限提升，可能還能增加擁塞收費的費用以及增加社會福利。

由於此兩種收費方案皆考慮民眾接受度，設定之收費範圍皆為 0-100 元，進行比較，但若考慮旅次起迄點為基準來進行收費費率之比較時，Link-based 的收費其收費範圍為 0-1200 元，而 Cordon-based 的收費範圍為 0-100 元，故若未考慮民眾接受度，而考慮以旅次起迄點為基準，也可將 Cordon-based 的收費範圍同樣設定為 0-1200 元來進行最佳化的求解後，再進行方案之間的比較。

### 3. 以線段為基礎(Link-based)和以周界為基礎(Cordon-based)的收費方案之比較

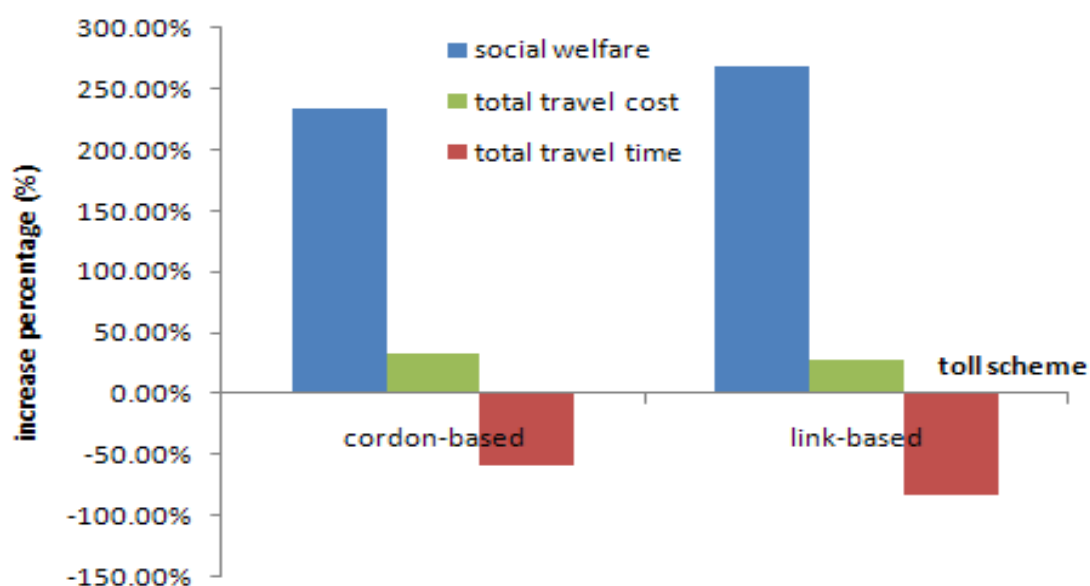


圖 6.8 不同擁塞收費方案下雙層數學目標式變動的百分比

表 6.20 不同擁塞收費方案下雙層數學目標式變動的百分比

toll scheme	social welfare (upper-level)	total travel cost (lower-level)	total travel time
cordon-based scheme	234.33%	33.38%	- 58.72%
link-based scheme	268.34%	27.58%	- 83.33%

從圖 6.8 以及表 6.20 中可發現，透過擁塞收費，不但可以增加社會福利，同時也降低總旅行時間。以收費方案來做比較，可發現 Link-based 的績效較 Cordon-based 好。Link-based 增加較小幅度的總旅行成本，卻能增加較大幅度的社會福利以及降低較大幅度的總旅行時間。

這是由於 Cordon-based 的收費費率與周界是固定一致的，只要通過收費周界，就要收取擁塞收費，故旅行成本的上升較不會改變路徑的選擇，可從圖 6.7 中發現，所有旅次的選擇路徑皆會通過收費周界，故須繳納的費用是一致的，故此種收費方案只會降低需求量，並不會改變使用者的路徑選擇，會擁塞的路段並沒有收取較高的費用，大家還是會選擇同樣的路徑導致擁塞情形降低的幅度不會太多。而 Link-based 是直接每條路段進行收費，較為擁塞的路段收取較高的費用，使用者就會改變路徑的選擇，藉此分散擁塞路段的旅次需求量。故 Link-based

比 Cordon-based 可以更直接有效的降低擁塞的程度。但是由於 Link-based 在每條路段進行收取不同的費用，如此一來營運成本較高，且尚未考慮到民眾接受度，故本研究以較多國家目前實施擁塞收費所採納的方案—Cordon-based，進行最佳化的求解，並也將 Link-based 的收費方案求解最佳化後來做比較。若是未來針對道路收費系統有更進一步的開發，便可使用 Link-based 的收費方案，可更有效率的降低旅行時間。如 GPS 系統直接針對車機進行收費，以及向民眾宣導政策，使民眾較願意接納擁塞收費是為了增加道路使用效率，也可同時提升道路建設以及大眾運具的服務水準，並降低旅行時間，故可接受每條路線繳納的費用皆根據需求量來做調整，

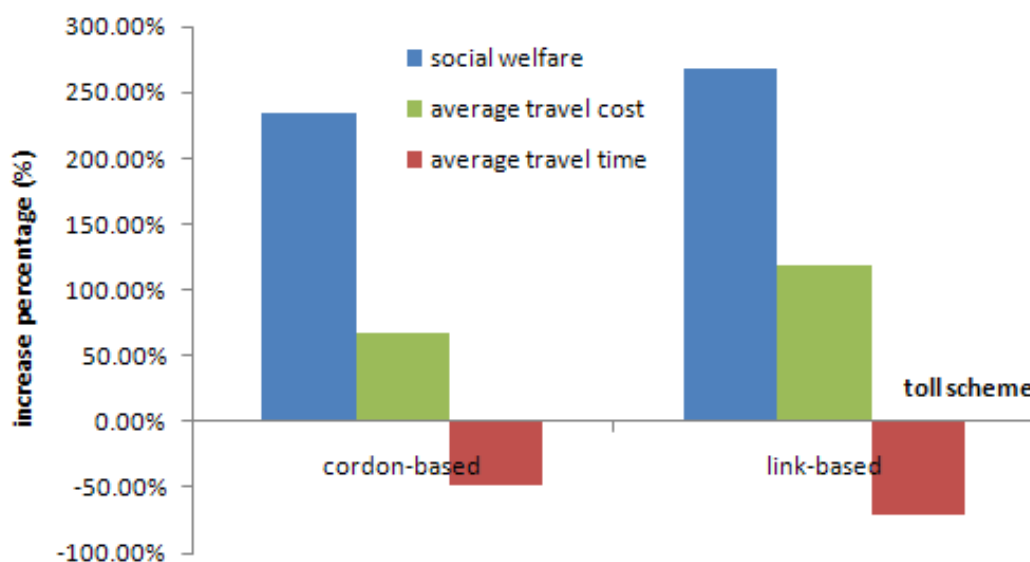


圖 6.9 不同擁塞收費方案下社會福利、平均旅行成本與時間變動的百分比

表 6.21 不同擁塞收費方案下社會福利、平均旅行成本與時間變動的百分比

toll scheme	social welfare (total utility)	average travel cost	average travel time
cordon-based scheme	234.33%	68.07%	- 47.99%
link-based scheme	268.34%	118.60%	- 71.44%

總成本來說 Link-based 的績效比較好，因為平均旅行成本增加的比率較高，其需求降低的比例也較高，故總旅行成本增加的比率會較低，故總旅行時間降低的比例也會高於 Cordon-based。

從圖 6.9 與表 6.24 可發現，平均旅行成本上升的比例，Link-based 高於

Cordon-based，但是圖 6.8 和表 6.23 可發現總旅行成本上升的比例，Cordon-based 高於 Link-based。這時由於 Link-based 在每條路段進行不同的費用收取，其平均旅行成本會較高，大約為 180 元，如圖 6.11 與表 6.26 所示。當平均旅行成本上升較高，需求量相對下降的幅度也較大。如圖 6.12 與表 6.28 所示，故總旅行成本增加的幅度也較低。

從圖 6.8 與 6.9 可得到一個小結，Link-based 是提高平均的旅行成本來降低需求量，故可降低大幅度的旅行時間。Cordon-based 的績效較差，但可降低營運成本，也考慮到民眾的接受程度。

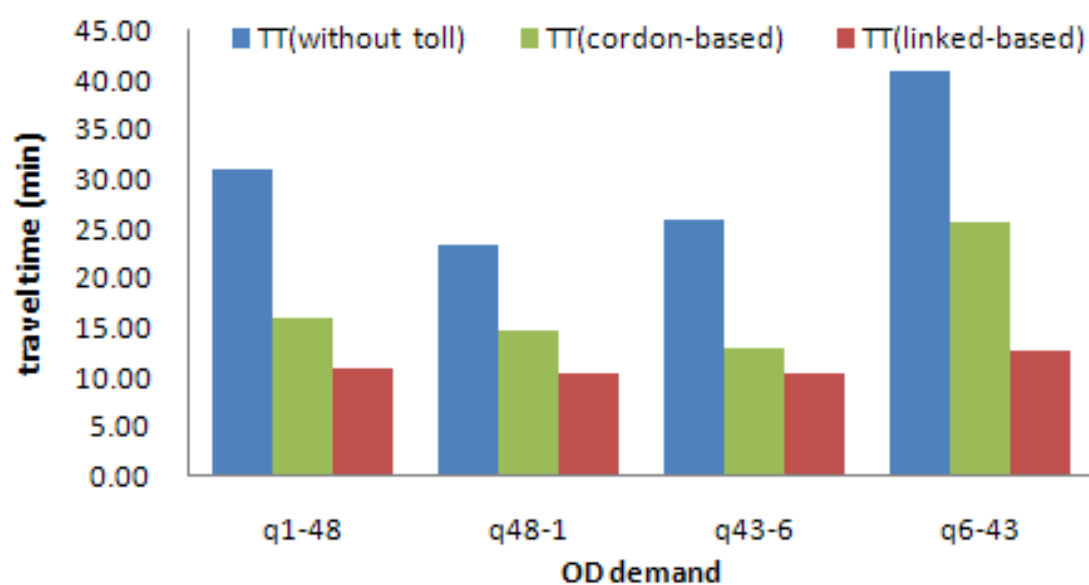


圖 6.10 不同 OD 起訖點於兩種收費方案下的平均旅行時間

表 6.22 不同 OD 起訖點於兩種收費方案下的平均旅行時間

OD-pairs	travel time (without toll)	travel time (cordon-based)	travel time (link-based)
q1-48	30.90	15.85	10.74
q48-1	23.27	14.62	10.24
q43-6	25.92	12.78	10.46
q6-43	40.77	25.59	12.63

如圖 6.10 與表 6.22 所示，尚未收費前，汽車使用者從重慶民權路口往仁愛光復路口(東南方向)離峰時間的旅行時間為 8.9 分鐘、尖峰時間的旅行時間為 30.9 分鐘，尖峰旅行時間為離峰時的 3.5 倍。從仁愛光復路口往重慶民權路口(西北方向)離峰旅行時間為 9.3 分鐘，尖峰旅行時間為 23.3 分鐘，尖峰旅行時間為離峰時的 2.5 倍，相當擁塞。而民權光復路口往重慶凱達格蘭大道路口(西南方向)，離峰旅行時間為 8.7 分鐘，尖峰旅行時間為 25.9 分鐘，為離峰時 3 倍的旅行時間，也相當擁塞。而重慶凱達格蘭大道路口往民權光復路口(東北方向)，離峰旅行時間為 8.6 分鐘，尖峰旅行時間為 40.8 分鐘，為原本旅行時間的 4.7 倍。

實施以周界為基礎的收費方案後，尖峰旅行時間與離峰旅行時間的倍率，從原本從重慶民權路口往仁愛光復路口(東南方向)的 3.5 倍降至 1.8 倍；從仁愛光復路口往重慶民權路口(西北方向)為 2.5 倍降至 1.6 倍；而民權光復路口往重慶凱達格蘭大道路口(西南方向)，為 3 倍降至 1.5 倍；重慶凱達格蘭大道路口往民權光復路口(東北方向)，為 4.7 倍降至 3 倍。

實施以路段為基礎的收費方案後，尖峰旅行時間與離峰旅行時間的倍率，從原本從重慶民權路口往仁愛光復路口(東南方向)的 3.5 倍降至 1.2 倍；從仁愛光復路口往重慶民權路口(西北方向)為 2.5 倍降至 1.1 倍；而民權光復路口往重慶凱達格蘭大道路口(西南方向)，為 3 倍降至 1.2 倍；重慶凱達格蘭大道路口往民權光復路口(東北方向)，為 4.7 倍降至 1.5 倍。

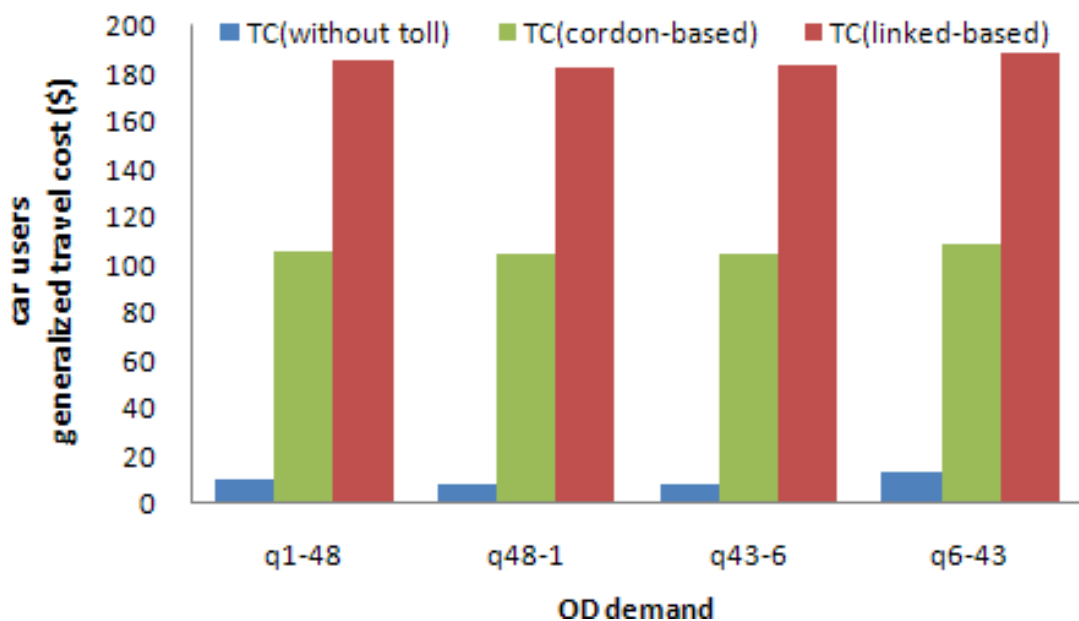


圖 6.11 汽車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點的一般化旅行成本

表 6.23 汽車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點及的一般化旅行成本

OD-pairs	travel cost (without toll)	travel cost (cordon-based)	travel cost (link-based)
q1-48	10.14	105.20	185.70
q48-1	7.63	104.79	182.61
q43-6	8.50	104.19	183.34
q6-43	13.37	108.39	188.83

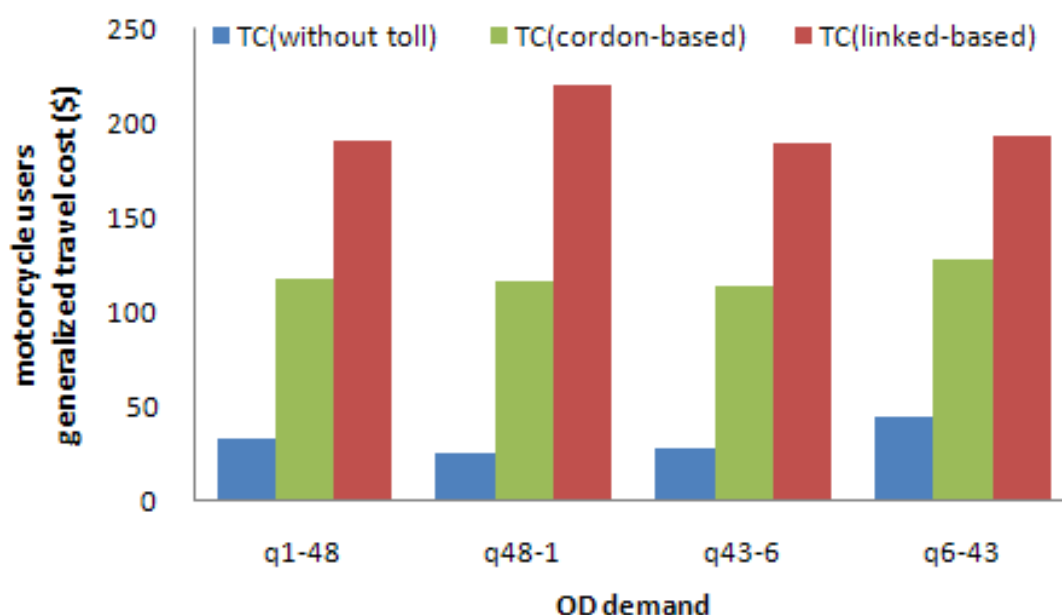


圖 6.12 機車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點的一般化旅行成本

表 6.24 機車使用者於不同收費方案下各 OD 起訖點的一般化旅行成本

OD-pairs	travel cost (without toll)	travel cost (cordon-based)	travel cost (link-based)
q1-48	33.77	117.32	191.47
q48-1	25.43	115.98	221.06
q43-6	28.33	113.97	189.81
q6-43	44.56	127.97	193.13

從圖 6.11、表 6.23 與圖 6.12、表 6.24 可發現，Link-based 的方案平均旅行成本較高，由於在每條線段都進行不同的收費，故收費的旅行成本可根據擁塞程度從 0-100 元進行調整，每個旅次皆會經過 12 條路段，故可收取的擁塞費用從 0-1200 元。而 Cordon-based 的方案平均只會通過 1 次收費周界，可收取的擁塞費用從 0-100 元，故 Cordon-based 的平均旅行成本較 Link-based 低，採用一般化旅行成本(Generalized travel cost)來表示平均旅行成本。對汽車使用者來說，大約為 105 元，如圖 6.11 所示；對機車使用者，大約為 117 元，如圖 6.12 所示。其旅行時間如圖 6.10 所示，當收取約 100 元的費用，可使旅行時間從 30 分鐘降至 15 分鐘；而 Link-based 的平均旅行成本，對汽車使用者來說大約為 185 元，如圖 6.11 所示，對機車使用者來說大約為 200 元，如圖 6.12 所示，當收取約 180 元的費用，可使旅行時間從 30 分鐘降至約 10 分鐘。

Link-based 在每條路段都能進行不同的收費費率，故可根據擁塞的程度做調整，當擁塞程度較高，路段的收費費率也可設定較高，來控制旅次的需求量，故相對來說可以更有效的降低每一組起迄點的旅行時間，故從圖 6.10 中可發現，旅行時間皆可降低到差不多的時間，在整個路網來說，每一組 OD pair 的旅行時間從 23 到 40 分鐘，降低到約十分鐘左右。相對來說，Cordon-based 的收費方案，決定周界的中心和半徑之後，只能決定相同的收費費率，故相對的來說，並無法根據每條路段的擁塞程度相對做收費費率的調整，故每一組 OD pair 的旅行成本皆提升相同的收費費率，故旅行時間會降低的幅度相同，所以改善後的旅行時間會根據原本的旅行時間，做相同幅度的降低，這是 Cordon-based 的收費方案的缺點，其旅行時間會從 23-40 分鐘，下降至 12-25 分鐘，無法完全將旅行時間降低至相同的值

故以周界為基礎的收費方案其旅行時間是根據尚未收費時的旅行時間做等幅度的下降，而以線段為基礎的收費方案會將旅行時間皆降低至最小的旅行時間。

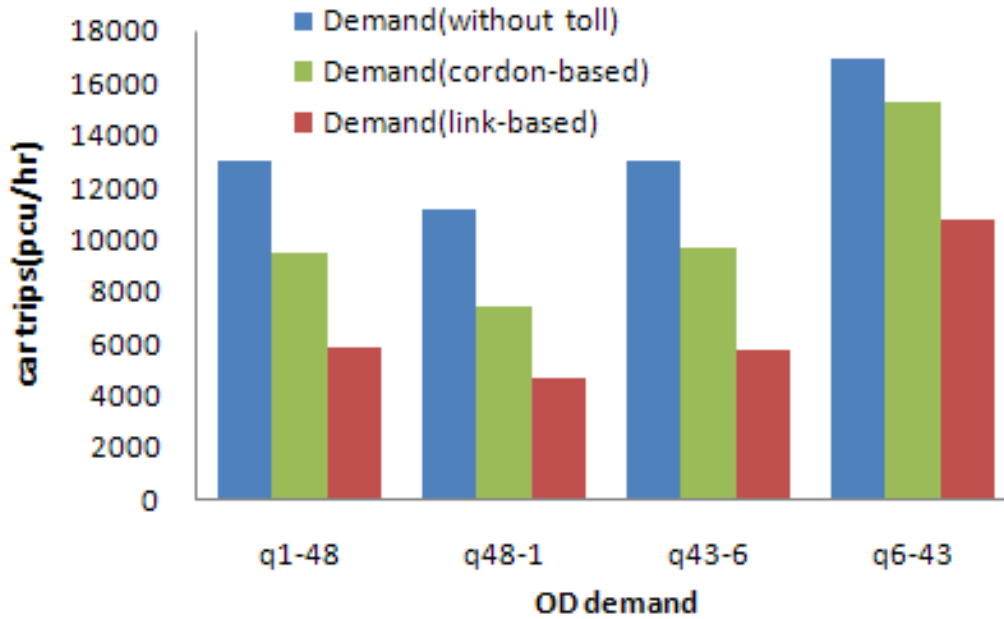


圖 6.13 汽車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量

表 6.25 汽車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量

OD-pairs	demand (without toll)	demand (cordon-based)	demand (link-based)
q1-48	13047	9506	5851
q48-1	11119	7439	4644
q43-6	13065	9687	5756
q6-43	16923	15265	10759

圖 6.13、表 6.25 可發現，汽車需求量會根據原本的需求做等幅度的下降，即使 Link-based 的旅行時間是下降至相同的值，而 Cordon-based 的旅行時間是下降等比率的值，但是運具選擇機率的變化沒有相差太多，故需求量還是根據原本的起始需求做等幅度的下降，可從圖中發現 Link-based 下降的幅度較大。



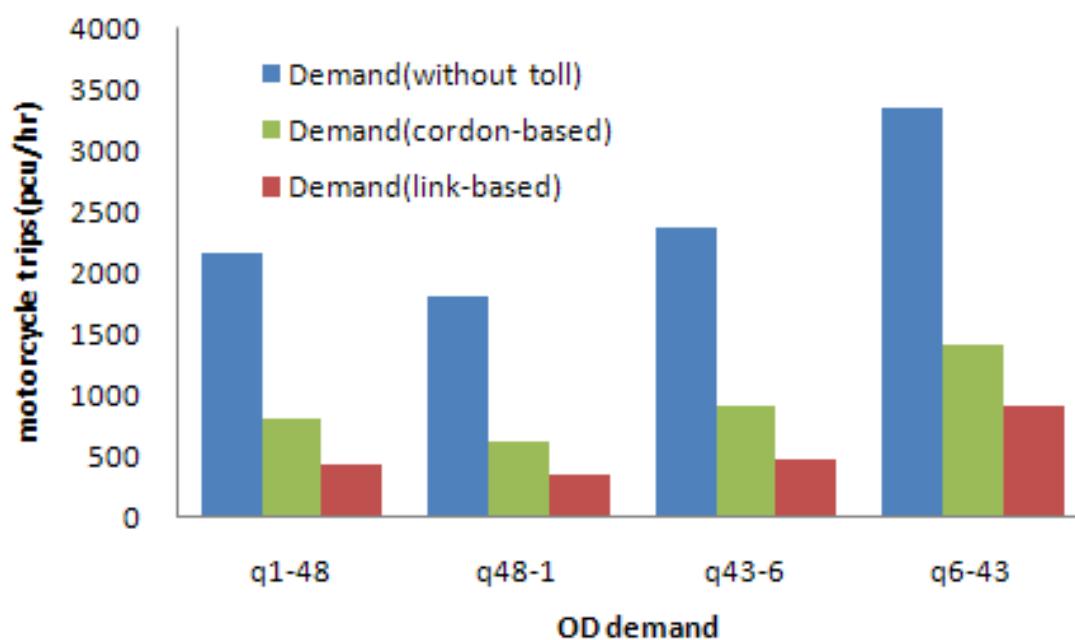


圖 6.14 機車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量

表 6.25 機車於不同收費方案下各 OD 起訖點的旅次需求量

OD-pairs	demand (without toll)	demand (cordon-based)	demand (link-based)
q1-48	2152	793	431
q48-1	1797	622	333
q43-6	2372	898	467
q6-43	3347	1409	906

圖 6.14 與圖 6.25 可發現，機車需求量也會根據原本的需求做等幅度的下降，可從圖中發現 Link-based 下降的幅度較大，又以機車旅次下降的幅度大於汽車旅次，由於機車對於價錢的敏感度較高。

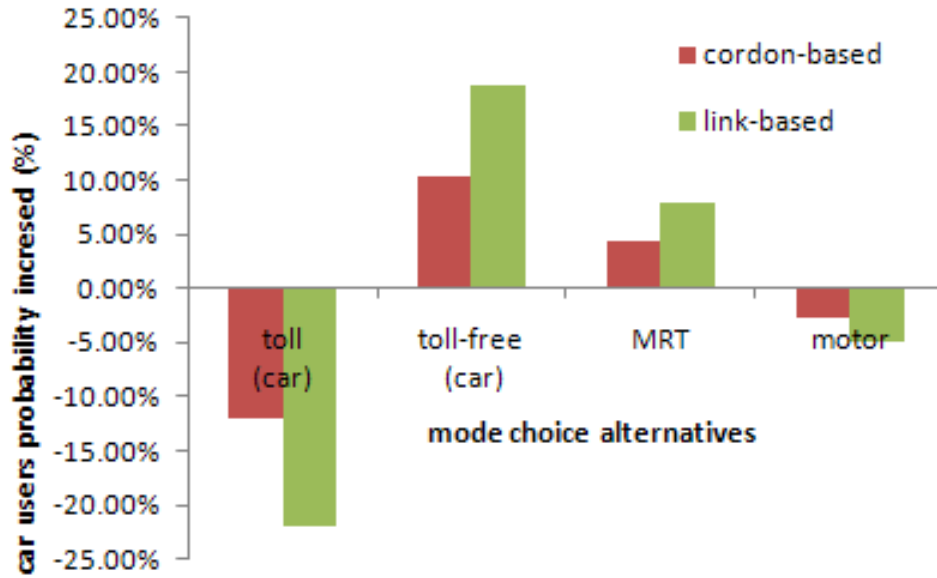


圖 6.15 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例

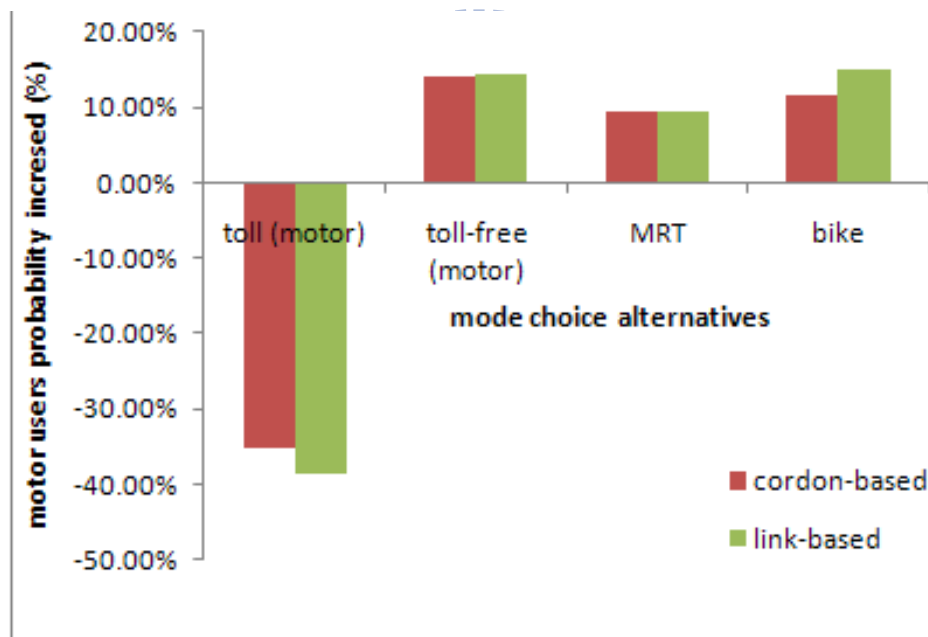


圖 6.16 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例

從圖 6.15 與圖 6.16 可發現，小汽車使用者偏好離鋒使用小汽車，而機車使用者對於其他替選方案的效用皆差不多，又以腳踏車於 Link-based 的方案時，改選的比率高於其他兩個方案，因為旅行時間的大幅度降低。

表 6.26 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例

mode choice alternatives (car users)	probability (link-based)	probability (cordon-based)
toll (car)	- 12.11%	- 21.94%
toll-free (car)	10.42%	18.82%
MRT	4.41%	7.95%
motor	- 2.72%	- 4.84%

表 6.27 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的機率變化比例

mode choice alternatives (motor users)	probability (link-based)	probability (cordon-based)
toll (motor)	-35.06%	-38.66%
toll-free(motor)	14.12%	14.24%
MRT	9.43%	9.51%
bike	11.51%	14.91%

表 6.26 與表 6.27 中，可看出當使用 Cordon-based 的收費方案，尖峰時間(Toll)的小汽車與機車的運具選擇比率會下降 12.11%與 35.06%，而運具選擇比率會移轉至離峰時間(Toll-free)10.42%與 14.12%，以及搭乘大眾運具(MRT)4.41%與 9.43%，而汽車使用者改騎乘機車(motor)的比率也會下降 2.72%，機車使用者改騎腳踏車的比率會上升 11.51%，這是因為機車需要繳費而腳踏車不用收取擁塞費用。可從此趨勢看出來，當實施 Cordon-based 的收費方案，每進入收費周界要付 100 元的擁塞費用，可將旅行時間從 23-40 分鐘降低至 12-25 分鐘，尖峰時間小汽車與機車的使用機率皆會下降，汽車使用者會下降 15%的比例於尖峰時間

使用小汽車與機車。小汽車使用者會把比率移轉至離鋒不用收費的時間或不進入收費周界，約 70.26%，而約 30%的小汽車使用者會搭乘大眾運具。機車使用者會下降約 35.06%於尖峰時間騎乘機車，移轉約 40.27%的比率改選離峰進城，26.89%的比率改搭乘大眾運具，而約 32.83%的比率改騎腳踏車。

故實施 Cordon-based 的收費方案後，小客車偏好改選擇離峰時間進城的比率為 70%，而機車偏好改選擇離鋒時間進城、改搭大眾運具以及騎乘腳踏車的比率相當，且機車移轉的比率又比小客車高約 3 倍。從此結論可發現，機車願意移轉尖峰時間進城改搭乘大眾運具的比率較汽車來得高，而機車使用者也願意改騎乘腳踏車進城來避免繳納擁塞收費。

若改實施 Link-based 的擁塞收費方案後，擁塞收費從 100 元增加至約 180 元，可使旅行時間從 23-40 分鐘下降至 10 分鐘。汽車尖峰時間進城的移轉比率從 12.11%增加至 21.94%，而機車使用者的移轉比率也從 35.06%增加至 38.66%，即使旅行時間下降不少，但由於擁塞費用的收取，汽車使用者會將運具選擇的比率移轉至離峰時間使用，改選擇離峰時間進城的比率從 10.42%增加至 18.82%，改搭大眾運具的比率從 4.41%增加至 7.95%，改選擇機車的機率也從 2.72%下降至 4.84%；相對地，機車使用者改選離峰時間進城以及改搭大眾運具維持差不多的比率，改騎乘腳踏車的比率會從 11.51%上升至 14.91%，為其他替選方案間最多使用者的選擇，這是由於騎乘腳踏車對騎乘機車的使用者來說，相對比搭乘大眾運具方便，又能降低旅行時間，卻又不需要進行付費，故當採用收費方案時，對於騎乘腳踏車的使用者來說，是最有利的，同時能增加旅行時間，又不用繳納擁塞費用。

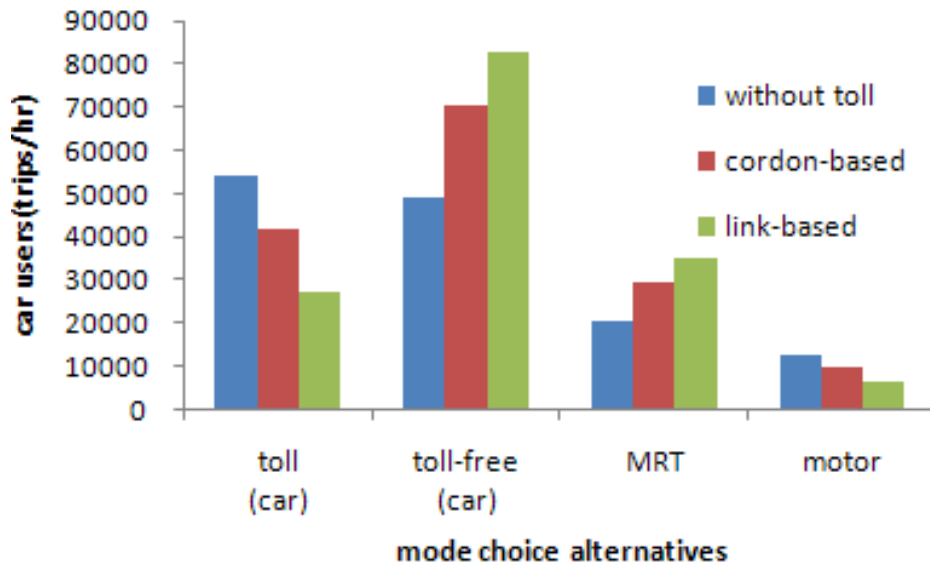


圖 6.17 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化

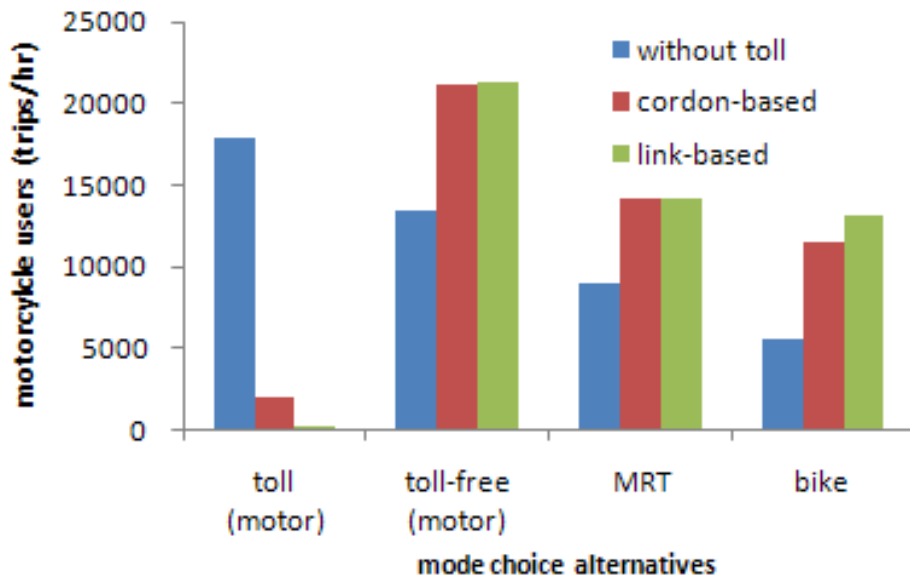


圖 6.18 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化

表 6.28 汽車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化

mode choice alternatives	trips (without toll)	trips (cordon-based)	trips (link-based)
toll (car)	54157	41900	27013
toll-free (car)	48929	70185	82910
MRT	20679	29668	35043
motor	12384	9660	6447

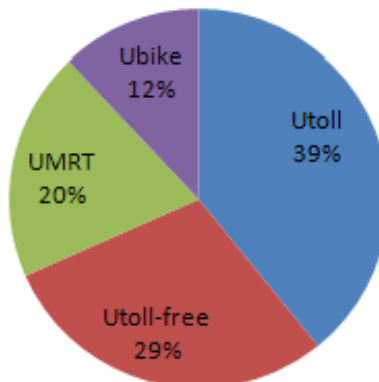
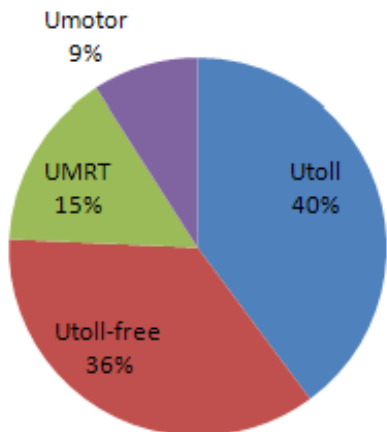
表 6.29 機車使用者於不同收費方案下對於運具選擇的需求量變化

mode choice alternatives	trips (without toll)	trips (cordon-based)	trips (link-based)
toll (motor)	17943	1983	226
toll-free (motor)	13428	21172	21228
MRT	8969	14142	14180
bike	5524	11490	13151

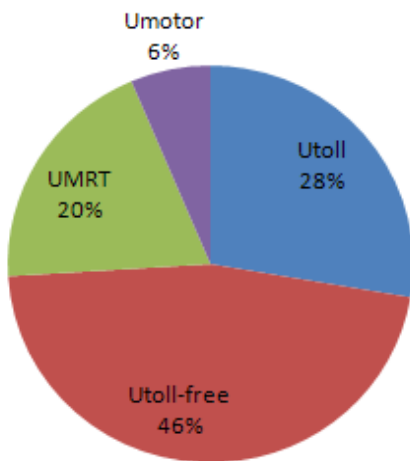
圖 6.17、表 6.28 與圖 6.18、表 6.29 可發現當使用 Link-based 的方案，尖峰使用機車的使用者的比率會從每小時 17943 的旅次，下降至每小時 226 的旅次，大約下降 100% 的比率，而其他替代方案的旅次以腳踏車上升的比率最高。而尖峰使用汽車的比率還是會維持原有旅次的一半，其改離峰時間進城的上升比率較其他替選方案來的高。

圖 6.19 中可發現，實施 Cordon-based 的方案時，尖峰時間使用路網的機率原有約 40% 只剩下汽車使用者 28% 與機車使用者 4%；而實施 Link-based 的方案時，尖峰時間使用路網的機率只剩下汽車使用者 18% 與機車使用者 0%；離峰時間的選擇比率以汽車為較高，而機車使用者三個方案的選擇比率大致相同，也以離峰時間的選擇比率較高。

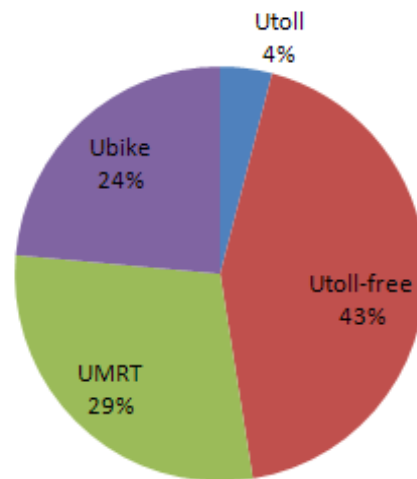
**car users mode choice probability (without toll)**      **motorcycle users mode choice probability (without toll)**



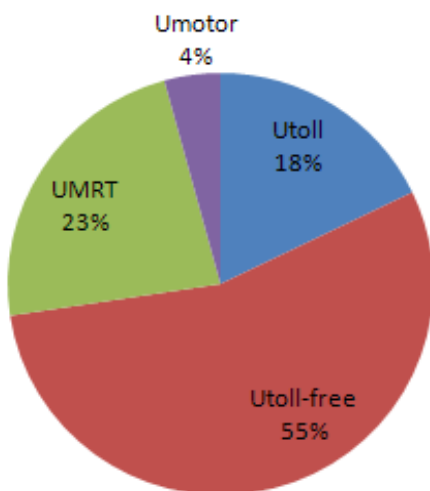
**car users mode choice probability (cordon-based)**



**motorcycle users mode choice probability (cordon-based)**



**car users mode choice probability (link-based)**



**motorcycle users mode choice probability (link-based)**

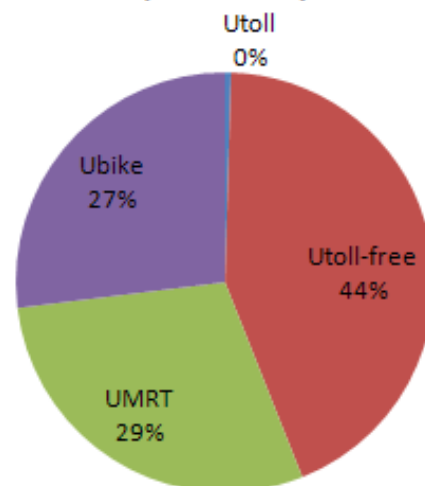


圖 6.19 不同收費方案下汽機車使用者運具選擇的比例

表 6.30 不同 OD 起訖點於不同收費方案下的雙層數學目標式

objective function (bi-level mathematical)	social welfare (total utility)	total Travel Time
link-based scheme	+268.34%	- 83.33%
cordon-based scheme	+234.33%	- 58.72%

表 6.31 不同收費方案下最佳化的決策變數值

decision variable (optimal)	toll cordon	toll level
link-based scheme	-	\$11-\$95
cordon-based scheme	4.5 km	\$100

表 6.30 與表 6.31 為最佳化擁塞收費方案的比較，包含以線段為基礎的方案與以周界為基礎的方案，可從表中發現，兩個方案的績效來做比較，以線段為基礎的方案目標值上升的較以周界為基礎的方案高，透過收取 11 到 95 元的擁塞收費於路段上，可增加 268.34% 的社會福利，也就是增加使用者的效用，下降 83.33% 的總旅行時間，而實施以周界為基礎的收費方案，可增加 234.33% 的社會福利，降低 58.72% 的總旅行時間，收費周界中心點接近南京建國路口，而收費周界的半徑為 4.5 公里，收費費率為於上午尖峰時間，進入收費周界，收取 100 元的擁塞收費。



## 第七章、結論與建議

本研究採用雙層數學規劃法來建構台北都會區擁塞收費費率與範圍的最佳化模式，蒐集台北都會區起迄旅次的需求以及主要幹道的路網資料後，透過台北都會區汽機車使用者選擇模式，來分析旅運者運具選擇以及路徑選擇行為的改變，並進行最佳化社會福利的擁塞收費周界與費率的分析。藉此模式模擬最佳化收費周界與費率下，其對於使用者的影響，包含社會福利的增加，以及各個替選運具的方案，市占率變化的情形，進而瞭解並探討若實施此管理策略後，運具選擇行為的變化情形，以供未來政府交通部門管理私人運具使用行為之參考。綜合前述各章節之分析與探討，將本研究之結果與建議分述如下。

### 7.1 結論

1. 擁擠定價目前在台灣為尚未實施之運輸管理策略，為了瞭解徵收擁塞費對於旅運行為的影響，本研究根據國內外研究擁塞收費之理論與架構以及各國實施現況，建構台北都會區擁塞收費費率與範圍的最佳模式，並透過文獻中已經建構的台北都會區汽機車使用者選擇模式，來瞭解台北都會區通勤者在上午尖峰時段的通勤特性，以及實施最佳化擁塞收費周界與費率後，其可能的運具與路徑的選擇行為。
2. 本研究以雙層數學規劃法進行模式的建構，上層決策者為政府，求解社會福利最大化，下層決策者為小客車與機車使用者，求解旅行成本最小化。蒐集台北都會區的交通旅次以及主要幹道的路網資料後，從台北都會區交通旅次資料中擷取出欲研究的旅次範圍與時間。本研究所分析的路網為台北都會區的主要幹道，共有 4 個交通分區，於上午尖峰時間(7:00-9:00)的平均旅次量，共有 63822(旅次/hr)。為瞭解政府實施徵收擁塞費後，對於汽機車使用者的行為影響，以及增加的社會福利，依據蒐集的相關資料，建構最佳化台北都會區擁塞收費與範圍模式。

3. 本研究模式所採用的決策變數為收費周界與收費費率，所採用的多項羅吉特模式的共生變數為擁塞費、總旅行成本、總旅行時間，係參考文獻所提供之總體資料，進行相關之假設，並根據最佳化擁塞周界與費率之結果進行分析。
4. 根據台北都會區最佳擁塞收費費率之結果顯示，以路段為基礎的收費方案，在上午尖峰時間於台北路網主要幹道各個路段，進行 11 至 95 元的擁塞收費後，可增加 268.34% 的社會福利，降低 83.33% 的總旅行時間，其收費費率大約為每條路段 15 元，其各個旅次起訖點之收費費率大約為 180 元。
5. 根據台北都會區最佳擁塞收費費率之結果顯示，以周界為基礎的收費方案，其收費費率為 100 元，收費周界中心點接近南京建國路口，收費周界半徑為 4.5km，可增加 234.33% 的社會福利，降低 58.72% 的總旅行成本，其各個旅次起訖點之收費費率大約為 100 元。
6. 最佳化收費費率模式中發現旅行時間越長，使用者的效用值會越低，選擇尖峰時間使用汽車或機車進城的機率就會越低。不同起訖點的旅行時間會有所不同，就本研究的汽、機車旅次需求量以此路網來探討，往西北方向的旅次數最少，往東北方向的旅次數最多。
7. 從本研究可發現，尚未收費前，台北都會區上午尖峰時間的擁塞程度相當嚴重。每條路段的流量與容量比(V/C)大約為 1.72，而旅行時間平均為離峰的旅行時間的 3.6 倍。
8. 尚未實施擁塞收費前，汽、機車使用者選擇尖峰進城的機率仍有 46%，離峰進城的機率為 35%，搭乘捷運的機率為 16%，而騎乘腳踏車的機率為 3%。實施以周界為基礎的收費方案後，汽、機車使用者選擇尖峰進城的機率只剩 27%，離峰進城的機率增加至 46%，搭乘捷運的機率也增加至 22%，而騎乘腳踏車的機率增加至 6%。實施以路段為基礎的收費方案後，汽、機車使用者選擇尖峰進城的機率只剩 17%，離峰進城的機率增加至 52%，

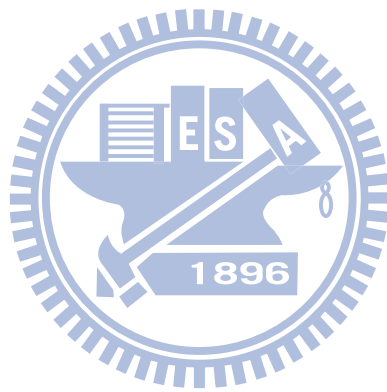
搭乘捷運的機率也增加至 25%，而騎乘腳踏車的機率增加至 7%。可從此發現，若實施 Cordon-based 的方案，可降低汽機車使用者 19% 於上午尖峰進城的機率，增加 6% 搭乘捷運的機率；若實施 Link-based 的方案，可降低汽機車使用者 29% 於上午尖峰進城的機率，增加 9% 搭乘捷運的機率。

9. 透過擁塞收費，不但可以增加社會福利，同時也降低總旅行時間。以收費方案來做比較，可發現 Link-based 的績效比 Cordon-based 好。Link-based 增加較小幅度的總旅行成本，卻能增加較大幅度的社會福利以及降低較大幅度的總旅行時間。
10. 若是未來針對道路收費系統有更進一步的開發，便可使用 Link-based 的收費方案。但考慮營運成本與民眾接受度，可先以較多國家目前實施擁塞收費所採納的方案 Cordon-based，進行擁塞收費。透過實施以周界為基礎的收費方案，於上午尖峰時間，進入收費周界即收取 100 元的擁塞收費，可降低 43% 的平均旅行時間。若是使用以路段為基礎的收費方案，收取每條路段約 15 元的擁塞收費，可降低 64% 的平均旅行時間。

## 7.2 建議

1. 建議未來之研究方向可考慮加入環境容量做為限制式。擁塞所造成社會成本增加，包含旅行時間以及空氣污染，故可加入環境容量的限制式，來探討如何有效的降低擁塞所造成的環境汙染。
2. 建議未來可將計程車招呼站與公車站等交織情況較為嚴重的路線，提出來做討論。由於計程車招呼站與公車站皆會產生非常嚴重的車流交織情形，往往會造成台北市主要幹道發生擁塞的情況，若是只考慮旅行時間與流量的 BPR 函數，則可能會少考慮到某些重要的擁塞路段。
3. 建議未來可將台北市高架道路與行經台北都會區的高速公路，加入路網進行探討，由於台北都會區的擁塞情況發生較為嚴重的地方不只平面道

路，還包含高架道路以及高速公路，故未來可將台北市高架道路與行經台北都會區的高速公路加入研究範圍進行研究。



## 參考文獻

1. 方舒賢(民96),「道路定價對私人運具通勤者旅運相關行為之影響-台灣與新加坡之比較」,國立暨南國際大學土木工程學系碩士論文。
2. 吳萍樺(民95),「私人運具通勤者於不同道路定價情境下之接受意向及旅運相關行為之研究」,國立暨南國際大學土木工程學系碩士論文。
3. 張凱羚(民96),「永續城際運輸之雙層規劃模式」,國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
4. 蔡政霖(民93)「高速公路實施擁擠定價對用路人旅運行為影響之研究」,國立逢甲大學交通工程與管理學系研究所碩士論文。
5. 陳佛鐘(民98)「徵收進城擁擠費對私人機動車輛使用行為之影響分析」,國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
6. 彭一民(民92),「運輸走廊瓶頸路段擁擠收費與捷運補貼之研究」,國立交通大學運輸科技與管理學系研究所碩士論文。
7. 吳健生(民93),「都市擁擠收費最式範圍與定價之研究」,國立台灣大學土木工程學系研究所碩士論文。
8. 吳倩嫻(民92),「公車專用道與長短程旅次之擁擠定價」,東吳大學經濟學系研究所碩士論文。
9. 葉豈陞(民89),「異質旅次之道路擁擠定價研究」,國立東華大學國際經濟研究所碩士論文。
10. Brownstone, D., Ghosh, A., Kazimi C., Golob T.F., and van Amelsfort D. (2003). "Drivers' willingness-to-pay to reduce travel time: evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project." *Transportation Research Part A* 37(4): 373-387.
11. Chu, C. and Tsai, J. (2008). "The optimal location and road pricing for an elevated road in a corridor." *Transportation Research Part A* 42(5): 842-856.
12. de Groot, J. and Steg, L. (2006). "The role of value orientations in evaluating quality of life consequences of a transport pricing policy." *Transportation Research Part D* 11(2): 160-165.
13. Larsen, O. (1995). "The toll cordons in Norway: an overview." *Journal of*

- transport geography 3(3): 187-197.
14. Lindsey, R. (2006). Do economic reach a conclusion? , Scholarly Comments on Academic Economics 3(2): 292-379.
  15. Maruyama, T. and Sumalee, A. (2007). "Efficiency and equity comparison of cordon-and area-based road pricing schemes using a trip-chain equilibrium model." Transportation Research Part A 41(7): 655-671.
  16. Small, K. and Gomez-Ibanez, J. (1997). Road pricing for congestion pricing for congestion management: the transition. , Transport economics: Selected readings: 373.
  17. Sumalee, A., May, T., Shephers, S. (2005). "Comparison of judgmental and optimal road pricing cordons." Transport Policy 12(5): 384-390.
  18. Yang, H. and Lam W. (1996). "Optimal road tolls under conditions of queueing and congestion." Transportation Research Part A 30(5): 319-332.
  19. Yang, H. (2005). Mathematical and economic theory of road pricing, Emerald Group Pub Ltd.
  20. Yang, H. and Bell, M. (1997). "Traffic restraint, road pricing and network equilibrium." Transportation Research Part B 31(4): 303-314.
  21. Yang, H. and Hai-Jun, H. (1997). "Analysis of the time-varying pricing of a bottleneck with elastic demand using optimal control theory." Transportation Research Part B 31(6): 425-440.
  22. Yang, H., Meng, Q., Lee, D. H. (2004). "Trial-and-error implementation of marginal-cost pricing on networks in the absence of demand functions." Transportation Research Part B 38(6): 477-493.
  23. Yang, H., Xu, W., He, B. S., Meng Q. (2009). "Road pricing for congestion control with unknown demand and cost functions." Transportation Research Part C.
  24. Yang, H., Zhang, X. Meng, Q. (2004). "Modeling private highways in networks with entry-exit based toll charges." Transportation Research Part B 38(3): 191-213.
  25. Yang, H. (1995). "Heuristic algorithms for the bilevel origin-destination matrix estimation problem." Transportation Research Part B 29(4): 231-242.

26. Yang, H. (1995). "Sensitivity analysis for queuing equilibrium network flow and its application to traffic control." *Mathematical and Computer modelling* 22(4-7): 247-258.
27. Yang, H. and Huang, H. (2004). "The multi-class, multi-criteria traffic network equilibrium and systems optimum problem." *Transportation Research Part B* 38(1): 1-15.
28. Yang, H. and Meng, Q. (1998). "Departure time, route choice and congestion toll in a queuing network with elastic demand." *Transportation Research Part B* 32(4): 247-260.
29. Yang, H. and Yagar, S. (1994). "Traffic assignment and traffic control in general freeway-arterial corridor systems." *Transportation Research-Part B Methodological* 28(6): 463.
30. Zhang, X. and Yang, H. (2004). "The optimal cordon-based network congestion pricing problem." *Transportation Research Part B* 38(6): 517-537.

