

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：張勝雄 博士

需求反應運輸營運模式之模擬分析

A simulation analysis on operation model of
Demand Responsive Transport



研究生：康書嫚 撰

中華民國九十四年六月

論文名稱：需求反應運輸營運模式之模擬分析

頁數 95

校系(所)組別：私立淡江大學

運輸管理學系

運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：九十三學年度第二學期碩士學位論文提要

研究生：康 書 嫻

指導教授：張 勝 雄 博士

論文提要內容：

DRT(Demand Responsive Transport, DRT)在國內尚屬新興運輸方式，為提供有效能的DRT服務，必須先從DRT的需求面與供給面探討其實施可行性，配合國內DRT運輸需求特性，研擬適合之DRT營運型態。本研究係從供給面的可行性探討需求反應運輸之營運模式，根據DRT服務特性與一般公車運輸成本項目，構建DRT成本函數，調整其營運限制，以研擬適合之DRT營運方式，提供未來發展之參考依據。

本研究係以模擬分析為基礎，撰寫程式模擬需求反應運輸之不同營運型態，包含營運範圍設定、路線設計、設站密度、系統服務水準、車輛型式、公車行駛速度、車輛停靠站時間，並以彎繞度及車容量為限制，分析不同營運範圍與需求密度下需求反應運輸系統之使用者成本與營運者成本，藉此評估不同營運型態之優劣。

模擬情境眾多變數中，彎繞度與站間密度為影響整體營運之重要關鍵，站間密度越高，車輛行駛距離增加，業者成本與乘客車上時間成本增加，而步行成本下降，因此總成本仍是增加；彎繞度限制越嚴謹，則系統服務水準越高，乘客成本越低，但派車次數越多，使得業者成本越高。其次若服務區域越廣，需求密度越高，使用車容量較高之車型，總成本較低，但彎繞度影響總成本越大，乘客成本佔總成本比例超越業者成本；而當服務區域範圍為9平方公里，無論需求密度高低，車容量以9~15人座為主，總成本較低，彎繞度影響總成本較小，但在此業者成本佔總成本比例則比乘客成本還高。

關鍵詞：需求反應運輸、彈性路線、彎繞度

Abstract

Because recently there are no complete projects toward DRT in Taiwan, so it is a new service. It is provided the research think that it must discuss starting from demand, and match the characteristics of demand, and propose the proper method for domestic DRT. According to the DRT service characteristics and annual bus operation cost, constructing DRT cost function, and adjust limit functions in order to provide the development of reference in future.

The research is on the basis of simulation analysis, being designed by VB programs, being limiting by vehicle capacity and circuitry. It focuses on operation cost analysis construct operation cost function. In order to increase the standard of services, and attend to stabilize mass transportation market, and reduce the destination of private means of transportation.

In the simulation situation multitudinous variables, circuitry and the number of zones in an area for the influence transport business the important key. If the circuitry limits rigorously, then system service level will be higher and the total cost will be lower. The causing industry cost is higher. Otherwise if the service area is broader, the demand densely goes high. The passengers cost accounts for the total cost proportion surmounting industry cost. When the area in the service district is 9 square kilometers, no matter what the need density is, the car capacity regards 9~15. The total cost will be lower, but the operator's cost will be higher than passenger's cost.

Keyword: Demand Responsive Transport, flexible route, circuitry, simulation

致 謝

寫到這篇文章，就是在淡江最後的日子即將要結束了，本論文之得以付梓，最感謝的人為指導教授小張老師了！從研究方向之引導、研究架構的確立，乃至於論文內容的匡正，架構及理論上之指導，澄清我許多觀念上之疑點，並不時給予督導與鼓勵，老師給予學生最大的自由學習與獨立思考的空間，對於學生的督導與鼓勵，幫助學生人格與學習上的成長幫助良多，在此特別感謝老師給予充份的學習機會及照顧。

特別感謝論文口試期間，感謝交通大學 藍武王教授與中華大學 林祥生教授撥冗細審，並惠予寶貴意見與殷切指正，使本文謬誤與疏漏得以斧正；在論文研討期間，系上各位老師的指正與關照，讓學生對於論文撰寫受惠良多，謹此再申謝忱。

論文撰寫期間，特別感謝聖偉以及源舜學長的鼎力相助，還有同窗好友瑋琦、孟甫、庭順、宏銘、禹辰、漢瑄、士傑、正宏、啟涵與鈺雯於平時課業上的鼓勵支持與生活上的解悶。也謝謝筱雯在平常生活上，時時鼓勵與支持我，並且給我在人生觀上許多的啟迪，讓我在這段求學期間心靈上更有收穫。

這些年以來，感謝父母親與弟弟的關心與支持，讓我在面對困難時，也能咬牙撐過，在經濟上父母親辛勤工作，使我無後顧之憂得以全心專注於課業，令我倍加感激！

這段路程雖然走的有點辛苦，但畢竟是到達終點了，再次謝謝我親愛的家人以及各位關愛我的人，在此僅將這份成果與你們分享，感謝大家！

康 書 嫻 謹致

民國九十四年六月 於淡江商館

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII

第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究內容與方法.....	4
1.5 研究流程.....	6
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 DRT 發展背景與定義.....	7
2.2 DRT 營運型態.....	9
2.3 DRT 系統架構.....	11
2.4 DRT 營運類型.....	14
2.5 DRT 國內外應用案例.....	18
2.6 國內彈性路線營運與中小型公車服務相關研究.....	25
2.7 DRT 服務型態綜合分析.....	27

第三章 DRT 營運模擬條件設定.....	33
3.1DRT 營運環境設定	33
3.2DRT 營運供給面	34
第四章 DRT 營運成本.....	42
4.1 各項成本分析	42
4.2 成本函數構建	52
第五章需求反應運輸系統模擬模式之建立.....	53
5.1 模擬模式構建	53
5.1.1 模擬情境設定	53
5.1.2 模擬流程	54
5.2 模擬結果分析	63
5.2.1 乘客成本分析	65
5.2.2 業者成本分析	72
5.2.3 總成本分析	76
5.3 敏感度分析	82
5.4 各情境營運操作型態	84
5.5 小結	88
第六章 結論與建議.....	90
6.1 結論	90
6.2 建議	91
參考文獻	93
附錄一(請參閱附錄一)	

圖目錄

圖 1.1	研究範圍圖.....	3
圖 1.2	研究流程圖.....	6
圖 2.1	DRT 之服務路線型態.....	11
圖 2.2	DRT 定位示意圖.....	12
圖 2.3	某些特殊需求者可提供低底盤或座位可彈性調整之車輛型態.....	13
圖 2.4	接駁式 DRT.....	15
圖 2.5	網路式 DRT.....	16
圖 2.6	特定目的地 DRT.....	17
圖 2.7	替代式 DRT.....	17
圖 2.8	PERSONALBUS 的基本架構.....	21
圖 2.9	固定班表與路線.....	29
圖 2.10	半固定路線.....	30
圖 2.11	固定路線隨招隨停.....	30
圖 2.12	沿線彎繞.....	31
圖 2.13	定點彎繞.....	31
圖 2.14	完全彎繞.....	32
圖 3.1	DRT 路網圖.....	35
圖 4.1	業者成本之組成要素關係圖.....	47
圖 4.2	乘客步行距離示意圖.....	49
圖 4.3	乘客成本之組成要素關係圖.....	51
圖 5.1	需求停靠站位置圖.....	55
圖 5.2	開始接送第一點.....	57
圖 5.3	接送第二點.....	58

圖 5.4	接送第三點.....	59
圖 5.5	停止接送.....	60
圖 5.6	所有需求點皆已滿足，情境結束.....	61
圖 5.7	模擬流程圖.....	62
圖 5.8	各模擬變數與成本之間關係圖.....	64
圖 5.9	區域邊長與乘客成本與彎繞度、分區數的關係圖.....	65
圖 5.10	乘客成本與彎繞度、需求密度關係圖.....	66
圖 5.11	各分區數需求密度與車上成本、步行成本以及總成本關係圖.....	68
圖 5.12	各區域服務範圍下，分區數與步行成本、懲罰成本以及車上成本關係圖.....	70
圖 5.13	各分區數需求密度之乘客成本與業者成本關係圖.....	71
圖 5.14	各區域服務範圍下，業者成本與彎繞度、分區數關係圖.....	73
圖 5.15	業者成本於不同區域邊長，車容量與需求密度關係圖.....	74
圖 5.16	乘載率與彎繞度、車容量關係圖〈左圖〉乘載率與分區數、車容量關係圖〈右圖〉.....	75
圖 5.17	各區域邊長度不同需求密度，與車容量總成本之關係.....	76
圖 5.18	總成本與分區數、需求密度關係圖.....	77
圖 5.19	各服務範圍總成本與分區數與彎繞度關係.....	78
圖 5.20	需求率、車容量與車次關係圖.....	79
圖 5.21	各區域邊長之總成本與分區數、車容量關係圖.....	80
圖 5.22	各區域邊長之平均每人總成本與分區數、需求密度關係圖.....	81
圖 5.23	懲罰值與總成本關係圖.....	83
圖 5.24	懲罰值與總成本關係圖.....	83
圖 5.25	站間距密度大小影響車輛行駛距離示意圖.....	89

表目錄

表 2.1	DRT 與一般公車、計程車之相同與相異表.....	8
表 2.2	復康巴士與公車、計程車之服務特性比較.....	24
表 2.3	DRT 營運方式彙總表.....	28
表 2.4	DRT 各種營運型態特性.....	32
表 3.1	各分區數與區域長之步行距離.....	36
表 3.2	服務水準與系統回覆時間分析表.....	38
表 3.3	台北市公車路線平均彎繞度統計表.....	39
表 3.4	台中市區公車路線彎繞度統計表.....	40
表 4.1	營運成本分類表.....	45
表 4.2	各種車容量成本推估.....	46
表 5.1	模擬設定值對於各成本之影響.....	63
表 5.2	使用者成本最小之 DRT 營運型態.....	85
表 5.3	業者成本最小之 DRT 營運型態.....	86
表 5.4	總成本最低之 DRT 營運型態.....	87

第一章緒論

1.1 研究背景與動機

需求反應運輸 (Demand Responsive Transport, DRT) 服務 (以下亦簡稱 DRT)，國外最早於 1970 年開始利用大型電腦平台支援系統使用，目標希望能讓 DRT 利用廣泛自動化技術提升營運效率與服務品質，只是在當時由於電腦相關技術尚未純熟且機器費用高昂，因此有許多開始執行 DRT 的城市地區被迫中止提供 DRT 運輸服務。經過三十多年，無論是電腦科技方面技術已日益精進，軟硬體發展相對於之前應用範圍與功能提升許多，因此需求反應運輸服務可整合地理資訊系統 GIS、全球定位系統 GPS 與無線電通訊系統 TELEMATICS 等三大科技，將系統服務技術全面提升，雖然目前相對技術提升，但國外仍有許多案例顯示 DRT 並非一定需要高科技為後盾，最重要為視當地運輸需求特性為主，規劃適合之營運模式較為完善。

舉凡許多運輸案例，DRT 大都扮演與傳統運輸工具互補角色，提供有特殊需求的族群如老年人或行動不便者，或於人口稀少需求分散之地區。台灣目前公車與捷運等大眾運輸工具，近年來在服務對象也逐漸趨於穩定，但仍有許多例外型態的運輸方式產生，如花季公車、年貨公車、醫療專車以及百貨專車等，這幾種運輸服務方式使用者都屬於有特殊目的，但是普遍而言運輸效率並不甚良好，尤其在使用者需求量少且分散的區域內，若使用一般公車固定路線與班次的運輸方式，不但無法滿足需求，更會造成業者以減少班次來反應需求量偏低的狀況，班次數愈低，服務水準相對愈差，使得使用者必須轉而使用私人運輸工具以滿足即時多樣的旅運需求，而旅客流失日多，乘載率降低、收入不足造成客運業嚴重虧損更無力提高服務水準，形成一個惡性循環。

以復康巴士為例，其所提供之特殊運輸服務是其他交通工具的無法取代，費用計算採取計程車費率的三分之一，以便使身心障礙者即可享受到安全便利的到府接送服務。但以台北市實際的供需現況來看，設籍台北市之身心障礙人士共計 103,135 人，其中重度以上迫切需要小復康巴士服務者依障別區分，視障者 4,891 人，肢障 35,572 人，多重障礙者 23,773 人，故共計有 64,236 人迫切需要無障礙交通服務。然而現有台北市小復康巴士的載運量，每月總服務運量約 2 萬趟次，每月僅可提供 10,650 人（每人乘坐兩趟，21,300 趟次）的需求，因此

約有 53,586 人尚無法得到所需之交通服務，由此可見小復康巴士的供需差異相當懸殊，造成真正有需要的肢障人士無法滿足運輸需求。因此為照顧這些有特殊需求或目的的使用者基本民行，交通主管機關與客運業多依據政策所制定的補貼機制維持最低限度的運輸服務，然政府補貼金額日愈縮減，服務能力也日漸困窘，因此如何使有限的資源發揮最大的效益亦是學界亟欲探討的課題。

由於目前台灣對於 DRT 尚屬新興運輸方式，故未有完整的規劃，因此為提供有效能的 DRT 運輸服務，本研究認為必須先從 DRT 的需求面與供給面探討其可行性，並且配合國內運輸需求特性，研擬適合國內 DRT 運輸方式，本研究即從供給面的可行性探討需求反應運輸營運模式，根據 DRT 服務特性與一般公車運輸成本項目，構建 DRT 成本函數，並調整其中限制列出計算，以模擬的方式求得適合 DRT 的營運模式。

1.2 研究目的

本研究主要探討以營運成本分析為主，根據現況運輸成本資料，建構營運成本函數，建立 DRT 營運模式，於每種不同模擬情境下找出合適的 DRT 服務方式，對運輸營運供給面，提供規劃 DRT 營運操作型式提高大眾運輸系統質量，增進運輸可行性，滿足大眾運輸需求，更為貼近地方運輸需求，增加人與人互動的機會，提升偏遠地區的生活品質，增進社會公平。

1.3 研究範圍

本研究範圍如圖 1.1 所示，從 DRT 服務可行性分析包含供給面與需求面，本研究探討供給面，供給面屬於營運者範圍，營運規劃重點有設站密度，站與站之間距離應為多少才適當，彎繞度則影響整體營運系統對於使用者所設定之服務水準，彎繞度越大代表使用者車輛單程行走距離越長，服務水準相對較低，但對於業者而言所需車輛數較少即可完成服務；相反彎繞度越小，以較短的距離為車輛行駛方式，使用者旅行時間較短，但相對業者所需之車輛數較多才可滿足需求，DRT 路線型態則分為許多種，多對多、一對多與多對一，本研究主要探討一對多半固定路線型態，即路線彈性行走但車輛停靠站固定，端視需求產生車輛才行經載客，車輛型式則以中小型為主，並推導業者成本與使用者成本，營運成

本之部份參數值設定，則經由需求模式所得之需求特性與時間價值。若根據 DRT 特性建構營運模式，可發現如要使用解析式解決 DRT 路線問題，將會使得需求與路線限制增加，較無法探討完整的 DRT 營運面，因此本篇以模擬分析 DRT 營運模式，且尚無探討即時動態車輛調派。

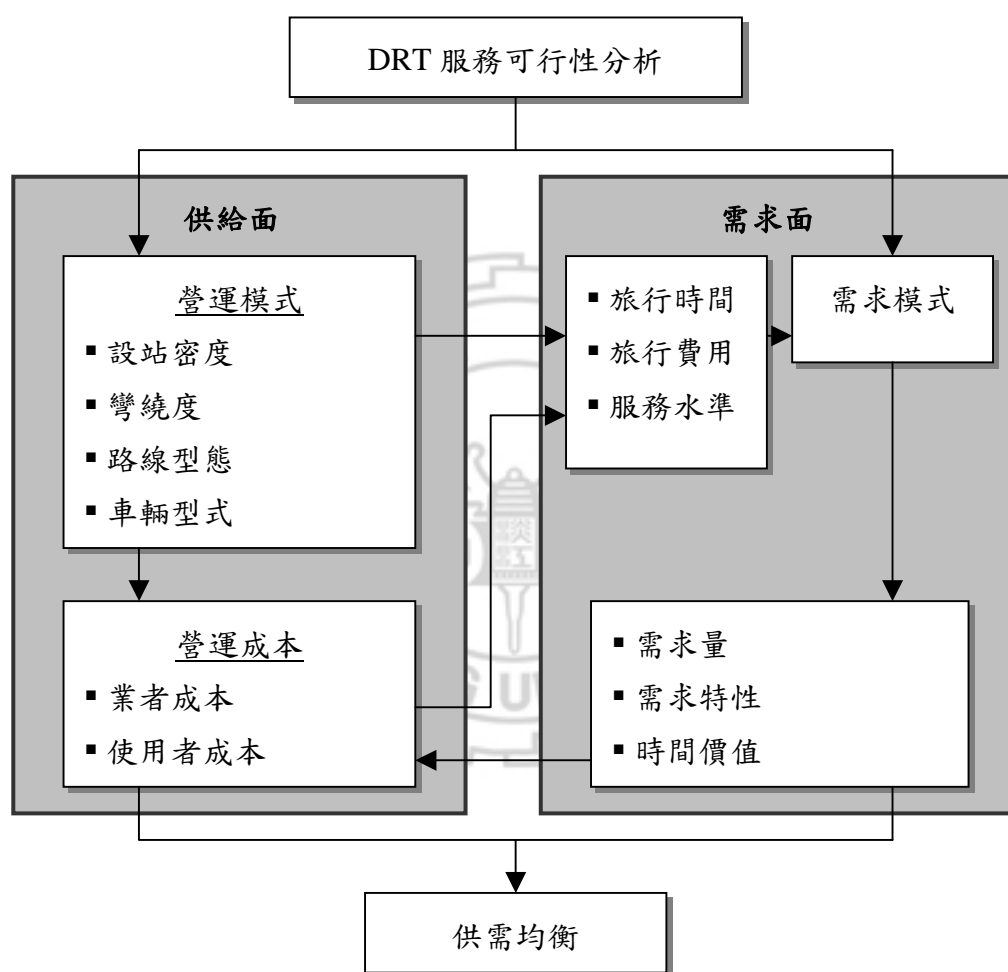


圖 1.1 研究範圍圖

1.4 研究內容與方法

研究內容分別說明如下：

1. 確立研究目的與範圍

確立本研究之研究問題及背景、研究目的、說明研究方法，並清楚界定研究範圍及限制。根據目前國內運輸需求現況就醫旅次運輸型態，確定研究方向，包括問題確認、擬定研究目的、研究範圍與研究方法等。

2. 文獻收集評析

透過文獻回顧做為本研究方法論整體基礎架構之參考，以下針對 DRT 相關營運課題，回顧以下文獻分述如后。

- (1).DRT 發展背景、國外基本定義、市場特性與限制與障礙；
- (2).DRT 操作與需求特性，與傳統公車之比較分析；
- (3).DRT 路線營運型式相關文獻；
- (4).國內外施行 DRT 相關或類似案例；

3. 構建 DRT 營運模式

說明 DRT 營運環境，服務區域劃分為數個分區，預先假設車輛可停靠站數即為 DRT 設站密度，以彎繞度與車容量限制尋找適合 DRT 路線。

4. 構建 DRT 營運成本

構建營運者成本與構建使用者成本，根據一般公車總成本與 DRT 服務特性，建立 DRT 成本函數。

5. 模擬分析

隨機產生需求目的地，使用彎繞度找尋 DRT 行走路線，模擬在不同需求密度與分區情境下，以總成本最小擬定適合之需求反應運輸服務型式，並找出各變數與總成本之間的關係。

6. 提出具體結論與建議

將模擬情境分析與敏感度分析結果整理並歸納，提出研究結論與建議。



1.5 研究流程

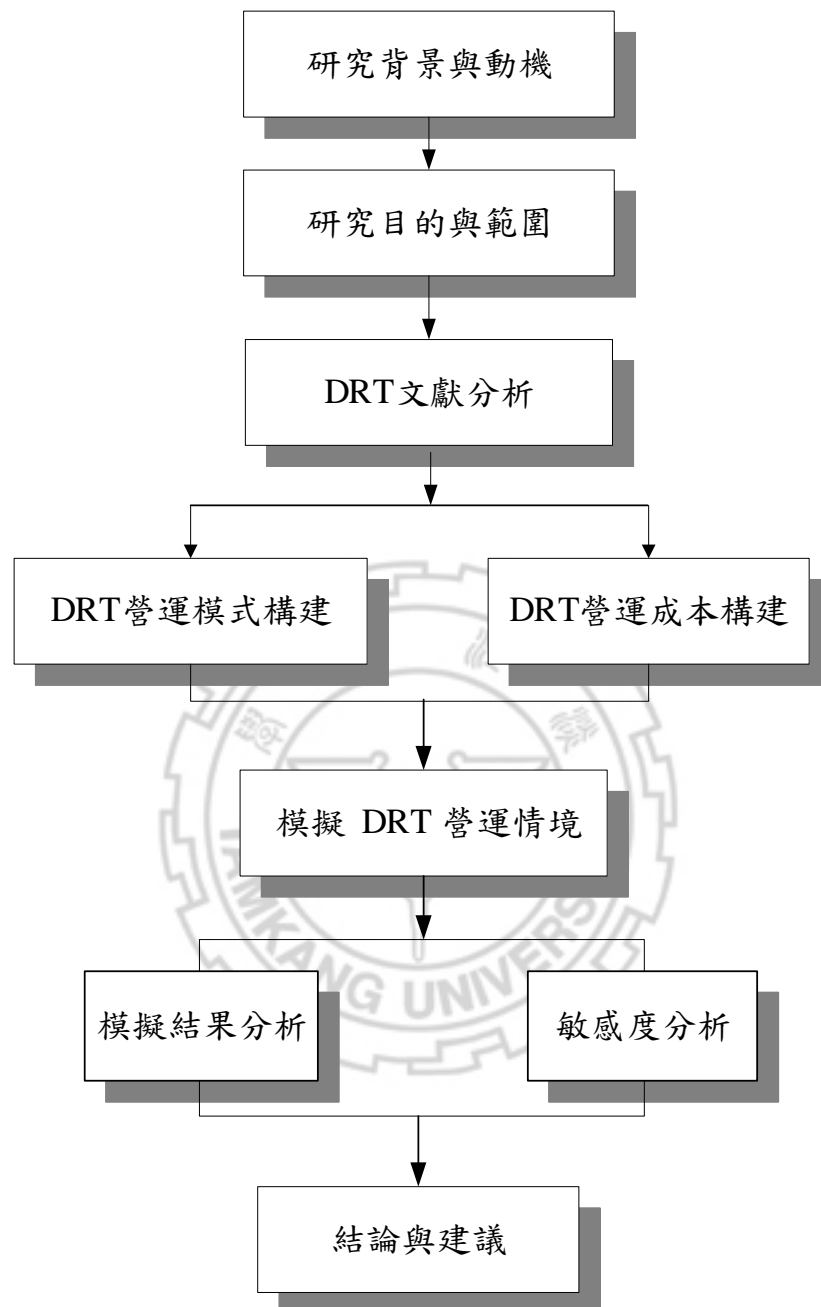


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 DRT 發展背景與定義

DRT 為一種以使用者需求為導向的運輸服務，可在低密度地區或低運輸需求的時段，提供符合個人化的彈性路線與時刻規劃，具有共享運具特性之高效率副大眾運輸系統，結合私人交通與公共交通特性，提供符合需求特性之多樣化運輸系統，彌補傳統大眾運輸不足之處。

DRT 若以大眾運輸使用型態或運量與特性分類，有部分大眾運輸特性，但由於運量小，因此無法構成都市大眾運輸的要件，因此將 DRT 歸類為副(準)大眾運輸 (Paratransit)。副(準)大眾運輸根據美國摩屈克(Vunchic, 1981)的定義為：副(準)大眾運輸通常指在都市內使用中小型車輛，行駛於公路或街道上，運輸旅客之服務方式；它是由私人或公眾經營者所提供，其使用者為特定的團體或一般大眾，同時使用者在某一程度範圍內，可依其意願決定路線及行駛時刻。撥召公車為 DRT 的一種運輸型式，由中小型公車以及一控制中心組成，通常在低密度地區營運，服務分為多點至多點 (Many-to-Many)，一點至多點 (One-to-Many)或多點至一點(Many-to-One)，因此此種運輸服務是介於一般公車與計程車之間。以近年發展而言，國外 DRT 應用部分相當廣泛，如偏遠郊區的交通運輸，以轉乘方式接駁至附近較大車站或捷運站等；特殊目的地之醫療運輸、學校專車、機場接駁與公務運輸，在歐洲交通部長會議(ECMT)在西元 2001 年 7 月對 DRT 的潛力加以背書並提倡，英國政府則在十年交通計畫允諾至少會將部份交通法規鬆弛，發展彈性路線公車服務，扮演提供市區與郊區聯絡服務的角色，並增進社會福利。

有關歐洲 DRT 的經驗大多來自 EU 的 Telematics 應用計畫—SAMPO、SAMPLUS，以及 SIPTS 的 TENTEcom 計畫，實施的國家包括比利時、芬蘭、義大利、德國、瑞典以及英國等，研究範圍則包含都市、郊區以及偏遠地區之一般大眾或特殊團體。其中最重要的 SAMPLUS 計畫是六個國家從 1998 年 3 月到 1999 年 11 月止，於偏遠地區發展 DRT 的詳細計畫，根據 SAMPLUS 所述，「需求反應運輸服務涵蓋廣泛的服務方式，小從非正式的社區巴士，大到結合複雜的高科技通訊技術組織完整的服務網路，提供接近即時實際運輸需求模式」，而未來願景則以「旅次可從任何地方到任何地方」的服務為依歸。

國內一般公車服務為固定路線與固定班次，依照排班行駛停靠於固定的站位，使用者必須去自行適應固定的班表與路線。但在地廣人稀的偏遠地區，或是有特殊需求目的，在必須提供基本民行的重要，因此規劃眾多路線於各個地區鄉鎮，或各鄉鎮中心間的聯絡，但因這些路線的需求量普遍偏低，導致營運班次頻率降低，服務水準低落，造成近年來客運載客人數日漸下滑，每車公里載客人數減少以致於營運嚴重虧損。若是在偏遠地區之尖峰運輸需求多為青壯年上班通勤，以私家運輸工具或大眾運輸為主，離峰期間則因需求量大減，公車運輸服務班次低，使用者等車時間不易掌握，亦降低使用大眾運輸服務的意願，該地區之交通服務通常不足以滿足當地居民的基本運輸需求。而以就醫旅次而言，目前提供的復康巴士，也無法滿足有需要的需求者。以下將 DRT 與一般公車與計程車營運操作特性做一分析比較，如下表 2.1 所示：

表 2.1 DRT 與一般公車、計程車之相同與相異表

運輸形式 項目	一般公車	DRT	計程車
相異點			
班次	固定	完全彈性	完全彈性
路線	固定	半彈性	完全彈性
可乘坐容量	大	中	小
車輛型式	大型車	中型公車~小型車	小型車
費用	低	中	高
需求特性	集中	分散	分散
乘車地點	固定	半彈性	完全彈性
費用計算方式	里程分段計費	里程計費	里程計費
營運時間	固定營運時間	固定/24 小時營運	24 小時營運
路權	A/B/C	B/C	C
大眾運輸類型	大眾運輸	副大眾運輸	副大眾運輸

本研究整理

2.2 DRT 營運型態

另外以下為 SAMPLUS 對 DRT 說明三種服務型態：

1. 及門服務(Door-to-door & Wholly flexible)：屬於完全彈性化服務，車輛接送使用者從起點到其目的地，路線完全以由需求決定。
2. 半彈性服務(Semi -flexible)：屬於半彈性的需求反應式服務，車輛可從使用者要求的起點運送到使用者選擇固定的目的地點下車。
3. 支線服務(Feeder service – semi flexible)：屬於半彈性需求反應式服務，使用者由固定起訖點接送至” feeder point” 或是接送至大眾運輸場站。

1. 路線彈性

DRT 之服務路線具有多樣的型態，包括半固定路線、彈性路線與虛擬路線等，如圖 2.1 所示，茲說明如下：

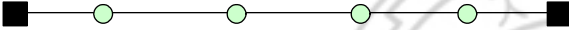
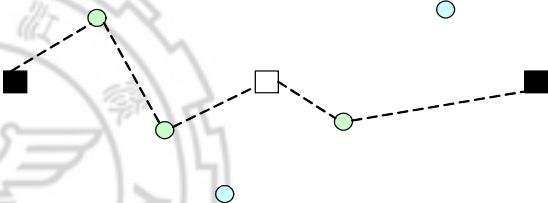
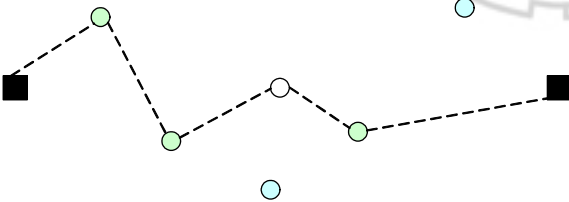
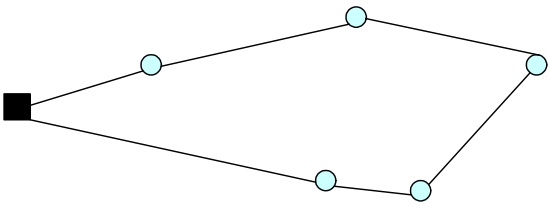
- (1) 半固定路線 (semi-fixed routes)：為 DRT 的服務特性，服務由規定的時間出發，車輛停靠於例行的中間固定點，並順向開往一些服務需求點。
- (2) 彈性路線 (flexible routes)：服務在規定的時間由端點出發，車輛只停靠在有需求服務的點。
- (3) 虛擬路線 (virtual routes)：沒有端點或固定中間點，類似計程車，任何停靠點沒有固定時間，車輛只前往有需求服務的停靠點。

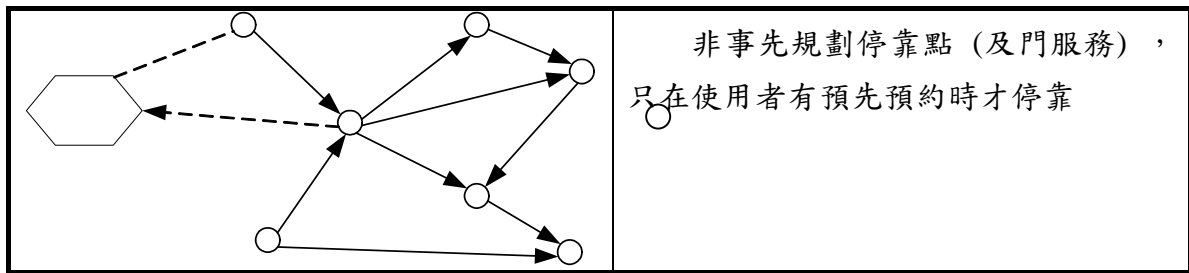
根據 SAMPLUS 對 DRT 停靠站與路線彈性可定義如下：

2. 停靠點 (Stopping points)

- (1) 端點停靠點 (End stop points)，為路徑的起點或終點。
- (2) 中間固定停靠點 (Fixed intermediate stop points)：如常見公車停靠站。

- (3) 已規劃停靠點 (Perdefined stop points)：為確認的約定地點，通常設有指示牌。
- (4) 未規劃停靠點 (Non-perdefined stop points)：為不固定的停靠點，通常為使用者的住家。
- (5) 如果需求事先預約，車輛就只停靠已規劃停靠點 (stop-to-stop) 或未規劃停靠點 (door-to-door)。

固定路線	半固定路線
<p>沒有彎繞，有起點與迄點，固定路線每停靠站都停，沒有固定中間停靠點</p> 	<p>路線有彎繞，起迄點各一，有固定中間停靠站</p> 
彈性路線	
<p>彎繞路線接送事先規劃與未事先規劃的停靠點，有起迄點，沒有固定中間停靠點</p> 	<p>路線彎繞停靠於未事先規劃的點(及門服務)，有一固定停靠點，沒有固定中間停靠點</p> 
完全彈性路線	項目說明
<p>停靠於完全非事先規劃之停靠點，沒有結束的端點，沒有固定中間停靠點</p>	<p>■ 迄點與迄點，車輛出發點</p> <p>□ 固定中間停靠點，車輛一定會停靠之點，大都為需求量較大的停靠站</p> <p>● 事先規劃之固定停靠點，只在有使用者預先預約時才停靠</p>



資料來源：Westerlund, Stahl, Nelson and Mageean(2000)

圖 2.1 DRT 之服務路線型態

2.3 DRT 系統架構

DRT 系統架構從早期單純以人工處理所有車輛派遣與連絡中心的系統運作，至今可使用電腦與先進科技結合自動化操作方式。整體而言，DRT 主要組成因素包括費用、車輛、車輛派遣與呼叫中心、車輛監測與系統評估等四項：

1. 費用

SAMPLUS 研究認為 DRT 的彈性與費用之定位應介於一般大眾運輸與計程車之間，如圖 2.2 所示。

- 主流大眾運輸：費用最小，但對使用者而言，彈性也最差。
- 計程車：費用最高，但對使用者而言，則具有最大彈性者。
- DRT 運輸服務：費用與彈性之間給予令人滿意的平衡。

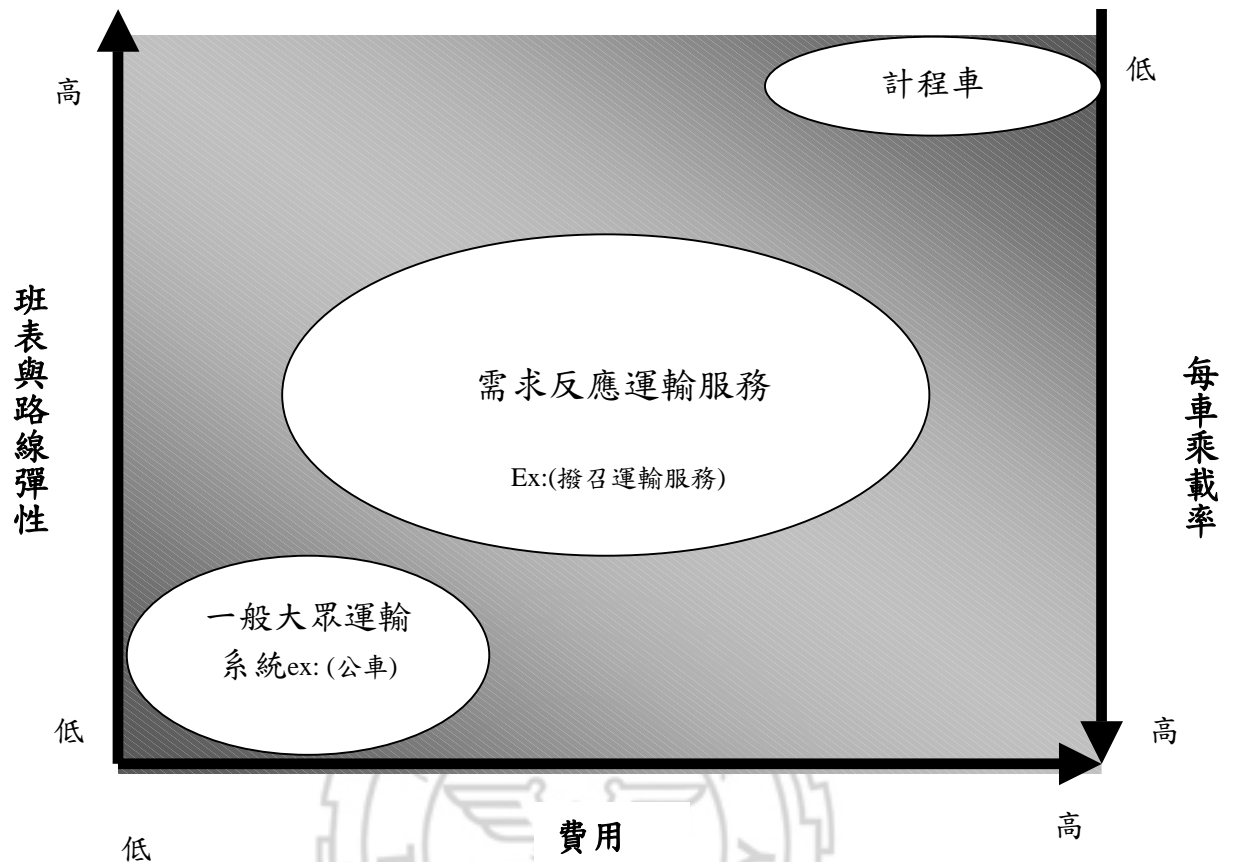


圖 2.2 DRT 定位示意圖

2. 車輛

DRT 服務可針對特殊需求，搭配低底盤的公車，從固定路線脫離載客，提供如同計程車共乘之戶到戶服務。甚至可以社區巴士、迷你公車以及複合式車輛等，根據不同的需求程度以不同類型車輛載客，如圖 2.3 所示。



Fully accessible from country lane



Flexi-space



圖 2.3 某些特殊需求者可提供低底盤或座位可彈性調整之車輛型態

3. 車輛派遣與呼叫中心

車輛派遣與呼叫中心為 DRT 提供服務的重要關鍵，影響服務品質的主要因素。使用者預約後，需求反應運輸系統必須即時回應需求，其中「預約方式」以及「車輛排班或調派」最具影響評估效率模式，為營運時測量運量以及監控服務效率，每一筆使用者預約或查詢後均需要紀錄以便日後分析，車輛派遣為呼叫中心的主要功能。使用者只須打專線或是以電腦網路連線進入呼叫中心預約，系統將會在固定回覆時間內與使用者確認搭車時間與地點。

整體系統規模大小視管理的車輛數而定，小規模從單人以紙張紀錄清單發車、管理車隊與控制系統運作，或大規模使用電腦軟體、車機、GIS 以及 GPS 等先進設備來操作與管理 DRT 之運作等，但無論是何種規模，DRT 均有共同的運作原理原則。

4. 監測與評估

從呼叫中心的統計資料紀錄可做成手寫的日誌並分析，或由系統自動紀錄與分析。並將有關費用方面的紀錄，了解費用的計算過程，並了解滿足使用者需求的服務水準。

2.4 DRT 營運類型

Hunsaker 與 Savelsbergh(2002)該研究以「最大等待時間限制」以及「最大旅行時間」限制情況下，如何快速地插入使用者於旅程中為思考邏輯進行相關模式構建。提出四個派遣限制條件包括車輛容量限制（在每一地點之車上使用者數不可大於車輛容量）、載送時間窗限制（每個載送情況不可超過該時窗限制）、等待時間限制（車輛欲離開該點之前，不可超過系統預定之相對等待時間）、旅行時間限制（從使用者上車至目的地其旅行時間不可大於系統預定之相對旅行時間），更進一步指出若在某點之前實際耗費之等待時間或旅行時間小於系統預估，則之後使用者之等待時間或旅行時間可利用之前所節省時間來彌補。

Fu(2002)建立交通資訊中心負責即時資料的取得並對時間加以掌控，若是即時資料取得不易便以歷史資料代替即時資料，並構建旅次、車輛以及派遣三個主要核心模式：旅次模式係模擬系統中將其區分為預約以及即時兩種不同的類型；車輛模式係根據車輛所處不同狀況下提供不一樣的模式，如在招呼站中等待派遣、接送使用者、等待往下一站出發、在路上往下一站前進中；派遣模式係在調度中分為人為調度以及電腦決策，電腦可做更精密的分析如不斷地排程與指派來確保每一個動態時間點上路線的完整性，並以動態分析來建立目標函數和限制式的建立，而人為調度所耗費之時間較長。

DRT 包含多樣化的旅次模式型態，營運系統接受及時或是預約性的叫車服務，隨著訂位要求變化運具營運路線以搭載訂位使用者。DRT 應用領域已包括接駁、網路、特定目的地、替代服務等，茲介紹如下：

一、接駁式 DRT (Interchange DRT Composite Case)

通常接駁式的 DRT 主要提供與主要大眾運輸之連接服務，接駁至火車站或主要公車路線，如英國 InterConnect, Lincolnshire 與美國加州舊金山的 Direct Access Response Transit (DART), Bay Area。通常接駁式 DRT 最為一般大眾所知且容易接受，在長程旅次中具成本效益，並可幫助公車路網更形完善。有足夠的需求需要在目前大眾運輸內額外提供接駁服務。固定式路線的接駁，則不適合在一般需求低且分散的地區。可靠度在這系統顯示出效率高低的重要關鍵，必須跟目前大眾運輸時刻密切配合，達到相輔相成的境界。但即使這些條件符合，仍需確認若需求是高集中度在一條主要道路上，或是集中在單一的目的地，或許使用固定路線接駁公車的服務方式比起 DRT 好，相反則 DRT 服務方式較適合，如圖 2.4。

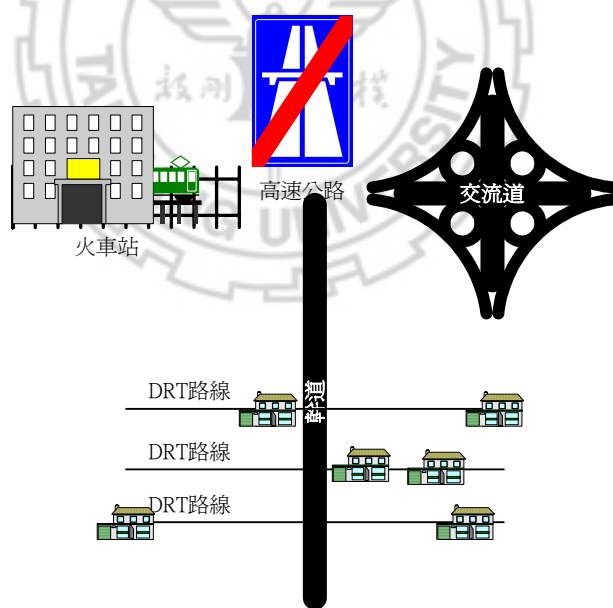


圖 2.4 接駁式 DRT

二、網路式 DRT (Network DRT Composite Case)

不同大眾運輸形態有其不同的優點與缺點，適合於不同的市場，網路 DRT 主要功能在一般大眾運輸工具不適合服務下提供運輸特別服務，將大眾運輸於特定地區或時間不經濟之服務路線更換為 DRT 服務型式，像是郊區運輸，在白天有輕軌以及多條公車服務路線，但在晚上或深夜則是運輸則以 DRT 服務方式為主。抑或是在市區交通離峰時候或是偏遠地區交通尖峰時候提供 DRT 服務，提高大眾運輸乘載率。如荷蘭 Regiotaxi KAN, Arnhem-Nijmegen、英國威爾特郡的 Wigglybus 與漢普郡的 Flexible Route Network，如圖 2.5。

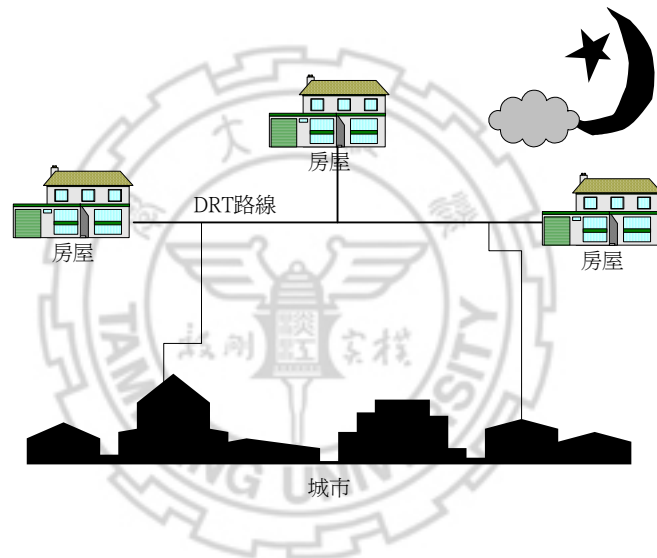


圖 2.5 網路式 DRT

三、特定目的地 DRT (Destination-specific DRT Composite Case)

此種 DRT 形式與網路 DRT 非常接近，針對特定目的地發展 DRT 運輸。若特定目的地，如機場、公司行號、醫院與學校等以一般大眾運輸提供服務屬於不經濟且無效率，則可以此方式提供服務，如英國南威爾斯的 Deeside Shuttle, Deeside Industrial Park, Flintshire 與牛津 Vodafone Commuter DRT, Banbury，法國巴黎的 Allobus Roissy, Charles de Gaulle Airport, Paris，如圖 2.6。

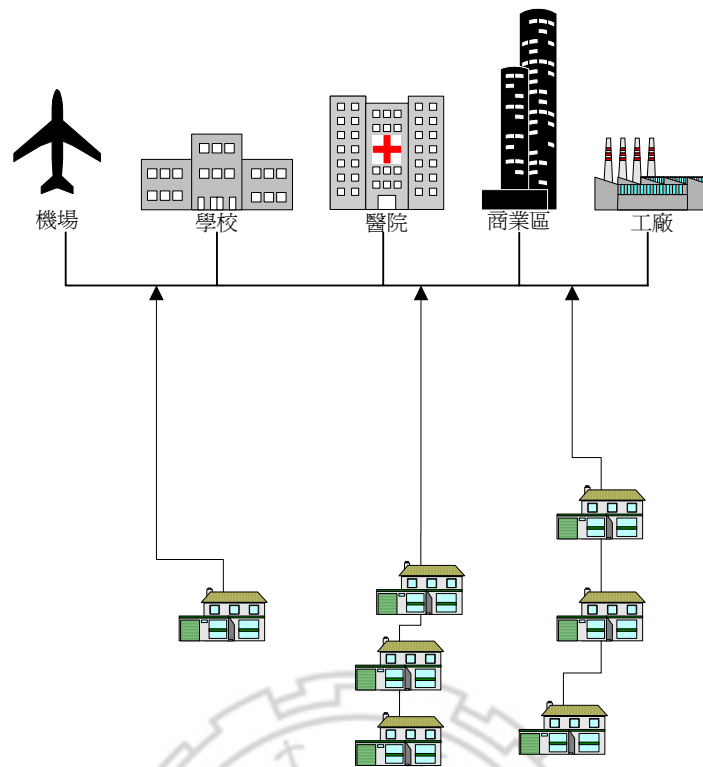


圖 2.6 特定目的地 DRT

四、替代式 DRT (Substitute DRT Composite Case)

完全以 DRT 服務型態取代原有的一般大眾運輸服務方式，大都以偏遠地區為主要服務區域，如英國赫里福郡 Hereford Night Hopper 與北愛爾蘭貝爾法斯特的 Black Taxibus (1969)，如圖 2.7。

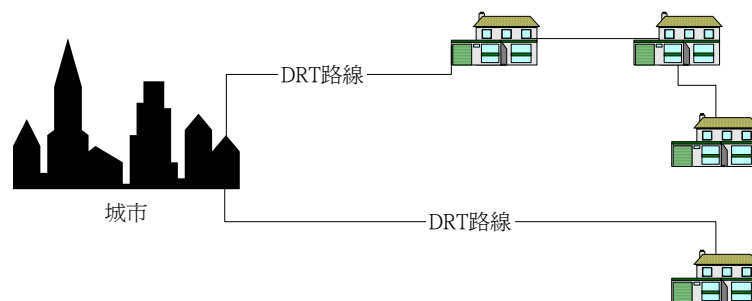


圖 2.7 替代式 DRT

2.5 DRT 國內外應用案例

一、國外應用案例

- 國外案例 1：奧地利 Dorfmobil 之 ALMA 示範計畫、瑞典 SAMKO 示範計畫 ARTS(2003)

總計於歐洲八國實行，其中四國是以彈性路線需求反應式運輸為主，奧地利案例為其中之一，以下則針對奧地利案例需求反應式偏遠運輸簡要說明。

運輸系統以 DRT 為主，由一群自願者組成公益無利潤的協會提出，主要目標讓居住在此地人民，可滿足基本需求以及抵達大眾運輸工具站區，當地地方政府也加入這管理者的行列。服務對象以當地居民為主，如老年人、婦女、小孩以及沒有汽車、不會或是不能開車居民等，甚至是從外地來的觀光客也可以搭乘。由於地處偏僻且多山，人口稀疏的地區，每平方公里約 11 人居住，當地居住的居民工作的待遇均不高，而主要的工作人口都是以通勤的方式往來於鄰近市鎮。除東邊的村落有條高速公路，僅有極少部分地區有公車經過，且若是沒有車子的居民也是無法到達大眾運輸站區。

主要預約方式為電話以及駕駛值班時間的手機，最晚在半小時前必須先打電話告知。若有幾個人預定同時間搭車，則是由駕駛聯繫取得所有共成者同意則可一起搭乘。車輛則是在 2002 年 10 月新購入一台箱型車，可以容納 6 個座位(包含司機)，司機的責任就是車輛保持以及維護，以及預定表和手機。工作時間為平日工作日(禮拜一至禮拜五)，從早上 6 點到晚上 7 點，每次搭乘都必須在前半小時預約，平均每趟約 10 分鐘，但是若在尖峰交通期間時則不會運作，以避開與大眾運輸的競爭，系統還有提供 door-to-door 及門服務。運輸服務於 2002 年開始成立，每位當地居民都被邀請成為成員，且每次定期開會，並要求司機加入討論，以便能清楚釐清與改善問題。而司機主要人選為當地居民(以退休者以及家庭主婦為主)，而且經營者將所有的保險全部承擔，包含司機以及使用者的意外險，因此較無財物風險問題。

SAMKO 計畫執行於瑞典靠東部海岸上的 Plustrafik，地形平坦，主要目標提供居住於主要城市之外地區的居民高品質的大眾運輸服務，為達成此項目標又不額外過度增加補助金，此計畫集中在整合現有已存的運輸，以需求反應式服務

年長者、行動不便者、青少年與在家工作者為主，提供彈性路線與時刻，在禮拜五有晚班車接送服務，營運日為 7 天 24 小時。由一委員會除統一管理經營監督以及經費預算等，還有訂定運輸章程與條例。

操作上是依據需求在主要路線增加支線，偏遠地區使用者搭乘大眾運輸到鄰近的城市滿足基本運輸需求(如：郵局、購物與醫療等)。需求反應式服務主要有六個固定的地區，主要運輸調派中心(TDC)位於其中一個，以電話在車輛出發前一天晚上 12 點前預約，若是所有車輛都已預約滿額，則不再提供載客。行走路線除有六個固定停靠點外，其餘路線皆當下需求發生地點之為主。TDC 與駕駛者則以泛歐數位式行動電話系統(GSM)聯繫。

除奧地利 ALMA 與瑞典 SAMKO 外尚有另外三個國家地區愛爾蘭 BEALACH、芬蘭 LEPPÄVIRTA 以及瑞典 SAMKOM 使用 DRT 服務偏遠地區，表 4.1 所示為各 DRT 服務系統之相關特性比較。這四個案例其中三個都有所謂運輸派遣中心(Travel Dispatch Center)控制，而在奧地利以及芬蘭則有相關限制，由於地區偏遠在預約部分則並非每天都會有需求產生，有些地區可以每天都有需求，有些地區則甚至要一到兩個禮拜才有預約需求，有效率的排班與車輛調度是主要計畫重點。

- 國外案例 2：義大利佛羅倫斯 - DRT 永續運輸服務 Valenti, G (1999)

義大利於佛羅倫薩偏遠地區示範計畫是 ATAF 組織所領導，提供相關 DRT 技術運用。主要範圍覆蓋這個整個城市和周遭的幾個小城鎮，ATAF 提供不同類型服務，從常規物質運送到個人運輸需求服務。經營理念是以 DRT 為主的運輸服務系統，藉以達到永續運輸的目的。系統強調主要使用技術關鍵在應用上以電腦為輔助系統，協助控制中心人員，儘管 DRT 強調潛在的社會以及個人利益，但由於服務方面的技術大多數操作費用相對高，因此應用不普遍。然而最近研究已證明先進科技的應用如 Telematics 的部署，可幫助減少操作費用以及服務管理，透過中央控制中心增進車隊的使用效率，將操作的勞動強度減到最少。ATAF 提供下面的系統：

1. Automatic Vehicle Location (AVL) & 大眾運輸使用者資訊系統，包括裝設 GPS 於車上電腦，動態車輛軌跡資料/私人聲音無線電網路。ATAF 的車隊管理是由 GPS 系統監控最大的歐洲大眾運輸車隊。
2. Integrated Payment System (IPS)，則以 SMART CARD 為基礎。卡片運用為所有公共汽車交通費的支付和應用的特別交通費範疇。將此系統與 AVL 系統結合，做為資料轉移的相同短範圍裝置。
3. Travel Dispatcher Center (TDC)，提供車輛調度與使用者諮詢預約的服務。

在 1997 年 6 月，歐洲聯盟 SAMPO 和 SAMPLUS 的計畫內，ATAF 引導 DRT 服務並稱其為 PERSONALBUS，應用於 Campi Bisenzio 具有約 36,000 個居民的鄉村城鎮，位於佛羅倫斯西北方郊區。下圖 2.8 為 PERSONALBUS 的基本架構，其主要功能包括：

1. 管理 DRT 服務的需求，支援管理整個蒐集與處理使者的需求過程。
2. 控制 DRT 運作，支援 DRT 控制與管理的運作，班表服務與車輛調派根據車輛溝通而定使用者資訊管理，提供使用者於預約、等待資訊系統的支援管理資訊。

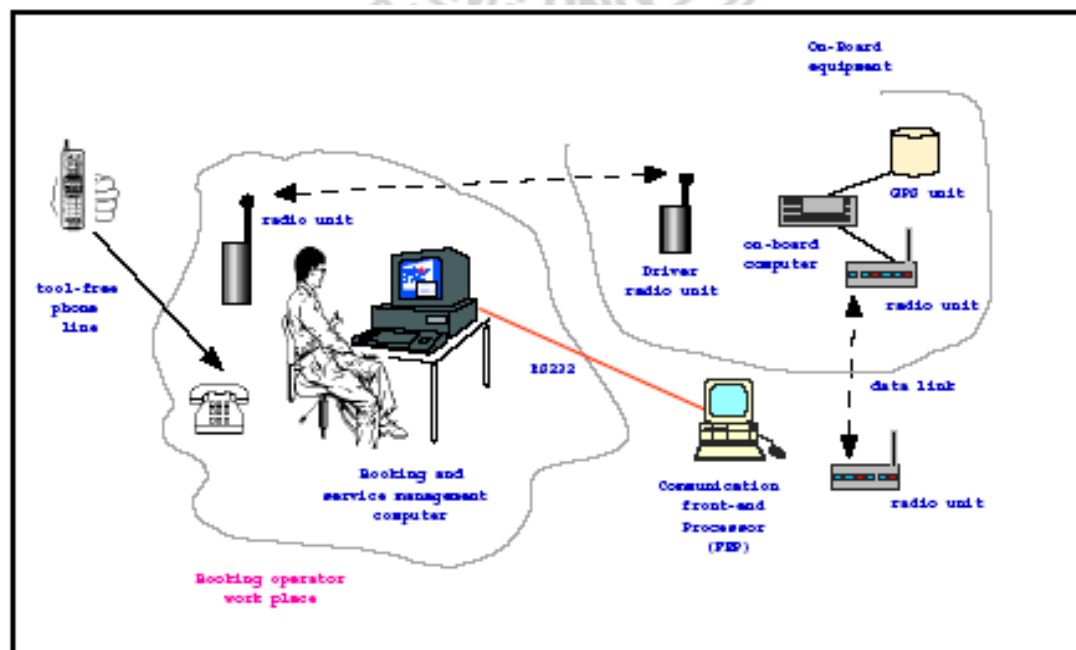


圖 2.8 PERSONALBUS 的基本架構

二、國內彈性運輸服務應用案例：

由於國內並無真正實行 DRT 偏遠運輸服務，故僅以營運型態近似之案例說明之。包括台南市計程車共乘營運方式，以行駛固定路線但在允許合法停車之路段讓共乘使用者上下車；另首都客運則是近年來第一位結合先進運輸科技於偏遠地區運輸的客運業者，對於提升服務品質大有幫助，茲分述如下：

- 國內案例 1—台南市共乘計程車

臺南市政府為因應市區公車（台南客運）停駛，提供偏遠地區市民基本的大眾運輸服務，以管理計程車共乘制度，維護使用者及計程車駕駛員之權益。該計畫之主辦機關為台南市政府，承辦單位為交通局與台南市計程車業者合辦，以無線電呼叫系統與車輛調派中心為系統主要架構，並在適當地點提供標示牌、時刻、路線以及車資資訊牌，搭乘有共乘燈箱的計程車使用者可於「指定路線」或「合法停車路段」上下車。

由取得經營權利之經營團體控管車輛之調派，交通局製發十五組「計程車共乘」之燈箱，依受核定經營團體之成員比例分送各經營團體供車輛標示於車頂，以供民眾辨別，交通局並於各路線兩端點設置標示牌，提供時刻、路線、車資等資訊及申訴專線。台南市政府隨時派員稽核計程車共乘制度執行情形。若經一定期間發現某計程車共乘路線之服務效果不佳，或由民眾申訴不依規定路線、票價、時刻進行營運者，且經查係屬實情者，則台南市政府得隨時取消原經營團體之該路線經營權利，改由其他業者服務。本案試行至九十二年底正式終止。

4. 試辦期間：92 年 9 月 10 日至 92 年 12 月 31 日

5. 服務時段：上午八時至晚上八時

6. 共乘費率：單程每人次 NT30 元整
7. 發車方式：滿四名使用者或約 30 分鐘發一班車
8. 停靠方式：於指定路線之合法停車路段上供使用者隨召隨停

在營運服務策略方面，以多對多的服務方式，考慮各路線平均距離、車輛營運速度、使用者可容忍候車時間、駕駛員適當的休息時間，及車輛機動調派等因素，每條路線維持約每 30 分鐘發一車次，且每滿座四名使用者隨即開車之服務，總計 2 條計程車共乘路線。

- 國內案例 2—復康巴士

復康巴士自民國八十四年起開始，陸續在台北縣市、高雄市、新竹市、台中縣市、嘉義市等地區試辦，主辦單位、收費標準與預約方式各地不盡相同，於台北縣內有固定醫院的接駁，平均必須要提前四至七天預約，費用最高者為新竹市必須比照計程車收費，限制最多者為台中市必須有十人以上搭乘才可申請，服務範圍最大的是台中縣，包含中部五縣市（台中縣、苗栗縣、台中市、彰化縣、南投縣），起訖點一端需於台中縣，首先以會員制的是嘉義縣，大部分提供就業、就學、休閒購物、就醫等公共運輸服務，不以營業為目的。在訪談的過程中發現，不論是何地的需求者關心的就是身心障礙者「行」的便利，如何獲得更優質的服務才是其所需要的。

其中，可以發現特定對象與一般對象對於運輸需求上有極度不同，最明顯的需求在於對停靠站的需求，以及和旅次目的有極大的關係，例如老人及肢體殘障的朋友，平時並不容易開車出門，但往往是最需要及戶服務的族群，計程車可能成為他們旅行成本高且幾乎是唯一選擇的代步工具，此外對於不同車體的需求比一般民眾高出甚多。如現有的升降式階梯、低底盤公車，會期望多座位多護欄設施。

以台北市復康而言，巴士數量不足，身心障礙者「叫不到車」狀況日日上演，北市交通局表示，鑑於立法院初審同意計程車比照大眾運輸業，將建請中央依法統一規範老人及身心障礙者搭乘計程車補助，增加身心障礙者外出交通工具選

擇，解決復康巴士不足困擾。根據市府規畫，未來 65 歲以上老人或身心障礙者搭乘計程車優惠，將配合可使用悠遊卡的計程車，讓這些持有悠遊卡敬老愛心卡的民眾，直接刷卡乘車享受車資減免。北市共有 92 輛復康巴士，車資僅需計程車 1/3，受到許多身心障礙者歡迎，但北市身心障礙人數達 11 萬人，儘管每天復康巴士運送 900 趟次，仍有許多身心障礙者無車可坐，且肢障者雖可比一般殘障民眾更早預約復康巴士，但臨時要看病或外出，仍會面臨無車可乘窘境，又因為市府限制復康巴士使用資格，避免讓顏面傷殘、瘡啞、洗腎病人等仍具行動能力的身心障礙者，佔了肢障者使用復康權益。現今國內外所提供之醫療運輸服務除傳統客運業提供之定時、定線班車服務外，尚有醫療院所提供之醫療專車，社會福利機構提供的復康巴士與配對共乘等三種型態，介紹如下。

1. 醫療專車

醫療專車係由大型醫院派遣專車於固定路線行駛固定班次，部分專車亦可隨招隨停。使用者包括到院就診之民眾、醫院職員以及探病者。在費用方面，醫院醫療專車大都由醫院免費提供，亦有少部份專車需負擔乘車費用。

醫療運輸服務在台灣地區通常以醫療專車形式呈現，主要係針對醫療資源不足的鄉村地區以及就醫不便的老人而設。其優點除便利服務路線上之就醫民眾外，使用者亦無額外交通費用支出。然因服務成本因素造成服務型式單純、路線固定，服務品質不一，而與一般客運業無異的專車設備，亦無法提供傷殘、行動不便之民眾舒適及安全之醫療運輸服務。

2. 復康巴士

復康巴士為特定機構派遣專車提供之及門服務，屬於需求反應的特殊運輸服務，具有服務時間、路線彈性之優點。國內外皆有此類運輸服務，主要對象多為行動不便之身心障礙者或年長者。台灣之復康巴士多由各縣市政府單位或公益團體承辦，僅限設籍當地領有身心障礙手冊之身心障礙者使用，依各地區不同，需於 1 至數日前以電話、網路或傳真預約，費用依地區及共乘人數多寡而有不同的計費方式，通常低於當地計程車的費率計價。服務提供使用者就醫、就學、工作、社交及休閒等方面之運輸服務。

香港之「易達巴士」採取會員制，只提供符合資格之會員運輸服務，並按程收取車費。接載行動不便之年長病友及其陪同照顧者往返公立醫院及診所醫療運輸服務，為行動不便的長者，提供便利、安全、舒適及易於上下車之交通服務；另外，亦可依其需求協助前往其他活動目的地。

台灣地區之復康巴士除了就醫旅次外亦提供其他旅次服務，並具有路線彈性、及門服務之優點，在乘車費用方面，以臺北縣市為例，由於福利機構補助部份營運經費，故乘車費用僅為計程車費用之 1/3 至 1/2。但服務對象僅限於領有殘障手冊之民眾，且預約時間較長，服務能量有限（服務車輛及少），使用上仍有諸多限制，表 2.2 所示為台北市復康巴士與公車、計程車之服務特性比較。

3. 醫療配對共乘

在歐洲國家中，另有實施車輛共乘，亦即在網路上設置配對平台，提供就學、工作、醫療等多種旅次目之使用者自行配對服務族群。在醫療方面，有少數幾家公司針對相同醫院旅次目的地的使用者，包括醫院職員、病人和探病者提供配對共乘服務。配對共乘大多採用會員制度，如英國國家衛生事業局底下相關醫院的醫療共乘服務，其車體設備為一般小汽車。

表 2.2 復康巴士與公車、計程車之服務特性比較

	復康巴士（小復康）	公共汽車	計程車
乘載人數	最多 2 位輪椅坐位、3 位普通位	約 50 位	最多 4 位
載客方式	及門運輸	定點搭乘	及門運輸
搭乘方式	電洽、傳真、上網	站牌候車	電洽或路邊攔車
預約時間	用車前 5 日至前 3 日止	無	無（隨時）
路線彈性	彈性	固定	彈性
共乘服務	可	可	可
起迄點限制	需有一端位於台北市內	固定	不固定
服務對象	身心障礙者	不限	不限
服務範圍	台北市聯營公車服務範圍	台北市聯營公車服務範圍	不限

搭乘趟次限制	每人每日來回 1 趟，共 乘可增加來回 1 趟	不限	不限
收費方式	計程車費率三分之一	固定費率、按段 計費	按里程計費

資料來源：黃書強等人（2004）

2.6 國內彈性路線營運與中小型公車服務相關研究

龍天立(1977)探討固定路線繞道是公車路線與班次安排，以數學規劃採用累積法處理需求導向運輸系統，發展出一套傳統固定路線與需求導向運輸系統均可應用的班次與路線安排方法。路線以矩陣法處理最短路徑的需求，並建立一模擬程式，針對不同需求組合，模擬求得固定路線繞道式系統諸變數關係。

藍武王(1980)以彎繞路最小為目標，設計公車路線改善道路系統，因此彎繞度為評估路網的重要項目。並訂定具敏感性、解釋性，且易衡量的有效評估路網之彎繞度指標，並提出路線因素、比較路線因素、路網因素、平均路網因素、邊際路網因素及迂迴因素之觀念。

張學孔(1991)應用數學模式分析探討「固定路線公車」與「彈性路線公車」兩種公車系統在最佳化設計下的營運特性，並以分析性模式的推導結果確認兩公車系統之車輛容量與系統相關參數的關係。分析結果顯示彈性公車趨向使用小型車輛提供及門服務。在系統最佳化設計下，兩種公車系統的社會平均成本相差不大，但彈性路線公車有較大的營運成本、較小的使用者成本；固定路線公車則是有較少的營運者成本、較大的使用者成本。

曾俊傑(1991)撥召公車路線設計問題的特性，須在同一路線中完成對顧客的搭載與送達服務，而且對於每位使用者都須滿足先搭載再送達的次序關係，這類問題在求解時較為複雜，多採用啟發式解法以求得一近似解。利用插入法來作為路線設計的方法，並考慮最小時間的增量、最小距離增量、最小成本增量等三種路線插入準則。而探討的撥召公車發車型態有三類：第一類：每隔一段時間發一班車。第二類：顧客累積達一定人類時發車。第三類：混合上述兩類發車型態，即每隔一段時間發一班車，或是累積顧客達一定人數時亦發車服務。

張有恆之定義(1994)一般 DRT 車型視需求特性而有多種不同車型選擇，大都以中小型公車為主，在市區中小型公車對於環境污染影響較一般公車小，可穿梭於巷道之中，提供更為方便的及門服務。在偏遠地區或山區，中小型公車可減少車輛成本，且行走於較陡之山地地形也較方便。車容量也與路線容量成正比，選擇車型必須配合需求特性，需求量越大則會越傾向使用一般公車。在此定義小型公車 (Minibus) 為「一般所稱之小型公車，最大承載使用者人數為 20~35 個乘客，最大的速度為每小時 40 公里至 70 公里。」小型公車容量較小，相對的提供班次數較標準公車多，就業者而言，可提高服務水準，適用於兩種不同之服務型態：一是用以服務低密度之都市郊區，二是作為市中心區或高密度地區的短程巡迴服務之交通工具。

朱家德(1997)探討中小型公車之操作特性、市場特性、服務形式、營運成本、以及政府管制與相關法規等。最後，研究成果確認運用中小型公車作為走廊運輸接駁工具之可行性，並提出彈性彎繞服務概念，期望提供更多元化之都會區大眾運輸服務。並針對中小型公車路線與服務策略規劃設計之研究，探討中小型公車於都會區大眾運輸系統之功能定位與可能的服務型式，並由國內外中小型公車實際營運經驗與相關研究，探討中小型公車之操作特性、市場特性、服務形式、政府管制與相關法規、與營運成本等，藉以明確指出其可行之營運策略與市場定位，作為規劃程序建立之基礎。研究中並以此一規劃程序結合地理資訊系統之資料庫管理、空間分析、成果展示等功能，提昇規劃作業效率與成果溝通品質。最後以台北捷運木柵線為實例應用分析之對象，實例分析結果除驗證規劃設計方法之實用性，並確認台北捷運木柵線運用 15 至 20 人座中小型公車擔任接駁運輸之發展空間。

撥召公車服務問題，游進俊(1992)探討撥召服務問題(DARP, Dial-A-Ride Problem)，由旅行推銷員問題(TSP, Traveling Salesman Problem)加上起迄點關係的限制條件而形成，基於求解其最佳解的困難及節線交換法在旅行推銷員問題上之良好績效，採用 Psaraftis 的兩階段解法架構：先產生起始路線、再以其設計之節線交換法加以改善。將各種解法以 C 語言撰寫程式，並隨機產生例題在 PC /80486 上進行測試演算。綜合兩階段的解法而言，以(最近鄰點法+橫向優先搜尋之節線交換)的組合求解效率為最佳，其求得之近似解平均誤差約為 6 %，而且此篇所測試的最大規模例題 (40 位使用者) 而言，平均僅需 3 分 21 秒即可求出其近似解。

有關撥召公車預約服務實作文獻，則是以向美田(1996)公車動態資訊與撥召系統之研究與建立以金門縣為例，國內有關公車預約服務系統之實作目前僅有金門縣無障礙運輸撥召服務系統一例，此系統整合運輸地理資訊系統、全球定位系統與無線電通訊系統三大科技運用於撥召系統上，並採用投影點演算法將由 GPS 接受器所得到的車輛位置抓回到道路上，以固定大小的方塊表示車輛位置。在資料統計子系統方面提供旅次分佈、需求時間分佈、殘障者類別分佈等統計資料。

關於與 DRT 撥召公車路線問題，史習平(1996)認為研究之目的在整合全球定位系統、運輸地理資訊系統與無線電通訊等三個子系統，以提供民眾即時公車資訊，讓候車民眾能夠有效安排時間並縮短候車時間。另一方面場站調度人員亦可透過即時資訊進行車輛調度作業，以提高公車服務水準，進而增強民眾選擇大眾運輸系統的意願。

其他針對中小型公車的應用相關研究，包括黃如妙(1990)所進行之 9 人座小型公車於台北市區之可行性研究，李克聰與郭雪芬(1993) 分析混合車隊最佳車型組合，提供使用者需求變異程度大時之車行運用策略。丁迺龍(1995)以 9 人座小型公車探討其營運策略與功能定位，並藉由運量、相關法令規章、營運成本與費率等觀點評估以小型公車接駁捷運之可行性。

吳沛儒(2004)嘗試妥善運用計程車既有資源，對其進行共乘化與接駁化，以形成並強化都市整體公共運輸系統行動力之目標。為達到上述目標，任務型共乘接駁計程車應如何營運並進行有效率地接駁顯得相形重要，是故本研究除對其施行辦法進行規劃外，亦針對隨機共乘接駁需求的產生，進行有效設計及求解，而派遣中心也將根據不同的時間點及需求點予以即時派遣。

2.7 DRT 服務型態綜合分析

根據上述國外文獻，本研究將 DRT 分別以班次、路線型式、車輛型式、起迄點關係以及中途停靠點類型作營運作分析，由表 2.3 可看出 DRT 各種營運方式，這些營運方式可以互相搭配，以發展成為適合當地需求的營運型式。

表 2.3 DRT 營運方式彙總表

特性	營運選擇方式
班次表型式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 固定班表：固定時間發車 2. 需求反應式：以需求產生為發車依據 3. 完全彈性：完全沒有班表
路線型式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 固定路線：固定路線但隨招隨停 2. 彎繞路線：在最長彎繞距離限制下彎繞 3. 完全彈性路線：完全沒有彎繞限制
車輛型式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 迷你車：一般私用車輛 2. 計程車：一般計程車大小 3. 迷你公車：以九人座為主 4. 中型公車：以 15~25 人座為主
起迄點關係	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一對一：點對點接送搭乘 2. 一對多：使用者在同一點上車，不同點下車 3. 多對一：使用者在不同地點上車，同一點下車 4. 多對多：使用者在不同地點上下車
中途停靠點型式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 及門服務：車輛至彈性點(使用者指定地點)接送使用者 2. Checkpoint：於服務區域內有幾個固定停靠之大站，可設站於需求較聚集之處或較多使用者需下車之地點稱之

資料來源：本研究整理

由上表可了解，路線型態方面，一般公車服務在固定班表下行駛於固定路線上載客，路線彎繞或稱為半彈性服務由固定路線延伸出來。

車輛型式則可以根據需求特性提供不同的車容量大小，Vuchic(1981)研究公車路線容量與服務班次（或等候時間）及大小之關係。結論指出當每小時運量低於 500 人次時以採用中小型公車為佳；當每小時運量介於 500~1000 人次時，以使用標準公車為佳；在運量超過每小時 1000 人次時，雙節公車或雙層公車為較佳之車輛型式。另張有恆(1987)則指出每小時運量低於 500 人次採用中小型公車為佳，每小時運量超過 500 人次則以標準公車服務較為適合。

起迄點關係從一對一到多對多的型式，一對一以點對點服務方式，而多對一與一對多關係則是使用者於同一或不同起點上車，在不同點或同一迄點下車知

服務型式。

停靠點部分共分為兩種，一為彈性點以及門服務為主，另一種為檢驗停靠點（Checkpoints），主要是在服務區域內需求較為聚集或需要下車地點設站，且在完全彈性停靠站在低密度的城鎮，費用將會非常昂貴，若有固定停靠站設置不僅可以作為限制服務路線長度劃分服務區域範圍，也可增加需求提高乘載率，進而節省成本。

在之前所述圖 2.1 可以清楚了解，SAMPLUS 根據停靠站與路線彈性可定義分為半固定路線、彈性路線與完全彈性路線三種 DRT 營運方式，整理前述將 DRT 路線彈性以及停靠站概念融入後，本研究將 DRT 整理為五種營運方式，第一種固定路線為一般公車營運方式，其他共分為五種，本研究以第二種半固定路線營運為探討主題，實線為車輛行駛之路線，虛線為乘客行走或車輛未行駛之路線。

1. 固定路線

如一般傳統公車運輸型式，行駛路線固定，停靠於固定的站位，司機按照班表發車時間行駛，使用者自行到車站等車，如下圖 2.9。

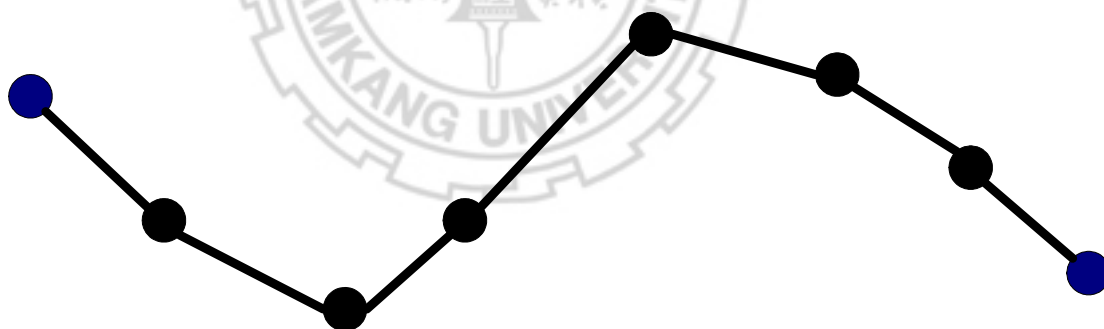


圖 2.9 固定班表與路線

2. 半固定路線

本研究即是以半固定路線為研究方向，半固定路線特性為路線會隨每次需求產生而不同，車輛沿著路線行走，若某固定之停靠站沒有需求，則車輛可以直接經由其他較短路徑直接前往下一停靠點，不需要經過沿線的每一停靠點，故停靠點需經由需求確認哪幾個停靠點有使用者為已經事先確定需停靠，車子直接前往那幾個停靠點搭載即可，如下圖 2.10。

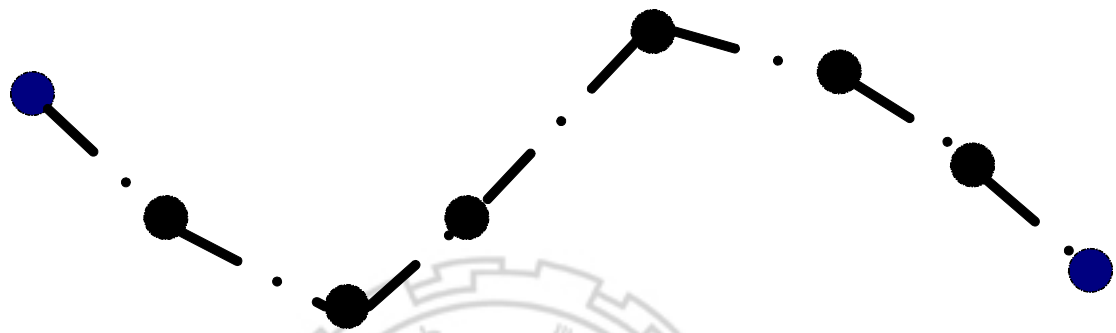


圖 2.10 半固定路線

3. 固定路線隨招隨停

車輛行駛於一固定路線，按照固定班表派車，使用者以最短距離與最方便到達公車固定路線上，看到車輛即可隨招隨停，車輛沒有固定停靠地點，只要看到使用者即可隨時搭載，如圖 2.11。

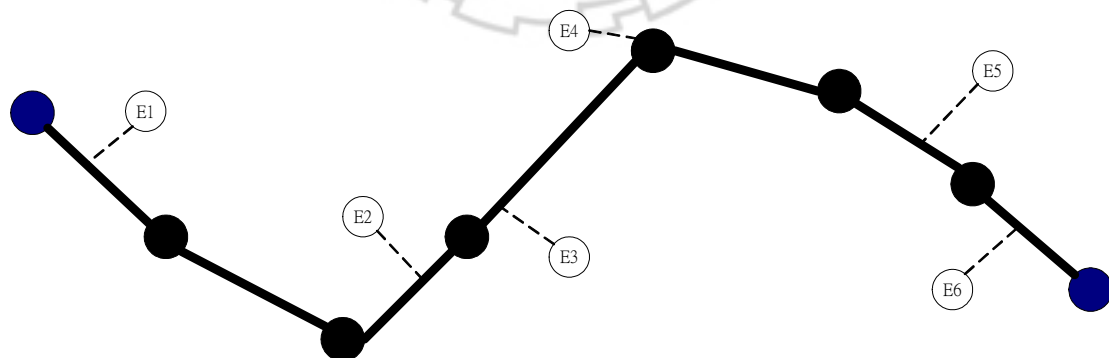


圖 2.11 固定路線隨招隨停

4. 沿線彎繞

使用者預約到達目的地，派遣系統於發車前已經確認接送距離的路線，使用者需求為以及門服務為主，車輛在沿線彎繞至需要及門服務的使用者搭車點搭載後，必須再回到原來最短路徑上繼續行走，接送在固定站的使用者，如圖 2.12。

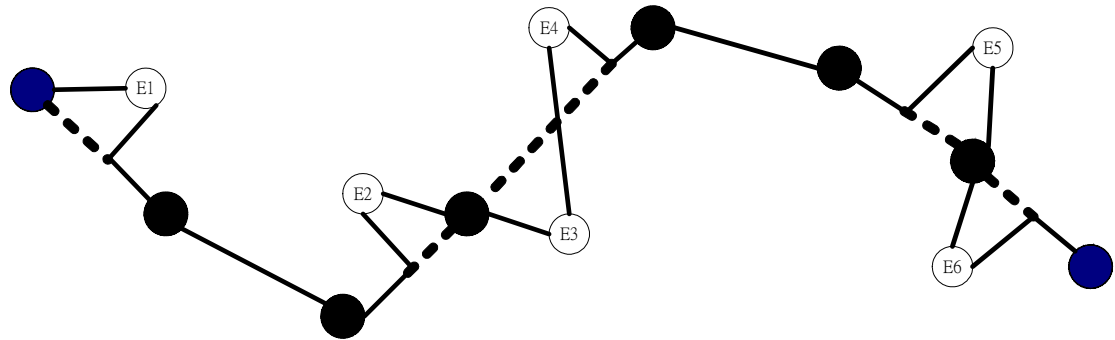


圖 2.12 沿線彎繞

5. 定點彎繞

路線完全以需求產生為主作彈性規劃，分為彈性點與固定點，當需求產生於彈性點，則車輛提供及門服務，當需求產生於固定點車輛則須到固定站搭載使用者，如圖 2.13。

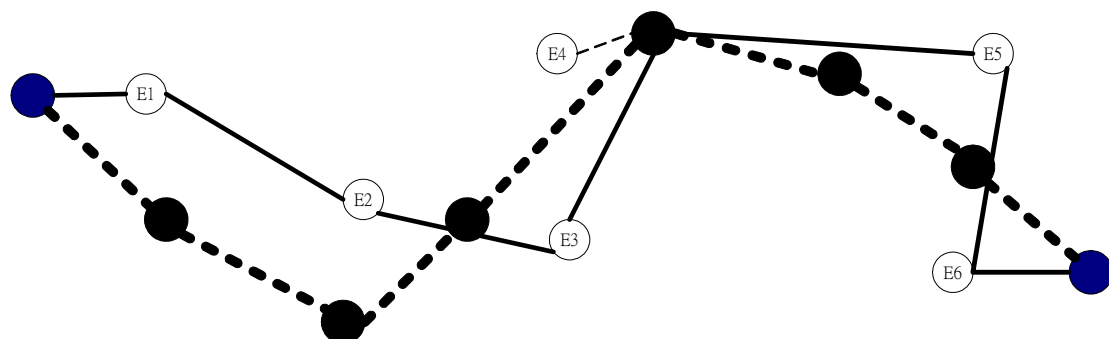


圖 2.13 定點彎繞

6. 完全彎繞

路線完全完全基於需求產生為主，無事先定義之路線，車輛以彎繞行駛提供使用者完全及門的服務，如圖 2.14。

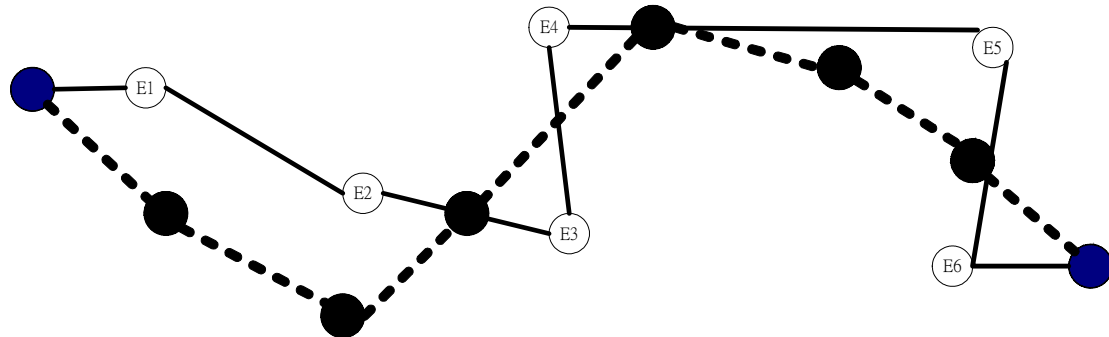


圖 2.14 完全彎繞

根據上述幾種不同的路線彈性型式，將各別特性整理如下表 2.4，本研究以半固定路線為主要探討方向，其路線彈性介於半彈性，需求位置則是以固定為主，以有需求產生時，車輛會行經停靠點搭載乘客，若無需求，則車輛可選擇其他較短之路徑行駛，停靠點會隨每次需求變化而改變位置與數量。

表 2.4 DRT 各種營運型態特性

路線型式	路線彈性特性			需求位置特性		停靠站特性	
	固定	半彈性	彈性	固定	彈性	有需求	無需求
固定路線	◎			◎		◎	◎
半固定路線		◎		◎		◎	
固定路線隨召隨停		◎		◎		◎	◎
沿線彎繞		◎		◎	◎	◎	◎
定點彎繞			◎	◎	◎	◎	
完全彎繞			◎		◎	◎	

本研究整理

第三章 DRT 營運模擬條件設定

3.1 DRT 營運環境設定

DRT 可針對不同使用者或旅次目的之需求特性旅次規劃，依照每次預約的乘客需求決定車輛路線行走方式，首先由派遣中心接收乘客預約，確認各乘客欲前往之目的地與時間，於乘客預定時間內滿足運輸需求，提供多元化的運輸服務，採用適當的路線彎繞度服務水準，提供較計程車搭載容量較多的服務，增加一般傳統公車以固定路線與班次無法達到的及門服務。大部分 DRT 營運環境，車輛型式通常為中小型巴士，不允許站位，服務系統根據每次預約需求量，決定路線數、車輛數與總行駛路線長度。

DRT 乘客需求點通常分散於寬闊的服務地區內，無法像一般公車服務的旅次是聚集成群的，車輛行駛並非如同公車的路線彎繞度設定，也因此每趟旅次距離、路線數與車輛數也無法預先決定且固定，然而 DRT 某些營運方式是可以預先決定，如路線的彎繞程度、站間密度、系統服務水準、車輛型式、車輛行駛速度以及車輛停靠站時間等。因此 DRT 系統尚未開始實施前，必須先確定營運供給面之可行性，此也是影響日後營收的重要因素。

因此本研究假設 DRT 於某種營運環境，在服務範圍內因應各種運輸需求，並以模擬方式，假設 DRT 營運服務範圍內，需求小且分散，以模擬找出路線行走方式並分派適合的車輛數滿足需求。本研究以醫療旅次為例，乘客於搭車前 1 小時與 DRT 服務中心預約，服務中心在蒐集完需求後約回覆確認時間與地點後，從醫療院所搭載全部乘客發車，以一對多方式分別搭載至個別目的地。

3.2 DRT 營運供給面

一、DRT 營運模式基本資料：

營運模式基本資料主要為營運供給型態與營運成本，細部內容包含：

1. 營運供給型態：營運範圍設定、路線設計、設站密度、系統服務水準、車輛型式、公車行駛速度、車輛停靠站時間。
2. 總成本：業者成本包含營運成本、車輛成本、行駛成本；乘客成本包含乘客車上時間成本、乘客步行時間成本與懲罰成本等。

總成本於第四章有詳盡介紹，營運供給型態基本資料則分別敘述如下：

1. DRT 營運範圍設定

假設營運區域類似台北市公車營運環境，根據林聖偉(2005)實際調查醫療運旅次可能使用 DRT 運輸需求分佈，主要都集中在以醫院為中心向外約五公里的範圍內，因此本研究模擬假設區域長度為 3 km 、 4 km 與 5 km ，區域面積為 9 km^2 、 16 km^2 與 25 km^2 ，各區域內與起點相距最遠需求點的最短行車距離，分別為 6 km 、 8 km 與 10 km 。

2. DRT 路線設計

過去許多相當繁華的城市，均採用棋盤式路網，此種路網亦是城市道路最普遍的一種佈局形式，多在地形平坦的中小城市和大城市的中心區採用。目前台灣許多地區仍採用方格式道路網，如台北市西門町。此路網道路系統較簡單，便於組織規劃交通，且機動性高，較少有複雜的交叉路口，同時也利於道路兩側建築物的佈置。但缺點是對角線間的交通繞行距離遠，交叉道口多，行駛速度較易受影響。

根據上述原因本研究路網以棋盤式路網為主要形式，各方格中心點為車輛停靠站，在每一次模擬產生需求後，車輛根據彎繞度為行駛限制，行經所有需求的停靠點，而所有乘客在車輛在起點搭車後再分別送往各目的地。如圖 3.1，以醫療運輸為例，醫院為發車起始點，服務範圍以醫院為中心向外擴張，本研究探討

為右下角的服務範圍，劃分為3區共9個停靠點，此9個停靠點為系統運先設定的停靠點，各需求從中可選擇靠近目的地的停靠點下車，以一對多行走方式，車輛由左上方開始行駛，可以往左右上下行走，端視需求目的地在哪些停靠站發生，車輛會以最短距離最小彎繞度行駛，接送需求至其目的地，接送完車輛若有回程需求將會以多對一方式，行走至各停靠點搭載乘客後，回到車輛起點，在本研究範圍只以一對多為主，不探討多對一的運輸形式。

每線段的行車速度假設相同，在此路網並無假設轉向限制，因此路網中運行之車輛可以任意彎繞至各需求點。本研究討論以 DRT 運作方式以分區的方式將服務範圍分做數個不同分區，在分區與分區間使用 DRT 來做運輸方式，每個分區假設有一固定點，此分區則以固定點為圓心向外擴散，形成一服務分區，此分區內只允許有一個固定點存在。最基本以單分區內的路網基本型態，每個分區之間距離相等，各正方格分區內車輛可以任意行駛，在此並無轉向限制。

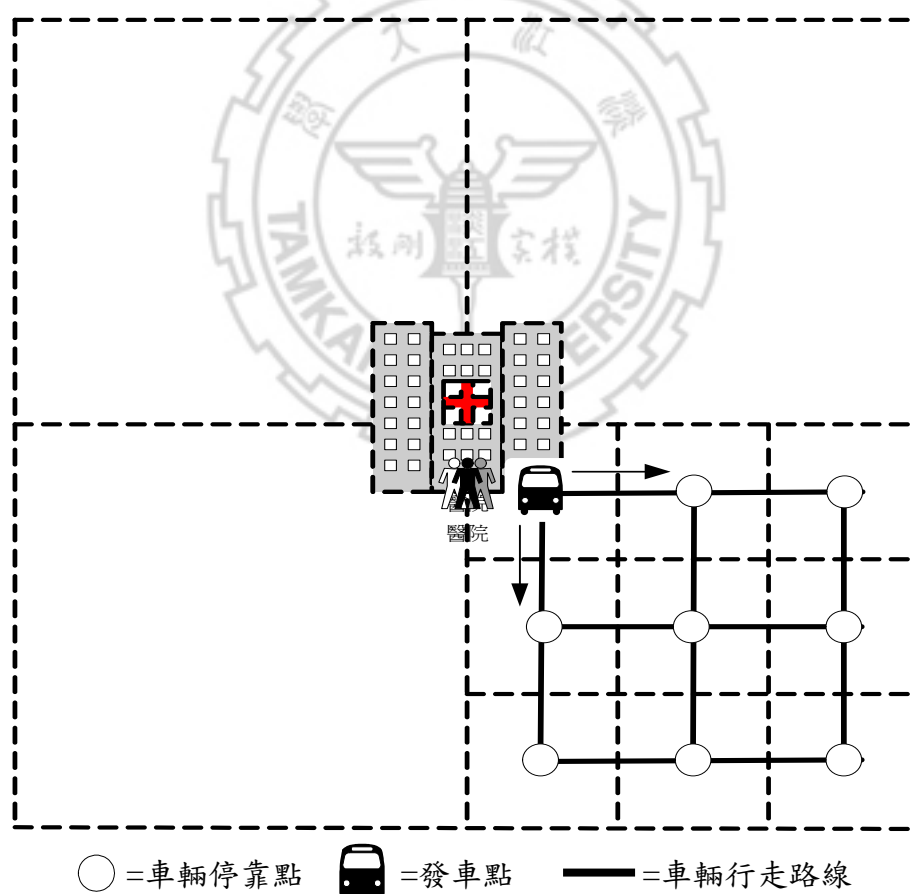


圖 3.1 DRT 路網圖

預先設定之固定停靠站於服務範圍內的數量即為設站密度，又可稱做分區數，最重要為影響步行成本，本研究中分區數假設至少在 3 個以上，原因在於若分區數小於 3，則車輛路線與停靠點(≤ 4)過少，設站密度過小，越不接近及門服務，造成行走距離過長，服務水準降低，傾向為火車站或捷運站之間的一般公車接駁服務。

另一方面站間距離越遠，分區數較少，設站密度越低，表示服務範圍內，車輛可停靠站數少，因此預先選擇之停靠站地點大都會以服務範圍內的幹道或是需求密集地為主，且乘客車外時間增加，表示必須花在車外抵達搭車地點的時間增加，間接導致服務系統水準降低；反之設站密度越高，表示服務範圍內，車輛可停靠位置增加，因此預先選擇停靠站設置之地點，會越接近一般市區道路分佈，甚至將停靠站設於巷道，使運輸更趨近於及門服務。

如下表 3.1 所是根據平均每人步行距離設定，可知道在區域長 5 km 分區 3 最大步行距離為 638 公尺，區域長 3 km 分區數 15，最短步行距離為 76 公尺，分區數越多，也代表車輛行駛越接近及門服務。

表 3.1 各分區數與區域長之步行距離

分區數 \ 區域邊長	3 km	4 km	5 km
分區數 3	383m	510m	638m
分區數 4	287 m	383m	478m
分區數 5	229m	306m	383m
分區數 6	191m	255m	319m
分區數 7	164m	218m	273m
分區數 8	143m	191m	239m
分區數 9	127m	170m	212m
分區數 10	114m	153m	191m

分區數 11	104m	139m	174m
分區數 12	95m	127m	159m
分區數 13	88m	117m	147m
分區數 14	82m	109m	136m
分區數 15	76m	102m	127m

3. DRT 車輛型式

朱家德（1995）認為系統最佳化設計下，固定路線公車與彈性路線公車成本相差不大，並引用最佳化結果討論公車最佳容量及營運車輛數的特性，進而比較分析兩公車的社會成本特性與經濟意義。而最佳車容量則提出旅次密度由 4~80 旅次/，彈性路線公車最佳車容量由 10~22 座位/車，一般固定路線公車則是 16~43 座位/車，由此證實彈性路線公車最佳車容量對需求密度敏感度較一般公車小，因此本研究於模擬條件設定，以使用中小型車輛營運為主，車容量則以 9 人座、15 人座、20 人座與 25 人座為主。

4. DRT 系統服務水準

系統營運服務水準可分為兩種，一為系統回覆使用者確定搭乘車輛時間與地點，其次為車輛行駛的彎繞度限制。

- DRT 系統回覆時間：

需求反應運輸完全以需求產生才派車滿足服務，因此派車前必須清楚確定服務的對象以及特性，如一趟旅次，有多少的需求數，需求的特性如輪椅代步者或年長者，每個需求發生的位置，乘客上車與下車的地點，以及車輛抵達的時間，乘客上車與下車的時間等，系統在每一趟運輸行為發生前都必須事先確定，以了解如何分配行走路線與車輛，才可讓整體系統運作效率提高。而系統回覆時間在本研究假設蒐集乘客約 1 小時，因此系統回覆時間大約半小時到 2 小時內，國外認定系統回覆時間之分類可參照下表 3.2：

表 3.2 服務水準與系統回覆時間分析表

服務水準項目	系統回覆時間	註解
1	系統回覆時間 $\leq 1/2hr$	即時的派遣，時間成本很高的需求者，類似計程車
2	$1/2hr \leq$ 系統回覆時間 $\leq 2hr$	接近 DRT 最常使用
3	$2hr \leq$ 系統回覆時間 \leq 當天營運時間	計畫性的旅次
4	24 小時前預約隔天的行程	需要事先規劃行程
5	48 小時內回覆	需要事先規劃行程
6	超過 48 小時不超過一個禮拜	需要事先預約
7	一個禮拜至兩個禮拜	需求量很低，但仍有可能繼續營運
8	超過兩個禮拜	此種系統不符合實際，需淘汰

參考資料：TCRP100 (2004)

- DRT 彎繞度設定

車輛行駛之服務水準與彎繞度有關，本研究以彎繞度限制方式搜尋路線較佳的行走方式，有關彎繞度應用，通常使用在有關公車績效的部分，以過去路網設計與路線調整之研究，並配合路線調整之目標與原則，選定路線彎繞度、路線重複程度作為調整之準則指標。同時考量影響新闢路線規劃之因素，及新闢路線規劃目標及選取原則，選定交通分區可及性指標及供需比為新闢路線選取之指標。假設兩點分別為 (i_n, j_n) 與 (i_{n+1}, j_{n+1}) ，假設車輛現在位置在 (i_n, j_n) ， (i_{n+1}, j_{n+1}) 此點相對於 (i_n, j_n) 的彎繞度為多少，以便確定此接送點是否有超過彎繞度限制，彎繞度公式如下：

$$\text{彎繞度} = \frac{|i_{n+1} - i_n| + |j_{n+1} - j_n| + (i_{n+1} + j_{n+1} - 2)}{(i_n + j_n - 2)}$$

本路線設計並非求取最佳路徑將以滿足需求點為目標，而是試著找出讓車輛行駛於適當路線接送為主，因此在路線行走方面，透過彎繞選擇特定需求區，並以最小彎繞度模擬路徑行走方式在利用隨機產生需求方式找出單一路線，求得車輛數與行駛距離以及社會成本。

本研究建構之模擬路網無單行道限制，忠實反應 DRT 路線彎繞情形。根據黃頤(2000)分析既有路線調整之影響因素、目標及原則，並選取「路線彎繞度指標」及「路線重複性」三項作為既有路線調整之準則。並參考相關過去研究，訂定超過此門檻值： $1.3 < \text{路線彎繞度} < 1.6$ 或路線重複性高的路線，列為優先考量調整的路線，並加以考量重疊路段特性、路線服務長度及服務班距等營運特性因素以取捨調整之路線。由於 DRT 服務本身必定有路線彎繞之情況，因此有可能產生路線過於彎繞的情況，造成整體路線服務水準降低，因此在彎繞度設定以邱奕明(1998)為例，研究運輸走廊為主，分析台北市市區公車各運輸走廊平均彎繞度，計算出總體平均彎繞度為 1.27 如下表 3.3，台中市市區公車整體彎繞度為 1.46 相關彎繞度統計表如下表 3.4 所示。

表 3.3 台北市公車路線平均彎繞度統計表

運輸走廊	分析路線數	平均彎繞度
舊市區	40	1.28
三重	15	1.26
板橋	9	1.30
中永和	19	1.38
新店	5	1.25
木柵	14	1.30
南港	13	1.14
內湖	23	1.34
士林北投	33	1.21
總體	171	1.27

資料來源：邱奕明(1998)

表 3.4 台中市區公車路線彎繞度統計表

運輸走廊		實際行駛里程 (公里/單程)	最短路徑 (公里/單程)	彎繞度指標
台中客運	8	11.3	8.8	1.29
	14	9.2	7.1	1.30
	15	14.0	8.6	1.64
	22	11.0	8.4	1.30
	26	9.5	7.1	1.34
	27	10.5	7.7	1.36
	34	8.8	5.9	1.49
	41	8.7	5.5	1.58
	42	8.4	4.6	1.82
	48	13.0	9.8	1.33
	60	13.0	8.8	1.48
	135	16.3	10.5	1.55
仁友客運	1	10.0	6.6	1.52
	2	13.0	8.8	1.48
	6	13.7	9.1	1.51
	7	10.1	7.3	1.38
	10	13.0	8.9	1.47
	11	15.0	10.4	1.44
	17	7.4	4.7	1.57
	20	14.5	8.5	1.70
	21	12.0	8.9	1.35
	22	10.4	6.6	1.58
	29	12.8	8.3	1.54
	30	11.0	7.8	1.40
	31	18.0	13.5	1.33
	35	15.1	10.3	1.47
	37	13.0	9.6	1.35

	40	13.0	8.5	1.53
	41	21.6	15.7	1.38
	45	13.0	9.2	1.42
	59	10.1	6.2	1.64
總體				1.46

資料來源：市區公車高潛力需求路線規劃與路線經營權開放制度之研究(2000)

從上表可發現由於台北市公車路線多行駛於公車專用道上，故可減少彎繞之情形，整體而言台北市市區公車路線平均彎繞度低於台中市公車。但一般而言，路線彎繞度超過 1.6，就算是極度彎繞的情況，不但造成營運者營運成本提高，導致乘客車上時間成本增加、車輛行車距離增加，造成公車系統營運效率低落。但由於 DRT 的需求量特性為少量且分散，因此彎繞度限制可以放寬些，在此將模擬最大限制彎繞度設為 2.4。

5. DRT 行駛速度與停靠站時間

車輛行駛速度以一般公車行駛速度為設定值，設定為 1 小時 20 公里的速度，乘客行走速度為一般行走速度，以 1 小時 4 公里為基準，停靠站時間，以國外 ADA 對於老年人車輛停靠站時間測量所得約 60 秒鐘。

6. DRT 乘客起訖資料

本研究假設系統於服務前乘客起點均已知，車輛於醫院統一搭載後發車，依照乘客不同目的地接送至各停靠站，模擬時則由程式隨機產生停靠點數，以亂數將各需求分配至各停靠站。

第四章 DRT 營運成本

4.1 各項成本分析

DRT 依據需求產生地點，以一對多行駛方式，進行路線規劃提供服務，然而在相同需求密度下，不同程度的彎繞度限制，會造成業者與使用者成本差異，因此採取不同的彎繞度限制將會產生總成本差異，以下將各種成本計算方式帶入模擬情境中，藉此獲得各種服務型態下之總成本，為往後營運之參考。總成本是由業者成本與乘客成本所組成，可從業者成本與乘客成本所設定的參變數影響總成本差異，以下成本為每小時為單位計算，各自組成分述如下：

一、業者成本 Operator Cost (OC)

由於目前屬於需求小分散的旅次型態，必須滿足需求之下，許多公車業者在沒有適當的營運策略下，成本虧損甚重，即便減少班次也無法增加營運量。因此使用 DRT 的服務型態，必須先測試在某服務區域範圍內，各種需求密度與車容量下，規劃路線行駛於不同彎繞度限制。

業者成本最直接關係的為路線數目、車輛數目、以及行駛距離等為業者成本重要的組成要素。因此本研究針對 DRT 業者成本，考慮不同車型下建立成本計算方式。業者成本主要包含營運成本、行駛成本與車輛成本三種，其中參數內容大都參考台北市政府交通局 93 年 9 月，初核辦聯營公車運價調整案之每車公里 18 項合理營運成本，各種車型的燃料費用則是參考國內目前客運業者所提供的大約價格計算，相關參變數如下所述：

1. 營運成本 O

本研究 DRT 營運成本主要受當下營運時段所需行走之路線數多寡影響，項目分別為勞務費用（含管理員工薪資、業務員工薪資）、折舊費用（含各項設備折舊）與其他費用（含財務費用、業務費用、管理費用、稅捐費用）等項目，公式如(4.1)。

$$O = \alpha_o \times M \dots\dots\dots(4.1)$$

α_o = 單位營運成本（元/條）

M = 總路線數 (線)

2. 車輛成本 V

張學孔(1991)，認為在系統最佳化設計下，固定與彈性路線的公車社會平均成本相差不大，但彈性路線的業者成本較高，使用者成本較小。而固定路線則是有較小的營運者成本與較大的使用者成本。且比較而言同樣認為彈性路線公車車容量適合採中小型車輛作營運。

車輛成本主要和系統使用的各型車輛數、在不同路線與不同行駛時段，有密切關係，車輛成本於一般客運業者計算方式，通常為營運時間內針對單一路線上發車次數多寡而決定該項成本，其項目分別為勞務費用（含行車人員薪資、修車人員薪資等）、各種車型折舊費用（含車輛折舊等）與其他費用（含行車附支、修車附支等），在此 DRT 的車輛成本計算則以單位車輛成本乘以每條路線所需之車輛數所得，其數學關係式如(4.2)式所示。

$$V = \alpha_v \times \sum_{v=1}^M N_v \dots\dots\dots (4.2)$$

α_v = 單位車輛成本 (元/車)

v = 9 人座、15 人座、20 人座以及 25 人座的單位車輛成本

$\sum_{v=1}^M N_v$ = 第 M 條路線上 DRT 所需之車容量為 v 車輛數 (車)

3. 行駛成本 R

一般計算行駛成本方式，以單一路線上藉由單位班次行駛成本乘以每日發車班次來計算行駛成本，含物料費用（含不同車型燃料、附屬油料、輪胎、修車材料等）與其他費用（含通行費等）。

本研究 DRT 行駛成本計算，以單位行駛成本乘上每次模擬 DRT 各行駛路線之車輛行駛總距離，再乘以各路線所需的車輛數得之，其數學關係式如(4.3)式所示。

$$R = \beta_v \times \sum^M (D \times N_v) \dots\dots\dots (4.3)$$

β_v = 單位公里行駛成本（元/車公里）

D = 為車輛總行駛路線長度(公里)



由於 DRT 目前在國內並無相關成本數據可供參考，故在本研究有關業者成本的參數，主要參台北市公民營公車聯營連管管理中心提供「台北市政府交通局 93 年 9 月初核辦聯營公車運價調整案之每車公里 18 項合理營運成本分析表」，內容為台北市十家營運公車各路線平均成本，共包含有十八個成本項目，分別為燃料、附屬油料、輪胎、車輛折舊、行車人員薪資、行車附支、修車材料、修車員工薪資、修車附支、業務員工薪資、業務費用、各項設施折舊、管理員工薪資、管理費用、稅捐費用、站場租金、通行費、財務費用。利用此種分類方式，將這十八項延車公里成本，分別歸類於業者成本中的營運成本、車輛成本與行駛成本，成本細項如下：

表 4.1 營運成本分類表

業者成本	十八項成本(元/延車公里)					
	薪資、材料費用		折舊費用		其他費用	
營運成本 <i>O</i>	管理員工薪資	1.4473	各項設備折舊	0.3434	財務費用	0.8517
	業務員工薪資	3.6933			業務費用	1.1673
					管理費用	0.9601
					稅捐費用	0.0987
車輛成本 <i>V</i>	行車人員薪資	18.8631	車輛折舊 9 人座	1.4170	行車附支	0.5329
			車輛折舊 15 人座	3.1488		
			車輛折舊 20 人座	3.4637		
			車輛折舊 25 人座	4.0935		
	修車人員薪資	3.0923			修車附支	0.1005
行駛成本 <i>R</i>	燃料 9 人座	1.6				
	燃料 15 人座	2.4				
	燃料 20 人座	2.7				
	燃料 25 人座	2.8				
	附屬油料	0.1152				
	輪胎	0.3603				
	修車材料	1.4974				

參考資料：台北市政府交通局初核辦聯營公車運價調整案之每車公里 18 項合理營運成本分析表(2004)

根據供車路線十八項成本計算，大都以一般公車車容量為計算單位，本研究將車容量分為四種，為符合實際情況，根據現況各種車型車輛成本，來作成本推估。一般公車車輛成本約 360 萬，9 人座車輛成本約 90 萬，15 人座約 200 萬，20 人座約 220 萬，25 人座約 260 萬。以此作比例與一般公車成本換算，可得車輛折舊，並且根據各車容量的排氣量比值為推算基準，推估燃料成本，計算公式如下：

表 4.2 各種車容量成本推估

	購置成本	排氣量	成本推算(延車公里)	
			燃料費	車輛折舊
車容量 9 人座	90 萬	2000cc	1.6	1.4170
車容量 15 人座	200 萬	3500cc	2.4	3.1488
車容量 20 人座	220 萬	3907cc	2.7	3.4637
車容量 25 人座	260 萬	3907cc	2.8	4.0935

資料來源：本研究整理

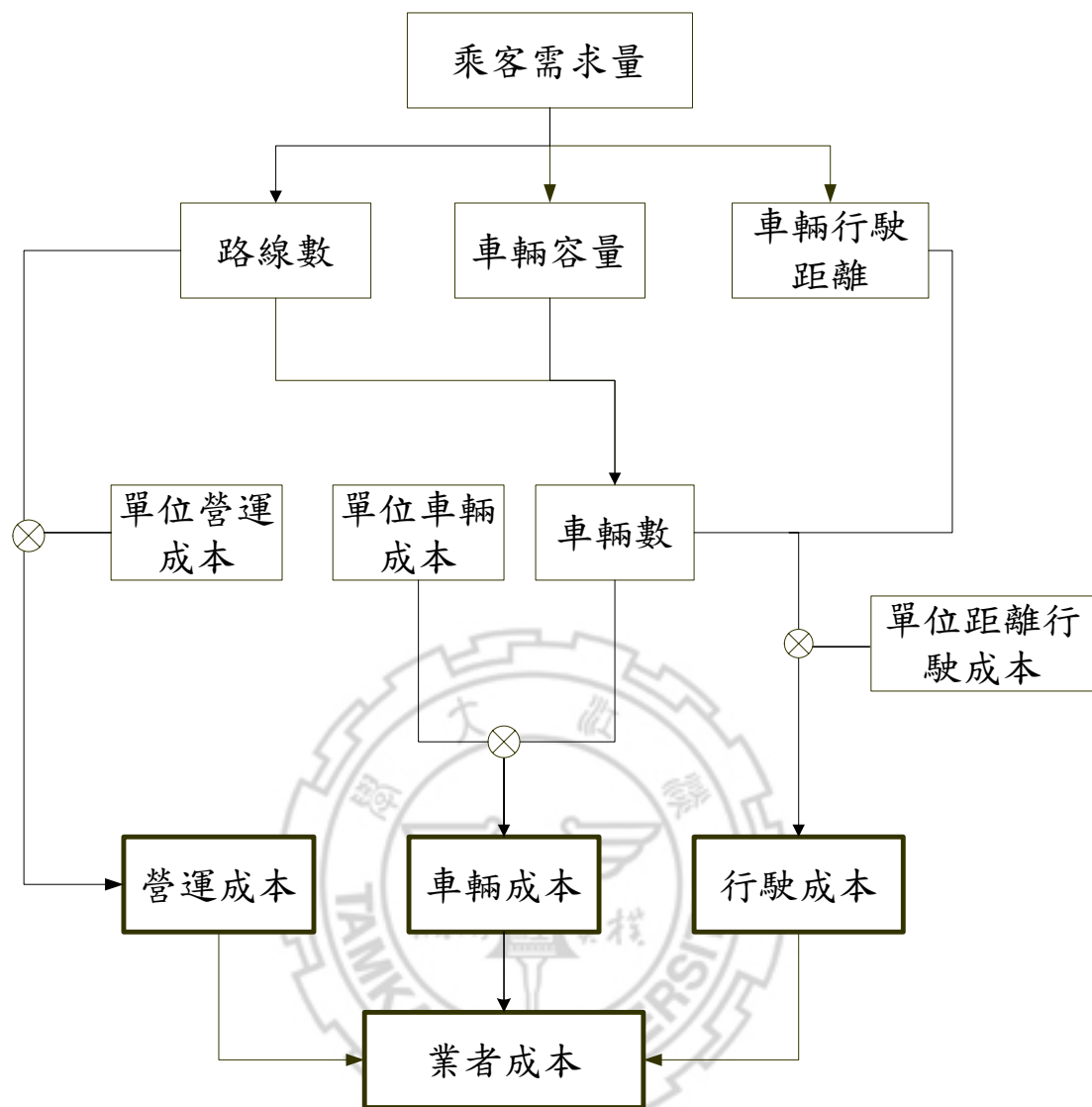


圖 4.1 業者成本之組成要素關係圖

二、乘客成本 Passenger Cost (PC)

DRT 最直接優點是不必有等車時間成本，一般公車主要是因為需求產生而公車並未及時提供確切的車輛抵達時間，因此乘客無法確定何時車輛會到達，乘客到車站後，必須於站牌旁繼續等車，有些公車甚至會因脫班的現象，造成乘客等車時間過長，服務水準低落。但搭乘 DRT 運輸系統之乘客，必須事先預約，再由 DRT 派遣中心蒐集完需求資料後，於回覆時間內及時與乘客確定搭車地點與車輛抵達時間，因此乘客在已知搭車時間與地點後，可自行選擇出發時間前往等車，故本研究假設 DRT 運輸無等車成本。

另 DRT 較一般公車行駛方式接近及門服務，縮短原本行人步行至車站的時間，造成較高的車上時間成本。故每一趟行程中不可能載運太多人，否則此項服務的優點將會被過高的旅行時間成本抵銷。在 DRT 營運情境下，每次車輛行走的路線，因模擬預先設定彎繞度限制與車容量大小，使得營運方式路線特性與操作方式不同，造成乘客成本產生差異。

DRT 與一般大眾運輸不同點，在於容許彎繞程度比一般運輸工具較高，因此在本研究另外在乘客成本多加入懲罰成本，表示只要乘客行經路線有產生彎繞，懲罰成本就會根據此路線彎繞度做計算，彎繞度越大懲罰成本越高。本研究針對乘客的車內時間成本、步行時間成本與懲罰成本等項目計算，分述如下：

1. 車內時間成本 I

車內時間成本透過行駛於起站至各乘客目的地停靠站， $M(\geq 1)$ 條路線每個乘客個別自起站到目的地的總行駛路線距離，除以班車行駛的平均速度，加上車輛停靠時間乘以下車人數，求得各乘客車內的搭乘時間，再乘以車上乘客的車內時間價值得知。其數學關係式如(4.4)式所示。

$$I = \sum_j^M \gamma \left[\frac{d_j}{V_v} \times P_j + P_j \times T \right] \dots\dots\dots (4.4)$$

γ =乘客車上時間價值 (元/小時)

d_j =某乘客之旅行總距離 (公里/人)

V_v = 車輛平均行駛之速度 (公里/小時)

T = 車子停靠站一次的時間 (小時/人)

P_j = 第 j 停靠站下車人數 (人)

2. 步行成本 W

車輛為一對多的行車方式，乘客預約後，DRT 系統與乘客確認搭車時間後，乘客於起站上車，由車輛載往各目的地點下車，由於車輛停靠站位於每個分區的中心點，因此並不一定為及門點，因此乘客下車後尚有步行距離，且步行距離會根據分區 n 的數目有所變化，當分區越密，步行距離會越短，則越接近及門服務的型態，根據 Larson and Odoni (1981) 表示需求點在正方形區域內均勻分配，乘客的步行距離與區域長、分區數之間關係式為 $0.383 \times \frac{L}{n}$ ，其數學關係式如(4.5)式所示。

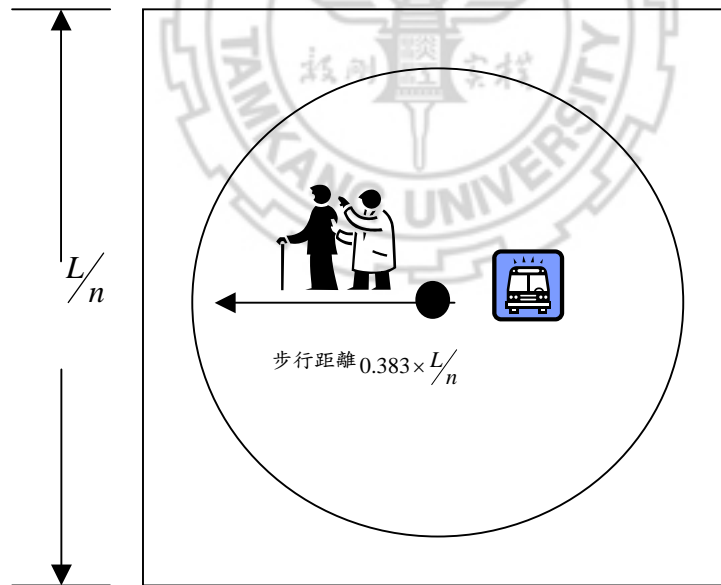


圖 4.2 乘客步行距離示意圖

$$W = \chi \times E \times \left[\frac{0.383 \times \frac{L}{n}}{V_p} \right] \dots\dots\dots (4.5)$$

λ = 步行時間價值 (元/小時)

E = 總搭乘人數 (人)

L = 正方形服務區域邊長 (公里)

n = 分區數

V_p = 乘客行走速度 (公里/小時)

3. 懲罰成本 U

一般有關車輛繞境的懲罰成本，大都是違反時窗限制時會給予一懲罰成本，本研究車輛行駛方式關鍵為系統所預先設定路線彎繞度的限制，若彎繞度限制越寬鬆，會有較多需求點可能以彎繞方式接送，造成旅行時間增加。乘客在彎繞度限制下，除因路線彎繞而增加的旅行時間成本外，還有在未下車前必須忍受車輛先接送其他彎繞點或非彎繞點乘客，因此產生不舒適與不悅的感受，此則為本研究稱之懲罰成本，因此在車輛行駛中，只要經過彎繞才抵達目的地的需求者均會產生有懲罰成本。

在此車上成本已將乘客因彎繞增加的時間成本納入計算中。懲罰成本計算方式，將彎繞的需求點，即為彎繞度大於 1 者，乘以每次接送之懲罰價值；本研究對於懲罰成本會隨著彎繞度大小而有所增減，由於 DRT 尚未實施，目前無法確認實際乘客對於時間的敏感度，但搭成 DRT 路線是必須彎繞，這點應是所有乘客都必須認同，若彎繞程度超過乘客忍受，乘客應不會搭乘轉而選擇其他運具。在此先假設懲罰成本為 50 元，再以敏感度分析針對懲罰值變動作探討。其數學關係式如(4.6)式所示。

$$U = \sum_j^M \lambda \times g_j \times P_j \dots\dots\dots (4.6)$$

λ = 懲罰價值 (元/人)

g_j = 第 j 停靠站下車之乘客路線彎繞度

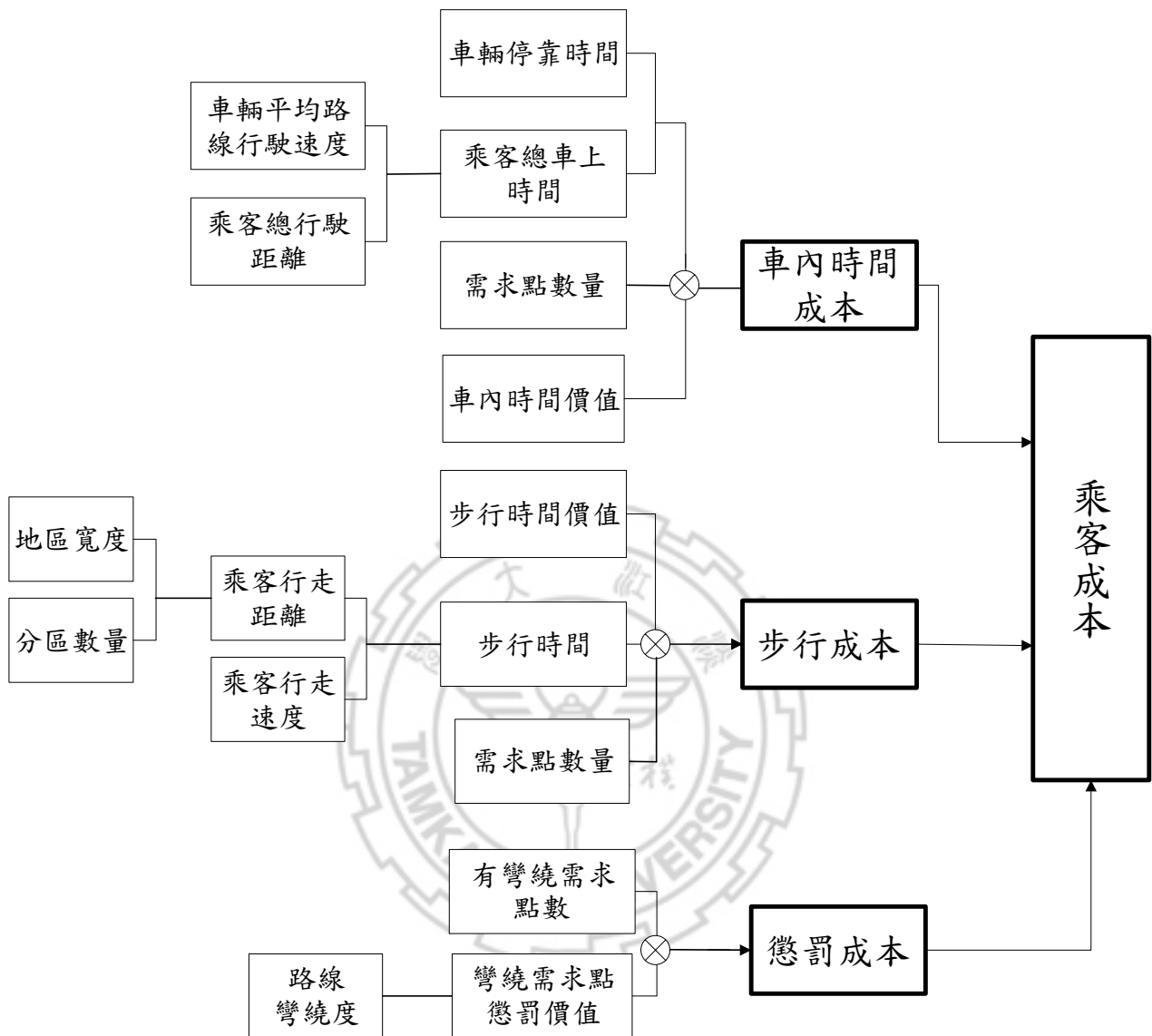


圖 4.3 乘客成本之組成要素關係圖

4.2 成本函數構建

DRT 營運模式由上述業者成本與乘客成本各成本加總為總成本函數，相關參變數設定請參閱附錄一，其數學關係式如(4.7)式如下所示：

□ 總成本函數設定：

$$\begin{aligned}
 C &= OC + PC \\
 &= (O + V + R) + (I + W + E) \\
 &= (\alpha_o \times Z + \alpha_v \times \sum^M N_v + \beta_v \times \sum^M (D \times N_v)) + \\
 &\quad \left(\sum_J^M \gamma \times \left[\frac{d_j}{V_v} \times P_j + P_j \times T \right] + \chi \times E \times \left[\frac{0.383 \times L/n}{V_p} \right] + \right. \\
 &\quad \left. \sum_J^M \lambda \times \mathcal{G}_j \times P_j \right) \dots\dots\dots(4.7)
 \end{aligned}$$

本研究 DRT 營運方式為單方向某時段內的營運成本計算，假設此時段的總路線數為 M ，各路線加總的停靠站數為 j ，每個乘客的距離均以累加計算，懲罰成本則依各彎繞度超過 1 的需求點彎繞度，乘以懲罰值，得知彎繞度越大者懲罰值越高，以符合因車輛彎繞產生之懲罰成本意義。

第五章 需求反應運輸系統模擬模式之建立

本研究模擬目的從使用者角度而言，旅行時間短，彎繞度限制越趨近於 1，服務水準越高，可讓降低使用者成本；若以業者角度而言，為彎繞度限制寬鬆，車輛數使用越少，總行駛距離越短，可載運最多乘客，可降低業者成本；以政府角度而言，則希望可達到乘客與業者總成本最小。

本研究假設已確認所有將要搭乘 DRT 旅客的旅次資料，經由模擬程式研擬各種需求密度的 DRT 營運情境，進行車輛調派與路線規劃的模擬測試。模擬模式設計各種營運範圍下，各種不同車型在於不同彎繞度限制下提供服務。車隊數越大表示車輛操作以及乘客旅次之間關係越強，進一步表示出 DRT 服務範圍以及各種變數之間關係。

5.1 模擬模式構建

5.1.1 模擬情境設定

9. 以服務區域面積、站間密度、需求密度、乘客停靠站時間、彎繞度與車容量為基礎，將下表 5.3 模擬情境表帶入分析。區域邊長分別為 3 公里、4 公里與 5 公里；分區數為 3~15，需求密度以每平方公里 0.5 人往上增加至每平方公里 2.5 人，停靠站時間以老年人行動不便者的平均上下車時間為 60 秒，彎繞度以間隔 0.2 為設定從彎繞度限制為 1 至 2.4。車容量則以座位數區分為四種型式。

模擬次數究竟要為多少次，才是合理可接受的模擬結果，本研究先以 20 次(平均值=2446,最大值 4384,最小值 1125)、30 次(平均值=2400,最大值 4424,最小值 1174)、40(平均值=2447,最大值 4292,最小值 1178)次測試，得到結果相當接近，另將此三種不同測試次數，隨機各抽取 5 個總成本樣本得到平均以及標準差，使用 F 檢定看發現 $F^0 < F_{(1-\alpha)}$ ，因此此三種樣本總成本並無顯著差異。選擇相當於大樣本的模擬次數為 30 次者進行分析，將各種情境分別模擬 30 次取平均值，探討所有變數之間的變化關係。

5.1.2 模擬流程

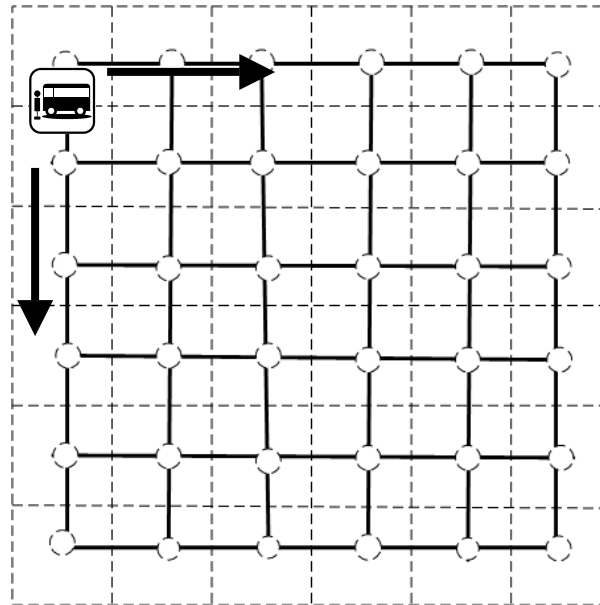
假設 DRT 系統經由每位乘客預約，蒐集乘客相關資料後，以模擬程式在某種服務範圍下的設定各需求目的地點座標、搭車時間、需求密度，設定在某種路線彎繞度的服務水準與車容量，進而規劃路線提供服務，模擬流程可參考圖 5.2。

一、 步驟 1 模擬程式輸入值：

1. 服務範圍：服務範圍面積由區域邊長的平方所得，在此分為三種不同服務範圍的區域面積，分別為 9 平方公里、16 平方公里與 25 平方公里。
2. 平均每位乘客下車時間：這裡以行動不便或老年人為例，平均下車時間設定每人約 60 秒。
3. 站間密度：站間密度越密，表示站與站之間距離越短，及門服務特性就越顯著，相反則站間距離越長，及門服務特性越不顯著，在此將站間密度使用分區數表示，分區數代表是將某服務範圍區域面積劃分為好幾塊區域，每個區域與區域之間距離與面積相等，設定分區數從 3 至 15。
4. 需求密度：在此設定每單位面積需求密度為 0.5 人~2.5 人，間隔 0.5，總需求數量會隨服務面積大小而有所不同。
5. 路線最大彎繞度：表示可容忍路線彎繞度的最大限度，從 1~2.5 表示，間隔 0.2。
6. 車容量：不同車容量會影響路線數與車輛數，且大部分 DRT 車容量均以中小型公車為主，設定車容量為 9、15、20 與 25 人座。

二、 步驟2 車輛從起點出發：

模擬輸入值設定後，車輛從左上方(0,0)出發，所有旅客會在左上方全部搭載完畢出發，模擬程式以亂數產生方式決定需求的產生地點，每個停靠站均設定在各網格中央，各停靠站下車人數，也是以程式亂數決定每站下車人數。



○ = 需求可停靠的地點

圖 5.1 需求停靠站位置圖

三、 步驟3 彎繞度計算：

車輛從原點出發後開始彎繞度計算，彎繞度計算公式如下，假設車輛所在點為 $(i_n + j_n)$ ，下一點接送點為 $(i_{n+1} + j_{n+1})$ ，必須先計算彎繞度是否有超過限制。

$$\text{彎繞度 } g = \frac{|i_{n+1} - i_n| + |j_{n+1} - j_n| + (i_n + j_n)}{(i_{n+1} + j_{n+1})}$$

四、 步驟4 判斷各點是否有符合彎繞度限制：

確定哪些點為符合彎繞度最大限制，之後系統將選取彎繞度較小的點開始接送，相反若各尚未接送點彎繞度均超越彎繞度限制，則選擇不接送這些點，直接跳到步驟八，表示這一條路線已經結束，尚未滿足需求的點會在下一條

模擬路線中出現。

五、 步驟 5 判斷是否有相同彎繞度的停靠點：

若在步驟四所選出來的點有超過一個以上，則在相同彎繞度之下，程式在比較這些點之後，找出與車輛所在點最短距離的需求點接送，相反若無相同彎繞度的停靠點，則直接進入步驟六。

六、 步驟 6 任選一點接送：

無相同彎繞度的點，則可以直接選取彎繞度最小者開始接送，但若已經挑選找出距離上一點最短者，卻仍有超過兩點時，則是任選一點接送。

七、 步驟 7 判斷是否符合容量限制：

步驟六選完點接送後，判斷是否仍在容量限制內，若車輛容量尚未搭滿，則繼續接送，回到步驟三，剛最後接送完那點作為前一點進行彎繞度計算，相反若剛好等於或超過車容量，則進入步驟八。

八、 步驟 8 一條路線運送結束

若搭載人數超過或等於原先設定之車容量，抑或是剩下尚未接送的點均超過彎繞度限制，則此條路線停止運送，並且進入步驟九。

九、 步驟 9 判斷是否所有需求點接已經被滿足

若還有其他剩下停靠尚未滿足需求，則直接回到步驟二，安排交由其他車輛搭載，以符合彎繞度或容量的限制條件。若所有點皆以滿足運送需求，則可進入步驟十。

十、 步驟 10 模擬情境結束

所有點皆以滿足需求，表示模擬情境結束，接下輸出至 Excel 將路線總旅行時間、路線總行駛距離、各種情境設定輸入值、業者成本細項、使用者成本細項與總成本，在此情境中已滿足所有需求點，則可以進入下一個情境。

- 以下舉一例說明模擬方式：

輸入值：假設為服務區域邊長為 3 公里，面積為 9 平方公里，分區數 6，彎繞度最大限制為 1（無彎繞度），車容量 9 人，需求密度每平方公里 0.5 人。由此可知需求量有 5 人，由程式隨機產生目的地點共 5 點，表示每站一人下車，如圖 5.2。

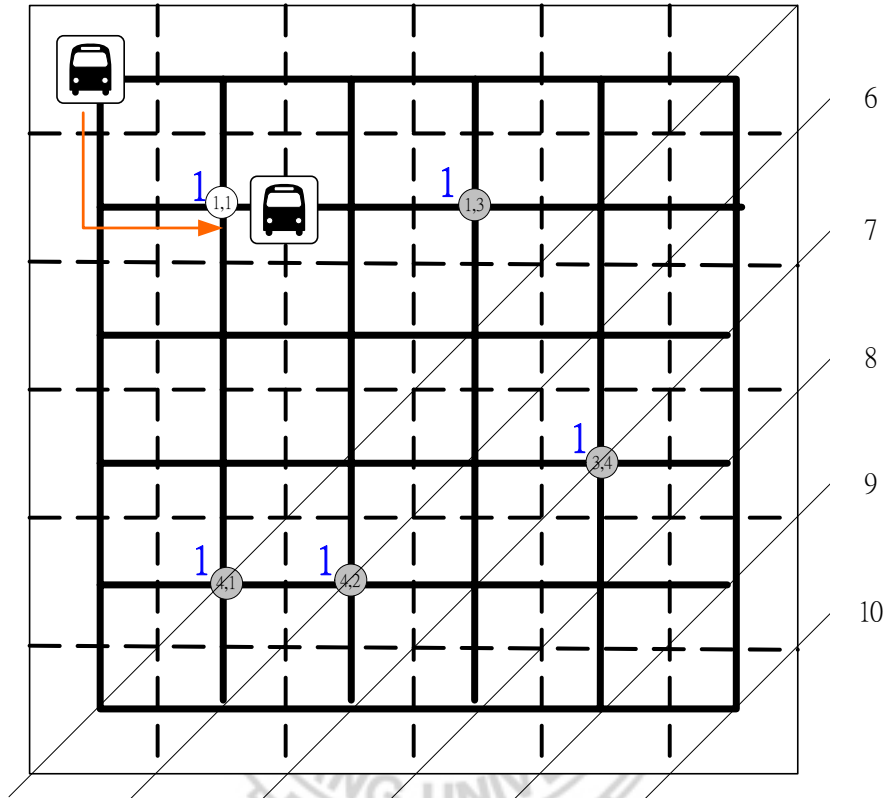


圖 5.2 開始接送第一點

1. 發車行駛：車輛從左上方出發開始行駛。
2. 彎繞度計算：將所有點計算相對於第一點(原點)的彎繞度計算，可發現所有點的彎繞度相對於原點均為 1。
3. 判斷彎繞度限制：所有停靠點皆在彎繞度限制內。
4. 判斷相同彎繞點：所有彎繞點皆相同，因此選擇最近原點的距離點接送。
5. 選擇一點接送：沒有距離比(1,1)還接近原點，因此選擇(1,1)。
6. 判斷容量限制：車容量為 9，目前僅接送 1 人，因此尚未超過車容量，因此

回到步驟三，如圖 5.3，由這輛車輛繼續搭載乘客。

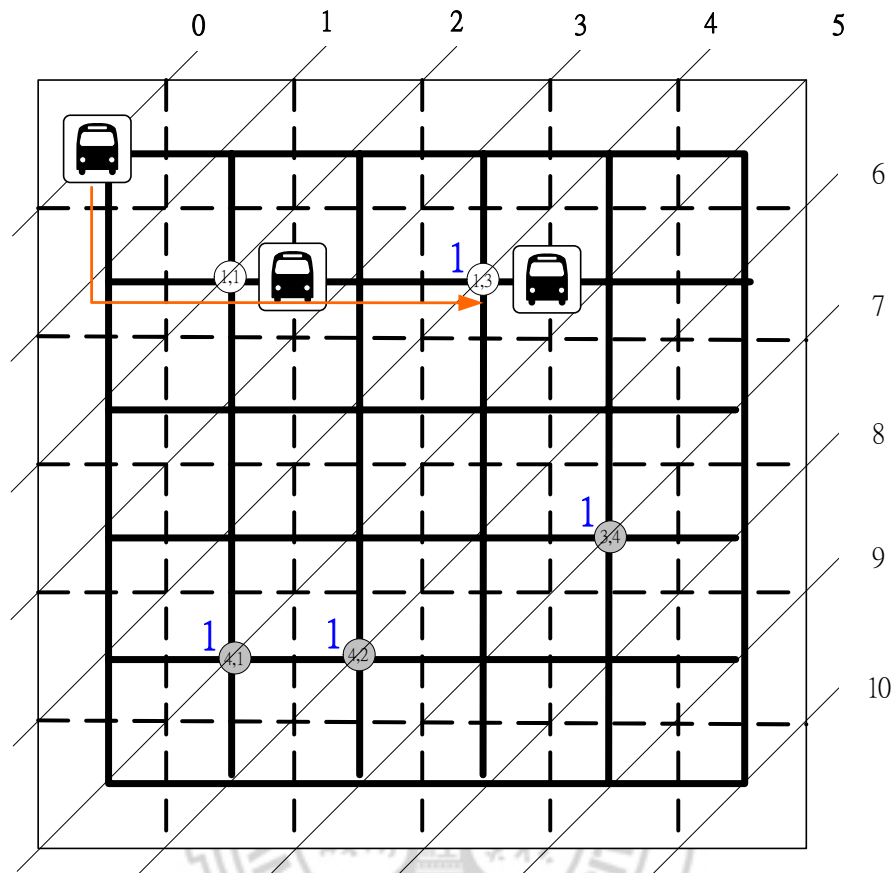


圖 5.3 接送第二點

1. 彎繞度計算：將所有點計算相對於前一點(1,1)的彎繞度計算，可發現所有點的彎繞度相對於原點均為 1。
2. 判斷彎繞度限制：所有停靠點皆在彎繞度限制內。
3. 判斷相同彎繞點：所有彎繞點皆相同，因此選擇最近原點的距離點接送。
4. 選擇一點接送：沒有距離比(1,3)還接近(1,1)，因此選擇(1,3)。
5. 判斷容量限制：車容量為 9，目前僅接送 2 人，因此尚未超過車容量，因此回到步驟三，如圖 5.4，由這輛車輛繼續搭載乘客。

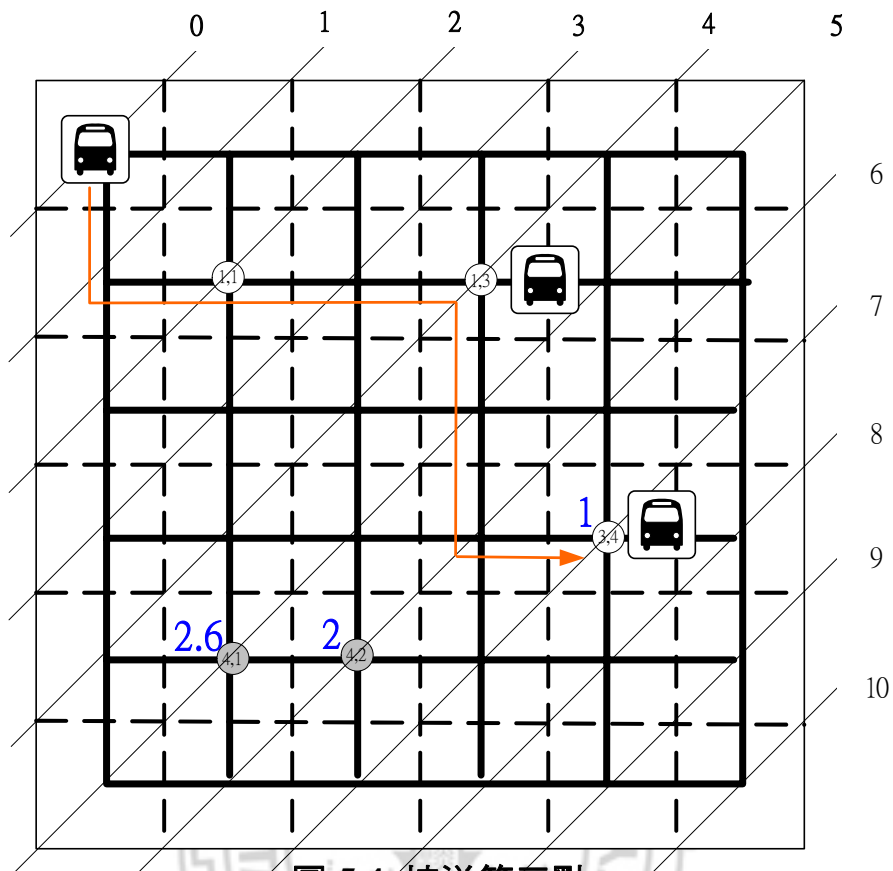


圖 5.4 接送第三點

1. 彎繞度計算：將所有點計算相對於前一點(1,3)的彎繞度計算，可發現(3,4)、(4,1)與(4,2)彎繞度分別為 1、2.6 與 2。
2. 判斷彎繞度限制：就(1,3)而言，除了(3,4)在彎繞度限制內，(4,1)與(4,2)彎繞度分別為 2.6 與 2，均超過彎繞度最大限制。
3. 判斷相同彎繞點：剩下的三點，沒有相同彎繞度。
4. 選擇一點接送：因此除(3,4)，其他兩點均超過彎繞度限制，因此選擇(3,4)。
5. 判斷容量限制：車容量為 9，目前僅接送 3 人，因此尚未超過車容量，因此回到步驟三如圖 5.5，由這輛車輛繼續搭載乘客。

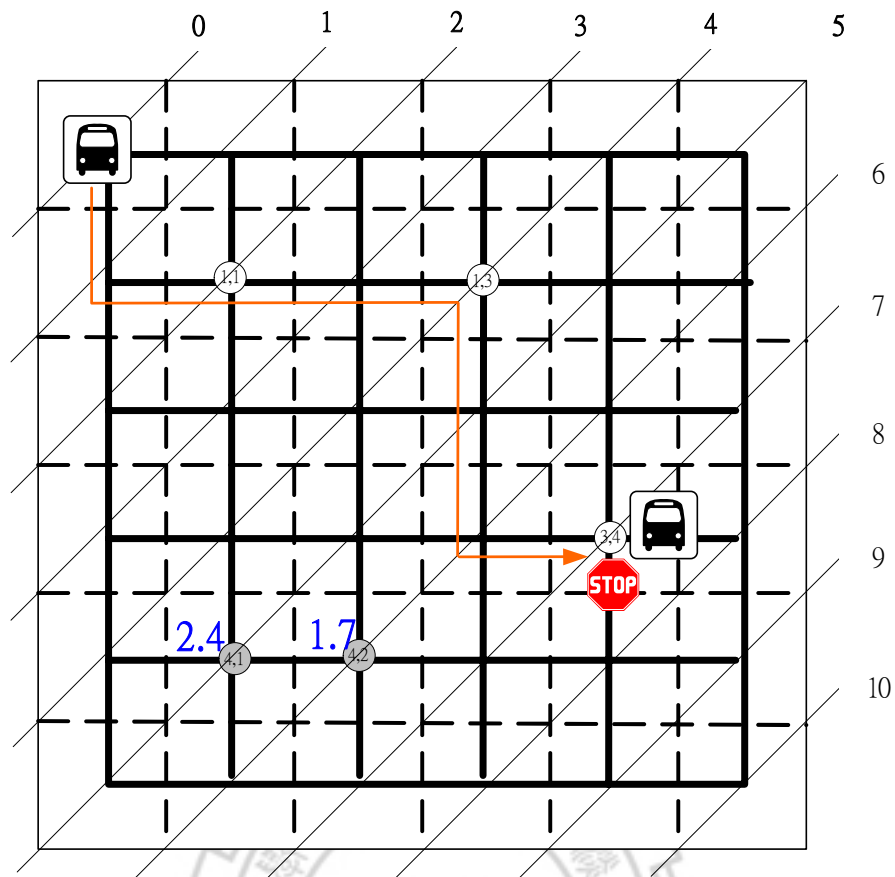


圖 5.5 停止接送

1. 彎繞度計算：將所有點計算相對於前一點(1,1)的彎繞度計算，可發現(4,1)與(4,2)彎繞度分別為 2.4 與 1.7。
2. 判斷彎繞度限制：所有尚未滿足需求的點，彎繞度均大於預先設定的限制，因此直接跳至步驟八。
3. 路線結束：此條路線行走(1,1)、(1,3)與(3,4)，共三點。
4. 是否有剩餘的點：剩下(4,1)與(4,2)需求尚未滿足，因此回到步驟二，重新重原點出發，以另外一台車接送，如圖 5.6。

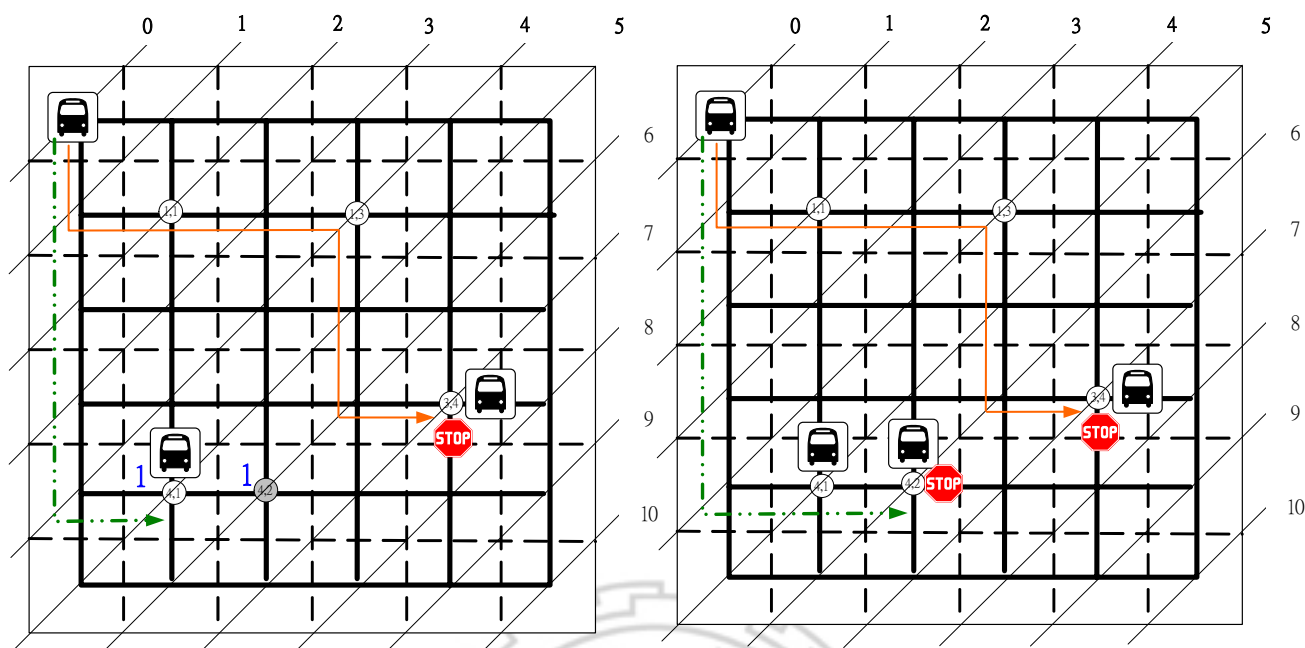


圖 5.6 所有需求點皆已滿足，情境結束

1. 發車行駛：車輛從左上方出發開始行駛。
2. 彎繞度計算：將所有點計算相對於第一點(原點)的彎繞度計算，可發現所有點的彎繞度相對於原點均為 1。
3. 判斷彎繞度限制：所有停靠點皆在彎繞度限制內。
4. 判斷相同彎繞點：所有彎繞點皆相同，因此選擇最近原點的距離點接送。
5. 選擇一點接送：沒有距離比(4,1)還接近原點，因此選擇(4,1)。
6. 判斷容量限制：車容量為 9，目前僅接送 1 人，因此尚未超過車容量，因此回到步驟三，如圖 5.6 左圖，由這輛車輛繼續搭載乘客，並同樣將(4,2)接送完畢，如圖 5.6 右圖，所有點皆已滿足需求，情境結束。

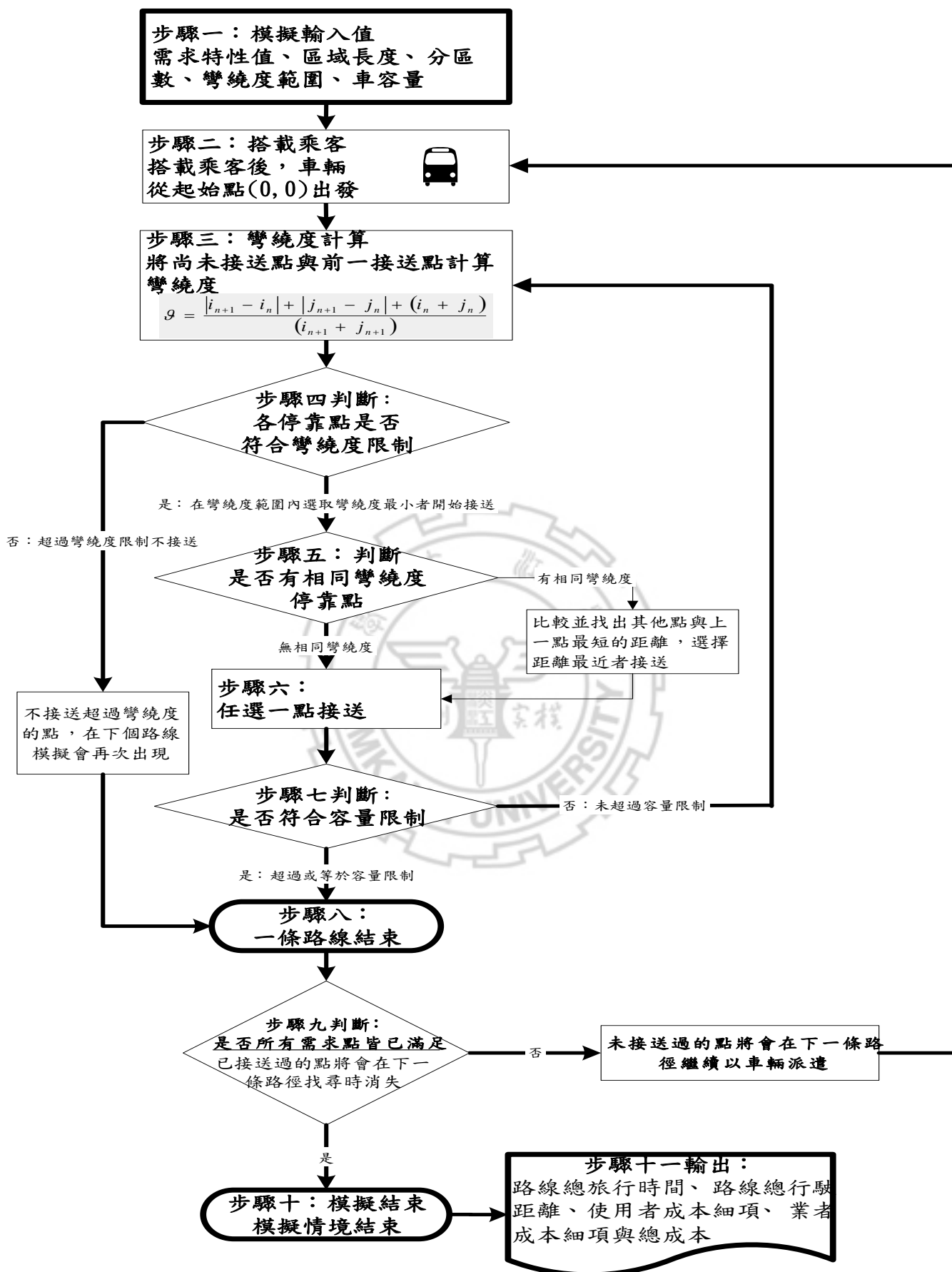


圖 5.7 模擬流程圖

5.2 模擬結果分析

模擬情境總共有 6240 種，如下圖 5.8 模擬變數關係表且任兩種變數之間都可以作深入分析，從中可發現需求密度、區域邊長、分區數、車容量與彎繞度限制，是影響到整個營運成本計算的重要關鍵。

需求密度與區域邊長，決定搭乘 DRT 之需求量，以及車輛行駛距離與乘客旅行距離的重要因素，而車輛距離會影響業者成本值，乘客旅行距離為乘客車上成本高低的關鍵，分區數影響每個分區長度，進而影響乘客步行距離，且分區數影響整個路網可以停靠的站數，車容量與彎繞度限制則為模擬情境中的限制式，影響路線數與車次以及總行駛距離，因此為各項成本的關鍵要素，模擬結果分析主要以這幾項分別對於乘客成本、業者成本、乘載率與車容量以及總成本作探討。所有模擬輸入值與總成本的影響如下表 5.1 所示。

表 5.1 模擬設定值對於各成本之影響

	總成本	業者成本			乘客成本		
		營運成本	車輛成本	行駛成本	車上成本	步行成本	懲罰成本
區域邊長	+	+	+	+	+	+	無關
分區數	+	+	+	+	+	--	+
需求密度	+	+	+	+	+	+	+
彎繞度	+	+	+	+	+	無關	+

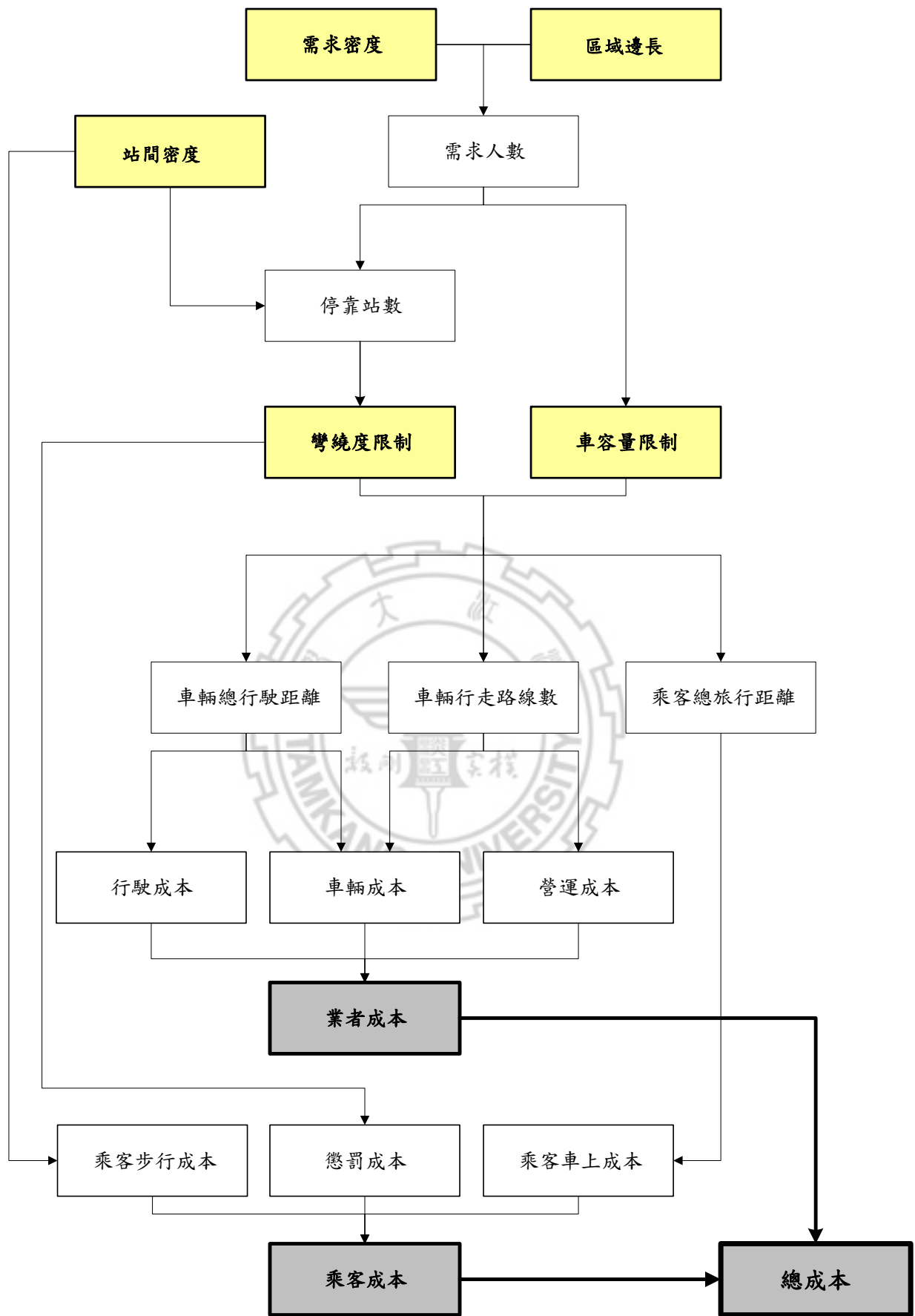


圖 5.8 各模擬變數與成本之間關係圖

5.2.1 乘客成本分析

乘客成本越小，表示系統服務水準越高，乘客運輸的方便性佳，由下圖 5.9 模擬結果，當彎繞度為 1 時，乘客成本無論分區數多寡或服務區域大小成本均為最小，是為乘客服務水準為最高的路線行駛方式；而彎繞度 1.2 在分區數為 6 以前，與彎繞度為 1 的乘客成本差距甚小。整體而言，乘客成本於分區數 7 以後，不同彎繞度的成本差距才逐漸提高，可了解在分區 7 以前彎繞度為 1 或 1.2 的服務水準為最高。區域邊長為 3 公里時，分區數 7 以前的乘客成本於不同分區數間成本差距較大，分區數 7 以後可發現各彎繞度的乘客成本漸趨平緩；區域邊長為 4 公里，分區數接近 9 時各彎繞度的乘客成本漸趨平緩；區域邊長為 5 公里，分區數於 10 以後，各彎繞度乘客成本對於分區數若增多，則乘客成本差距小。由此可知若服務範圍越廣，即使分區數越高，乘客成本對於彎繞度的敏感度將會變低，乘客成本隨分區數越密越大成本越小。

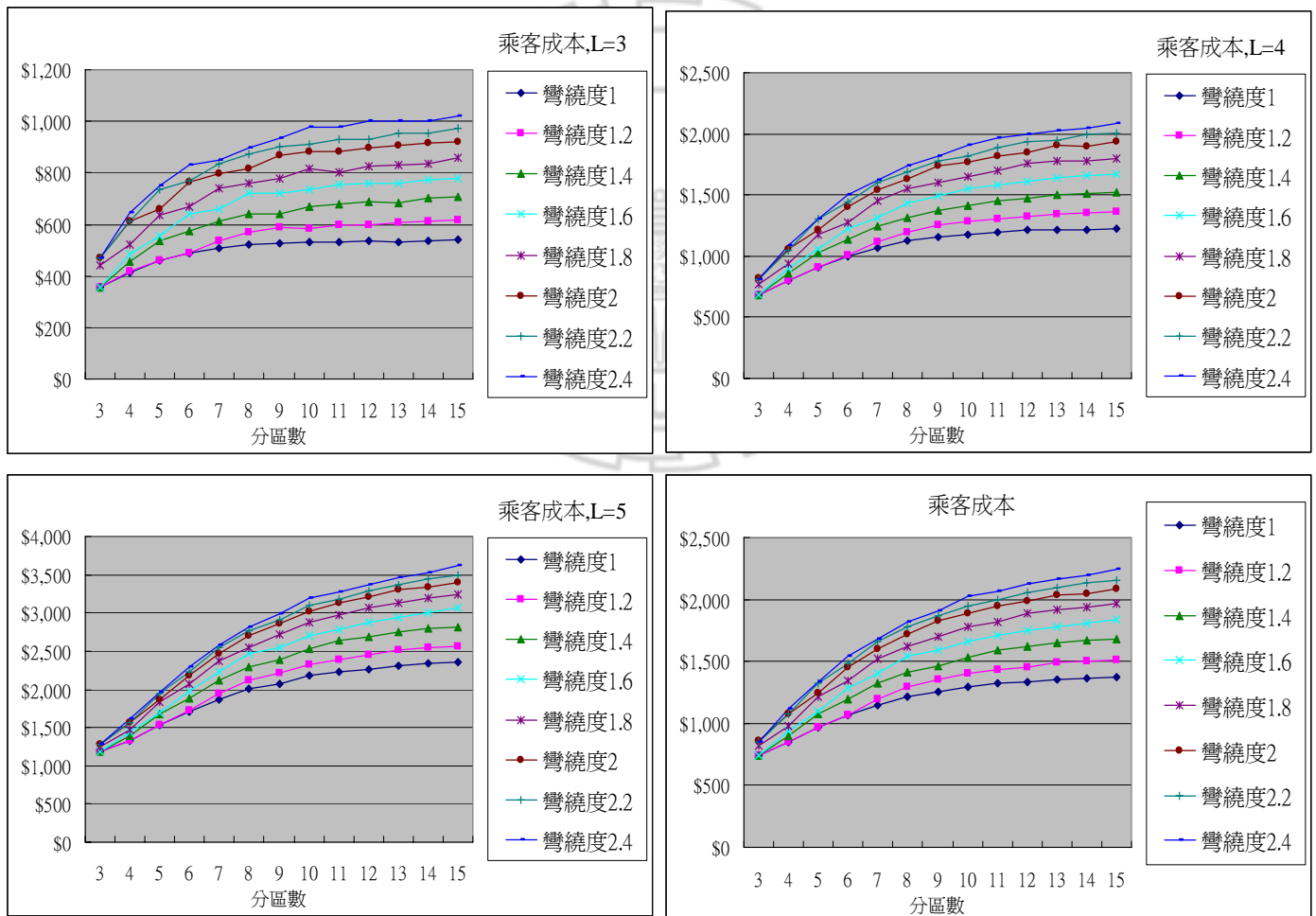


圖 5.9 區域邊長與乘客成本與彎繞度、分區數的關係圖

圖 5.10 為乘客成本與彎繞度、需求密度關係圖，彎繞度越大，需求密度越高，則乘客成本越高，當需求密度小如 0.5 km^2 ，彎繞度限制無論為高低，乘客成本最高與最低差距小，需求密度越高彎繞度如 2.5 km^2 ，則彎繞度影響乘客成本越明顯。

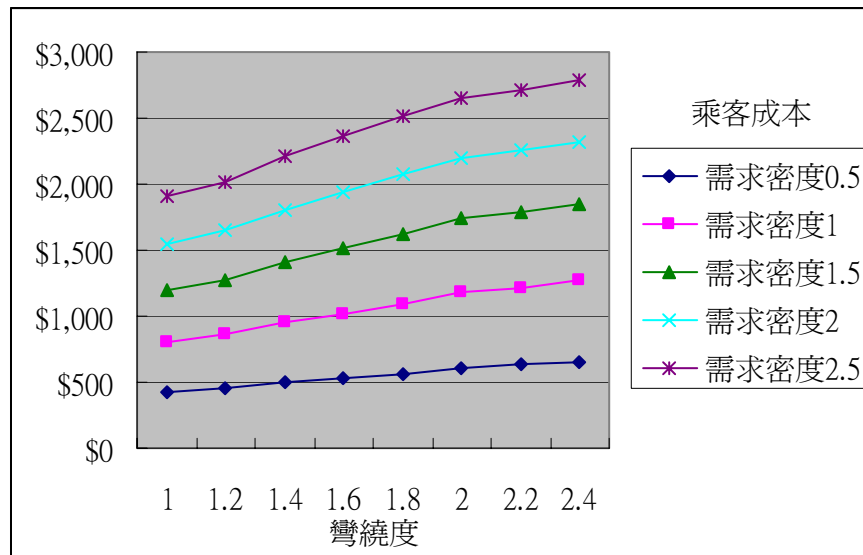
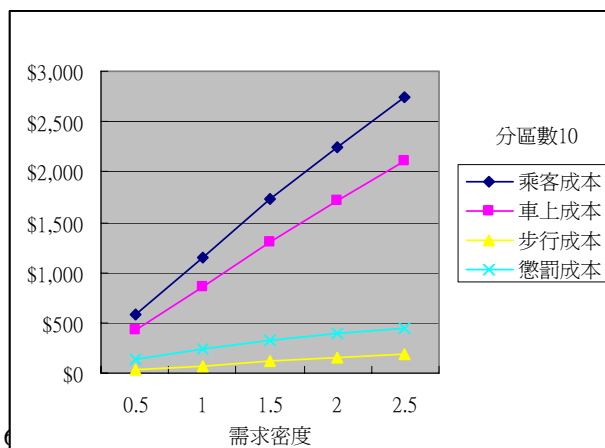
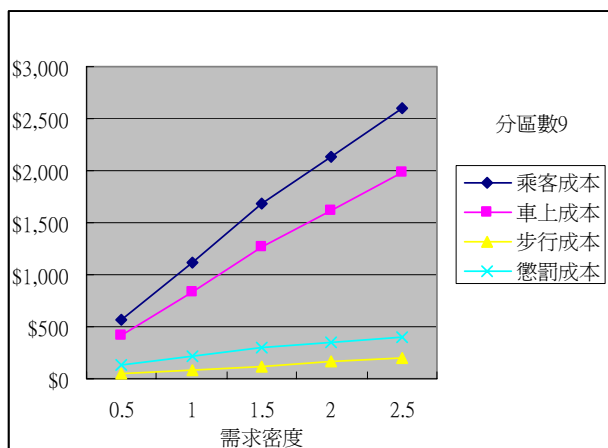
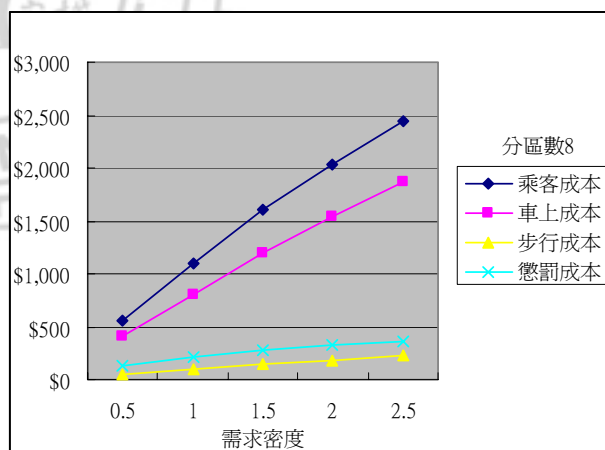
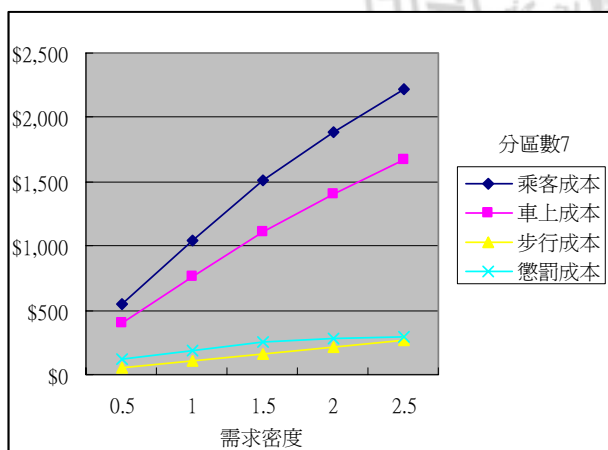
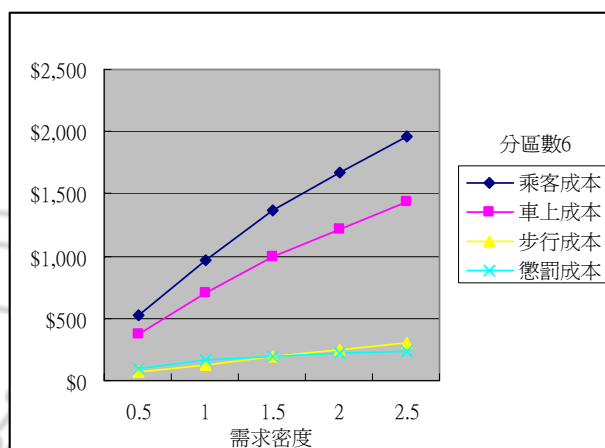
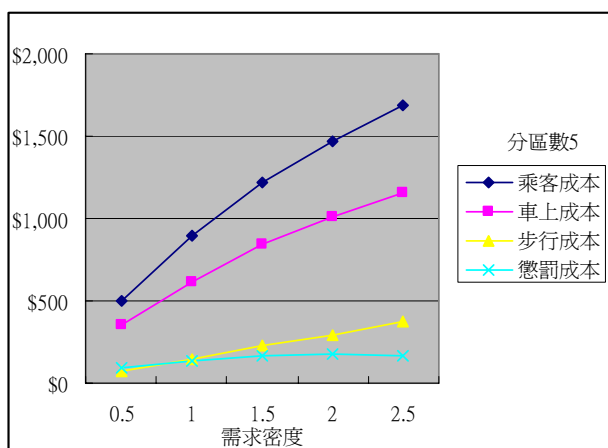
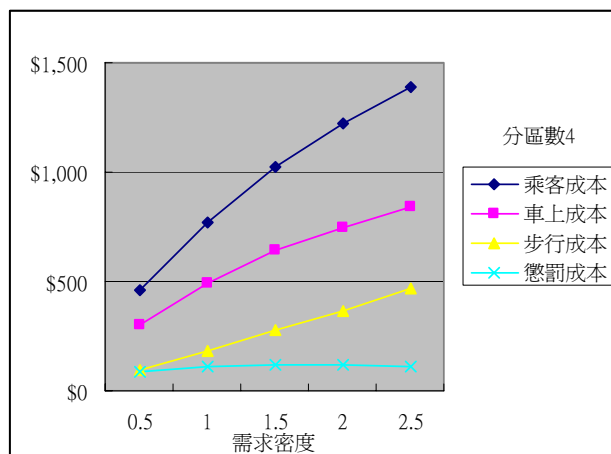
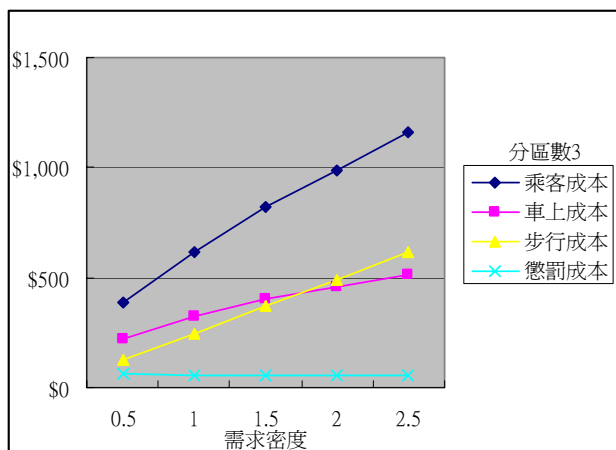


圖 5.10 乘客成本與彎繞度、需求密度關係圖

下圖 5.11 為各分區數的需求密度下，車上成本與步行成本、懲罰成本以及總成本關係圖，整體而言，隨需求密度增加，車上成本、步行成本呈現正向增加，懲罰成本則是與需求密度大小以及分區數多寡有關。分區數越少需求密度越低，停靠點少，則懲罰成本較低，而分區數越多，需求密度越大，需求量大，車輛可停靠站多，懲罰成本越高，如分區數為越密集時，無論需求密度多少，懲罰成本已明顯高於步行成本。

從分區數可看出步行成本與車上成本關係，步行成本與分區數呈反比，分區數越多步行成本越低，反之則越高，分區數越多，車上成本越高，因為步行距離變成旅客車上距離而增加車上成本故當分區數為 4 以後者，車上成本逐漸高於步行成本，尤其當需求密度增加時更為明顯，而懲罰成本則與需求密度以及分區數成正向關係，但變動較慢，直到分區 5 懲罰成本較步行成本，漸漸提高，但變化幅度不大。



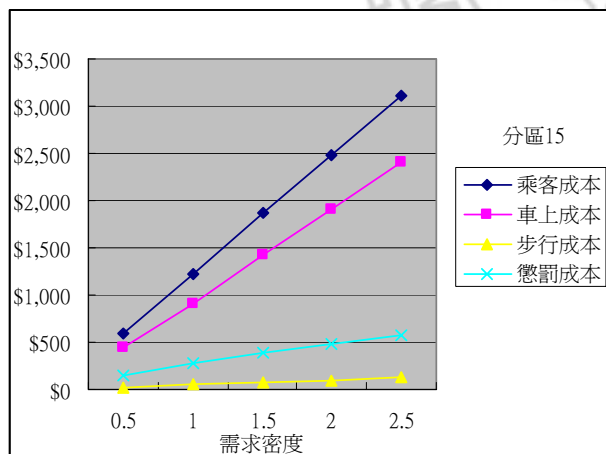
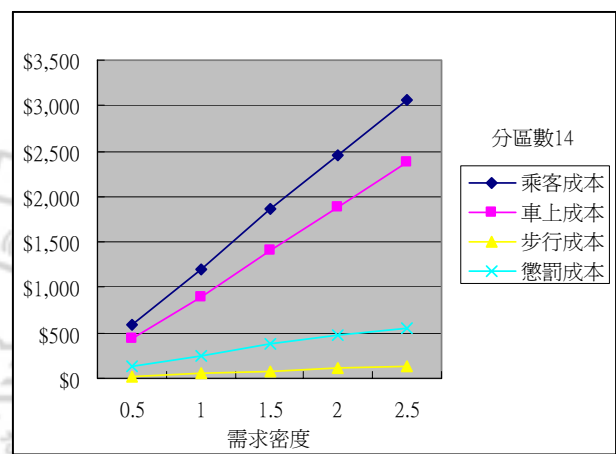
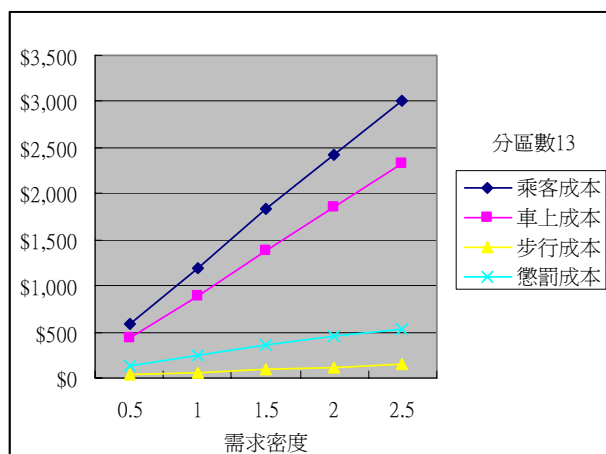
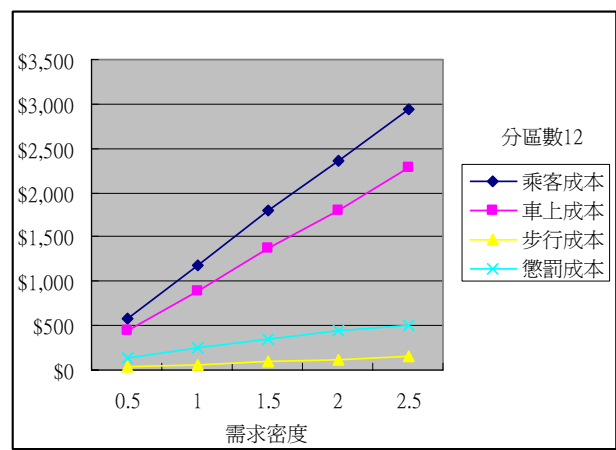
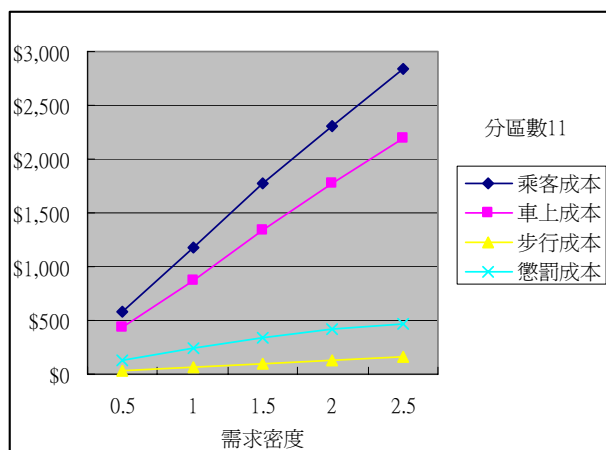


圖 5.11 各分區數需求密度與車上成本、步行成本以及總成本關係圖

下圖 5.12 為區域邊長為 3 公里與分區數、步行成本、懲罰成本以及車輛成本關係圖，當區域邊長為 3 公里時，車上成本與懲罰成本隨分區數越高而增加，而步行成本則是隨分區數增加而減少，可發現步行成本與懲罰成本交會點約在分區數 4 時，可以同時為此兩成本最低，而車上成本與懲罰成本則無交會。

區域邊長為 4 公里與分區數、步行成本、懲罰成本以及車輛成本關係圖，當區域邊長為 4 公里時，懲罰成本與步行成本交會點約在分區數 5 時，可以同時找兩成本最低點，而車上成本與懲罰成本則交會於分區數 3，車上成本與步行成本同時要找到最小值約於分區數為 5 可得兩者較小。

區域邊長為 5 公里與分區數、步行成本、懲罰成本以及車輛成本關係圖，當區域邊長為 5 公里時，車上成本與步行成本交會點約在分區數 3，可為兩成本最低點，而車上成本與懲罰成本則交會於分區數 7，車上成本與懲罰成本同時要找到最小值約於分區數為 7 可得兩者較小。由此可知當區域邊長度越長，則若要找步行成本與車上成本或步行成本與懲罰成本最小值，分區數則需越多，才能找到兩兩成本的相交點，找出成本最小值。



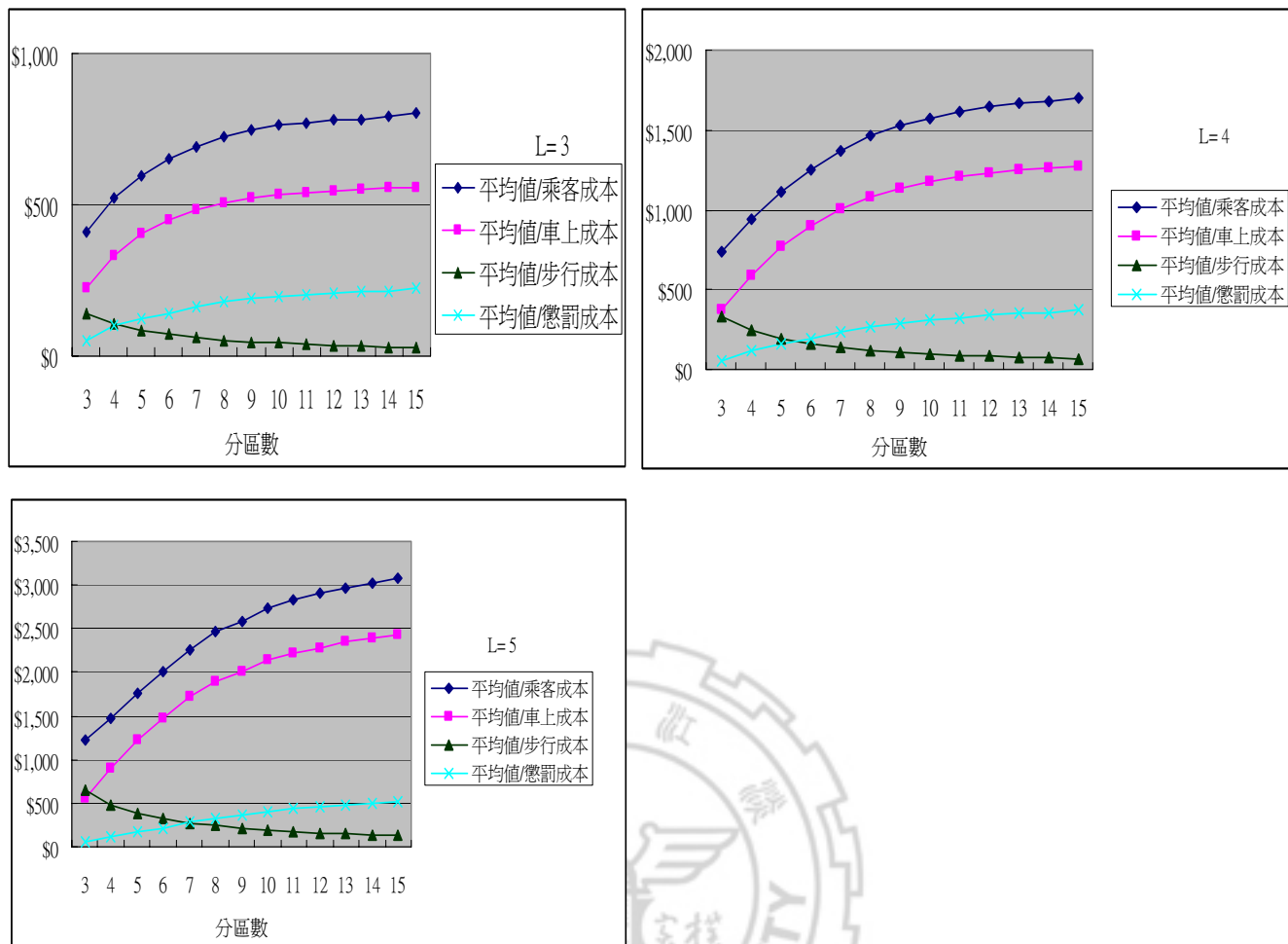


圖 5.12 各區域服務範圍下，分區數與步行成本、懲罰成本以及車上成本關係圖

下圖 5.13 為各分區數需求密度之乘客成本與業者成本關係圖，可發現分區數為 3 或 4 以內，乘客成本較其他成本為低，業者成本值則相當接近，未受分區數影響，當分區數 6 以上，則發現乘客成本逐漸較業者成本為高，因此當分區數越高，乘客成本將佔總成本比例越高。

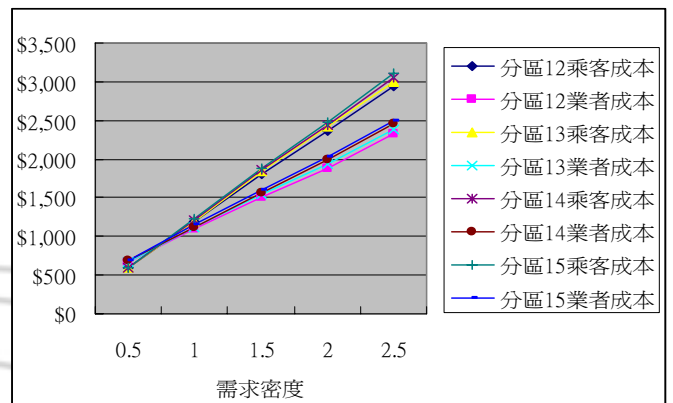
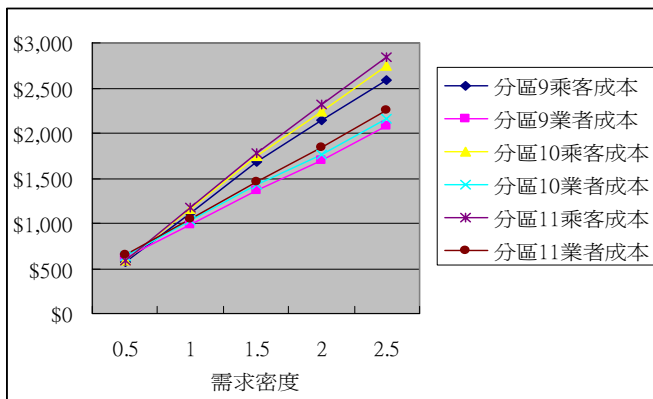
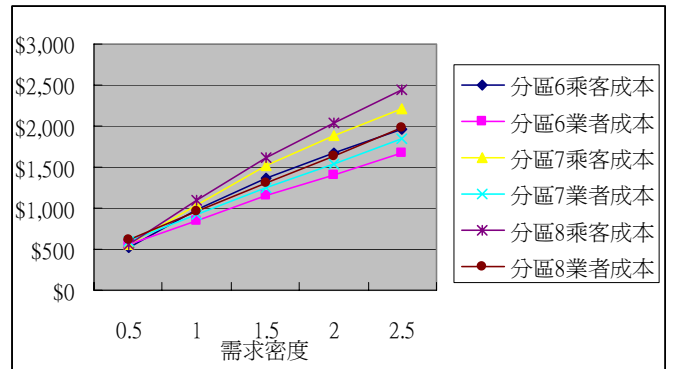
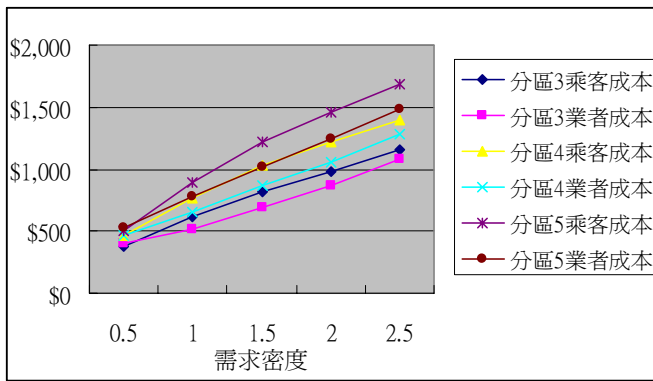


圖 5.13 各分區數需求密度之乘客成本與業者成本關係圖

5.2.2 業者成本分析

業者成本相對於乘客成本而言恰好相反，彎繞度限制越嚴謹趨近為 1 時，業者成本越高，派車數量越多，彎繞度限制越寬鬆，則派車數量減少，在需求量未超過車容量下，彎繞度越大，派車數量越少。

圖 5.14 業者成本與彎繞度、分區數關係圖，整體而言，無論區域長度多寡，分區數越多業者成本越高且差距越大，以彎繞度限制為 1 者差距最大，以彎繞度限制 1 而言，分區數越多時業者成本最高，且與分區數 3 成本最低相差甚高，彎繞度越大，成本相差越小，若彎繞度為 2.4，最高與最低成本差距不超過 200，表示彎繞度越大，對業者而言可減少營運成本支出。因此業者成本在彎繞度限制越寬鬆時(趨近於 2.4)，成本越低，且不同需求密度之間業者成本差距越小。

除此之外分區數越多，業者成本也將會增加，舉例如在同樣服務區域中，分區為 3，總停靠站有 9 個點，各需求者只能從這 9 個點中選擇下車目的地，若分區為 10，則有 100 個停靠點，需求者可以選擇更為接近乘客的目的地的停靠站下車，使得停靠站增加，派車車次也可能增加使得成本提高，由此可見分區數越多同時造成乘客成本與業者成本上升，使得總成本隨分區數增加，呈現正比的情況。

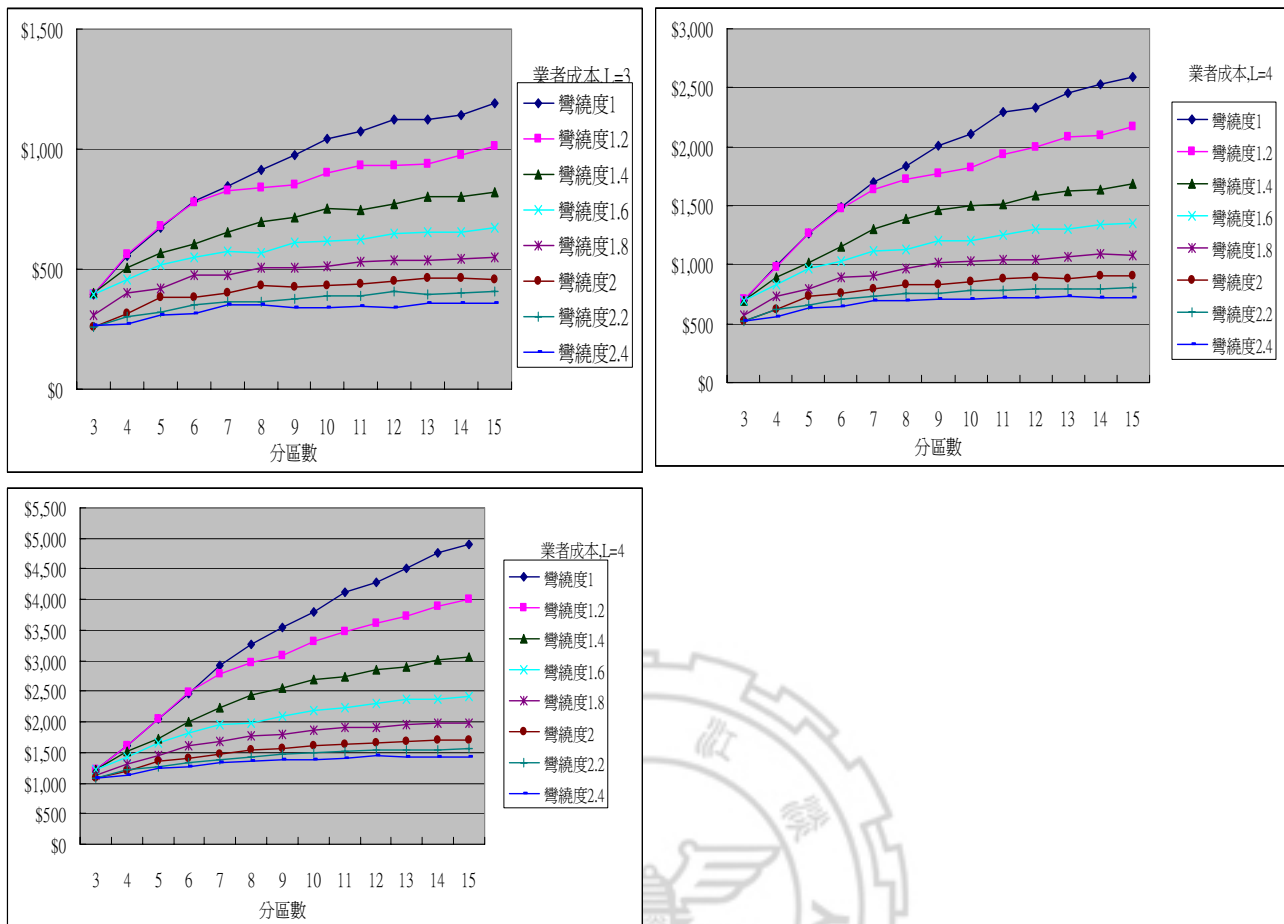


圖 5.14 各區域服務範圍下，業者成本與彎繞度、分區數關係圖

在不同區域服務範圍下，分區數與營運成本、車輛成本以及行駛成本關係圖，當區域邊長度越長，各項成本值也隨之增加，其中營運成本為固定不變，無論公司規模大小，只有跟路線數多寡有關，由於本次模擬中屬需求量低，因此路線數較少，當區域邊長為 3 公里，營運成本隨分區數急速增加，而車輛成本則至分區數 7 時，成本逐漸漸平緩上升，區域邊長 4 公里則可明顯看出分區數 4 之後，車輛成本已低於營運成本，到區域邊長為 5 公里，則車輛成本完全低於營運成本，由此可知，區域邊長度越小分區數越少，對於業者追求成本最小而言，屬於較好營運方式。

下圖 5.15 為針對不同區域邊長，業者成本與車容量以及需求量關係圖，當區域邊長為 3 公里，可發現所有車容量成本在不同需求密度下，業者成本差距不大，而當區域邊長度為 4 公里時，可發現當需求密度為 2 車容量為 9，成本最高，當區域邊長度為 5 公里此狀態更為明顯。由此可見當需求密度越高，使用車容量較高可降低成本，減少發車的次數。為總成本與需求密度、車容量關係圖，需求密度越高總成本也隨之提高，車容量越高總成本的差距越大，尤其需求密度為每平方公里 1 人的總成本差距小，到每平方公里為 2 人，業者成本差距開始拉大，並可發現車容量 9 的總成本遠高於其他車容量。

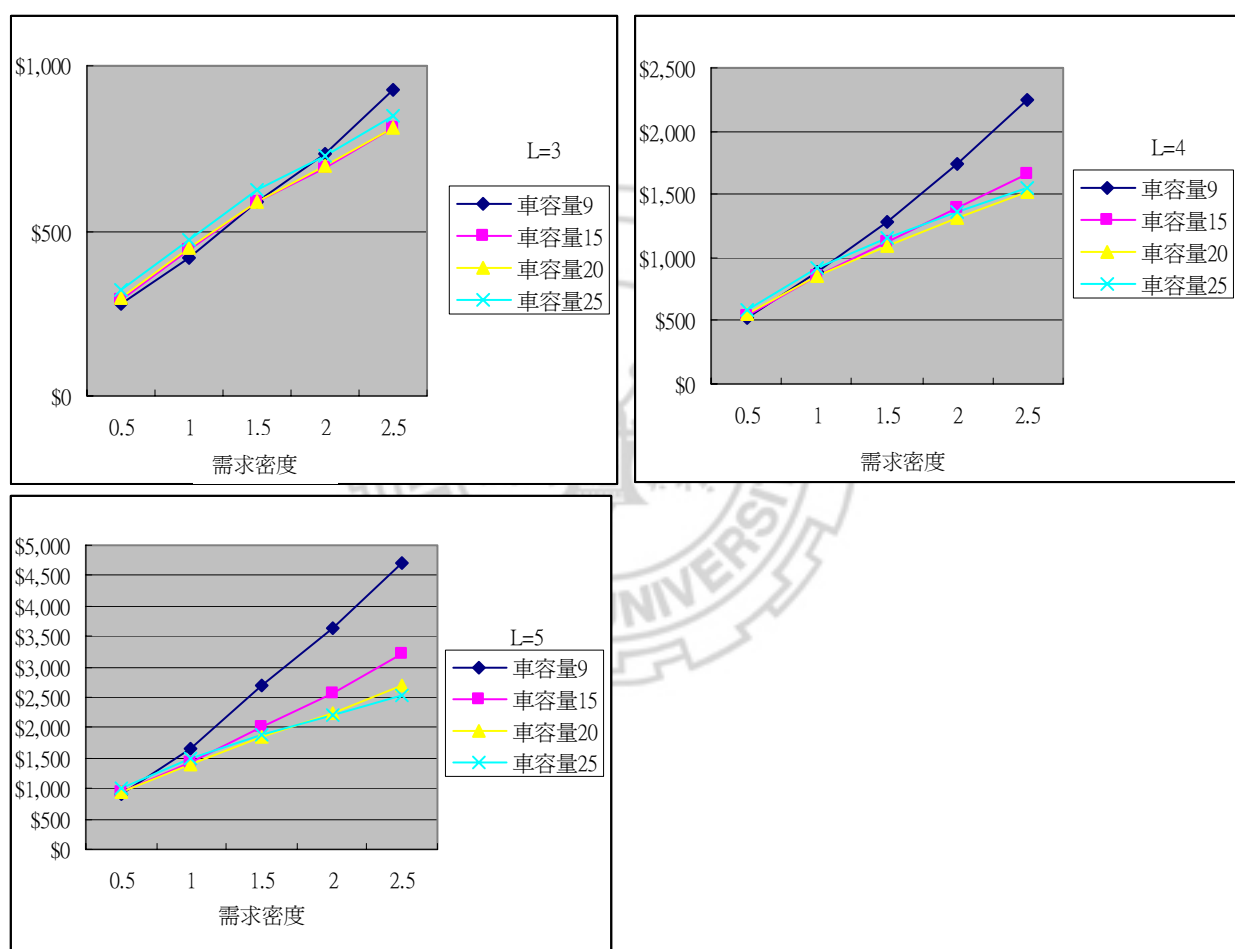


圖 5.15 業者成本於不同區域邊長，車容量與需求密度關係圖

由上述可了解降低業者成本方式，大都以車容量提高與彎繞度增加，為 DRT 營運繞行減少成本支出，然而，車容量實際仍是要與需求密度以及乘載率，以判斷適合座位數，彎繞度限制也必須與乘客成本作比對，否則彎繞度越大，對於乘客而言服務水準為降低，如此此種營運的可行性也減低，以下先以乘載率找出適合 DRT 運行的車容量。

車輛乘載率與車容量關係密切，車容量越小，單位需求密度，乘載率越高，車容量越高，乘載率越低，由下圖 5.16 乘載率與車容量彎繞度關係圖可發現，車容量為 9 的乘載率最高，而相同車容量下，分區數越少，無論車容量多寡，乘載率相對於分區數多者為高，因為分區數少，停站數少，需求於在同一站下車數量增加，因此整體而言分區數少乘載率較高。且需求密度越高，相同車容量下總成本也越大，而分區數與需求密度以及總成本為正比。而當彎繞度越大時，總成本有可能會提高，但相對而言乘客成本裡懲罰成本會增加，乘客車上時間成本也會增加，使得總成本會越高，但彎繞度越大，會使車輛乘載率大幅提升，業者成本也因乘載率上升，派車次數縮減，使得業者成本將會隨之減少，因此雖然乘客車上時間增加造成服務水準下降，但若業者減少的成本無法抵銷乘客成本因彎繞而增加的懲罰成本與車上時間成本，整體而言，總成本將會上升而非下降。

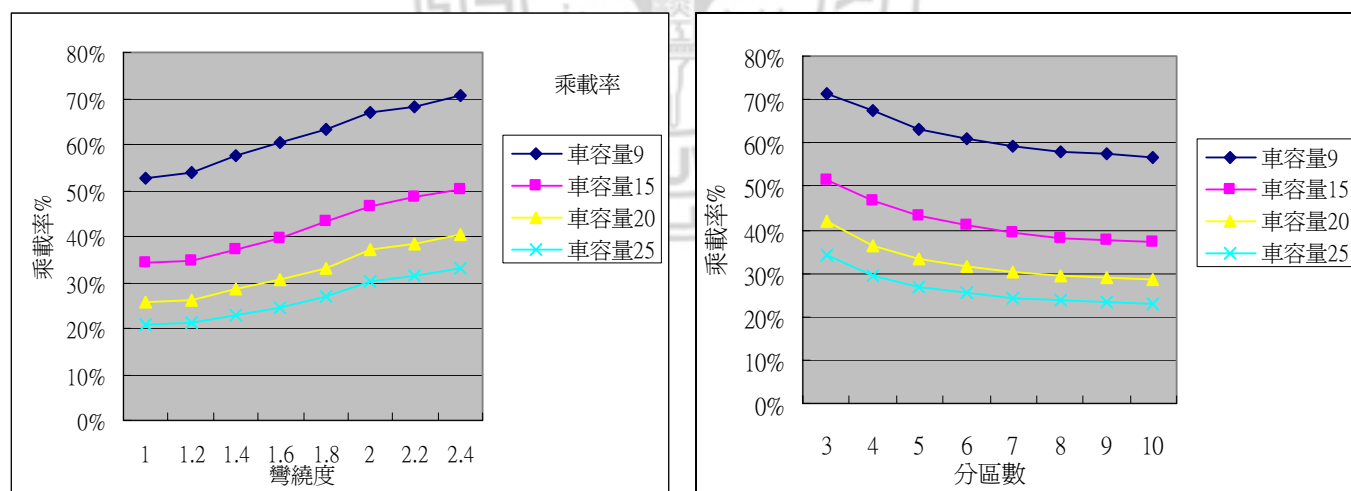


圖 5.16 乘載率與彎繞度、車容量關係圖〈左圖〉乘載率與分區數、車容量關係圖〈右圖〉

5.2.3 總成本分析

圖 5.17 可發現區域邊長度越短，車容量之間總成本差異較小，當區域邊長度越長，車容量之間成本差異則會逐漸拉大，尤其若區域邊長越長，若車容量座位數若以最小 9 人座營運，成本高於其他車容量，因此區域越長且需求密度越高，車容量則會傾向使用一般公車系統的座位數，較為適當。

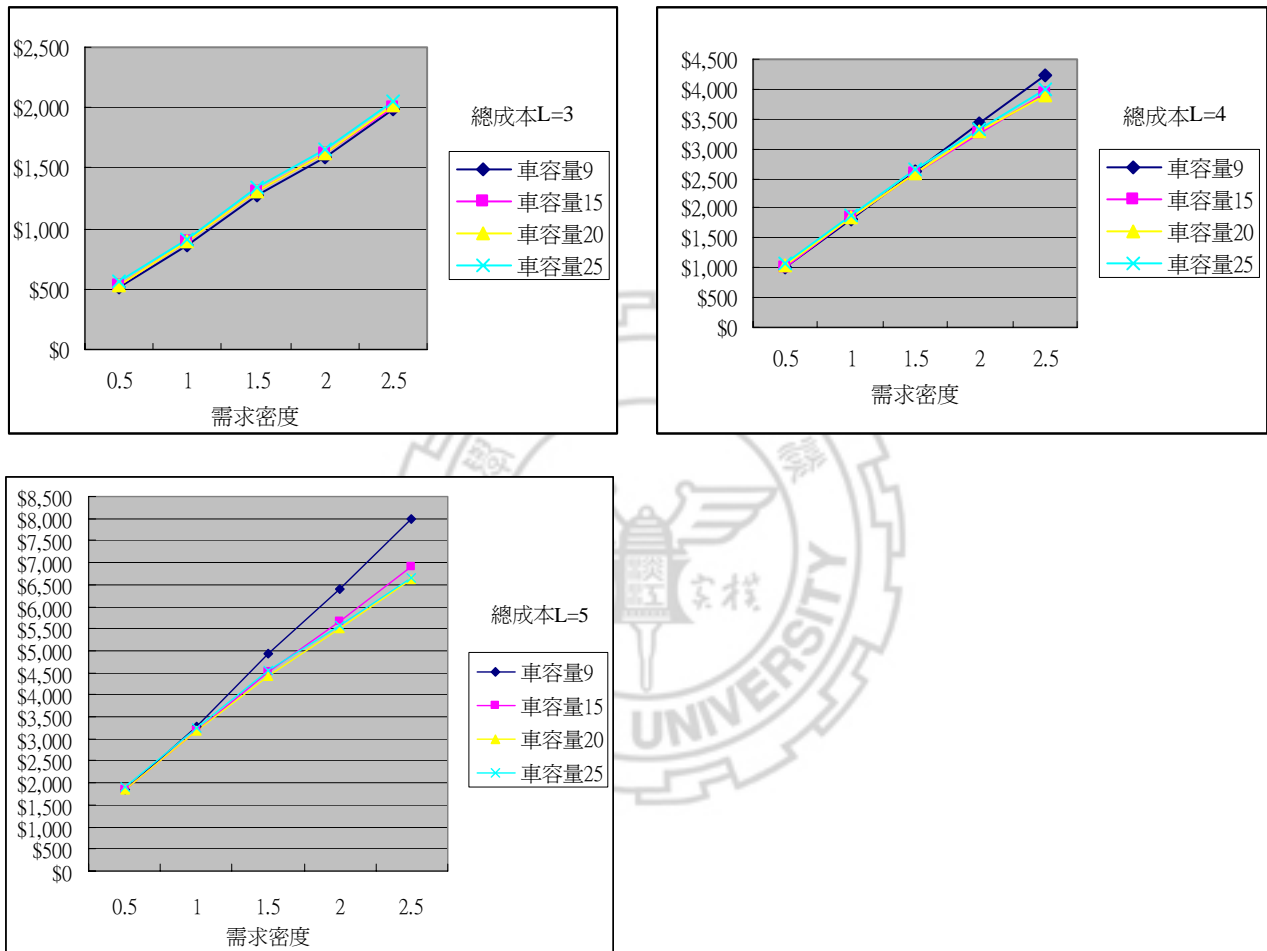


圖 5.17 各區域邊長度不同需求密度，與車容量總成本之關係 1-2-5

以彎繞度與總成本相較，可知彎繞度限制越寬鬆，總成本相對會減少，在業者成本中，彎繞度越大，可以使業者派車成本降低，使用越少車輛滿足所有需求點的接送，若彎繞限制嚴謹，如彎繞限制為 1，無論區域邊長多少，都是總成本最高的如下圖 5.18，但彎繞度為 1 則是服務水準最好的接送方式，每個使用者都不會有彎繞，也就無彎繞的懲罰成本，每個使用者都是以最短距離的方式直接接送至目的地，因此雖然總成本最高，但是服務水準則是最好，但業者成本卻最高。

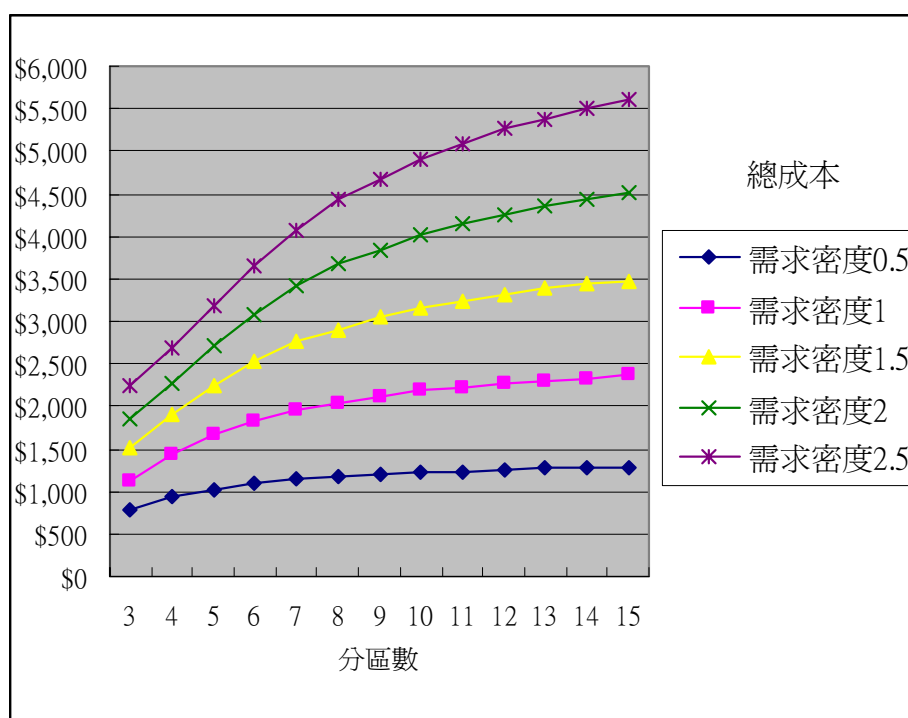


圖 5.18 總成本與分區數、需求密度關係圖

整體而言彎繞度與分區數的關係呈現反比，彎繞度限制越寬鬆，總成本將會越小。隨著分區數增加，彎繞度與總成本也是呈正比。由下圖 5.19 可知彎繞度為 1 與 1.2 時，在分區 3、4、5、6、7 的總成本幾乎相同，因此若服務區域的分區在 7 以下，彎繞度為 1 或 1.2 的總成本差距不大，但是總成本相較於其他彎繞度而言為偏高，這是由於以使用者服務品質而言，彎繞度越小，服務品質越高，使用者成本越低；彎繞度越大，所使用的車次會越少，業者成本越低。另無論服務區域大小，在分區數 5 以下，各彎繞度之間總成本差異並不大，由此可知，無論服務範圍大小，若分區數越低，彎繞度影響總成本則越不明顯。

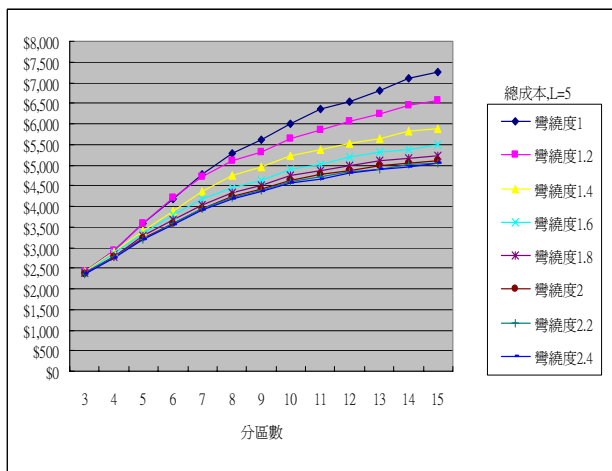
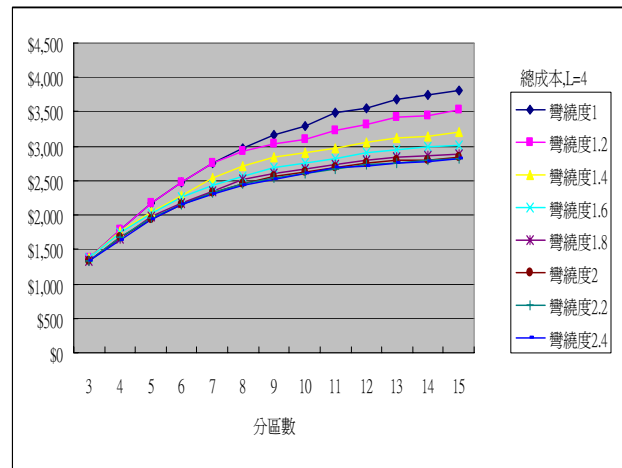
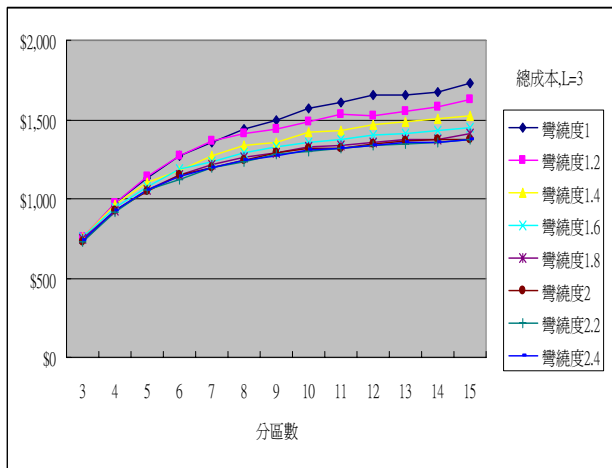


圖 5.19 各服務範圍總成本與分區數與彎繞度關係

下圖 5.20 發現需求密度為 0.5 或 1 時，各種車容量的車次很接近，但需求密度大於 1.5 可發現在不同車容量下，車次才開始有大為增加的趨勢。需求量越小，在不不論車容量多寡，每種車容量車次均很少，當需求量增加時，車容量少將較車容量高的需要增加較多車次，增加車輛成本，提高業者成本，圖中可發現需求密度 2.5，車容量 20 或 25 車次差距不大，表示需求量尚未超過車容量 20 或 25 的車輛需求。

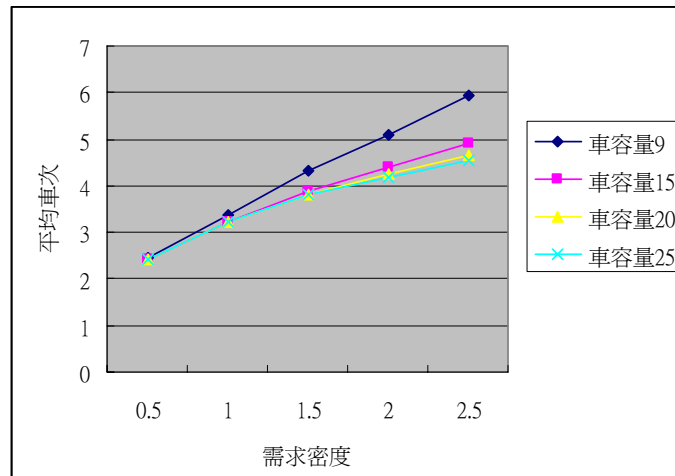


圖 5.20 需求密度、車容量與車次關係圖

下圖 5.21 總成本與車容量、分區數關係圖，可發現若區域邊長度越長，分區數越低總成本越高，當區域邊長為 3 公里，分區數為 3，無論車容量多寡，相較於其他區域邊長總成本為最低，且分區數達 6 以上總成本值相當接近，且整體而言，車容量從 9 至 25 的成本值變化不大。若區域邊長為 4 公里，無論車容量多寡，分區 3 總成本最低，而就分區數為 6 以內者，車容量 9 到 25 的總成本變化，可看出成本有逐漸平緩增加的趨勢，且分區 6 至分區 15 成本也漸漸可以看出各分區成本狀況，分區數影響總成本的差距越小。區域邊長為 5 公里，可發現整體而言，無論分區數多寡，車容量 9 的總成本遠高於其他車輛成本甚多，由此可知，當區域邊長度越長，各分區數與車容量之間的成本差異也更為明顯。

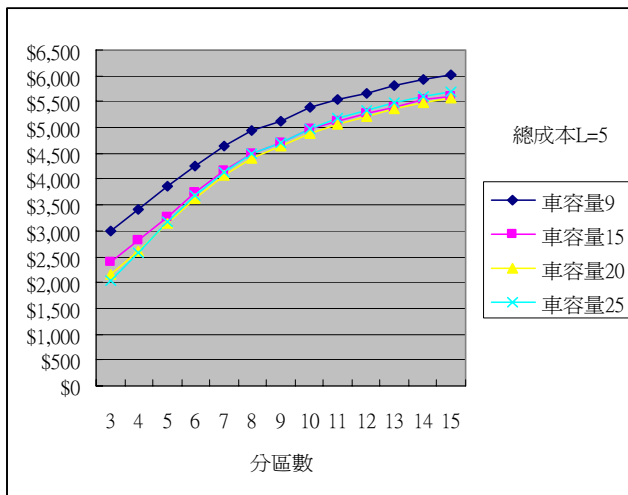
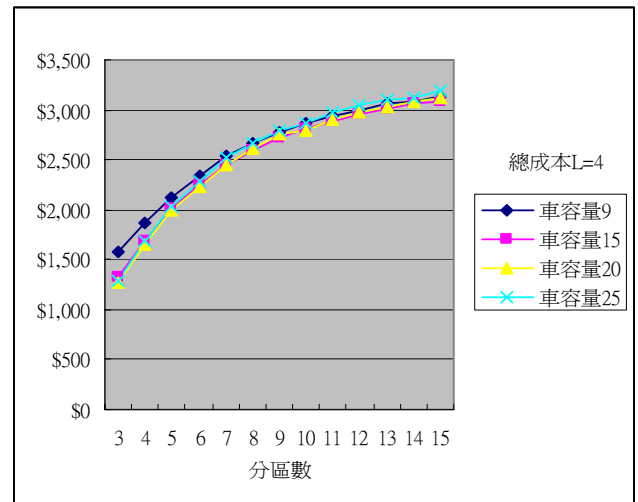
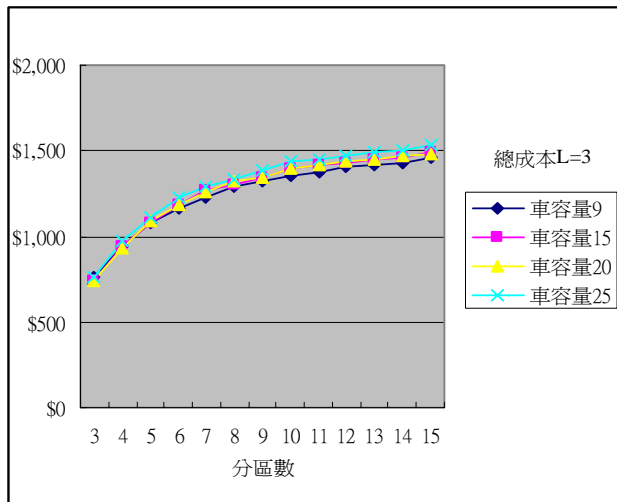


圖 5.21 各區域邊長之總成本與分區數、車容量關係圖

下圖 5.22 區域長度為 3 公里，當分區數越少，當需求密度越小，成本越高，表示需求量越小，每人的總成本越高。且當分區數越密集，每人總成本也越高，但差距逐漸縮小，也表示分區數越多，越及門的服務，平均每人總成本雖越高，但是在一定站間密度下，每人總成本會逐漸趨於穩定。

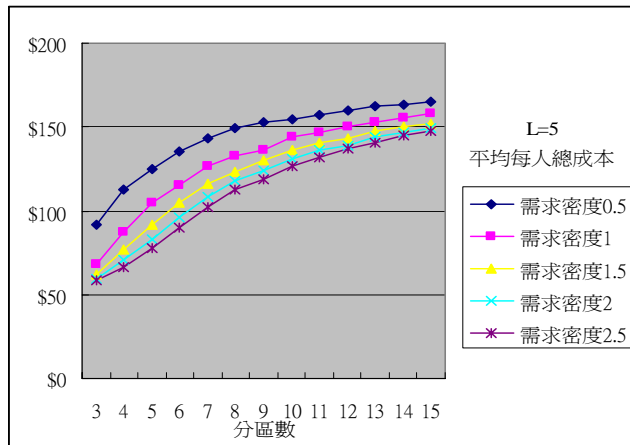
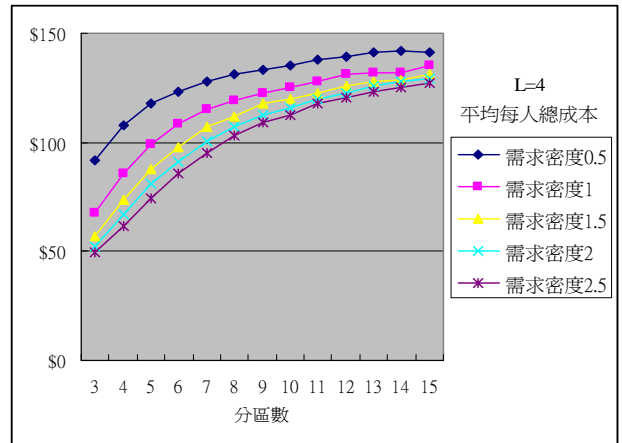
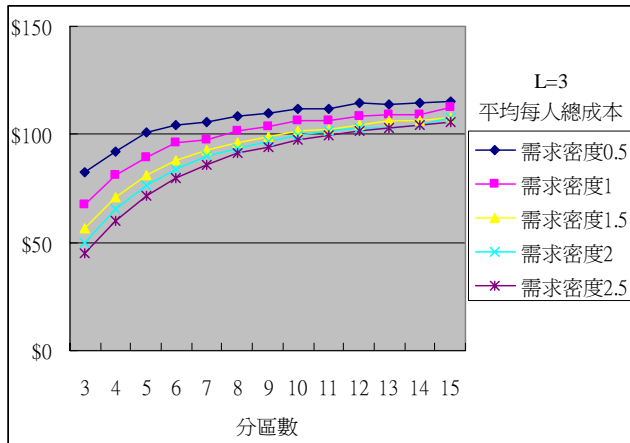


圖 5.22 各區域邊長之平均每人總成本與分區數、需求密度關係圖

5.3 敏感度分析

根據第四章 DRT 營運成本函數公式推導過程中，可知各變數、參數與總成本之間的關係，並說明當車輛容量與車輛行駛速度等參數增加時可降低業者與乘客成本，故與總成本呈負向關係；其餘參數（如：懲罰價值、與車內、步行時間價值等）價值增加時皆會使總成本增加，與總成本呈正向關係。本研究車上時間價值以及步行時間價值設定，參考林聖偉(2005)需求面 DRT 時間價值相關分析，但懲罰價值與 DRT 車輛行駛速度，由於目前國內並無相關研究調查值，因此本研究參考國道客運設定邱裕鈞(1999)，將轉乘懲罰成本 50 元設定為 DRT 的懲罰價值，而車輛速度則以一每小時平均值 20 km 帶入計算，在此分別將懲罰價值與車輛行駛速度做敏感度分析。

一、 懲罰價值

本次模擬結果了解不同服務範圍與需求密度下，經過各項參數設定，模擬得出各種情境下之車容量、彎繞度、車數以及營運成本項目。由於懲罰價值為影響營運成本的重要關鍵因素之一，彎繞度於懲罰價值關係密切，懲罰價值越高，表示乘客對於彎繞以及旅行時間敏感度較大，乘客對於彎繞度容忍度低，較注重車內時間，彎繞度限制較越趨近於 1；相反若懲罰價值越低，則表示乘客對於彎繞容忍程度較高，彎繞度限制可較小，因此若在相同的需求密度下，乘客一旦產生彎繞將會使乘客成本與總成本上升幅度大，影響系統服務水準與整體營運方式。此針對懲罰價值作敏感度分析，以服務範圍與需求密度對懲罰值進行敏感度分析，以原先設定值為基礎，上下增減 90%，分析懲罰值於不同的區域長度以及需求密度對總成本之影響。以下針對不同營運情境來對懲罰值進行分析。

由下圖 5.23，舉例說明當服務範圍為 16 平方公里，可發現各圖中以總成本而言分區數 3 總成本最小，其次為分區數 7、分區數 10 與分區數 13，由下圖(A)可知分區數 13 彎繞度較大，相對於總成本增加幅度也增大，其他分區數則斜率差不多，總成本上升幅度差異不大。圖(B)，在此模擬中，分區數 3 無彎繞度，因此總成本並不會隨之上升，分區數 13 總成本則上升幅度最大，且當懲罰值越低，相對於其他分區數而言，總成本也會較低，但懲罰值越高，總成本提升幅度也較大。由此可知當分區數越大、需求密度越大時，總成本因懲罰值而變動幅度越大。

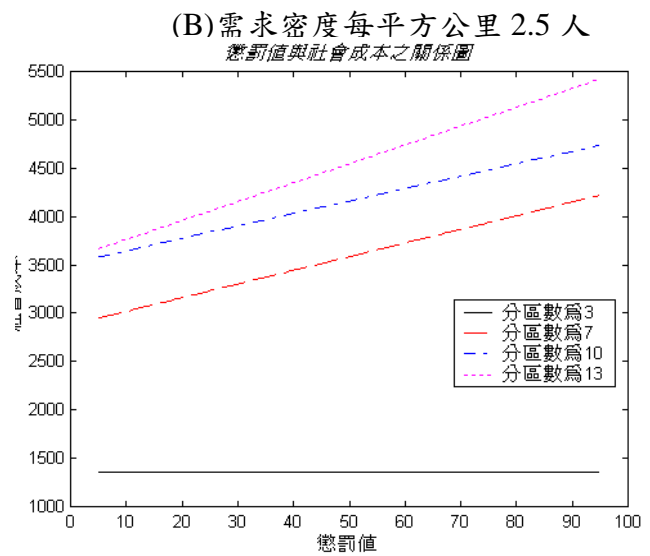
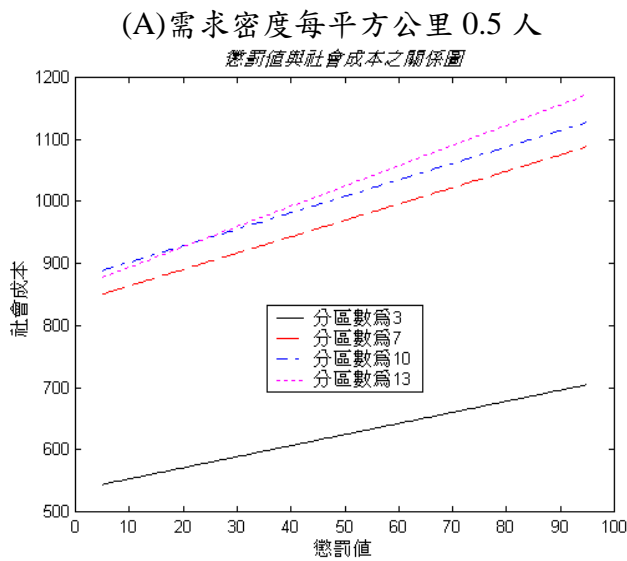


圖 5.23 懲罰值與總成本關係圖

二、 行駛速度

本研究對於車輛行駛速度是以一平均值帶入計算，但實際上車輛於各路段的行駛速度各有不同，因此針對行駛速度作一敏感度分析如圖 5.24，當行車速度越慢，乘客車上時間增加，乘客成本越高；行車速度越快，乘客車上時間越低，總成本乘客成本越低。

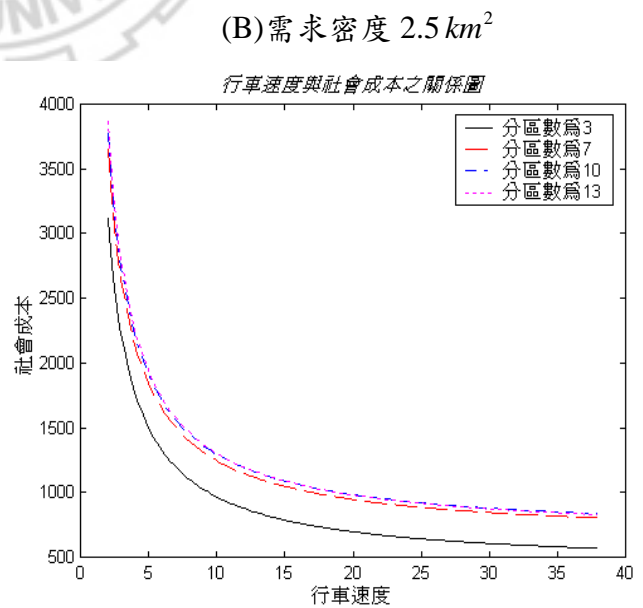
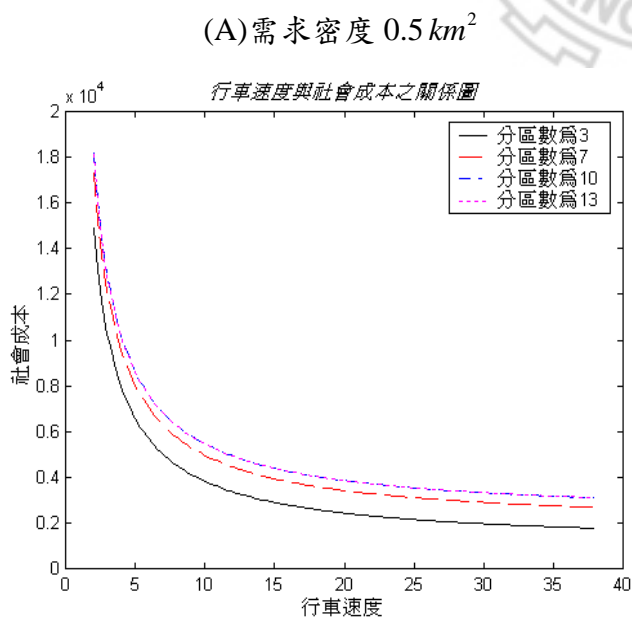


圖 5.24 懲罰值與總成本關係圖

5.4 各情境營運操作型態

由於直接選取總成本最低，可能情境較為偏頗，因此本研究以總成本由小到大排序，並分為上下兩部分，上半部總成本較小，下半部總成本較高，取上半成本較小的分析將成本大的可能情境刪除，再將上半部平均，針對成本小的可能集群找代表性營運型態。以下針對具有代表性總成本，找出與其差異較小的成本，在找尋過程中分別以使用者與業者的角度去作進行分析，服務水準高：彎繞度界於 1 ~ 1.6，服務水準低：彎繞度界於 1.8 ~ 2.4。

使用者成本最低找尋情境中 DRT 的營運型態如表 5.2，使用者成本最低所選出來的營運型態，服務面積為 9 平方公里下，需求密度低，無論選擇服務水準較高或服務水準低的方式營運，車容量座位數為 9 人座，站間距離約 0.5 公里；若服務範圍擴大為 25 平方公里，無論服務水準高或低營運，車容量均為 20 人，站間距離為 1 公里；這也突顯需求密度越小，服務水準高或低來營運，對使用者差別不大，另若密度較高時，車輛需要較大容量，且若提供服務水準較高的服務則站間距離較近，以節省乘客步行時間。



表 5.2 使用者成本最小之 DRT 營運型態

服務範圍 9 平方公里	需求密度每平方公里 0.5 人		需求密度每平方公里 2.5 人	
	服務水準較高	服務水準較低	服務水準較高	服務水準較低
車容量(座位數)	9 人座	9 人座	15	20
站間距(公里)	0.50km	0.50km	0.50km	0.60km
服務範圍 25 平方公里	需求密度每平方公里 0.5 人		需求密度每平方公里 2.5 人	
	服務水準較高	服務水準較低	服務水準較高	服務水準較低
車容量(座位數)	20	20	25	25
站間距(公里)	0.80km	0.80km	0.80km	0.83km

若以業者成本最小而言，服務面積為 9 平方公里，需求密度低，因此業者選擇車容量較小者營運，若提供服務水準較高之服務，則站間距為 0.5 公里，若提供服務水準較低服務，則站間距離較遠，將可使車輛總行駛距離縮短，節省行駛成本。若密度較高無論服務水準較高或較低營運，站間距為 0.6 公里為主；若服務面積為 25 平方公里，以服務水準較高營運，站間距為 0.83 公里，若以服務水準較低者營運，彎繞度越大，站間距可達 1 公里，若密度越大，則車容量以 25 人座為主，站間距則為 0.83 公里。

表 5.3 業者成本最小之 DRT 營運型態

服務範圍 9 平方公里	需求密度每平方公里 0.5 人		需求密度每平方公里 2.5 人	
	服務水準較高	服務水準較低	服務水準較高	服務水準較低
車容量(座位數)	9 人座	9 人座	9	15
站間距(公里)	0.50km	0.60km	0.60km	0.60km
服務範圍 25 平方公里	需求密度每平方公里 0.5 人		需求密度每平方公里 2.5 人	
	服務水準較高	服務水準較低	服務水準較高	服務水準較低
車容量(座位數)	20	20	25	25
站間距(公里)	0.83km	1.00km	0.83km	0.83km

最後對總成本最低而言，可發現使用者成本較低以及業者成本較低的情況會出現在總成本最低的營運型態中重複出現，主要以總成本最低為考量時，有些情境會是對使用者較有利且總成本又較低，有些情境則是對業者較有利，因此以總成本最低的營運狀況而言，會有使用者與業者兩種不同有利的情況產生。

表 5.4 總成本最低之 DRT 營運型態

服務範圍 9 平方公里	需求密度每平方公里 0.5 人		需求密度每平方公里 2.5 人	
	服務水準較高	服務水準較低	服務水準較高	服務水準較低
車容量(座位數)	9 人座	9 人座	15	20
站間距(公里)	0.50km	0.60km	0.50km	0.60km
服務範圍 25 平方公里	需求密度每平方公里 0.5 人		需求密度每平方公里 2.5 人	
	服務水準較高	服務水準較低	服務水準較高	服務水準較低
車容量(座位數)	20	20	25	25
站間距(公里)	0.80km	1.00km	0.80km	0.83km

5.5 小結

- 乘客成本

乘客成本含車上時間成本、步行時間成本以及懲罰成本，彎繞度限制與站間密度影響乘客成本甚大，因此營運時不同營運服務範圍面積所選擇的彎繞度限制大小與站間密度是影響乘客成本的重要關鍵。

由乘客成本分析可知，彎繞度限制與站間密度影響乘客成本甚大，因此營運時所選擇的彎繞度限制大小與站間密度是影響乘客成本的重要關鍵。就車上時間而言，站間密度越低，站與站間行車距離較遠，平均車上成本時間成本較少，如圖 5.25；反之站間密度越大，乘客越接近及門目的地，行車距離較長，平均車上時間成本較長。當彎繞度限制越趨近於 1，每輛搭載乘客之車輛所行駛路線，沒有經過任何彎繞，將每位乘客以最短距離接送至目的地，因此乘客旅行時間最短，車上時間成本最小。

就步行時間而言，站間密度越高，站與站間行車距離較近，乘客選擇下車地點越靠近目的地，車輛可停靠站越多，不同彎繞度影響乘客成本高低越明顯，使步行時間也會縮短，表乘客步行成本越低，相反當站間密度越低，車輛可停靠站數越少，彎繞度限制大小影響乘客成本越小，且當站間密度配合 DRT 服務範圍到達某一分區數後，步行成本影響乘客成本越小，車上成本影響越大。

就懲罰成本而言，彎繞度限制越寬鬆，懲罰成本越高，乘客成本就越高，反之彎繞度限制越趨近於 1，車輛無法行駛需彎繞之路線，因此無懲罰成本，乘客成本低，服務水準越高。

若以服務面積而言，在服務面積相同下，需求密度越小於則車容量使用 9~15 型式較多，且乘載率較高，運輸效率較好。服務面積越大，車容量越集中於 15~25 人以上，總成本較小，且需求密度越高，車容量也傾向使用座位數較多

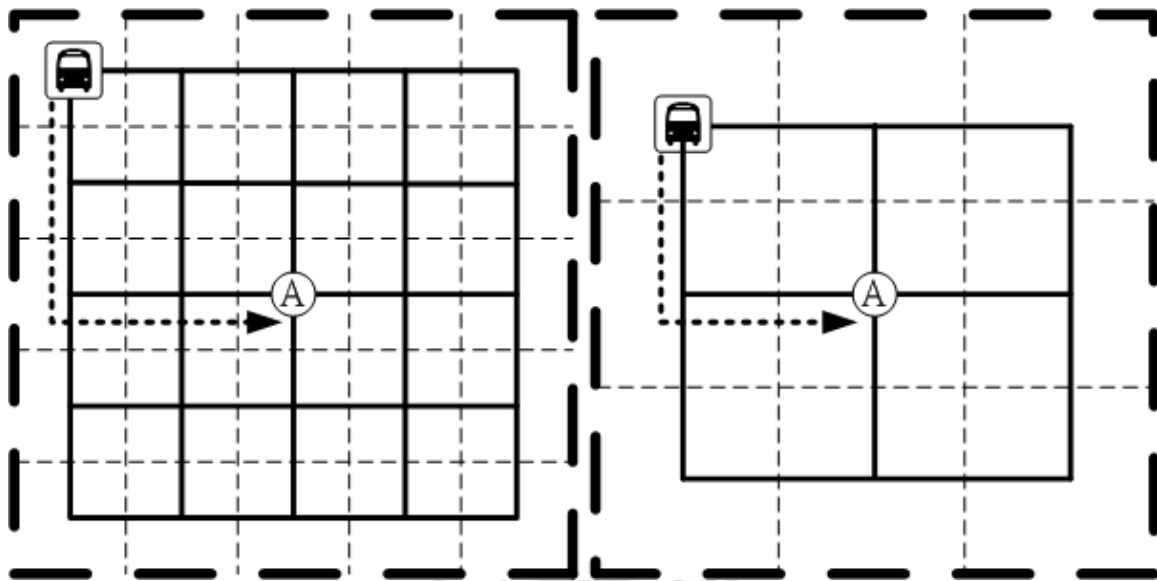


圖 5.25 站間距密度大小影響車輛行駛距離示意圖

- 業者成本

業者成本包含營運成本、車輛成本與行駛成本，車輛成本與行駛成本與總行駛距離有關，距離越短，業者成本越少，且行駛距離與彎繞度相關，限制越寬鬆，派車次數可減少，營運成本與車輛成本減少，總行駛距離也降低，業者成本會下降；反之彎繞度越嚴謹，則派車數需越多才可滿足需求。

站間密度越低，車輛行駛距離較短，業者成本較低；反之密度越高，乘客選擇停靠站將會越接近目的地，使得車輛行駛距離增加，業者成本較高。另在服務面積相同下，需求密度小，車容量使用 9~15 型式較多，乘載率較高，運輸效率較好；服務範圍越廣，需求密度越高，使用座位數較多者，總成本較低。影響業者成本最大的為車輛成本，於需求密度低，車輛成本越高，且在相同密度下，當分區數越多，總行駛距離越長，因此車輛成本所佔的業者成本比例漸漸降低。

第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 目前以台北市公車營運環境為成本分析之依據，車輛容量設定為 9~25 人座，以中小型公車為 DRT 提供之車型，由於中小型公車車容量較小，但操作彈性較普通公車大，因此可以提供服務滿足偏遠地區或市區旅客密集地，均為可行性的服務，只需有完善的營運規劃，即可將 DRT 服務擴展至各種需求環境，本研究即提供適合 DRT 營運型態的營運方式，以供所有發展 DRT 者參考之依據，且發展 DRT 可增加大眾運輸的使用率，並予更多有運輸需求者更具機動性與可及性的多元化大眾運輸服務。
2. 本研究以需求產生為主提供一對多的 DRT 營運服務，以半彈性路線與固定之停靠站為研究對象，配合 DRT 運輸服務特性，建立 DRT 服務營運型態與成本計算，營運路網則以方格型路網為基礎，撰寫 VB 程式以彎繞度與車容量限制，找尋合理行駛之路徑，提供營運成本分析。
3. 敏感度分析
 - 敏感度分析結果可知懲罰值越高，不但會提高總成本，更影響乘客搭乘 DRT 的意願，因此懲罰值的設定，須由更為精準的問卷設計，確立不同旅次需求者對於彎繞度以及旅行時間的敏感度，以建立更為多樣化的營運型態。
 - 行車速率越快，總成本越低，服務水準越高。
4. 乘客以站間密度越高，彎繞度限制越嚴謹，系統服務水準越高，乘客成本越低；若服務區域越廣，需求密度越高，若使用車容量較高之車型，總成本較低。當服務範圍越小，業者成本比例佔總成本較高，而服務範圍越長，需求密度越高，則使用者成本佔總成本比例將會超越業者成本。

5. 業者成本車輛成本與行駛成本與總行駛距離有關，距離越短，業者成本越少，彎繞度為行駛距離的重要關鍵，彎繞度限制越寬鬆，派車次數可減少，路線數也下降，使得營運成本與車輛成本減少，總行駛距離也降低，業者成本下降；反之彎繞度越嚴謹，則派車數需越多才可滿足需求，站間密度越低，車輛行駛距離較短，業者成本較低；反之密度越高，乘客選擇停靠站將會越接近目的地，使得車輛行駛距離增加，業者成本較高。
6. 服務面積於 9 平方公里內，需求密度介於每平方公里 2.5 人以下，車容量使用 9~15 型式可使乘載率較高，運輸效率較好；若服務範圍至 25 平方公里，且需求密度越高，車容量則需使用 20~25 人座，才不至於使派車次數太多而提高總成本。
7. 彎繞度限制越嚴謹為 1 與 1.2 時，在分區數為 3、4、5、6、7 總成本幾乎相同，因此分區數在 7 以下，彎繞度為 1 或 1.2 的總成本差距不大，但是總成本相較於其他彎繞度而言為偏高。
8. 一般而言彎繞度限制寬鬆而車次應當減少，但若此服務區域內分區數多，則不一定會比彎繞度限制大的派車次較多，這是因為分區數增多，總旅行距離也增加，且無論服務範圍大小，若站間密度越低，彎繞度限制影響總成本則越不明顯。

6.2 建議

1. 本研究對象以老人以及行動不便對象為主設定系統到站後平均的下車時間，日後研究可將需求特性多樣化，提供不同營運型態滿足不同的旅次需求。
2. 本研究所假設的公車行駛速度為一平均值，未考慮實際上公車再道路上可能受到交通狀況影響而非保持一定行駛速度，如上下午尖峰情況或交通號誌而產生各種不同行駛速度，而道路路網以方型網格方式與實際道路行駛之差距等，因此在未來研究中應將這些道路狀況加以考慮以得出更貼近實際情況精確結果。
3. 本研究所使用之路網以程式虛擬，並未加上動態路線設計，但若是要真的實行 DRT 運輸服務，即時的服務發展仍有相當大的發展空間，由以現在電腦科

技發達，未來配合全球衛星定位系統等高科技將可讓 DRT 服務更趨實用。

4. 有關於 DRT 路線設計問題，以往研究大都以 VRP 與 TSP 等設計應用，本研究則是以彎繞度限制作為規劃適當的路線行走方式，並非一定要找最短路徑，往後研究可以將此兩種路徑算法加以比較。
5. 由於 DRT 沒有固定發車時間也無固定班次，完全以需求產生時才開始進行車輛派遣，因此本研究的模擬假設為營運某段時間，未來研究可以實際搭配需求分析，將研究範圍擴大為營運週期，如此較可以符合實際營運狀況。
6. 本研究模擬以一對多的旅次型態為主，且只針對旅客下車作分析，探討單一方向的旅程，並計算營運成本，因此未來研究可以繼續以探討完整的營運模式，以得到更為完善的結論。



參考文獻

[中文文獻]

1. 丁迺龍，1995，捷運接駁小巴之研究，泰興工程顧問股份有限公司。
2. 台北市政府交通局，2004，聯營公車運價調整案之每車公里 18 項合理營運成本分析表，93 年 9 月。
3. 史習平，1995，全球定位系統、運輸地理資訊系統與無線電通訊整合之研究—應用於公車動態資訊與撥召系統，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
4. 中華民國運輸學會，1999，市區公車高潛力需求路線規劃與路線經營權開放制度之研究期末報告，台中市政府委託研究。
5. 向美田，1996，公車動態資訊與撥召系統之研究與建立-以金門縣為例，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
6. 朱家德，1997，中小型公車路線與服務策略規劃設計之研究，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
7. 李克聰、郭雪芬，1993，都市公車系統最佳混合車隊營運分析，中華民國運輸學會第八屆研討會論文輯，p.457-464。
8. 邱奕明，1992，公車路線調整準則與評估方法之研究，國立台灣大學土木工程學系研究所碩士論文。
9. 邱裕鈞，1999，線性軸輻路網接駁轉運最適整合模式之研究，國立交通大學交通運輸研究所博士論文。
10. 吳沛儒，2004，任務型共乘接駁計程車之規劃與設計，逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文。
11. 林聖偉，2005，需求反應運輸服務需求分析之研究—以醫療運輸為例，淡江大學運輸管理學系運輸科學研究所碩士論文。
12. 曾俊傑，1991，撥召公車路線設計之研究，國立交通大學交通運輸工程研究所碩士論文。

13. 黃如妙，1991，台北市發展小型公車系統之可行性，都市交通第 53 期。
14. 黃書強、魏建宏、李仕勤、辛孟鑫，2004，需求回應運輸系統績效評估之研究，2004 海峽兩岸智慧型運輸系統學術研討會論文集，中國、黑龍江、哈爾濱，2004 年 8 月 16-17 日，頁 424-431。
15. 黃頡，1999，市區公車高潛力需求路線之研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
16. 張有恆，1994，都市公共運輸，台北市：華泰書局。
17. 張有恆，1987，都市大眾運輸系統與技術，台北市：華泰書局。
18. 張學孔，最佳公車容量與成本特性之分析，運輸計畫季刊，20 卷 4 期，80 年 12 月，頁 393-406。
19. 遊進俊，1992，靜態撥召服務問題啟發式解法之研究，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
20. 龍天立，1976，固定路線—繞道式公車路線及班次安排方法研究，台北市：作者。
21. 藍武王，1980，運輸路網彎繞程度之評估方法，運輸計畫季刊，9 卷 1 期，69 年 3 月，頁 p31-45。
22. <http://www.tncg.gov.tw/> 台南市政府 最後更新日期 2004/08/15

[英文文獻]

1. Actions on the integration of Rural Transport Services(2003). Demonstrations Design and Implementation and Case Descriptions. ARTS Deliverable 3 v.02
2. Community Transport Association (2003) . A guide to demand responsive transport for rural community transport operators. The CTA Rural Good Practice Guide series No 7.
3. Dye Management Group (2001) . Planning for transportation in rural areas. Federal Highway Administration in Cooperation with the Federal Transit Administration Inc. 500 108th Avenue NE Suite 1700 Bellevue, WA 98004.

4. Enoch Marcus, Potter Stephen, Parkhurst Graham & Smith Mark (2004) . Intermodo : Innovations in demand responsive transport. Department for Transport and Greater Manchester Passenger Transport Executive.
5. Eloranta, P. (1997) . Recommendations concerning the market, operation, organisation and business case of DRTS. SAMPO, TR1046.
6. Hunsaker, B. & Savelsbergh, M. (2002) . Efficient feasibility testing for Dial-a-Ride problems. *Operations Research Letters*, Vol. 30, pp.169-173.
7. Katherine Hunter-Zaworski, (2003) Transit Capacity and Quality of Service Manual 2nd Edition. Tcrp Report 100. Federal Transit Administration in Cooperation with the Transit Development Corporation Kittelson & Associates, Inc.
8. Liping Fu., (2002) A Simulation Model for Evaluating Advanced Dial-a-Ride Paratransit systems, "Transportation Research, Vol. 36A, pp.291-307.
9. Larson, R.C., Odoni, A.R.,(1981) . Urban Operations Research. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
10. Majid, M. Aldaihani a, Luca Quadrifoglio b, Maged M. Dessouky b,1 (2004). Network design for a grid hybrid transit service. *Transportation Research Part A*, 38, pp.511-530
11. Nelson, John D., (2003) . Recent developments in telematics-based demand responsive transport. Transport Operations Research Group University of Newcastle upon Tyne, UK.
12. SAMPLUS web site: <http://www.europjects.ie/samplusmainweb/>
13. Valenti, G., Perugia, A., Binazzi, C., di Volo, N. & Ambrosino, G. (1999). The role of the Demand Responsive Transport Services in sustainable mobility: the experience in Florence. Agency for New Technology, Energy and Environment
14. Vuchic, V.R., (1978).Urban Public Transportation Systems and Technology, Prentice-Hall, Inc.
15. Westerlund, Y., Stahl, A., Nelson, J. & Mageean, J. (2000) . Transport telematics for elderly users: successful use of automated booking and call-back for DRT in Gothenburg. In: Proc. 7th ITS World Congress, Torino, November (on CD).

附錄一、符號定義

將本研究各營運成本內所須知參變數彙整如下表所示

附表 參變數符號整理表

符號	定義	單位	符號特性	
			參數	變數
SC	社會(總)成本	元/小時		◎
OC	業者成本	元		◎
O	營運成本	元		◎
α_o	單位營運成本	元/線		◎
M	路線數	線		◎
V	車輛成本	元		◎
α_v	單位車輛成本 $v=9$ 人座、15 人座、20 人座與 25 人座為不同車 型之單位價值	元/車		◎
N	車輛數	車數		◎
J	停靠站數	站數		◎
R	行駛成本	元		◎
β	單位公里行駛成本	元/車		◎
D	各需求者個別之 D (公里) 為總行駛路線長度	公里		◎
PC	乘客成本	元		◎
I	車上時間成本	元		◎
α_i	乘客車上時間價值	元/人-小時	◎	
V_v	行駛速率	公里/小時	◎	
T_s	車輛停靠站一次的時間	小時/次	◎	
E	每段模擬情況之總需求量	人		◎
S	每段模擬情況之總停靠站數	次		◎
W	步行成本	元		◎
χ	乘客步行時間價值	元/人-時	◎	

n	分區數	分區數目		◎
V_p	乘客行走速度	公里/時	◎	
U	懲罰成本	元		◎
λ	每個彎繞點懲罰成本	元/次-人	◎	
S_e	需彎繞之停靠站數	次		◎
P	每站停靠上車人數	人		◎
L	地區寬度	公里		◎
g	乘客路線彎繞度	數值		◎



附表 參變數符號整理表(續)

符號	定義	資料來源	數值
O	營運成本	18 項成本值	
α_o	單位營運成本	18 項成本值	
M	路線數	模擬假設值	
V	車輛成本		
α_v	單位車輛成本 $v=9$ 人座、15 人座、20 人座與 25 人座為 不同車型之單位價值	18 項成本值推估	
N	車輛數	模擬假設值	模擬假設值
R	行駛成本		
β	單位公里行駛成本	18 項成本值	
D	各需求者個別之 D (公里) 為總行駛路線長	模擬假設值	模擬假設值
PC	乘客成本		
I	車上時間成本		
γ	乘客車上時間價值	林聖偉【2005】	DRT 車上時間價值 \$ 207 / 小時
V_v	車輛行駛速率	張學孔【1991】	20 km / hr
T	車輛停靠站一次的時間	英文文獻	
E	總需求數	模擬假設值	模擬假設值
W	步行成本		
χ	乘客步行時間價值	林聖偉【2005】	\$ 107 / hr
n	分區數	模擬假設值	模擬假設值
V_p	乘客行走速度	張學孔【1995】	4 km / hr
U	懲罰成本		
λ	每次停靠站懲罰成本	模擬假設值	模擬假設值
S	彎繞點數	模擬假設值	模擬假設值
P	每站停靠上車人數	模擬假設值	模擬假設值
L	地區寬度	模擬假設值	模擬假設值
θ	乘客路線彎繞度	模擬假設值	模擬假設值