

國立臺灣大學工學院土木工程學系



碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

公車捷運系統與接駁服務整合規劃之研究

Integration of BRT and Feeder Services

廖專晶

Chuan - Ching Liao

指導教授：張學孔 博士

Advisor: S.K. Jason Chang, Ph.D.

中華民國 102 年 7 月

July, 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

公車捷運系統與接駁服務整合規劃之研究
Integration of BRT and Feeder Services

本論文係廖專晶君 (R00521532) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國一〇二年七月四日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

張學孔

(指導教授)

魏健宏

陳敦基

葉昭甫

系主任

呂良正

張學孔

魏健宏

陳敦基

葉昭甫

呂良正

(簽名)

謝誌



終於到了要撰寫謝誌的這一刻，此時的我卻百感交集。多少次在論文進行中幻想著這個時刻，在心中擬了多少次的草稿，而現在要將點點滴滴文字化，卻發現這並非易事。或許，只是太多的情緒，沒適當的表情吧。

我在這兩年的菸酒生生活經歷了酸甜苦辣，在歷練中成長，在歡笑中茁壯，這些都是生命不可或缺之養分，將伴隨著我邁向下一個里程碑。而在過去這些日子中，首先我要感謝的是指導老師-張學孔教授，感謝老師的悉心教導，我才得以順利完成碩士論文，且體認到何謂「魔鬼藏在細節裡」；此外，也感謝學長姐的鼓勵與督促，讓我不斷鞭策自己，使論文更臻完善。

當然，絕不會忘記「張家姊妹發展中心」的成員們的。芳瑜、屁屁、祐榕、銜萱、Momo、巧筠、土撥，感謝你們讓我的碩士生活豐富且精彩，且讓我在論文地獄期依舊能開懷大笑，並藉由歡笑撫平內心的皺褶。小張家族的碩二同學們，我們終於畢業了！過去同甘共苦的美好回憶在我心中是永不抹滅的印記，感謝有你們的相伴，讓我永不孤單。


最後，感謝我最好的朋友-小鳳梨多年的相伴，你永遠在我最低潮的時候，不離不棄的陪伴著我，給我逃脫的力量與空間，而後讓我可以完整無缺的找回自己。在這謝謝你多年的照顧，未來也請多多指教。

還有很多想感謝的，族繁不及備載。「於千萬人之中遇見你所遇見的人，於千萬年之中，時間的無涯的荒野裡，沒有早一步，也沒有晚一步，剛巧趕上了」，感謝所有在我人生道路上路過與並行的人們，有你們，我的生命方能開出美麗且燦爛的花朵。感謝。

專晶 謹誌

2013年8月，台大太子學舍水源校區

摘要



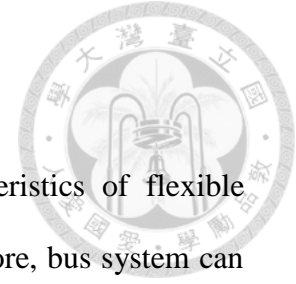
公車捷運系統(Bus Rapid Transit, BRT)為一種以軌道思維行公車營運的公共運輸系統，由於具有營運彈性之特性，公車系統在與 BRT 進行整合規劃時除考量原本的接駁服務外，在高需求路段更可行駛於 BRT 幹線，以「區間車」之服務型態提供接駁與直達的整合服務。如何同時整合 BRT 與接駁、直達公車服務來滿足運輸走廊的需求，以充分運用系統之營運彈性，實為 BRT 規劃設計的重要課題。

本研究之目的係基於此彈性營運特性而建構公車系統與 BRT 之整合模式，在使用者與營運者成本最小化之目標下，以分析性數學探討 BRT 走廊之最佳直達公車與 BRT 營運班距、最佳直達公車路線間距、最佳區間車服務範圍，並藉由敏感度分析探討單位時間成本、BRT 走廊服務範圍、BRT 行駛速率、需求函數與模式變數之相關性與影響程度。

本研究以台中市第一條BRT之服務範圍作為模式應用案例，並以台中市BRT規劃的相關參數與需求特性作為模式輸入，研究建立之模式和分析結果可以作為主管機關及BRT營運單位之參考。

關鍵字：公車捷運系統、接駁服務、分析性最佳化、整合

Abstract



Bus rapid transit (BRT) has been known for its characteristics of flexible operation of bus system and service quality of rail system. Therefore, bus system can be integrated with BRT in two ways: (1) it can be a traditional feeder service and (2) it can be an integration of feeder service and direct service running on BRT Lane. How to integrate BRT, feeder and direct services in a BRT corridor becomes one of the important issues in planning and design of BRT.

This study aims to develop mathematical model for integration of BRT and feeder bus services. Under a total cost minimization objective, the decision variables consist of the headway of direct service and BRT, the route spacing of direct service and service range of shuttle bus on BRT truck line. The relations between the decision variables and system parameters are also identified analytically.

The BRT Route1 in Taichung City is used as a case study. It illustrates the applicability of the model developed. Research results and analytic models will be useful for planning and design of BRT and the integration with feeder services.

Key Words: Bus Rapid Transit, Feeder Service, Analytic Optimization Approach, Integration

目錄



謝誌.....	I
摘要.....	II
Abstract.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究方法.....	3
1.4 研究範圍.....	3
1.5 研究內容與流程.....	4
第二章 文獻回顧與評析.....	6
2.1 公車捷運系統之特性.....	6
2.1.1 公車捷運系統之元素與特性.....	6
2.1.2 公車捷運系統之適用性.....	9
2.2 公車服務與捷運系統之整合.....	11
2.2.1 捷運接駁公車系統之特性.....	11
2.2.2 公車服務與 MRT 之整合規劃.....	12
2.2.3 公車服務與 BRT 之整合規劃.....	15
2.3 綜合評析.....	16
第三章 模式構建.....	17
3.1 模式基本架構與假設.....	17
3.1.1 模式構想.....	17
3.1.2 模式假設.....	19
3.2 系統總成本分析.....	19
3.2.1 直達公車系統成本函數分析.....	20
3.2.2 接駁公車系統成本函數分析.....	22
3.2.3 BRT 成本函數分析.....	23
3.2.4 總成本函數.....	25
3.3 模式最佳化.....	26
3.3.1 直達公車營運班距.....	26
3.3.2 直達公車路線間距.....	27
3.3.3 區間車服務範圍.....	28
3.3.4 BRT 營運班距.....	28
3.4 線性旅次需求函數下之最佳解.....	29

第四章 案例研究.....	31
4.1 台中市 BRT 規劃內容	31
4.1.1 建置背景	31
4.1.2 BRT 優先路段營運架構	32
4.1.3 公車系統整合原則	34
4.2 參數設定	35
4.2.1 服務範圍營運參數	35
4.2.2 單位成本項目參數	36
4.2.3 調整因子	37
4.2.4 其他參數	38
4.2.5 模式參數歸納	40
4.3 案例結果分析	41
4.3.1 最佳營運計畫	41
4.3.2 成本分析	42
4.4 敏感度分析	44
4.4.1 單位成本項目	44
4.4.2 服務範圍參數	46
4.4.3 BRT 行駛速率	49
4.4.4 需求函數.....	51
第五章 結論與建議.....	57
5.1 結論.....	57
5.2 建議.....	58
參考文獻.....	60
附錄：模式參數變數符號定義.....	63

圖目錄



圖 1.1 BRT 走廊示意圖	3
圖 1.2 研究流程圖	5
圖 2.1 BRT 路線規劃架構	8
圖 2.2 公車捷運系統元素組成圖	9
圖 2.3 系統適用性	10
圖 2.4 捷運走廊與接駁公車整合示意圖	14
圖 3.1 BRT 走廊模式建構示意圖	18
圖 3.2 系統總成本架構圖	20
圖 3.3 hb 與 hd 之關係圖(γ_1)	27
圖 3.4 hb 與 hd 之關係圖(γ_2)	29
圖 4.1 台中市 BRT 路網示意圖	32
圖 4.2 一線到底路線結構示意圖	33
圖 4.3 主幹線+支線路線結構示意圖	33
圖 4.4 BRT 與公車路線整合原則	34
圖 4.5 需求函數	38
圖 4.6 成本比例-依系統別	43
圖 4.7 成本比例-依成本項目	43
圖 4.8 單位時間成本對總成本之影響	44
圖 4.9 單位營運者成本對總成本之影響	45
圖 4.10 各別單位成本項目對總成本之影響	45
圖 4.11 BRT 走廊服務長度對區間車服務範圍之影響	46
圖 4.12 BRT 走廊服務長度對營運班距之影響	47
圖 4.13 BRT 走廊服務長度對直達公車路線間距之影響	47
圖 4.14 BRT 走廊服務角度對區間車服務範圍之影響	48
圖 4.15 BRT 走廊服務角度對營運班距之影響	49
圖 4.16 BRT 走廊服務角度對直達公車路線間距之影響	49
圖 4.17 BRT 行駛速率對區間車服務範圍之影響	50
圖 4.18 BRT 行駛速率對營運班距之影響	51
圖 4.19 BRT 行駛速率對直達公車路線間距之影響	51
圖 4.20 旅次需求斜率變化關係圖	52
圖 4.21 需求函數斜率對區間車服務範圍之影響	53
圖 4.22 需求函數斜率對營運班距之影響	53
圖 4.23 需求函數斜率對直達公車路線間距之影響	54
圖 4.24 總旅次需求改變對區間車服務範圍之影響	55
圖 4.25 總旅次需求改變對營運班距之影響	56
圖 4.26 總旅次需求改變對直達公車路線間距之影響	56

表目錄

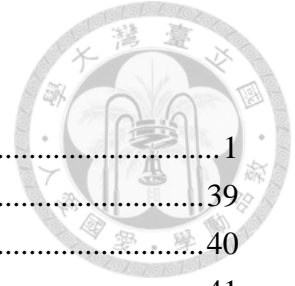


表 1.1 BRT 之城市案例與系統特性.....	1
表 4.1 距 CBD 之距離長度與需求人次對應表	39
表 4.2 模式參數總表.....	40
表 4.3 整體營運計畫.....	41
表 4.4 成本項目與比例.....	42
表 4.5 BRT 走廊服務長度對各決策變數之影響.....	46
表 4.6 BRT 走廊服務角度對各決策變數之影響.....	48
表 4.7 BRT 行駛速率對各決策變數之影響.....	50
表 4.8 斜率變化對各決策變數之影響.....	53
表 4.9 總旅次需求改變對各決策變數之影響.....	55

第一章 緒論



1.1 研究動機

公車捷運系統(Bus Rapid Transit, BRT)為一種以軌道思維行公車營運的公共運輸系統，由於具有專有路權或專用車道、營運彈性高、興建成本低與施工期間短等優點，近十年來逐漸為國際許多城市所接受，作為大眾捷運系統選項之一。此外，BRT也適用於培養軌道捷運系統，待公共運輸人口到達建設高運量軌道捷運系統的規模時，該系統即完成其階段性任務，進而可提升改造為軌道捷運系統。表 1.1為推行BRT之著名城市案例及其系統特性。

表 1.1 BRT 之城市案例與系統特性

城市名 \ 系統特性	BRT 專用道	新式聯結公車	水平上下車	月台門	車外收費
巴西 庫里提巴	V	V	V	V	V
美國 邁阿密	V	V	V	X	X
美國 洛杉磯	V	V	V	X	V
加拿大 渥太華	V	V	V	X	X
哥倫比亞 波哥大	V	V	V	V	V
荷蘭 阿姆斯特丹	V	V	V	X	X
法國 里昂	V	V	V	X	X
法國 巴黎	V	V	V	X	X
中國 常州	V	V	V	V	V
中國 北京	V	V	V	V	X
澳洲 布里斯本	V	X	X	X	X
日本 名古屋	V	X	X	X	X

資料來源：本研究彙整自張學孔、呂英志(2009)、ITDP 和台中市交通局官方網站。

一個完善的 BRT 包括了隔離專用道、新式連結公車、水平上下車、月台門以及車外收費等特色，而由各國系統之比較可以發現隔離的 BRT 專用道為最基本的特性，而近年來投入營運的系統也都有自動收費系統以及號誌優先之設計。

然而，不管是軌道抑或是公車捷運系統，其幹線式的功能必須有完善的接駁系統提供接駁與轉乘服務方能發揮整體運輸功能。在過去國外經驗中，舊金山灣區捷運系統(BART)在通車初期營運績效不佳，經深入探討後發現其原因為接駁服務系統規劃有欠周詳(唐富藏，1982)，而台北捷運通車前後特別關注接駁公車系統的路線配置以及整合，使其形成完整公共運輸路網。

至於 BRT 之成功案例中，其沿線公車路線整併，以及接駁公車系統規劃亦是成功營運的關鍵因素。因此，基於 BRT 之彈性服務特性，在規劃時可考量公車系統同時扮演著兩種角色：(1)僅提供轉乘的接駁服務，將乘客運送至 BRT 車站而由 BRT 走廊提供幹線服務，(2)既是接駁路線，亦同時成為與 BRT 共線的直達服務。如何同時整合 BRT 與接駁、直達公車服務來滿足運輸走廊的需求，充分運用系統之營運彈性乃為 BRT 規劃階段的重要課題。

1.2 研究目的

BRT 相對於軌道捷運系統有其彈性服務之差異，此係行駛於 BRT 走廊之車輛亦可彈性駛出專用道而成為 BRT 之接駁公車系統。因此，BRT 走廊的公車接駁系統除了提供接駁及轉乘服務外，也可以駛入 BRT 專用車道形成「區間車」之服務形態來增加幹道之服務容量，此不僅紓解尖峰時段高需求路段之所需服務外，也可降低低需求路段 BRT 之空車率，提升整體服務效率與效能。

因此，本研究之目的即在探討在一BRT走廊上BRT、直達公車系統與接駁公車系統之最佳整合設計。如圖 1.1所示之BRT走廊，本研究係在考量營運者成本和使用成本最小化目標下，分析該走廊之BRT幹線營運班距、直達公車服務的路線間距和其班距以及區間車之服務範圍。

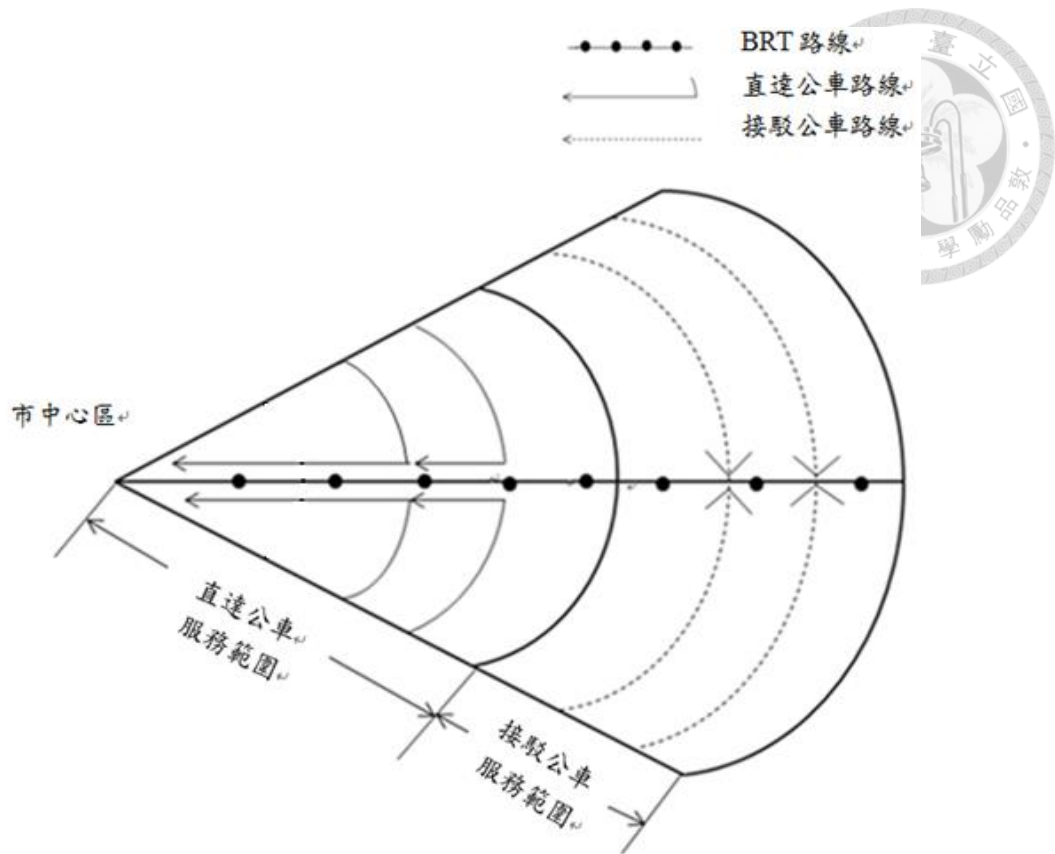


圖 1.1 BRT 走廊示意圖

1.3 研究方法

本研究遂採用分析性最佳化方法(Analytic Optimization Approach)，就BRT、公車系統及運輸走廊進行相關分析，以構建BRT與接駁路網服務範圍之最佳化模式(Optimization Model)，並以包括營運者成本和使用者的總成本最小化為求解目標。此外，也藉由敏感度分析探討旅次需求、分布等環境因素對營運策略的個別影響，期能作為BRT路網整體規劃以及研擬營運策略之參考。

1.4 研究範圍

本研究針對BRT服務範圍之扇型區域(如圖 1.1)應用分析性數學模式探討BRT走廊內之環狀型輻射路網，分析內容涵蓋BRT、公車系統(含接駁、直達公車)等路網和服務班距。

在數值實例分析方面，本研究以台中市第一條BRT之服務範圍作為模式應用案例，並以台中市BRT規劃的相關參數與需求特性作為模式輸入，並在旅運需求為多對一(Many-to-One Demand)的型態假設下驗證模式之實用性。



1.5 研究內容與流程

本研究之內容包括下列項目：

1. 研究課題之確立：釐清與確立研究目的與研究範圍。
2. 文獻回顧與評析：本研究就「公車捷運系統特性」、「接駁服務之特性」與「接駁公車服務範圍之設計」等方法論進行回顧，並進行綜合評析。
3. BRT 與公車系統整合模式之構建：考量系統特性與特定參數，建構 BRT 服務範圍內之總成本函數。
4. 最佳化分析與評估：利用分析性數學模式進行最佳化求解，求得最佳路網與營運計畫，並評估討論模式之合理性以及可能的修正內容。
5. 數值實例應用與分析：以台中市BRT路廊作為模式應用對象，配合相關需求特性的假設，代入營運規劃之供給參數進行模式應用分析與敏感度分析，以驗證模式之適用性。
6. 提出結論與建議：將本模式求得之分析結果進行討論，除提出具體結論外，並對後續研究方向提出建議。

圖 1.2為本研究之流程。

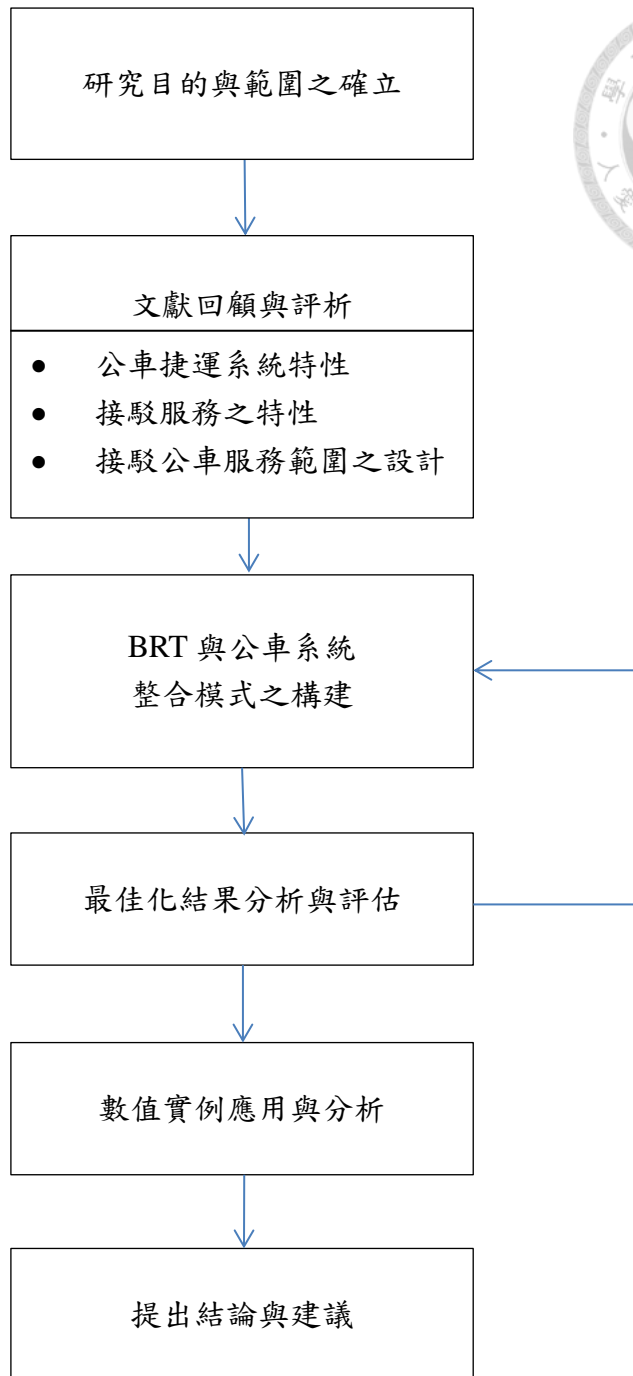


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧與評析



本章節首先對 BRT 特性做一個扼要回顧，其次彙整接駁公車系統之特性，最後整理接駁公車服務設計之相關文獻，並在文末進行文獻評析。

2.1 公車捷運系統之特性

BRT為發源於南美城市的一種新型大容量快速交通方式，其為利用現代公車技術，在城市道路上設置專用道，再配合智慧型運輸系統，採用軌道運輸的營運管理模式。美國聯邦公共運輸署(Federal Transit Administration, FTA) 對於BRT提出一個概念 - 「軌道思維，公車運行」(Think Rail, Use Buses)，此概念充分說明BRT的精神在於應用軌道運輸系統概念來經營公車，或利用公車營運達到軌道運輸服務水準。其優點為：(1)專用車道服務效率高、(2)營運彈性大、(3)興建成本低、(4)施工期間短。

公車捷運系統之同義字尚包括「高容量公車系統」(High Capacity Bus Systems)、「高品質公車系統」(High Quality Bus System)、「捷運公車」(Metro Bus)、「快速公車系統」(Express Bus Systems)、「公車專用道路系統」(Busway systems)等。

2.1.1 公車捷運系統之元素與特性

國際不同研究單位對於BRT之定義略有差異，但歸納其主要特性不外乎為「具部分或專有路權」、「新式連結公車」、「水平上下車」、「車外收費」、「整合其他運輸工具」、「具有高度靈活度」等重要功能特性。以下就針對BRT功能設計之主要元素進行說明。



1. 車輛

在BRT車輛的選擇上，可使用一般的公車至低底盤公車、連結公車(多車門)以及雙層巴士等；就動力來源方面，BRT所使用之車輛為以低污染與低噪音為首要原則。此外，尚需考量載運量、與車站設計的搭配以及行銷策略等來決定運具的大小以及形體。傳統公車之容量約為每車70人，而採用連結公車或雙鉸接公車可到每車160~270人。

2. 車站

良好的BRT車站設計必須考量超車道，讓行駛中之公車車輛可以超越停站的公車車輛，如此不僅增加營運速度，更可提供直達系統之服務；此外，為考量乘客快速上、下車之設計理念，車站月台常與公車底盤高低做配合，以增加上下車的速度。在站台設計方面，有開放設計與封閉設計兩類，而兩者之差異在於封閉式的站台能提升站台之服務效率，適用於旅客人數較多的停靠站或是轉運站，將公車之服務更貼近於軌道系統之營運概念。

3. 車道

為達到「捷運」之目的，BRT車道的路權設計必須具公車專用道路(Bus Ways)或部分專有路權(如台北市B型路權之公車專用道)以確保行車速率，提升運輸服務品質。實務上可採用公車專用道(平面佈設之專用車道，並行經號誌化路口)或公車專用道路(以實體隔離或立體隔離其他車輛)，而基於土地、環境與現有道路設計考量，同一路線可交叉使用兩種型式。

4. 路線結構與服務

BRT的路線結構可以是傳統的「一線到底」或是「主幹道+支線」來規劃，如圖 2.1所示。路線設計的主要思維係充分發揮BRT彈性服務的優勢，因而BRT可以作為都市運輸的主軸運輸，亦可應用於捷運或輕軌運輸的延伸，或是作為未來捷運或輕軌運輸建設培養運量以及既有公車運輸系統高乘載量服務的整合。

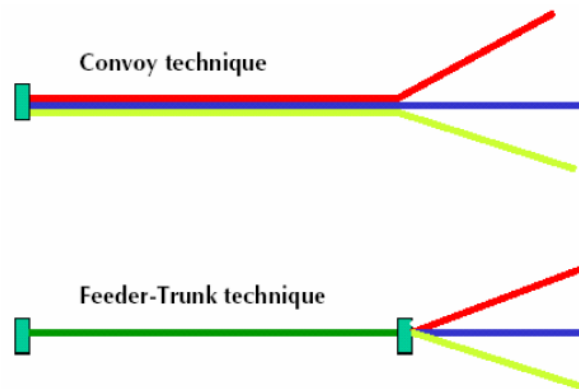


圖 2.1 BRT 路線規劃架構

資料來源：鼎漢國際工程顧問股份有限公司(2011)

5. 收費系統

完善的BRT通常會有一套高效率的收費系統，可由電子票證或車外收費來達成，此係採用與捷運類似之預付系統，配合封閉式車站、車站閘門等來完成自動收費的動作。藉由此收費系統，在有大量上下車旅客的路線中可明顯的改善平均運輸速度及上下車時間。

6. 智慧運輸系統

公車捷運系統通常藉由ITS技術來改善並提高公車服務之舒適性、速度、可靠性，突發狀況的應變與安全，相關元素包括：自動車輛辨識系統(AVI)、公車自動定位系統(AVL)、BRT優先號誌、監視系統等。ITS不僅提供管理與追蹤的功能，也可提供班車資訊、到站及離站廣播，確保車流順暢與增強車站內急列車上之安全防護，同時提供旅客手機查詢公車到站資訊以使旅客可更精確掌握搭車時間與節省等車時間，進而提升公車營運品質與提高公車到站時間之準確度。

7. 服務行銷與營運策略

高品質的服務與相對便宜的運輸票價是BRT主要的優勢，而要提高服務品質且有別於一般傳統公車系統就需要縮短運輸時間、規劃舒適安全的乘車環境、提供準確可靠的到離站時間以及簡單方便且即時的乘車訊息。因此顧客導向的運輸

服務需要有鮮明的行銷識別形象，吸引更多的客源；另外，公車捷運系統為地面運輸系統，亦為城市景觀一部份，因而其候車亭、轉乘站、以及車輛均可透過標識之設計展現其清潔、安全、舒適等特色以建立鮮明優良形象並提高系統識別度，此舉對都市行銷將有一定程度的貢獻。

藉由上述軟硬體設施的相互配合，公車捷運系統方能達到最大運輸效能，提供使用者最完善的服務。圖 2.2為公車捷運系統元素組成圖，表達元素間與公車捷運系統之互動關係。

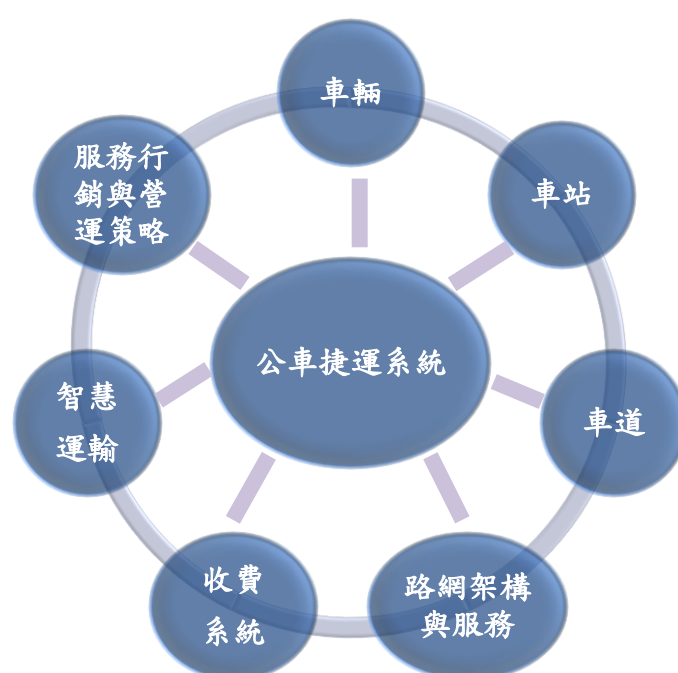


圖 2.2 公車捷運系統元素組成圖

2.1.2 公車捷運系統之適用性

Wright and Hook(2007)曾以運量多寡與投資成本兩象限比較公車捷運系統、輕軌電車(LRT)、高架捷運與地鐵等4種大眾捷運運輸系統之適用環境，如圖 2.3 所示。高架捷運與地鐵適用於旅次需求量較高的地區，惟其興建成本也相對較高；輕軌電車(LRT)與公車捷運則適用於中、低量旅次需求的地區，其建置成本也較地鐵、高架捷運低。另外，Calthorpe(1993)提出「都市TOD模式(Urban TOD)」適合以軌道運輸場站為中心發展，但若要發展較集中的「鄰里TOD模式

(Neighborhood TOD)」則適合以公車為主要公共運輸工具；Dittmar(2004)則建議軌道大眾運輸系統(MRT、LRT)適合大區域高密度發展，而公車適合帶動小規模區域發展。

一個新系統的引進，除了考量其適用環境外，也與該城市的定位、未來策略息息相關，而在評估時也須考量誘發需求(Induced Demand)的產生。因此，公共運輸系統本身並無好壞，完全端賴於適用與否，而選擇的評定標準為地區特性、行政資源、旅次需求型態與資金狀況等綜合評估指標。

公車捷運系統以新秀之姿出現於各大城市中，打破過去以軌道捷運系統為主要思維的觀念，除較具財務與施政之可行性外，尚可加速改善都市交通問題；此外，公車捷運系統也可以「光譜概念」作為推動未來軌道捷運系統之基石，為目前台灣各都市推動公共運輸發展之可行策略之一。

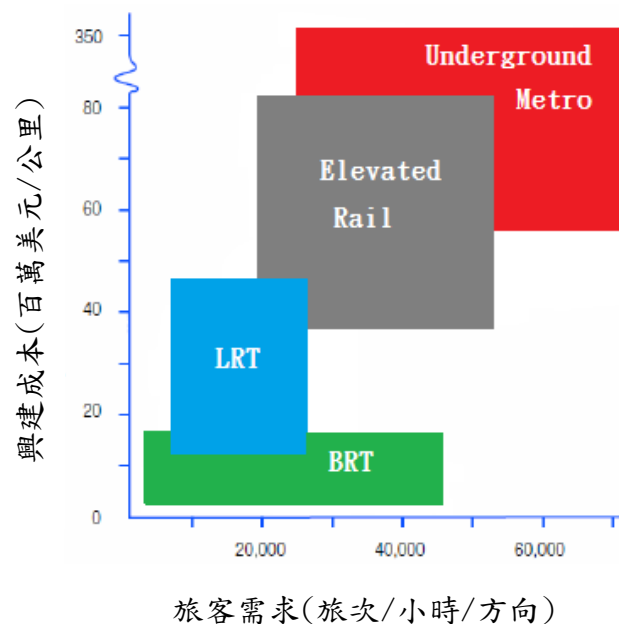


圖 2.3 系統適用性

資料來源：本研究以 Wright and Hook (2007)之分析修正而得。



2.2 公車服務與捷運系統之整合

本章節首先闡述捷運接駁公車的定位與設置目標，接著探討過去公車服務與捷運系統整合相關之研究，而依捷運系統種類之不同可劃分為軌道捷運系統(MRT)與公車捷運系統(BRT)等兩類。

2.2.1 捷運接駁公車系統之特性

接駁公車系統的特性主要可分兩方面探討，一為其角色定位，另一為設置目標。在角色定位方面，可分為捷運路線之延伸與網狀服務兩種。前者主要將公車路線設置於主要捷運路線末端，視為捷運系統延伸性之集散路線，以提升捷運系統之運量為主要目的；後者提供的網狀服務則希望能藉由接駁公車路線之設置來提高都市公共運輸系統服務之整合(李紫琳，2004)。

因此，基於捷運走廊不同公共運輸系統分工與整合理念，捷運接駁公車設置之目標如下：

1. 擴大捷運系統服務範圍

接駁系統可視為捷運系統路線之延伸，因此設置後可擴大捷運系統服務範圍，增加捷運系統載客量。

2. 提高捷運系統載客率，增進運輸系統使用

接駁公車可集散使用捷運系統之旅次，其路線形式可深入捷運系統無法服務之區域，可吸引更多民眾使用捷運系統。

3. 發揮公車與捷運系統之整合服務效率

提高運輸經營效率，降低營運成本，發揮整體運輸服務效果。

4. 提升公共運輸服務品質

接駁公車提供更方便、經濟可靠之轉乘服務，吸引自用車使用者改搭公共運輸。連貫性的運輸服務可減少旅行時間以增進運輸系統之可行性及易行性。

5. 減少資源浪費及改善生活環境

藉由良好的運輸整合服務可吸引自用小汽車和機車使用者轉而選擇搭乘公共運輸，對於目前的道路雍塞狀況得以紓解，降低運輸之外部成本、提升整體生活品質。



2.2.2 公車服務與 MRT 之整合規劃

國內外有關公車系統與 MRT 整合之文獻相當豐富，另因國外建造捷運年份較早，因此早於 70 年代即有相關研究。Kuah & Perl (1989)認為接駁公車與捷運系統整合問題已廣泛受到討論與認同，且強調良好的公共運輸整合系統將有效提高可及性。該研究建構多起點對多迄點(Many-to-Many)與多起點對一迄點(Many-to-One)兩種模式，並在降低營運者與使用者成本之目標下採用啟發式演算法求解，最後以簡例驗證模式之可行性。

Martins & Pato (1998)以 Kuah& Perl (1989)為基礎設計接駁公車路線與公車班次，並加入服務水準之概念進行模式構建。該研究以簡例代入並利用啟發式演算法、區域搜尋演算法與禁忌搜尋法進行最適求解，最後進行演算法之比較與結果分析。

Kuan et.al (2006)之研究目的為發展更有效的演算法來解決接駁公車路網設計問題求解時之困難。該研究之目標式為最小化營運者與使用者成本，決策變數為每條接駁公車路線與班次。研究應用基因演算法與螞蟻演算法求解接駁公車路網，代入簡例並與其他演算法做比較，其結果顯示上述方法在處理公車路網設計時為較有效之求解方法。

Shrivastava & Mahony (2006)指出目前研究多將路網規劃問題拆成兩個步驟-路線、時距依序求解，另有些研究採取非傳統最佳化工具求解，但尚未考量轉乘時間。有基於此，該研究透過基因演算法設計接駁公車路線，建構一與大眾鐵路系統相容之接駁公車最適路線與頻率模型，並以愛爾蘭都柏林進行實例研究。

Martínez & Eiró (2012)同步處理了接駁公車以及捷運鐵路運輸系統，在營運者成本與使用者時間成本最小化之目標下以混合整數線性規劃方法求解站距、時距以及車隊規模。該研究遂以里斯本一條通勤鐵路作為數據實例，驗證其模式之可靠性與可行性。

在國內部分，其研究重心除路線整合外尚考量費率整合。林志盈(1986)參考國外捷運系統與公車整合的現況，針對台北都會區捷運系統分期完成後公車與捷運系統配合問題，提出一敘述性路線配合、票證、計費方式及資訊提供等面向之整合構想。其預測 2001 年公車的服務型態將由幹線服務(Trunk Service)轉為輔助捷運之接駁服務(Feeder Service)，因此建議建立接駁公車服務路線以擴大捷運系統之服務範圍。

周義華等人(1987)曾提出配合捷運之程序性公車路網設計方法，方法係依序設計基本路線、直捷路線和集散路線以形成完整路網，其中尚考慮轉車旅次作為公車旅次指派，控制變數為路線長度、彎繞度、運量及道路容量限制。

溫傑華(1989)進行捷運與公車費率整合之研究，探討捷運與公車相關成本項目，而目標函數為最大化消費者剩餘(使用者淨利益)、營運者利潤(營運者剩餘)、社會總剩餘(社會福利)與乘客數等，以推估不同目標下之費率整合折扣率。

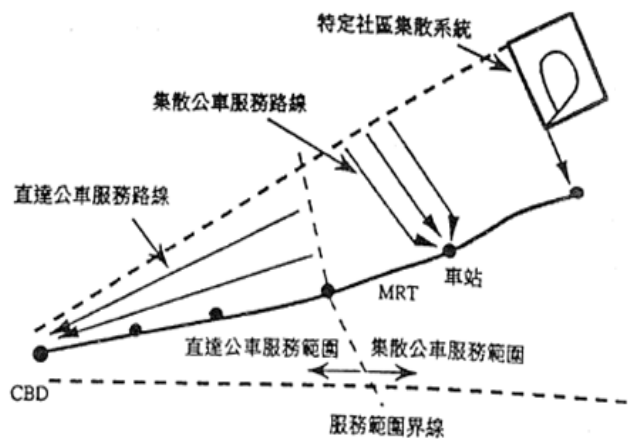
曹壽民、翁有立(1989)著重於最適化之接駁公車路網設計，使用規劃手冊法、數學尋優法與合理設計法等三種方法對台北市捷運系統木柵線與其鄰近地區接駁公車路網進行檢討與規劃，同時亦在不考慮現有公車營運型態之情境下，提出理想的接駁公車系統路網。

張有恆、楊博文(1992)應用多目標規劃技術，以使用者每日總旅行時間成本最小化及營運者每日總營運成本最小化為目標，配合其多組限制式法發展一套針對公共運輸系統與接駁公車系統營運整合的非線性多目標模式。在其模式假設中，處理的公車長度已知，路網為棋盤狀，且公車路線為直線並與捷運路線垂直。

張學孔、張美香(1994)探討多對一運輸需求型態之捷運接駁公車網路設計問題，該研究延伸 Kuah & Perl 模式提出兩階段雙層規劃模式及改良的啟發式演算法以求解接駁公車之路線與服務班次，並用簡例測試演算法之績效。

張學孔、劉孟翰(1996)以分析性數學方法探討捷運走廊公車服務範圍之設計，研究中將一捷運走廊的公車服務型態分成以集散公車轉乘捷運系統或以直達公車至市中心區兩類，如圖 2.4 所示；該研究在多對一旅次需求型態與均一分布假設下，以最小化使用者成本與營運者成本為目標，探討其路線密度、班次、服務範圍與車輛最佳配置。

(一) 類型一



(二) 類型二

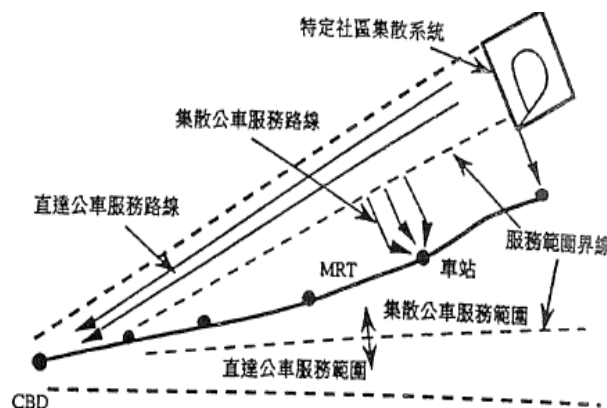


圖 2.4 捷運走廊與接駁公車整合示意圖

資料來源：張學孔、劉孟翰(1996)

邱顯明等人(2004)以簡單的基因演算法為基礎發展出先補型基因演算法，應用於捷運接駁公車之多場站與多路徑捷運轉乘公車路網設計問題之探討。研究除建構二階層之循環或來回運行型態路網模式外，更探討於捷運站外另行設置轉乘中心之情形，並利用傳統啟發式演算法、懲罰成本基因演算法與基軸等分法等不同方法求解，同時比較三者之求解結果。

呂怡蓉(2006)考量政府管制的立場且從業者營運效率的觀點，在路線營運成本最小化之目標下利用 Trans-log 成本函數探討各路線捷運接駁公車之成本效率，並以台北市接駁公車路線為例。研究透過最小有效規模(Minimum Efficient Scale)之經濟概念估算台北市各捷運接駁公車路線之理想營運路線長度，並進一步探討產出與班次數之變動。

2.2.3 公車服務與 BRT 之整合規劃

相較於公車服務與 MRT 之整合規劃，國內探討公車與 BRT 之研究相對較少。王惠吟(2011)透過相關文獻回顧與個案訪談結果，釐清捷運接駁公車路線規劃之重要考量因素與決策問題，並以路段覆蓋問題為基礎建構單一捷運站之接駁公車路線規劃模式。其模式乃以總路段長度最小化、路線行駛時間最大值最小化以及路線服務人口最大化為目標之 0-1 規劃模式，利用「理想解類似度偏好順序評估法，TOPSIS」進行求解，並以台中捷運路線 G9 站作為模式應用之實例分析對象，於範圍內規劃兩條捷運接駁公車路線。

林至晟(2012)回顧國內外捷運接駁公車實際營運經驗與相關研究，探討接駁公車之操作特性、旅運需求、服務策略等，藉以明確指出可行之營運策略與方法，作為相關路線規劃程序建立之基礎。在其研究中，對於接駁公車服務班距規劃最佳化程序與方法包括服務範圍界定與潛在需求預測、基本路線設計、服務班次之擬定等，並以此一規劃程序結合現有公車系統旅客起迄點分佈資料、空間分析等，以利探討接駁公車需求，期藉此提高運輸系統績效，並加強運輸系統整合，提供便捷運輸服務與公共運輸發展。

郭靜萩(2012)基於公車營運彈性之特性，進行BRT之封閉性與開放性策略分析。研究藉由分析性數學方法進行BRT成本模式之建立，以最小系統總成本作為目標式，BRT之班距與站距為決策變數進行求解，並藉由各式情境模擬與敏感度分析得知旅次需求、分布等環境因素對於封閉和開放式之BRT個別影響。其所建構之模式可用以比較BRT封閉與開放式之相對效益，供決策較有優勢之類型。

2.3 綜合評析

藉由過去文獻可歸納出BRT之服務特性和接駁公車之定位與設置目標，而後本研究在規劃接駁公車系統時可將其原則納入，以發揮整體公共運輸系統效能。本研究將研究範圍切分成三區域，且每區之營運整合策略皆有相異處，此乃考量區域內之不同需求量、使用者與營運者成本等所致。藉由分區營運的概念與結合公車捷運系統之彈性營運特性，本研究期使接駁公車系統可達到擴大BRT服務範圍、同時發揮公車與捷運系統之整合服務效率、提升公共運輸服務品質、以及減少資源浪費和提升生活環境等目標。

至於接駁公車服務設計之相關文獻，本研究之內容在路網設計、整合服務與整合對象有所突破。在整合服務方面，部分研究僅在已知需求、最小化使用者與營運者成本的情況下對接駁公車系統進行最佳化路線、班距等營運變數求解，模式中接駁系統與捷運系統密合度較低；而在某部分研究中，已有將兩系統之總成本考量在內，並考量不同需求分佈求解接駁公車之最佳營運計畫；惟，多數假設捷運系統之服務頻率、車隊數為固定的情境下進行模式構建。最後，在整合對象方面，過去文獻多探討接駁公車與軌道捷運系統的互動關係，鮮少文獻專門針對BRT彈性營運之特性與接駁公車系統進行研究。

基於上述，本研究欲想探討公車捷運與接駁公車系統的互動關係，並在最小化使用者與營運者成本的目標下求解兩者最佳營運計畫。本研究遂採取分析性數學方法進行模式構建，並參考張學孔、劉孟翰(1996)之研究，在考量公車捷運系統彈性營運特性下，以整合思維之設計方法進行研究分析。

第三章 模式構建



本章就模式之構想做基本的說明，並列出模式假設，之後進行總系統成本模式之構建與最佳化結果討論。

3.1 模式基本架構與假設

3.1.1 模式構想

過去在設計公車系統與捷運系統整合規劃時，往往把公車系統定位為一種接駁工具，而在張學孔、劉孟翰(1996)的研究中，賦予公車系統一種新角色，有了另一番新的定義與詮釋，亦即公車在捷運走廊可以是單純的提供接駁服務，亦可提供直達服務，而其中可以有最佳的營運模式組合。本模式遂參考張學孔、劉孟翰(1996)之研究，將其模式套入BRT走廊，並基於公車捷運系統之公車彈性營運特性進行路網與服務之最佳設計。

本模式與過去研究之相異處除了整體研究對象的不同外，接駁路線規劃的目的也不同。在張學孔、劉孟翰(1996)的研究中，設計直達公車之用意在於縮短近市中心區域之轉車時間(如圖 2.4所示)，而在本研究中除上述目的外，也包括以「區間車」營運的方式來增加BRT幹道之服務容量，藉由分區之營運策略提升整體運輸效能。此外，在模式建構中，張學孔、劉孟翰(1996)著重在接駁公車之設計，因而將捷運系統之營運計畫視為常數；而在本模式中，亦將BRT營運班距納為決策變數進行求解，以期能了解BRT幹線和接駁公車兩系統間之互動關係，並藉此提升系統間的整合程度。而本模式主要將焦點著重於BRT與直達服務的整合規劃，因此主要進行直達公車的營運策略最佳化求解，接駁公車之營運策略在本研究中則視為參數。

本模式之建構範圍為以一條長為 L 之BRT幹線為主軸，張開 α 角度之扇形走廊區域；在服務區域內，除了有BRT提供幹線服務外，另有公車系統提供接駁或直達的服務，如圖 3.1所示。各變數及參數符號定義如附錄所示。

建構範圍大致可依需求產生點距 CBD 之距離(x)切分成三個區域。當需求點發生於最外層 $X \leq x \leq L$ 時，乘客會搭乘接駁公車至 BRT 幹線後轉乘 BRT 至 CBD；當需求點落於 $Y \leq x \leq X$ 時，乘客將搭乘直達公車至 BRT 幹線，且直達公車會沿 BRT 幹線駛至 CBD；當需求產生於最內圍 $0 \leq x \leq Y$ 時，乘客將步行至 BRT 幹線上等候直達公車或 BRT 至 CBD。

此外，本模式亦合理假設沿著 BRT 走廊之可接受步行距離範圍內之乘客會選擇步行至 BRT 站點候車，而非選擇搭乘直達或是接駁公車。模式之決策變數包括區間車服務範圍(X)、直達公車營運班距(h_d)、直達公車路線間距(d_d)與 BRT 營運班距(h_b)。

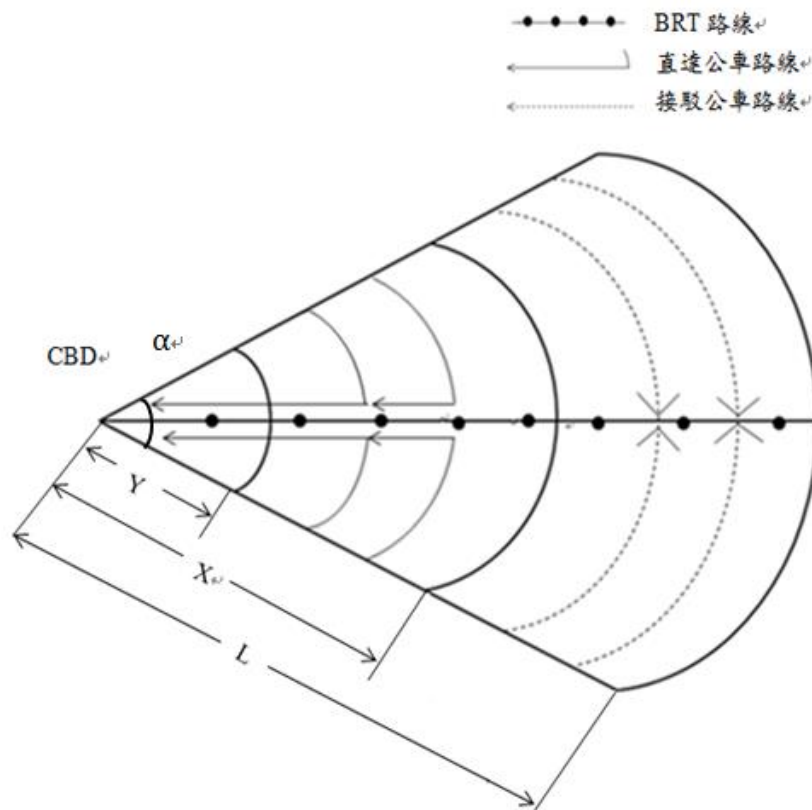


圖 3.1 BRT 走廊模式建構示意圖



3.1.2 模式假設

1. 視 BRT 路線之服務範圍為一扇形區域，服務區域內之直達公車採環狀行駛並與 BRT 幹線相交後駛至 CBD；接駁公車則以 BRT 車站為公車起訖站之環形路網行駛行駛。
2. 主要分析對象為尖峰時段集中於 CBD 之多對一旅次 (Many-to-One)。
3. 研究區域內之需求函數隨著與 CBD 距離的增加呈現線性遞減的趨勢，並假設對服務品質與費率為完全非彈性，亦為固定需求。
4. BRT 幹道之服務水準為定值，不因車流量有所改變。
5. BRT、直達公車與接駁公車之站距與路線間距於分析之區域內視為均一分佈，不因所在地理位置有所差別。
6. 本模式之總社會成本僅考量使用者成本與營運者成本，其他環境汙染、社會衝擊等社會成本不列入考慮。
7. 本模式僅考量直達公車、接駁公車與 BRT 之互動關係，其他公共運具或個人運具不列入研究範圍內。

3.2 系統總成本分析

模式之系統目標為總成本最小化，成本包含了使用者成本(C_u)以及營運者成本(C_o)，各項成本如圖 3.2所示。以下先分別探討直達公車系統、接駁公車系統以及BRT之各項成本函數，最後再進行總系統之最佳化求解。

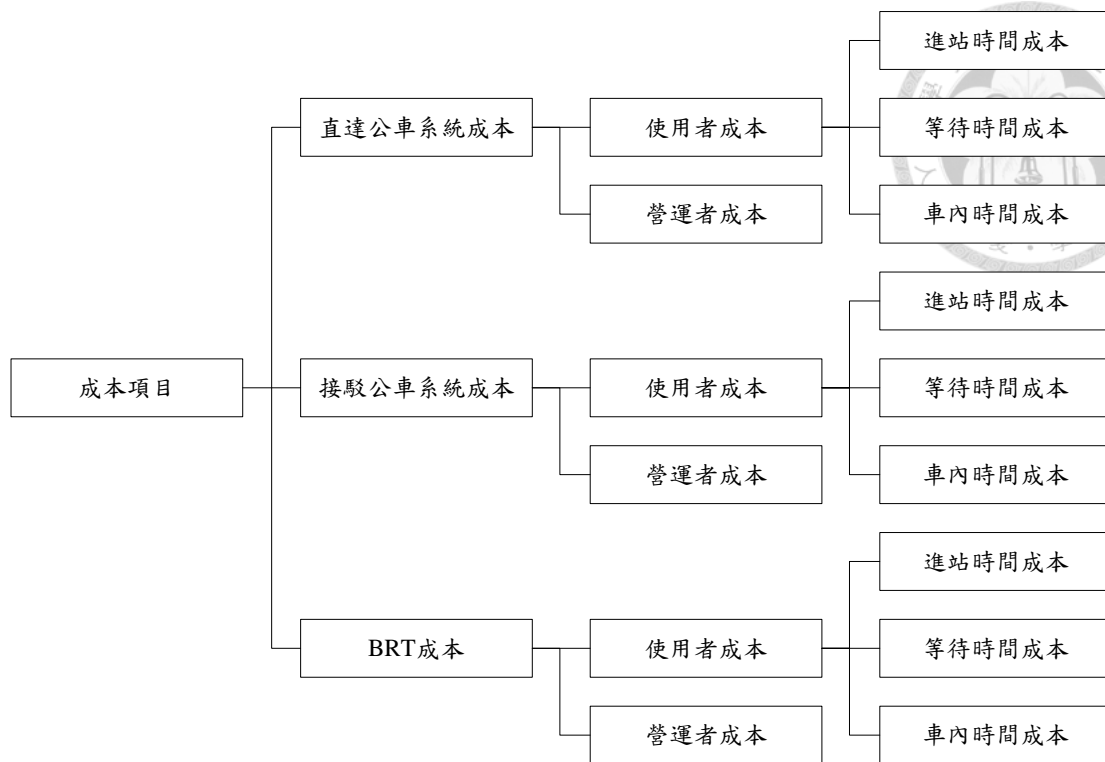


圖 3.2 系統總成本架構圖

3.2.1 直達公車系統成本函數分析

1. 使用者成本函數

包含進站時間成本(c_x^d)、等待時間成本(c_w^d)與車內時間成本(c_v^d)，以下逐一述之。

(1) 進站時間成本

進站時間成本等於平均進站時間乘以直達公車服務區域之總需求以及步行時間價值(r_x)。平均進站時間為平均步行距離除以使用者平均步行速率(v_p)；而在平均步行距離方面可分平行公車路線部分以及垂直公車路線部分，又兩者分別與直達公車站距(D_a)與路線間距(d_a)成一線性關係，以參數 a_1 示之，因此，平均步行距離為 $a_1(D_a + d_a)$ 。

在總需求方面，由研究區域示意圖可知其為直達公車之服務區域內($Y \sim X$)需求量的加總，再乘以一個需求比例(G_1)。

綜合以上，可得進站時間成本為：

$$c_x^d = \left\{ \frac{a_1(D_d + d_d)}{v_p} G_1 \int_Y^X p(x) dx \right\} r_x \quad (3.1)$$

(2) 等待時間成本

總等待時間成本等於平均等待時間乘以直達公車服務區域之總需求與等待時間價值(r_w)。平均等待時間一般與班距成線性關係，而在公車到站情況為均一分佈下，常假定平均等待時間為 $h_d/2$ 。為使模式能適用於不同狀況，係設定參數 b_1 來表示平均等待時間與班距之關係。

綜合以上，等待時間成本如下式所示：

$$c_w^d = \left\{ b_1 h_d G_1 \int_Y^X p(x) dx \right\} r_w \quad (3.2)$$

(3) 車內時間成本

平均車內時間為平均車內旅行距離除以行車速率；而根據本研究之路線設計，此部分可分一、直達公車行駛於公路與二、直達公車行駛於 BRT 幹線兩部分進行探討。在公路上，乘客平均旅行距離為 $(\alpha x/2 + w)/2$ ，直達公車以速率 v_d 運行， w 表示步行可接受距離，也表示旅客於公路上之最短旅行距離；而在 BRT 幹線上，乘客之旅行距離為 x ，直達公車以速率 v_b 運行。 x 表示距 CBD 之距離。

將上述兩部分之旅行時間進行加總，乘以旅次數後對服務範圍積分，再乘以車內時間價值(r_v)即得車內時間成本，如下所示：

$$c_v^d = \left\{ \int_Y^X \left(\frac{\alpha x + w}{2v_d} + \frac{x}{v_b} \right) G_1 p(x) dx \right\} r_v \quad (3.3)$$

2. 營運者成本函數

營運者成本函數為直達公車系統單位營運成本(B_d) 乘以所需之車輛數(F)，其中車輛數(F)則為公車往返時間(Round-Trip Time)除以班距(h_d)，再乘以路線總數 $2(X - Y)/d_d$ ，可得：

$$c_o^d = B_d \times F = B_d \times 2 \left(\frac{\alpha(X+Y)}{4v_d} + \frac{X+Y}{2v_b} \right) \times \frac{1}{h_d} \times \frac{2(X-Y)}{d_d} \quad (3.4)$$





3.2.2 接駁公車系統成本函數分析

1. 使用者成本函數

包含進站時間成本(c_x^f)、等待時間成本(c_w^f)與車內時間成本(c_v^f)三項成本函數，而轉乘 BRT 之時間成本則於 BRT 成本分析時詳述。

(1) 進站時間成本

進站時間成本等於平均進站時間乘以接駁公車服務區域之總需求與需求比例(G_2)，再乘以步行時間價值(r_x)。平均進站時間為平均步行距離除以使用者平均步行速率(v_p)，而在平均步行距離方面可分平行公車路線部分以及垂直公車路線部分，又兩者分別與接駁公車站距(D_f)與路線間距(d_f)成一線性關係，以參數 a_2 示之，因此平均進出站距離為 $a_2(D_f + d_f)$ 。綜合以上可得進出站時間成本為：

$$c_x^f = \left\{ \frac{a_2(D_f + d_f)}{v_p} G_2 \int_X^L p(x) dx \right\} r_x \quad (3.5)$$

(2) 等待時間成本

等待時間成本等於平均等待時間 $b_2 h_f$ 乘以接駁公車服務區域之總需求與需求比例(G_2)，再乘以等待時間價值(r_w)。在總需求方面，由研究區域示意圖可知總需求為接駁公車之服務區域($X \sim L$)需求量的加總：

$$c_w^f = \left\{ b_2 h_f G_2 \int_X^L p(x) dx \right\} r_w \quad (3.6)$$

(3) 車內時間成本

車內時間成本等於車內時間乘以接駁公車服務區域之總需求與需求比例(G_2)，再乘以車內時間價值(r_v)。

本模式之接駁公車行駛路線為採弧型路線，而當與 BRT 幹線交會時始沿平行 BRT 幹線之公路至較近的 BRT 站點。基於此設計概念，接駁公車行駛距離為弧型路線長度 $\alpha x/2$ ，而乘客平均旅行距離為 $(\alpha x/2 + w)/2$ 再加上行駛於與 BRT 幹線平行之公路的平均距離 $D_b/4$ 。因此，車內時間成本可表示如下：



$$c_v^f = \left\{ \int_X^L \left(\frac{\alpha x + w}{2v_f} + \frac{D_b}{4v_f} \right) G_2 p(x) dx \right\} r_v \quad (3.7)$$

2. 營運者成本函數

營運者成本函數為接駁公車系統所需之車輛數(F)乘以單位營運成本(B_f)，其中車輛數(F)則為公車往返時間(Round-Trip Time)除以班距(h_f)，考量扇形研究區域對稱供給之特性下再乘以路線總數 $2(L - X)/d_f$ 。營運者成本函數如下示之：

$$c_o^f = B_f \times 2 \times \frac{\alpha(L+X)+D_b}{4v_f} \times \frac{1}{h_f} \times \frac{2(L-X)}{d_f} \quad (3.8)$$

3.2.3 BRT 成本函數分析

1. 使用者成本函數

包含進站時間成本(c_x^b)、等待時間成本(c_w^b)與車內時間成本(c_v^b)三項成本函數，以下說明之。

(1) 進站時間成本

假設接駁公車與 BRT 轉運設備完善，因此此部分僅考量近市中心區與 BRT 走廊沿線乘客之平均步行進站時間，算法如下所示：

$$c_x^b = \left\{ \int_0^Y \left(\frac{\alpha x + D_b}{4v_p} \right) p(x) dx + \int_Y^X \left(\frac{a_{31}w + a_{32}D_b}{v_p} \right) (1 - G_1) p(x) dx + \int_X^L \left(\frac{a_{31}w + a_{32}D_b}{v_p} \right) (1 - G_2) p(x) dx \right\} r_x \quad (3.9)$$

式(3.9)中， a_{31} 、 a_{32} 分別代表乘客垂直進站距離因子、水平進站距離因子。

(2) 等待時間成本

等待時間成本等於平均等待時間乘以 BRT 服務之總需求與等待時間價值(r_w)。在總需求方面，包含接駁公車乘客轉搭 BRT 之旅次、直達公車服務範圍之 BRT 步行可接受範圍(w)內的旅次需求與近市中心之高需求區域。平均等待時間方面，在接駁區域內之乘客為 $b_3 h_b$ ，直達公車服務範圍內與市中心高需求區域

則分別為 $b_3 \left(\frac{1}{\frac{x-y}{d_d h_d} + \frac{1}{h_b}} \right)$ 、 $b_3 \left(\frac{1}{2 \left(\frac{x-y}{d_d h_d} \right) + \frac{1}{h_b}} \right)$ ，其平均等待時間存在差異之原因在於直

達公車服務範圍與高需求區域同時擁有 BRT 幹線公車與區間車供給服務，因此

縮短了等車時間。其中， $\left(\frac{x-y}{d_d} \right)$ 代表扇形研究區域單邊之直達公車路線數(n)，

$2 \left(\frac{x-y}{d_d} \right)$ 代表扇形研究區域之直達公車路線總數(N)，若路線數越多，表示 BRT 幹

線上會有越多的區間車營運，而越接近市中心其等待時間也會越少。綜合以上，

等待時間成本如下所示：

$$c_w^b = \left\{ b_3 \left(\frac{1}{2 \left(\frac{x-y}{d_d h_d} \right) + \frac{1}{h_b}} \right) \int_0^Y p(x) dx + b_3 \left(\frac{1}{\frac{x-y}{d_d h_d} + \frac{1}{h_b}} \right) (1 - G_1) \int_Y^X p(x) dx + b_3 h_b \int_X^L p(x) dx \right\} r_w \quad (3.10)$$

而為提升運算效率，本模式進一步以班距調整因子 β_1 與 β_2 表示區間車路線數多寡

對營運班距的影響程度。依實際運轉狀況可知 h_d 與 h_b 之比值介於 1 至 10，將式(3.10)

改寫如下：

$$c_w^b \cong \left\{ b_3 \beta_1 \left(\frac{1}{\frac{1}{h_d} + \frac{1}{h_b}} \right) \int_0^Y p(x) dx + b_3 \beta_2 \left(\frac{1}{\frac{1}{h_d} + \frac{1}{h_b}} \right) (1 - G_1) \int_Y^X p(x) dx + b_3 h_b \int_X^L p(x) dx \right\} r_w \quad (3.11)$$

其中，

$$\frac{2}{N+1} \leq \beta_1 \leq \frac{11}{N+10} \quad (3.12)$$

$$\frac{2}{\frac{N}{2}+1} \leq \beta_2 \leq \frac{11}{\frac{N}{2}+10}, N \geq 2 \quad (3.13a)$$

$$\frac{11}{\frac{N}{2}+10} \leq \beta_2 \leq \frac{2}{\frac{N}{2}+1}, N < 2 \quad (3.13b)$$

(3) 車內時間成本

此部分同時考量近市中心之高需求區域、直達公車服務範圍之 BRT 步行可接受範圍內的旅次需求與接駁公車乘客轉搭 BRT 之需求，各別總車內時間為其

旅行距離除以行車速率，再乘以各別旅次數。將上述三者加總後再乘以車內時間價值(r_v)即為總車內時間成本，如下所示：

$$c_v^B = \left\{ \int_0^Y \frac{x}{v_b} p(x) dx + \int_Y^X \frac{x}{v_b} (1 - G_1) p(x) dx + \int_X^L \frac{x}{v_b} p(x) dx \right\} r_v \quad (3.14)$$

2. 營運者成本函數

營運者成本函數為 BRT 所需之車輛數(F)乘以單位營運成本(B_b)，其中車輛數(F)為 BRT 往返時間(Round-Trip Time)除以班距(h_b)，如下示之：

$$c_o^b = B_b \times 2 \left(\frac{L}{v_b} \right) \times \frac{1}{h_b} \quad (3.15)$$

3.2.4 總成本函數

結合(3.1) ~ (3.9)、(3.11)、(3.14)、(3.15)等各項成本，系統總成本(TC)可歸納如下：

$$\begin{aligned} TC = & \left\{ \frac{a_1(D_d+d_d)}{v_p} G_1 \int_Y^X p(x) dx \right\} r_x + \left\{ b_1 h_d G_1 \int_Y^X p(x) dx \right\} r_w \\ & + \left\{ \int_Y^X \left(\frac{\alpha x + w}{2v_d} + \frac{x}{v_b} \right) G_1 p(x) dx \right\} r_v + B_d \times 2 \left(\frac{\alpha(X+Y)}{4v_d} + \frac{X+Y}{2v_b} \right) \times \frac{1}{h_d} \times \frac{2(X-Y)}{d_d} \\ & + \left\{ \frac{a_2(D_f+d_f)}{v_p} G_2 \int_X^L p(x) dx \right\} r_x + \left\{ b_2 h_f G_2 \int_X^L p(x) dx \right\} r_w \\ & + \left\{ \int_X^L \left(\frac{\alpha x + w}{2v_f} + \frac{D_B}{4v_f} \right) G_2 p(x) dx \right\} r_v + B_f \times 2 \times \frac{\alpha(L+X)+D_b}{4v_f} \times \frac{1}{h_f} \times \frac{2(L-X)}{d_f} \\ & + \left\{ \int_0^Y \left(\frac{\alpha x + D_b}{4v_p} \right) p(x) dx + \int_Y^X \left(\frac{a_{31}w + a_{32}D_b}{v_p} \right) (1 - G) p(x) dx \right\} r_x \quad (\text{當 } G_1 = G_2) \\ & + \left\{ b_3 \beta_1 \frac{1}{\left(\frac{1}{h_d} + \frac{1}{h_b} \right)} \int_0^Y p(x) dx + b_3 \beta_2 \frac{1}{\left(\frac{1}{h_d} + \frac{1}{h_b} \right)} (1 - G_1) \int_Y^X p(x) dx + b_3 h_b \int_X^L p(x) dx \right\} r_w \\ & + \left\{ \int_0^Y \frac{x}{v_b} p(x) dx + \int_Y^X \frac{x}{v_b} (1 - G_1) p(x) dx + \int_X^L \frac{x}{v_b} p(x) dx \right\} r_v + B_b \times 2 \left(\frac{L}{v_b} \right) \times \frac{1}{h_b} \end{aligned} \quad (3.16)$$



3.3 模式最佳化

本模式以「總成本最小化」做為目標式，並結合兩項限制式：(1)區間車服務範圍(X)介在 BRT 服務走廊(L)與區間車最短服務距離(Y)之間；(2)BRT 營運班距(h_b)小於等於直達公車營運班距(h_d)。可利用以下目標函數表示：

$$\text{Minimize TC} \quad (3.17)$$

$$\text{s.t.} \quad Y \leq X \leq L \quad (3.18)$$

$$h_b \leq h_d \quad (3.19)$$

本章節遂就各決策變數-直達公車營運班距(h_d)、直達公車路線間距(d_d)、區間車服務範圍(X)、BRT 營運班距(h_b)進行最佳化求解與討論。

3.3.1 直達公車營運班距

將總成本式(3.16)對直達公車營運班距(h_d)進行一階偏微分，可得：

$$\frac{\partial \text{TC}}{\partial h_d} = \frac{-4B_d(X-Y)\left(\frac{\alpha(X+Y)}{4v_d} + \frac{X+Y}{2v_b}\right)}{d_d h_d^2} + \frac{b_3 r_w \beta_1 \int_0^Y p(x) dx + b_3 \beta_2 (1-G_1) r_w \int_Y^X p(x) dx}{h_d^2 \left(\frac{1}{h_b} + \frac{1}{h_d}\right)^2} + b_1 r_w G_1 \int_Y^X p(x) dx \quad (3.20)$$

將上式等於 0，可求得 h_d 之最佳解。而為更進一步了解參數間的關係，本模式將 BRT 營運班距與直達公車營運班距之關係式 $\left(\frac{h_b}{h_b+h_d}\right)^2$ 以參數 γ_1 取代之，對於 h_d 與 h_b 而言， γ_1 之範圍如圖 3.3 所示。因此，可獲得 h_d 之近似最佳解：

$$h_d^* \cong \left(\frac{k_1}{k_3 + \gamma_1 k_2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.21)$$

其中

$$k_1 = \frac{2B_d(X-Y)\left(\frac{\alpha(X+Y)}{2v_d} + \frac{X+Y}{v_b}\right)}{d_d} \quad (3.22)$$

$$k_2 = b_3 \beta_1 r_w \int_0^Y p(x) dx + b_3 \beta_2 (1-G_1) r_w \int_Y^X p(x) dx \quad (3.23)$$

$$k_3 = b_1 r_w G_1 \int_Y^X p(x) dx \quad (3.24)$$

$$\gamma_1 = \left(\frac{h_b}{h_b + h_d} \right)^2, \quad 0.0083 \leq \gamma_1 \leq 0.25 \quad (3.25)$$

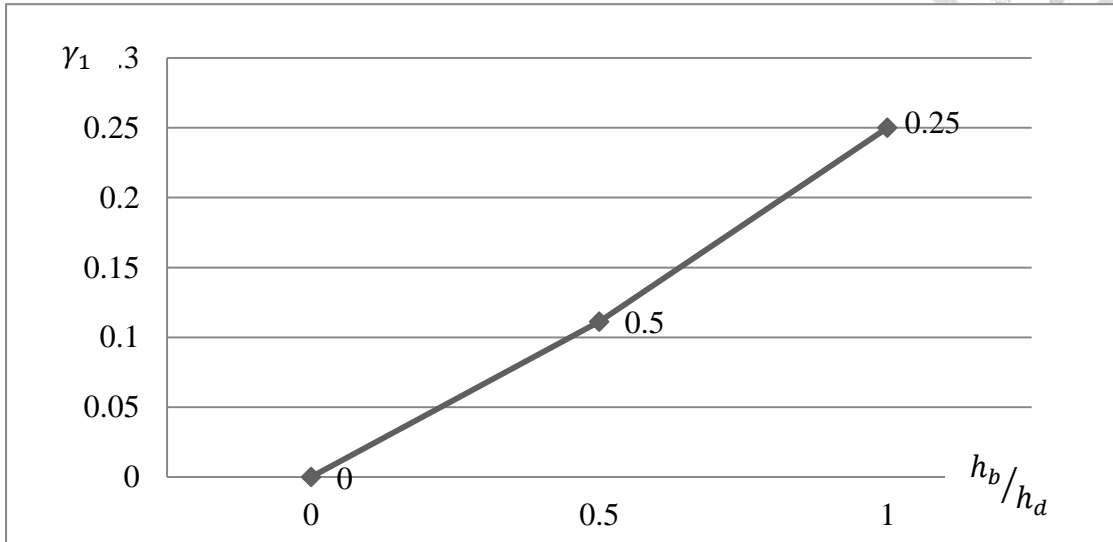
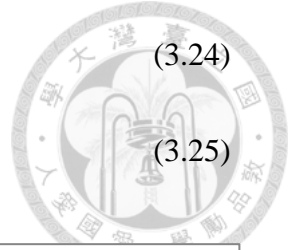


圖 3.3 h_b 與 h_d 之關係圖(γ_1)

由近似最佳解可知，直達公車速率(v_d)與 BRT 速率(v_b)越快，直達公車營運班距(h_d)將越密集，若進一步將 v_d 表示為 sv_b ($0 < s < 1$)，由近似最佳解可知當 BRT 速率(v_b)越大，直達車營運班距(h_d)越小，且兩者呈現 $h_d \propto \frac{1}{v_b^2}$ 之關係。此外，直達公車營運班距(h_d)與直達公車路線間距(d_d)呈負向關係，即當路線間距越大，營運班距將越密集，且兩者也呈 $h_d \propto \frac{1}{d_d^2}$ 之關係；而當直達公車系統服務總需求量越多，營運班距會隨之縮短，也顯示營運班距將更密集。

3.3.2 直達公車路線間距

將總成本(3.16)對直達公車路線間距(d_d)進行一階偏微分，可得：

$$\frac{\partial TC}{\partial d_d} = \frac{a_1 r_x G_1 \int_Y^X p(x) dx}{v_p} - \frac{4B_d(X-Y)\left(\frac{X+Y}{2v_b} + \frac{\alpha(X+Y)}{4v_d}\right)}{d_d^2 h_d} \quad (3.26)$$

將式(3.26)等於 0，可求得 d_d 之最佳解：



$$d_d^* = \left(\frac{B_d v_p (X^2 - Y^2)}{a_1 h_d r_x G_1 \int_Y^X p(x) dx} \left(\frac{\alpha}{v_d} + \frac{2}{v_b} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.27)$$

由式(3.27)可知直達公車路線間距(d_d)與 BRT 走廊服務角度(α)、行人步行速率(v_p)具有正向關係，與 BRT、直達公車行駛速率(v_b 、 v_d)、直達公車營運班距(h_d)、服務總需求量具負向關係。

3.3.3 區間車服務範圍

由於需求函數未知，區間車服務範圍(X)尚無法以分析性最佳結果表達，而其一階偏微分求得如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC}{\partial X} = & \frac{a_1(D_d+d_d) G_1 p(X) r_x}{v_p} + b_1 h_d G_1 p(X) r_w + \left(\frac{X}{v_b} + \frac{\alpha X + 2w}{4 v_d} \right) G_1 p(X) r_v + \frac{4B_d \left(\frac{\alpha X}{2v_d} + \frac{X}{v_b} \right)}{d_d h_d} - \\ & \frac{a_2(D_f+d_f) G_2 p(X) r_x}{v_p} - b_2 h_f G_2 p(X) r_w - \frac{(\alpha X + 2w + D_b) G_2 p(X) r_v}{4v_f} - \frac{B_f(2\alpha X + D_b)}{d_f h_f v_f} + \\ & \frac{(a_{31}w + a_{32}D_b)(G_2 - G_1)p(X)}{v_p} r_x + \left(\frac{b_3 \beta_2 (1 - G_1) P(X)}{\frac{1}{h_b} + \frac{1}{h_d}} - b_3 h_b p(X) \right) r_w - \frac{X}{v_b} G_1 p(X) r_v \end{aligned} \quad (3.28)$$

在社會總成本最小的情況下求區間車最佳服務範圍，必須在式(3.28)等於零且二階導函數大於零的條件下才会有最佳解。3.4 節將探討線性旅次需求函數下之最佳解。

3.3.4 BRT 營運班距

將總成本式(3.16)對 BRT 營運班距(h_b)進行一階偏微分，可得：

$$\frac{\partial TC}{\partial h_b} = \frac{-2B_b L}{h_b^2 v_b} + \frac{b_3 r_w \beta_1 \int_0^Y p(x) dx + b_3 \beta_2 r_w (1 - G_1) \int_Y^X p(x) dx}{\left(\frac{1}{h_b} + \frac{1}{h_d} \right)^2 h_b^2} + b_3 r_w \int_X^L p(x) dx \quad (3.29)$$

式(3.29)等於 0，可求得 h_b 之最佳解。而為更進一步了解參數間的關係，本模式將 BRT 營運班距與直達公車營運班距之關係式 $\left(\frac{h_d}{h_b + h_d} \right)^2$ 以參數 γ_2 取代之，對於 h_d 與 h_b 而言， γ_2 之範圍如圖 3.4 所示。因此，可獲得 h_b 近似最佳解：

$$h_b^* \cong \left(\frac{k_4}{k_6 + \gamma_2 k_5} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.30)$$

其中，

$$k_4 = \frac{2B_b L}{v_b} \quad (3.31)$$

$$k_5 = b_3 \beta_1 r_w \int_0^Y p(x) dx + b_3 \beta_2 r_w (1 - G_1) \int_Y^X p(x) dx \quad (3.32)$$

$$k_6 = b_3 r_w \int_X^L p(x) dx \quad (3.33)$$

$$\gamma_2 = \left(\frac{h_d}{h_b + h_d} \right)^2, \quad 0.25 \leq \gamma_2 \leq 0.83 \quad (3.34)$$

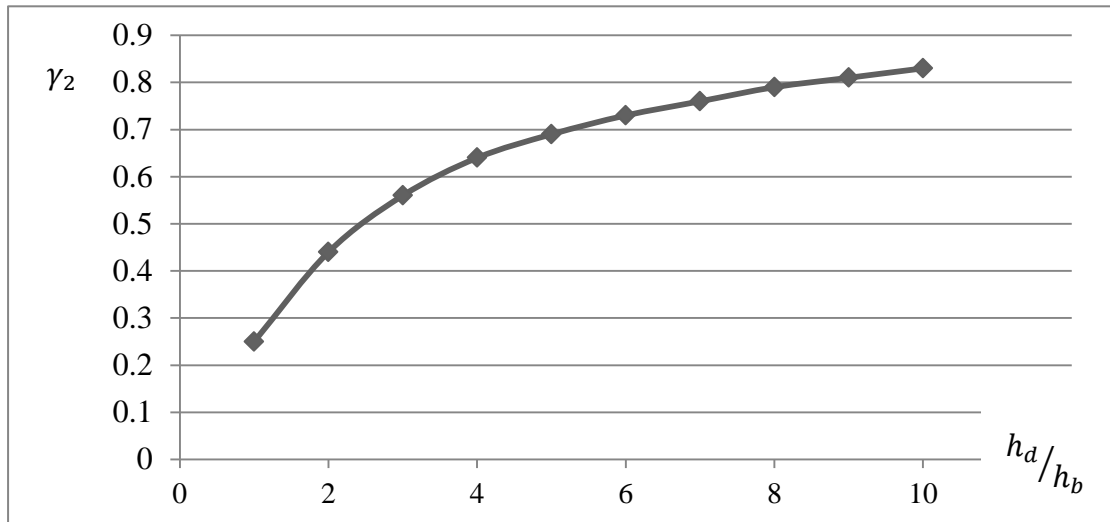
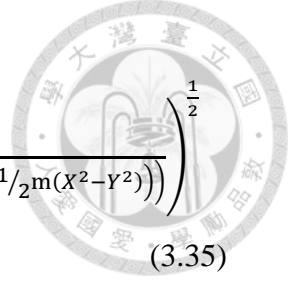


圖 3.4 h_b 與 h_d 之關係圖 (γ_2)

由近似最佳化結果可知，BRT 營運班距 (h_b) 和 BRT 行駛速率 (v_b) 為負向關係，當 BRT 行駛速率 (v_b) 越快時，BRT 營運間距 (h_b) 也相對越小，且兩者呈 $h_b \propto \frac{1}{v_b^{\frac{1}{2}}}$ 之關係。此外，當 BRT 服務總旅次量增加時，BRT 營運班距 (h_b) 也會隨之縮短，顯示需更密集的發車滿足旅次需求。

3.4 線性旅次需求函數下之最佳解

在以上分析過程中，由於需求函數未知，因此區間車最佳營運範圍 (X) 無法以分析性最佳結果表達。本章節遂假設需求函數為一線性遞減函數 $p(x) = n - mx$ ，並代入於各個決策變數中，如以下數式所示：



$$h_d^* \cong \left(\frac{\frac{2B_d(X^2-Y^2)}{d_d} \left(\frac{\alpha}{2v_d} + \frac{1}{v_b} \right)}{b_1 r_w G_1 (n(X-Y) - 1/2 m(X^2-Y^2)) + \gamma_1 b_3 r_w (\beta_1 (nY - 1/2 mY^2) + \beta_2 (1-G_1) (n(X-Y) - 1/2 m(X^2-Y^2)))} \right)^{\frac{1}{2}}$$

(3.35)

$$d_d^* = \left(\frac{B_d v_p (X^2-Y^2)}{a_1 h_d r_x G_1 (n(X-Y) - 1/2 m(X^2-Y^2))} \left(\frac{\alpha}{v_d} + \frac{2}{v_b} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.36)$$

$$X^* = \frac{-(Bm+Cn+D)}{2mA} \pm \frac{[(Bm+Cn+D)^2 - 4mA(-Bn+E)]^{\frac{1}{2}}}{2mA}, \quad m \neq 0 \quad (3.37a)$$

$$X^* = \frac{-Bn+E}{Bm+Cn+D}, \quad m = 0 \quad (3.37b)$$

其中，

$$A = \alpha r_v \left(\frac{G_2}{4v_f} - \frac{G_1}{4v_d} \right) \quad (3.38)$$

$$B = \frac{r_x [-a_1 G_1 (D_d + d_d) + a_2 G_2 (D_f + d_f) + a_{31} w (G_1 - G_2) + a_{32} D_b (G_1 - G_2)]}{v_p} + r_w (-b_1 G_1 h_d + b_2 G_2 h_f + b_3 h_b + \frac{b_3 \beta_2 (1-G_1)}{\frac{1}{h_b} + \frac{1}{h_d}}) + r_v \left(\frac{G_2 (D_b + 2w)}{4v_f} - \frac{wG_1}{2v_d} \right) \quad (3.39)$$

$$C = -\alpha r_v \left(\frac{G_2}{4v_f} - \frac{G_1}{4v_d} \right) \quad (3.40)$$

$$D = \frac{-2\alpha B_f}{d_f h_f v_f} + \frac{2B_d}{d_d h_d} \left(\frac{2}{v_b} + \frac{\alpha}{v_d} \right) \quad (3.41)$$

$$E = \frac{-B_f D_b}{d_f h_f v_f} \quad (3.42)$$

$$h_b^* \cong \left(\frac{\frac{2B_b L}{v_b b_3 r_w}}{\left(n(L-X) - \frac{m(L^2-X^2)}{2} \right) + \gamma_2 \left(\beta_1 \left(nY - \frac{mY^2}{2} \right) + \beta_2 (1-G_1) \left(n(X-Y) - \frac{m(X^2-Y^2)}{2} \right) \right)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

(3.43)

當線性需求函數斜率不為零時，區間車服務最佳範圍為(3.37a)；而當斜率為零，即旅次需求函數為均一分佈時，其最佳範圍為(3.37b)。值得注意的是，在需求函數斜率不等於零且 G_1 等於 G_2 的情況下，若直達公車營運速率(v_d)與接駁公車營運速率(v_f)相等時，將致使區間車服務範圍為無解，此部分在下章案例分析時會進一步根據實際應用透過合理假設進行分析。

第四章 案例研究



本章節首先說明案例分析之台中市BRT走廊，並依循其規劃內容設定背景參數值，同時解釋各參數值來源。之後將參數設定值帶入本研究模式，以求解各項決策變數-直達公車營運班距(h_d)、直達公車路線間距(d_d)、區間車服務範圍(X)、BRT營運班距(h_b)之最佳營運計畫，最後針對最佳化分析結果進行討論。

4.1 台中市 BRT 規劃內容

本節就台中市 BRT 之規劃背景、預期達成目標進行基本的回顧。雖然 BRT 涵括了工程面、交控面、財務面、行政面、營運面...等不同面向，本節只著重和案例分析相關之系統營運計畫。

4.1.1 建置背景

民國 100 年縣市合併後，台中市人口已達 266 萬餘人，登記汽車數為 94 萬餘輛，機車數為 174 萬餘輛。鑑於私有運具成長快速與市區道路的壅塞，如何抑制私人運具發展以及滿足不同旅次需求，以提升整體運輸效能為目前台中市面臨之主要挑戰。

近年來，台中市政府積極推動公共運輸建設，期望以高運量之公共運輸轉移私有運具之旅次，然而軌道捷運系統雖能有效處理交通問題，但卻存在造價高昂、建設期長、交通衝擊大等缺點。由於公車捷運系統(Bus Rapid Transit, BRT)具高效率、營運規劃高彈性、低成本等優點，故台中市府遂以此為主要思考方向，呼應中央政府所推動之強化公共運輸發展計畫。其建置目標主要包括：

1. 做為串聯中臺灣的快捷主幹線公共運輸系統
2. 強化中臺灣公共運輸路網，藉以增加中臺灣公共運輸使用人口
3. 提升中臺灣公共運輸之服務品質

4. 作為BRT於臺灣實行的示範計畫
5. 以光譜概念漸進式持續地朝交通運輸永續發展之目標前進



台中市 BRT 藍線優先路段乃以台鐵台中站為起點，沿臺灣大道經東海大學至靜宜大學，預計 102 年底先於靜宜大學至東海大學路段試運轉，並於 103 年 3 月全線試運轉。此外，台中市政府亦公布未來 6 條路線遍及大台中 29 區之快捷巴士願景路網，如圖 4.1 所示。

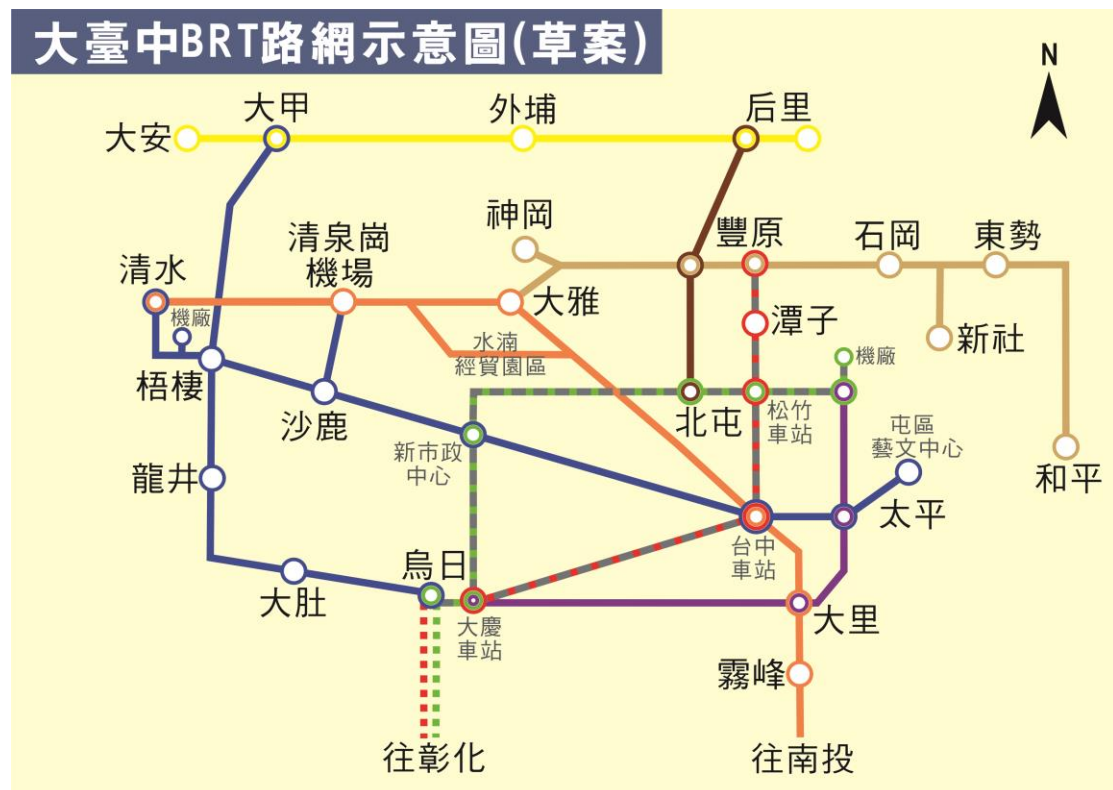


圖 4.1 台中市 BRT 路網示意圖

資料來源：台中市政府交通局

4.1.2 BRT 優先路段營運架構

BRT具有公車營運彈性與軌道捷運服務品質，其重要的特性之一即為具專有路權；然而由於其公車的營運彈性，配合車站及專用道基礎設施涉及配置，將擁有兩種可能方案：一線到底或主幹線+支線。

一線到底之路線結構(如圖 4.2)選擇保有原公車路線的直達特性，BRT車輛在專屬車道及車站範圍內營運，優點為有不同公車路線服務至各目的端點，不須轉乘，可維持主幹線仍有較高之服務容量，缺點為車型較無法與路廊需求配適，案例如美國拉斯維加斯、中國常州及濟南、日本名古屋等地。主幹線+支線之路線結構(如圖 4.3)以接近軌道捷運的方式營運，優點為公車車型與交通需求較能配適，如主幹線用連結公車，接駁路線用小型公車，而缺點為乘客必須轉乘，旅行時間較長。國外案例如庫里提巴、波哥大、北京第一號線、伊斯坦堡、墨西哥城市、雅加達等地。

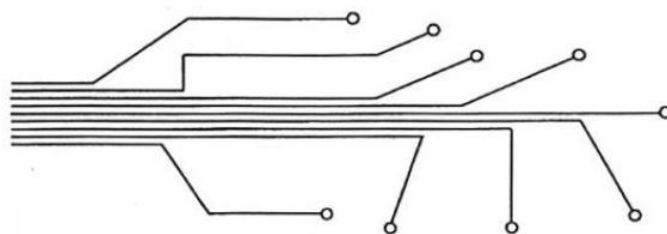


圖 4.2 一線到底路線結構示意圖

資料來源：鼎漢國際工程顧問股份有限公司(2011)

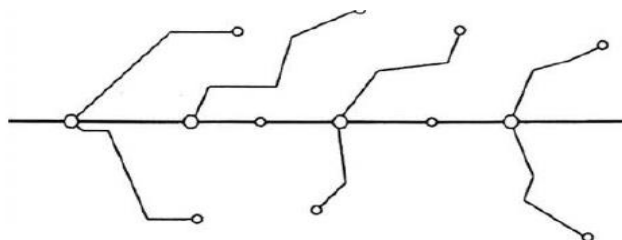


圖 4.3 主幹線+支線路線結構示意圖

資料來源：鼎漢國際工程顧問股份有限公司(2011)

因一線到底路線結構與主幹線+支線路線結構皆有其優缺點，因而在BRT發展規劃中，如何選擇BRT車輛之營運方式為一重要課題。由國外經驗，採主幹線+支線結構為多數BRT之路網規劃方向，因主幹線上之路線單純化可維持公車站台服務水準，提高幹道營運效率，惟需配合有效的轉乘車站與路線設計，降低轉乘之不便。



4.1.3 公車系統整合原則

一般公車與BRT之整合原則主要有三種形式(鼎漢國際工程顧問股份有限公司, 2011): 公車專用道、主幹線+接駁路線、混合式營運, 如圖 4.4 所示。

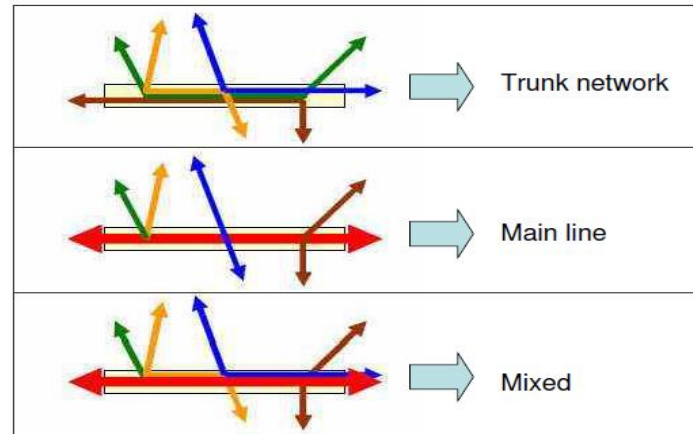


圖 4.4 BRT 與公車路線整合原則

資料來源：鼎漢國際工程顧問股份有限公司(2011)

第一種整合型式為「現況公車客運營運路線+公車專用道(Trunk Line)」, 亦即對現有營運業者及其路線並不變更與調整, 其營運將如現有臺北市公車專用道型態。此方式雖變動小, 但由台北市營運經驗可知, 公車專用道會因公車路線過多, 產生站台服務效率大幅滑落之狀況, 且乘客較無搭乘之誘因, 導致整體運作效率較不理想。若因未來市府受限路權及用地影響需採此一方式, 需加強相關配套措施, 如要求業者逐年汰換現有公車為低地板與低污染公車、建構公車交通管制中心、站牌設置以近端方式為宜, 避免車輛排班停等過長等。

第二種整合型式為「主幹線+接駁路線」, 即以BRT路廊為主軸, 公車客運路線調整為BRT接駁路線。若採行此一方案則須對現有公車客運路線進行調整, 基本原則為若與BRT幹道重疊, 原公車路線將與BRT路線合併, 而未與BRT路線重疊之路段則規劃為接駁路線或區域型公車路線。此方式可有效提升公車客運服務品質與形象, 對於市民搭乘誘因應較高, 但對於現有業者影響較大, 且部份路線乘客需轉乘。

第三種整合型式「混合式營運」乃為第二種型式的調整。基於乘客使用方便性及公車客運服務面，若難以整併為單一路線，考量實務的推動，可採用此方式以提高其運作效率。

台中市政府交通局目前規劃以 BRT 為主要幹道路線，一般公車為輔助或接駁路線；重疊性較高的路線須進行路線調整，以橫向接駁與轉乘為主，使 BRT 與一般公車形成完整運輸路網。而本研究乃基於總成本最小之系統最佳化原則進行整合規劃，探討台中市公車與其 BRT 幹線公車間之最佳混合組合模式。

4.2 參數設定

以下就本模式之服務範圍營運參數、單位成本項目參數、進站與等待時間因子等參數進行設定，以供案例數值分析運用。

4.2.1 服務範圍營運參數

1. BRT 走廊服務角度與長度

本研究設定 BRT 走廊服務長度(L)為 12.87 公里(台中火車站至坪頂)，並根據大台中 BRT 路網示意圖(圖 4.1)，假設 BRT 藍線服務角度(α)為 60 度。本研究另假設區間車最短服務長度(Y)為 1 公里，而區間車服務範圍(X)為決策變數。

2. 營運班距

直達公車營運班距(h_d)與 BRT 營運班距(h_b)為決策變數。另根據目前公車營運現況，假設接駁公車之營運班距(h_f)為 10 分鐘。

3. 平均站距與路線間距

由台中市政府交通局官網可求得 BRT 平均站距(D_b)為 0.8 公里，而本模式假設直達公車平均站距(D_d)與接駁公車平均站距(D_f)分別為 0.5 公里。在路線間距方面，直達公車路線間距(d_d)為本模式之決策變數，本模式另根據鼎漢國際工程顧問股份有限公司(2011)之規劃報告進行接駁公車路線間距(d_f)的假設。

目前優先路段所經過之公車客運路線共約61線，若依與優先路段重疊小於30%、30%~70%及大於70%來看，各約占64%、13%、23%。依規劃報告的公車路線調整原則，30%以下者將依現有路線行駛，但不行駛於BRT專用車道；30%~70%則檢討其路線型態，透過截斷與延伸評估納入BRT路線以成為接駁路線；超過70%以上重疊路線則統一納入BRT 路線，至於部份路線則截斷取消或成為另一接駁路線。本研究參考上述調整原則，經計算後假設接駁公車之平均路線間距約為0.8公里。

4. 營運速率

本研究所稱之 BRT 擁有專用車道，因此令 BRT 行駛速率(v_b)為 30 公里/小時。另因直達公車行駛於市區，假設其行駛速率小於接駁公車行駛速率，因此本模式之直達公車行駛速率與接駁公車行駛速度(v_d, v_f)分別設定為 20 公里/小時、25 公里/小時。

4.2.2 單位成本項目參數

1. 單位營運成本

郭靜菽(2009)考量車公里成本與BRT平均行車速率得BRT營運成本(B_b)為1500元/小時，本研究將此值代入模式中。

本模式雖規劃直達公車可與BRT車輛一同行駛於BRT走廊，但考量在公路上的道路限制，因此採取與接駁公車一樣的單節公車車輛。根據林至晟(2012)，公車單位營運成本可分成車輛固定成本以及變動成本。在固定成本方面，依據實際營運經驗，市區公車以三期環保、符合台中市自治條例普通公車10年、低地板公車12年之使用年限車輛統計，其成本折算約為350元/車時；而變動成本為車輛變動單位成本係數乘以單位車輛可承載人數，再乘以尖峰承載率60%。綜合以上，直達與接駁公車單位營運成本(B_d, B_f)為950元/時。



2. 單位時間價值

由台北市政府捷運局(2002)調查得知台北地區單位等待時間成本(r_w)和單位步行時間成本(r_x)為單位小時310元、單位車內時間成本(r_v)為單位小時155元。

4.2.3 調整因子

1. 平均進站距離因子

在本模式中，假設直達公車、接駁公車乘客平均步行進站距離因子(a_1 、 a_2)約為站距之0.25；BRT乘客之垂直進站距離因子(a_{31})為0.5，水平進站距離因子(a_{32})為0.25。

2. 平均等待時間因子

假設乘客為隨機到達且班次頻率高，乘客等待時間分布於零至一班距間，因此直達公車、接駁公車與BRT平均等待時間因子(b_1 、 b_2 、 b_3)之值為0.5。

3. 班距調整因子

β_1 、 β_2 皆取其範圍之中間值，分別為 $\frac{13N+31}{2(N+1)(N+10)}$ 、 $\frac{13N+62}{(N+2)(N+20)}$ ， N 代表區間車路線總數。雖區間車路線總數(N)為由直達公車服務範圍(X - Y)與直達公車路線間距(d_a)求得，然而將變數代入求解後，其算式變得相形複雜，並大幅增加求解困難度。為有效提升運算速率，本模式以預期區間車路線總數(\hat{N})取代，探討本研究範圍中區間車路線總數對於營運班距的平均整體影響程度。

本模式之直達公車服務區域(X - Y)介於0至11.87公里，平均服務範圍約為6公里；考量道路間隔與最大步行可容忍距離，直達公車路線間距(d_a)範圍落在0.4至2公里間，取其平均路線間距為1.2公里；綜合以上，可估算區間車路線總數(\hat{N})約為10條。將預期區間車路線總數(\hat{N})代入班距調整因子， β_1 、 β_2 分別為0.366與0.533。



4.2.4 其他參數

步行速率(v_p)方面，本模式設定為 4 公里/小時；步行可接受距離(w)則為 0.5 公里。直達公車班距與 BRT 班距之關係式皆取其關係式之中間值，即 γ_1 為 0.129， γ_2 為 0.538。

需求函數方面，本模式以民國 120 年尖峰小時 BRT 走廊之預測運量與各站之尖峰小時進出站人次為基礎(鼎漢國際工程顧問股份有限公司，2011)，搭配本模式之多對一需求函數假設可推算距 CBD 之距離長度與需求人次對應表與需求函數 $p(x) = -38x + 1193$ ，如表 4.1、圖 4.5 所示， x 為距 CBD 之距離。

最後，直達公車與接駁公車需求比例(G_1 、 G_2)皆設定為 90%。

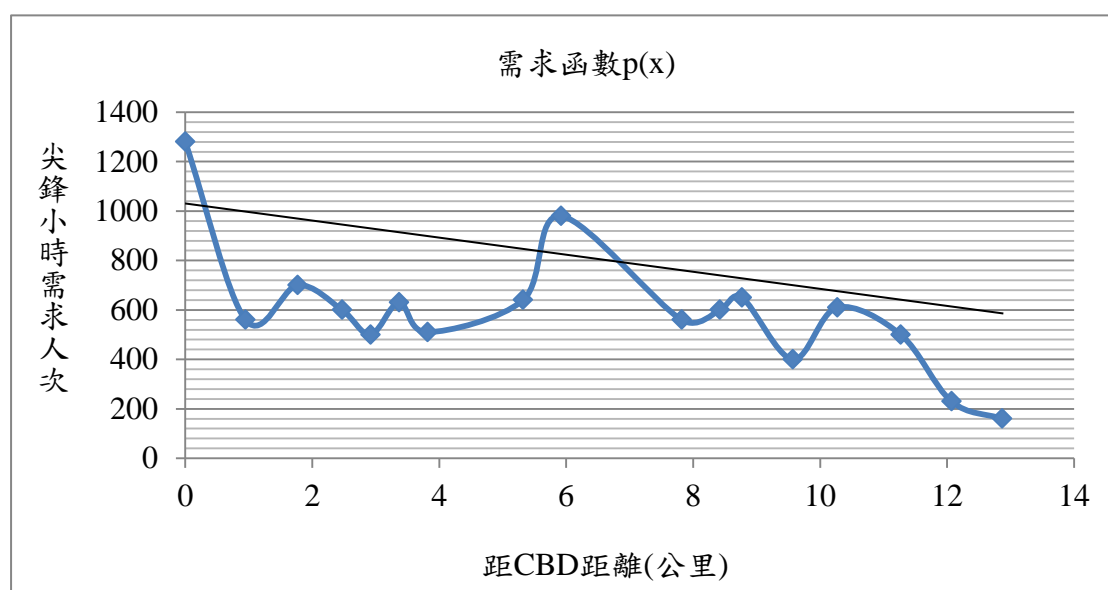


圖 4.5 需求函數

表 4.1 距 CBD 之距離長度與需求人次對應表

鄰近地標	路口	與 CBD 距離 (公里)	尖峰小時 上車人次 (旅次數/尖峰小時)
坪頂轉運站	---	12.87	160
遊園站	台灣大道遊園北路/遊園南路口	12.07	230
東海大學/東園巷	台灣大道國際街口	11.27	500
東海大學/榮總	台灣大道東大路口	10.27	610
東海牧場	台灣大道玉門路口	9.57	400
澄清醫院	中工二路/福德路口	8.77	650
中港新城站	中工三路/永福路口	8.42	600
裕元酒店	台灣大道安和路口	7.82	560
朝馬轉運站	台灣大道朝富路口	5.92	980
新光三越/大遠百	台灣大道惠來路口	5.32	640
市政中心	台灣大道文心路口	4.62	2100
長榮酒店	台灣大道大墩路/何厝路口	3.82	510
忠明國小	台灣大道忠明路口	3.37	630
科博館/金典酒店	台灣大道美村路口	2.92	500
中正國小	台灣大道英才路口	2.47	600
中山醫院	台灣大道五權路口	1.77	700
興中停車場	中正中華路口	0.95	560
台鐵台中站	---	0	1280



4.2.5 模式參數歸納

綜合上述，本模式參數總表歸納如表 4.2 所示。

表 4.2 模式參數總表

服務範圍營運參數	BRT 走廊服務總長度(L)	12.87 公里	單位成本項目	BRT 系統營運成本(B_b)	1500 元/時
	BRT 走廊服務角度(α)	60 度		直達公車營運成本(B_d)	950 元/時
	區間車服務範圍(X)	決策變數		接駁公車營運成(B_f)	950 元/時
	區間車最短服務距離(Y)	1 公里		等待時間成本(r_w)	310 元/時
	直達公車營運班距(h_d)	決策變數		單位步行時間成本(r_x)	310 元/時
	接駁公車營運班距(h_f)	10 分鐘		單位車內時間成本(r_v)	155 元/時
	BRT 營運班距(h_b)	決策變數	調整因子	直達公車平均進站距離因子(a_1)	0.25
	直達公車平均站距(D_d)	0.5 公里		接駁公車平均進站距離因子(a_2)	0.25
	接駁公車平均站距(D_f)	0.5 公里		BRT 垂直進站距離因子(a_{31})	0.5
	BRT 平均站距(D_b)	0.8 公里		BRT 水平進站距離因子(a_{32})	0.25
	直達公車平均路線間距(d_d)	決策變數		等待時間因子(b_1, b_2, b_3)	0.50
	接駁公車平均路線間距(d_f)	0.8 公里		班距調整因子(β_1, β_2)	0.366, 0.533
	BRT 行駛速率(v_b)	30 公里/時	其他	步行平均速率(v_p)	4 公里/時
	直達公車行駛速率(v_d)	20 公里/時		步行可接受距離(w)	0.5 公里
	接駁公車行駛速率(v_f)	25 公里/時		直達公車與 BRT 間距之關係式(γ_1, γ_2)	0.129, 0.538
				需求函數($p(x)$)	$-38x+1193$
				直達與接駁公車需求比例(G_1, G_2)	90%



4.3 案例結果分析

將上節系統參數代入本模式，並對決策變數進行聯立求解可得案例最佳化結果。本章節就其結果進行討論，並分析成本項目。

4.3.1 最佳營運計畫

直達公車平均營運班距(h_d)為 4.94 分鐘，直達公車平均路線間距(d_d)為 0.67 公里，區間車服務範圍(X)為 5.18 公里，BRT 平均營運班距(h_b)為 2.08 分鐘。整體營運計畫如表 4.3 所示。

藉由公車服務與 BRT 的整合規劃，若有一條區間車路線與 BRT 幹線公車同時服務，在 BRT 幹線上之班距為 1.46 分鐘，而隨著區間車路線數的增加班距密度也會隨之遞增，且越靠近 CBD 班次越密集。在服務水準不變的假設下，直達公車服務範圍 ($Y \leq x \leq X$)內之 BRT 平均營運班距約為 47 秒，近市中心之高需求區域($x \leq Y$)可達每隔 32 秒一班。

表 4.3 整體營運計畫

項目		營運計畫
直達公車服務	營運班距	4.94 分鐘
	路線間距	0.67 公里
	路線總數	12 條
	區間車服務範圍	5.18 公里
	配置車輛總數	56 輛
接駁公車服務	營運班距	10 分鐘
	路線間距	0.8 公里
	路線總數	18 條
	配置車輛總數	46 輛
BRT 服務	營運班距	2.08 分鐘
	配置車輛總數	25 輛



4.3.2 成本分析

各系統子成本與其成本比例如表 4.4 所示。依系統別來看，BRT 與接駁公車系統占有較高的比例(37%、38%)，而直達公車系統占總成本比例較低(25%)，如圖 4.6 所示；依各別成本項目來看，最大比例為 BRT 車內時間成本(26%)，其次為接駁公車系統等待時間成本(13%)、接駁公車系統進站時間成本(13%)，而占總成本比例最小者為 BRT 營運者成本(3%)、BRT 等待時間成本(3%)，如圖 4.7 所示。

BRT 服務的高旅次量與較長的平均車內時間為其總車內時間成本占總成本比例最高的原因；而 BRT 營運成本與等待時間成本皆較低之可能原因為直達公車系統分擔了一部分的旅次需求，致使 BRT 可調整營運班距，降低所需車隊數，而又因 BRT 走廊上同時有幹線公車與區間車提供服務，縮減其使用者等待時間，致使 BRT 總等待時間成本下降。

表 4.4 成本項目與比例

成本結構		成本(元/時)	成本比例	
直達公車系統	使用者成本	進站時間成本	91,725.29	8%
		等待時間成本	51,642.12	4%
		車內時間成本	96,309.94	8%
	營運者成本	52,947.63	4%	
接駁公車系統	使用者成本	進站時間成本	148,183.00	13%
		等待時間成本	151,982.56	13%
		車內時間成本	100,493.26	8%
	營運者成本	43,179.70	4%	
BRT	使用者成本	進站時間成本	68,519.58	6%
		等待時間成本	37,691.25	3%
		車內時間成本	307,443.88	26%
	營運者成本	37,089.34	3%	
總系統成本		1,187,207.55	100%	

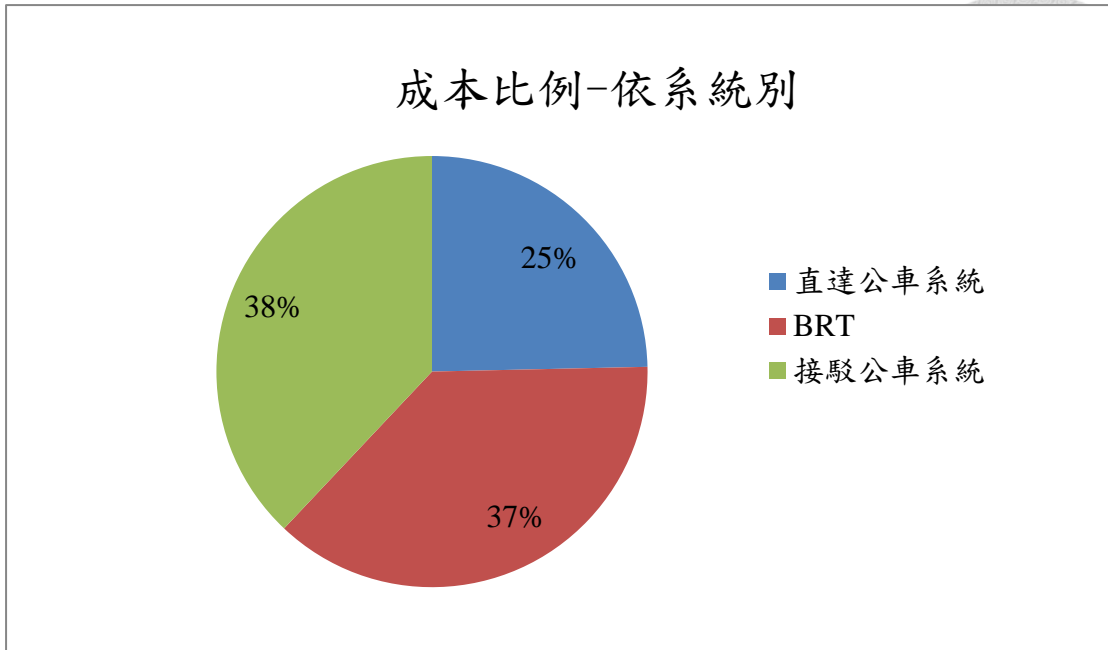


圖 4.6 成本比例-依系統別

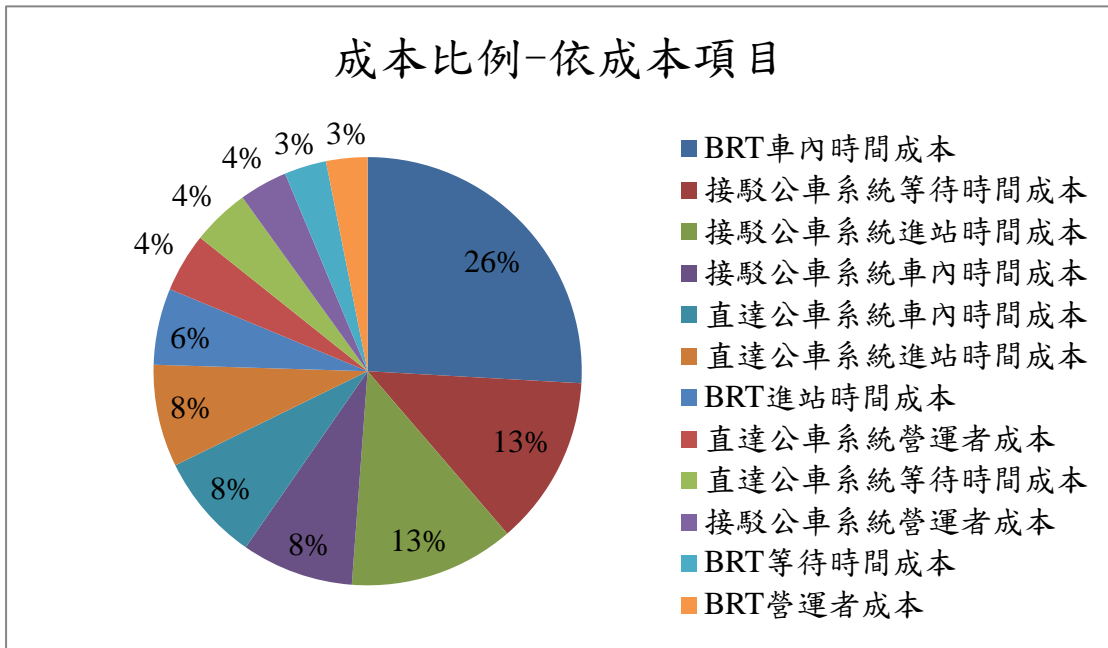


圖 4.7 成本比例-依成本項目



4.4 敏感度分析

本節之敏感度分析主要研究單位成本項目、BRT 走廊服務長度、BRT 走廊服務角度、BRT 車輛營運速率、需求函數等系統參數與模式變數間之相關性與影響程度。

4.4.1 單位成本項目

1. 使用者單位時間成本

單位進站時間成本、單位等待時間成本、單位車內時間成本與總成本之間的關係如圖 4.8 所示。由圖可知，隨著使用者單位時間成本的增加，總系統成本也隨之遞增；而影響幅度最大者為單位車內時間成本，其次為單位進站時間成本、單位等待時間成本。

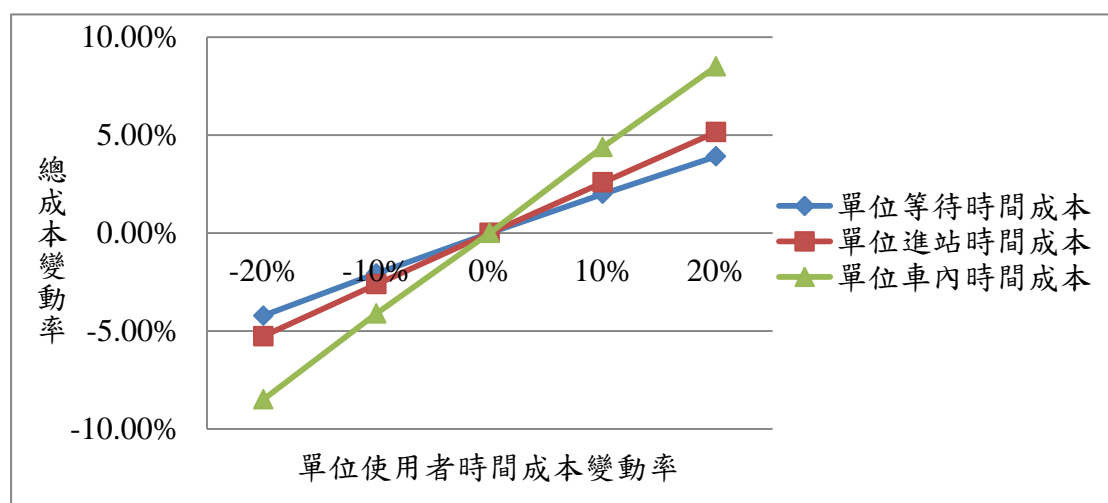


圖 4.8 單位時間成本對總成本之影響

2. 系統單位營運者成本

在單位營運者成本方面，分析項目包含直達公車單位營運者成本、接駁公車單位營運者成本以及 BRT 單位營運者成本，如圖 4.9 所示。隨著單位成本的增

加，總成本也隨之遞增，但系統單位營運者成本對總成本並無顯著影響，且三者影響程度無明顯差異。

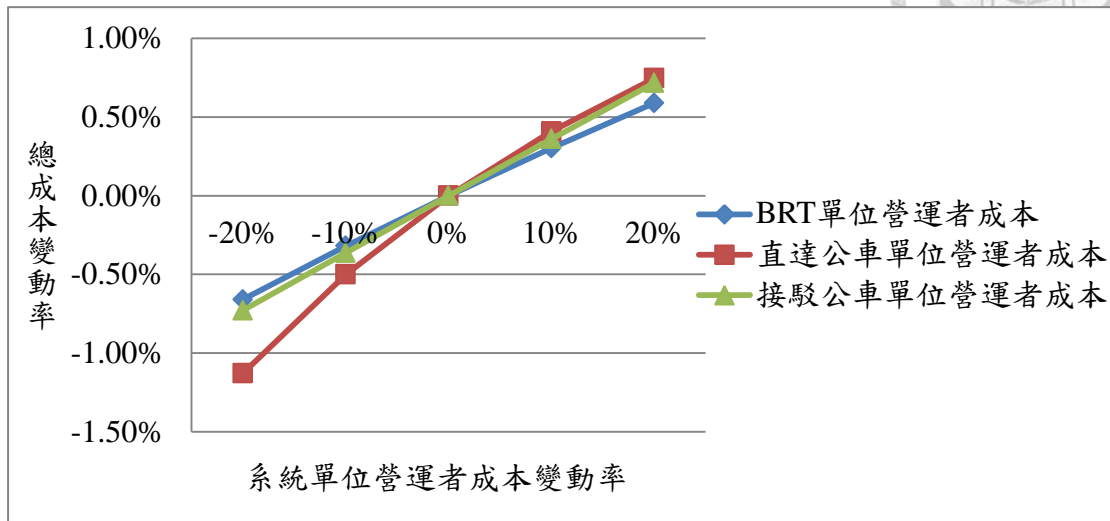


圖 4.9 單位營運者成本對總成本之影響

3. 綜合討論

若同時探討使用者單位時間成本、系統單位營運者成本對總成本的影響程度，由圖 4.10可知影響最顯著的為單位車內時間成本，其次為單位進站時間成本與單位等待時間成本，而BRT單位營運者成本、直達公車單位營運者成本與接駁公車單位營運者成本之影響程度較不明顯。因此在規劃時需特別注意研究地區單位使用者成本之參數訂定。

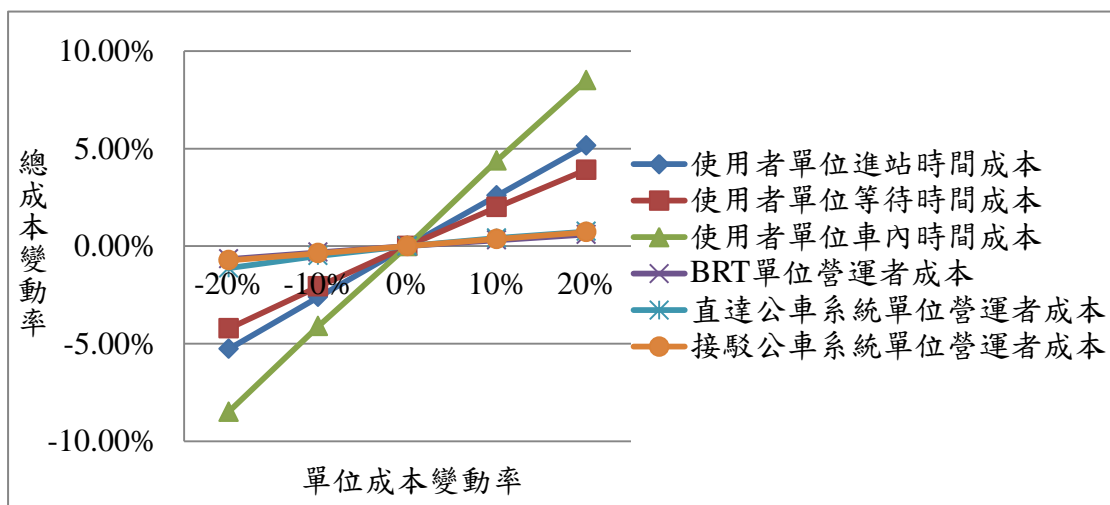


圖 4.10 各別單位成本項目對總成本之影響



4.4.2 服務範圍參數

1. BRT 走廊服務長度

BRT 走廊服務長度對各決策變數之影響如表 4.5 所示。區間車服務範圍大致隨著 BRT 服務走廊的延伸呈現擴大的趨勢，且呈邊際增加，如圖 4.11 所示；直達公車系統與 BRT 之營運班距隨著路廊的延伸有增加的趨勢，如圖 4.12 所示；直達公車路線間距隨著路廊的延伸也呈現遞增的趨勢，惟其漲幅不明顯，如圖 4.13 所示。綜合上述，可得各決策變數與 BRT 走廊服務長度具正向關係。

表 4.5 BRT 走廊服務長度對各決策變數之影響

BRT 走廊服務長度 (公里)	區間車服務範圍 (公里)	直達公車營運班距 (分鐘)	直達公車路線間距 (公里)	BRT 營運班距 (分鐘)
12.87	5.18	4.94	0.6727	2.08
15	5.15	4.93	0.6715	2.04
20	5.21	4.95	0.6737	2.06
25	5.26	4.96	0.6758	2.15
30	5.39	5.00	0.6808	2.30

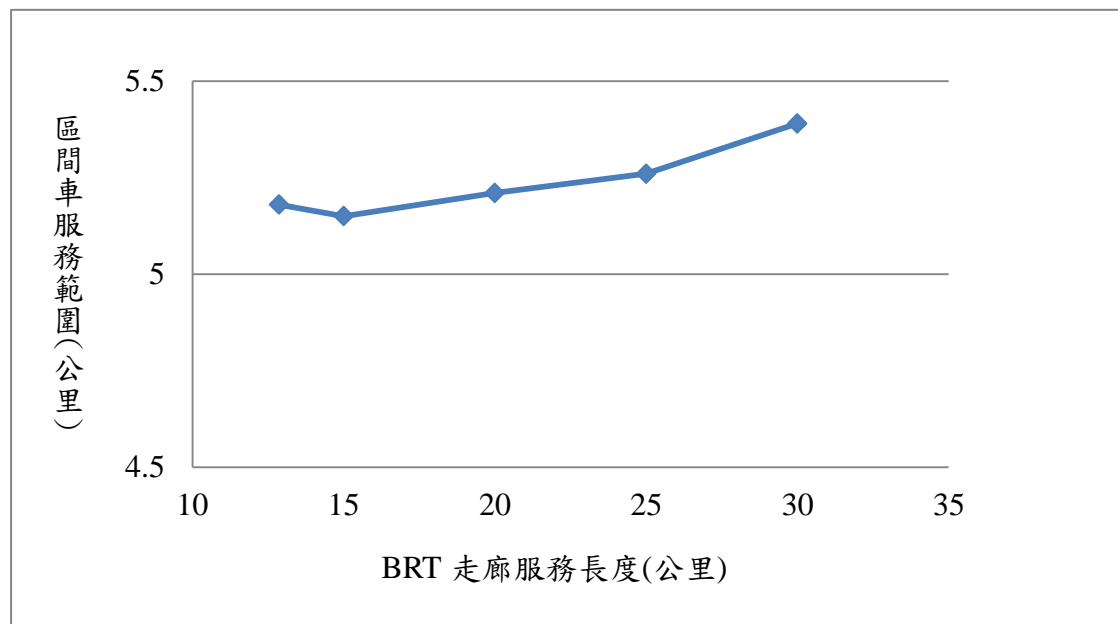


圖 4.11 BRT 走廊服務長度對區間車服務範圍之影響

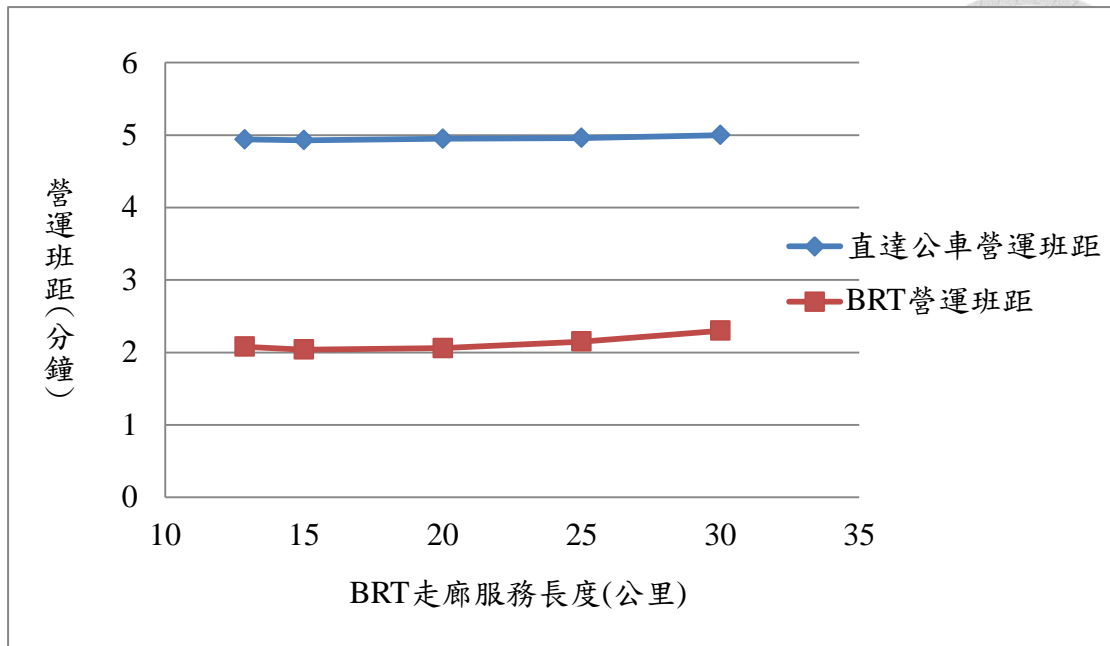


圖 4.12 BRT 走廊服務長度對營運班距之影響

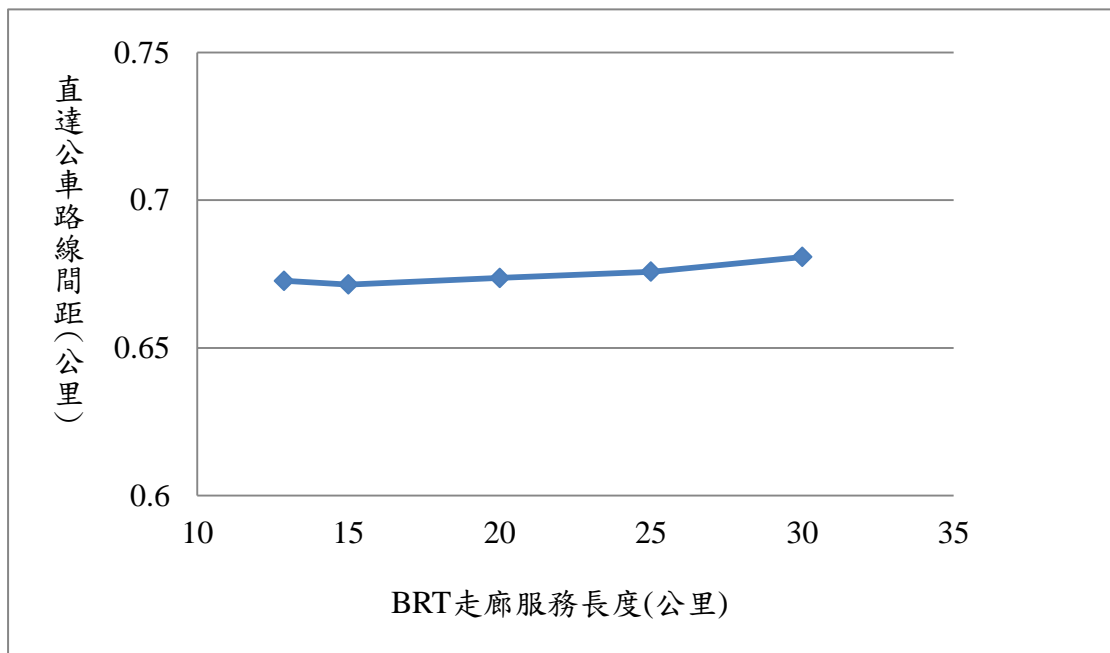


圖 4.13 BRT 走廊服務長度對直達公車路線間距之影響

2. BRT 走廊服務角度

BRT 走廊服務角度對各決策變數之影響如表 4.6 所示。隨著 BRT 走廊服務角度的擴大，區間車服務範圍隨之縮減，且直達公車之營運班距與路線間距皆呈遞增的趨勢，如圖 4.14、圖 4.15 與圖 4.16 所示。BRT 營運班距則與其服務角

度呈負向關係，即角度越大其值越小，顯示發車較密集，如圖 4.15 所示。綜合上述，可得當服務角度擴大時較不仰賴直達公車系統供給服務，而 BRT 須更密集的發車來滿足需求。



表 4.6 BRT 走廊服務角度對各決策變數之影響

BRT 走廊服務角度 (度)	區間車服務範圍 (公里)	直達公車營運班距 (分鐘)	直達公車路線間距 (公里)	BRT 營運班距 (分鐘)
60	5.18	4.94	0.6727	2.08
72	4.86	4.98	0.6788	2.04
90	4.45	5.03	0.6872	1.98
120	3.91	5.11	0.6996	1.91

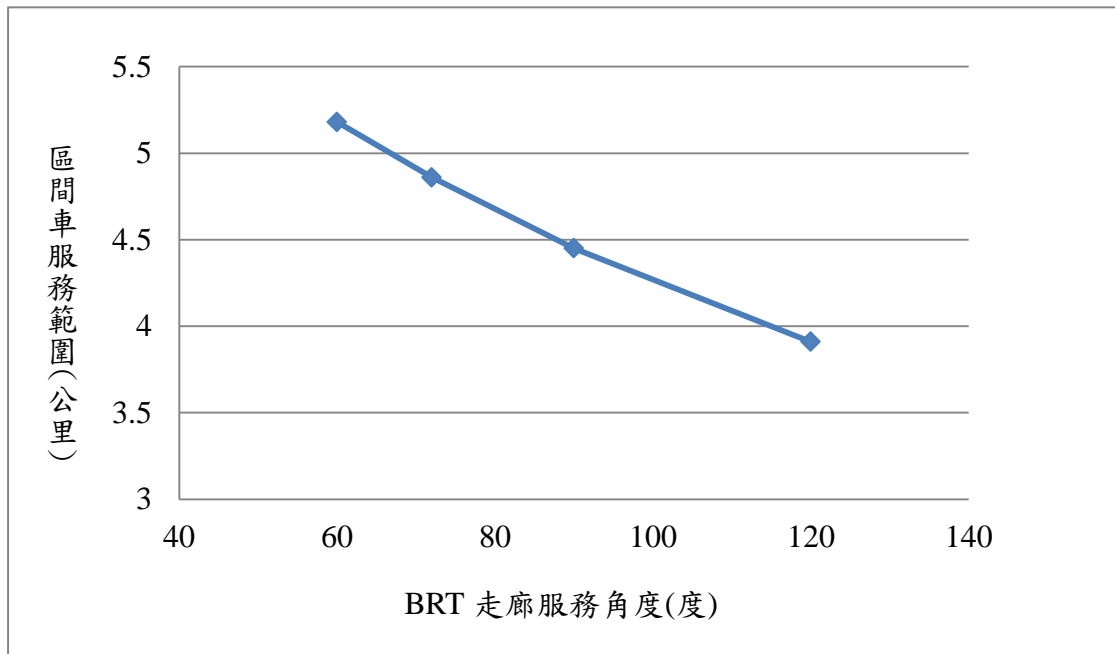


圖 4.14 BRT 走廊服務角度對區間車服務範圍之影響

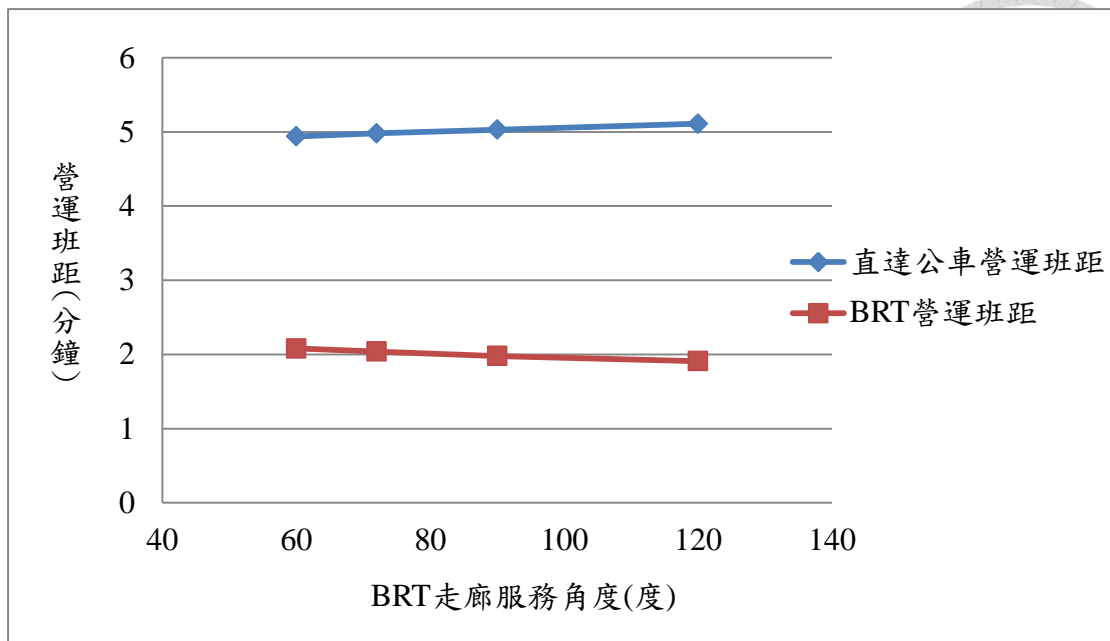


圖 4.15 BRT 走廊服務角度對營運班距之影響

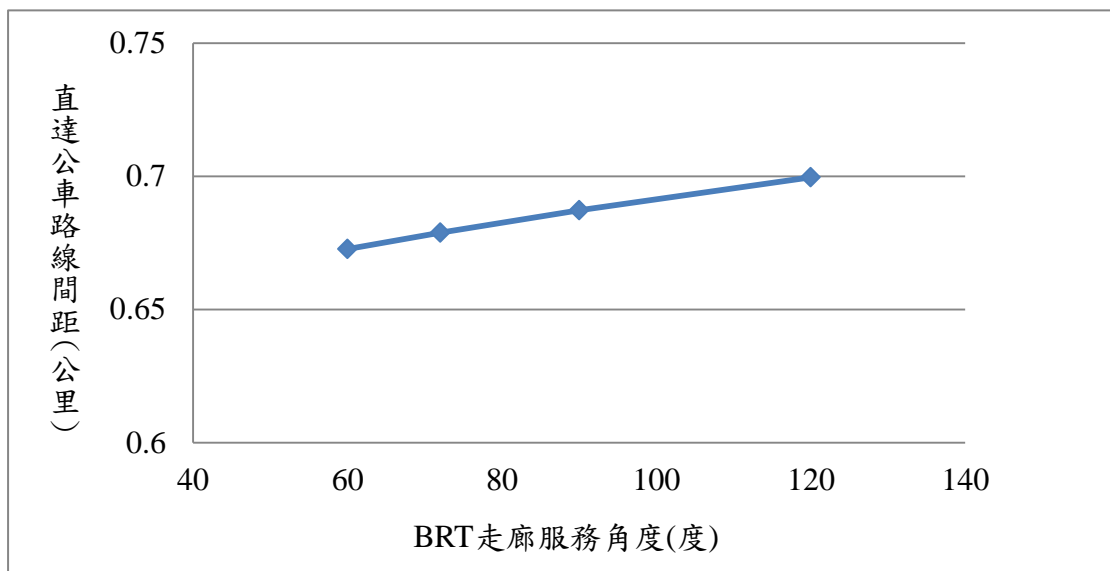


圖 4.16 BRT 走廊服務角度對直達公車路線間距之影響

4.4.3 BRT 行駛速率

BRT 行駛速率與各決策變數之關係如表 4.7 所示。區間車服務會隨著 BRT 行駛速率的提高而擴大其營運範圍，且其增率呈邊際遞增，如圖 4.17 所示；直達公車系統與 BRT 之營運班距與 BRT 行駛速率呈負向關係，即速率越高營運班距也越密集，如圖 4.18 所示；直達公車路線間距則隨著 BRT 速率的增加呈現減

少的趨勢，且為邊際遞減，如圖 4.19 所示。綜合上述，當 BRT 行駛速率提升時直達公車系統之服務範圍與路線數將隨之增加，且直達公車系統與 BRT 之營運班距也隨之縮短，顯示兩者皆有較高的發車密度。



表 4.7 BRT 行駛速率對各決策變數之影響

BRT 營運速率 (公里/小時)	區間車 服務範圍 (公里)	直達公車 營運班距 (分鐘)	直達公車 路線間距 (公里)	BRT 營運班距 (分鐘)
20	4.42	5.10	0.6969	2.42
30	5.18	4.94	0.6727	2.08
40	5.70	4.85	0.6588	1.87
50	6.07	4.78	0.6496	1.72
60	6.36	4.73	0.6429	1.61

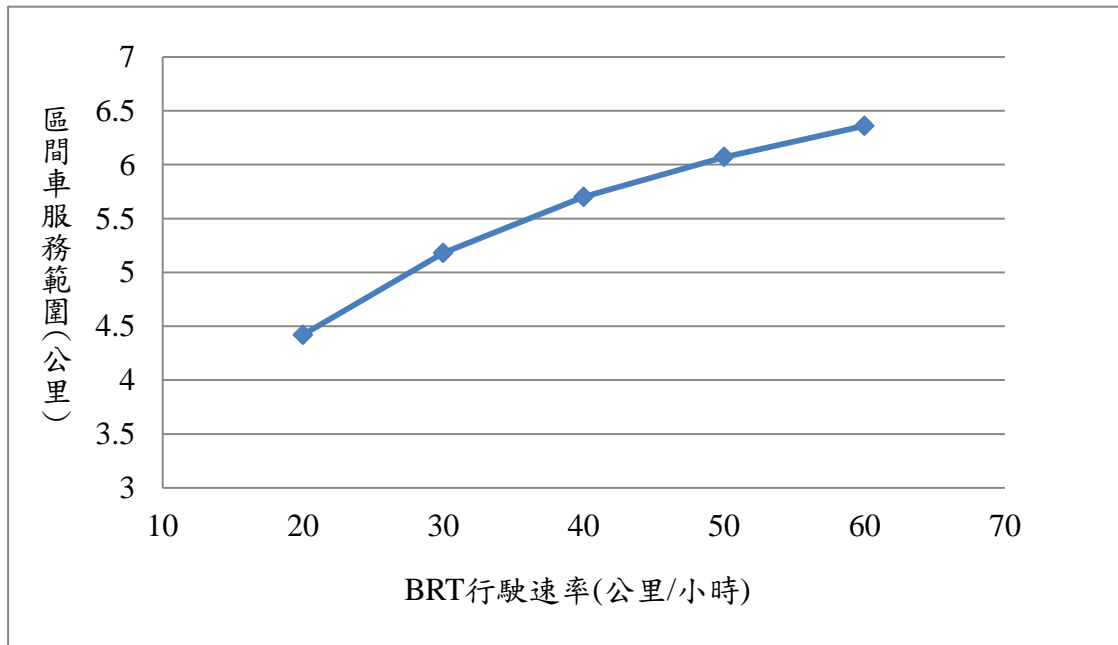


圖 4.17 BRT 行駛速率對區間車服務範圍之影響

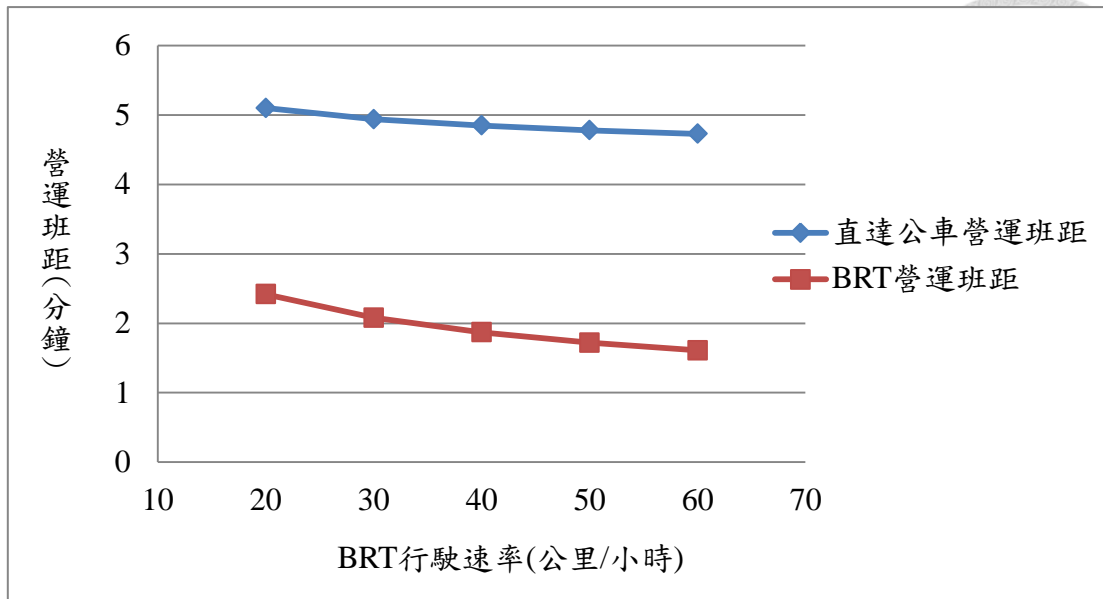


圖 4.18 BRT 行駛速率對營運班距之影響

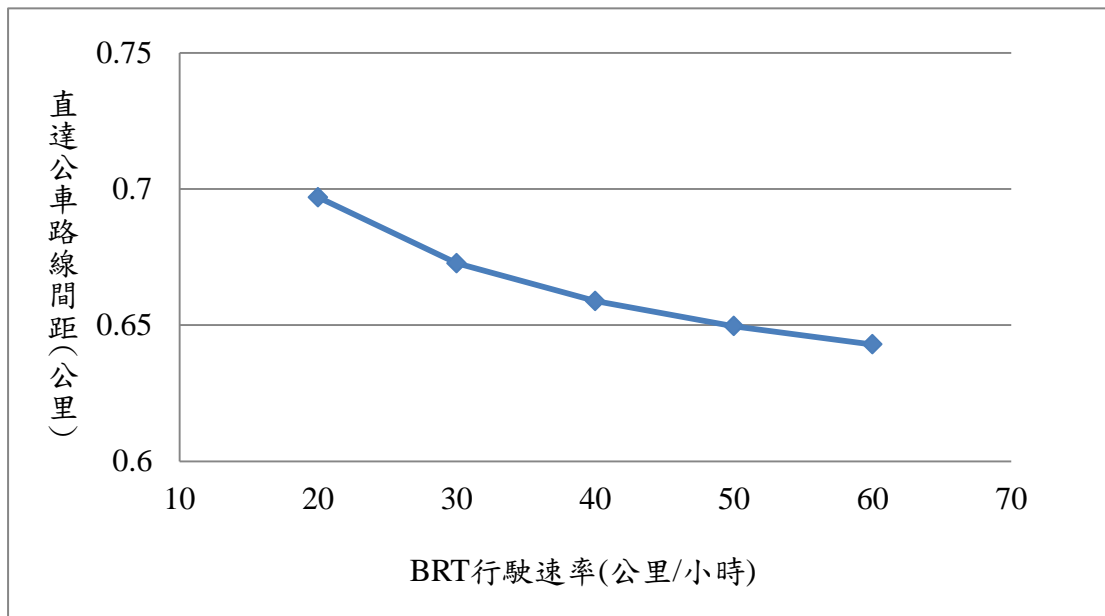


圖 4.19 BRT 行駛速率對直達公車路線間距之影響

4.4.4 需求函數

1. 需求函數斜率變化

本節討論在總旅次需求不變下，斜率變化對各決策變數的影響。旅次需求斜率變化關係如圖 4.20 所示，而需求函數斜率變化對各決策變數之影響歸納如表 4.8 所示。

當需求函數斜率絕對值越大，區間車服務範圍越大，即若需求越靠近市中心，區間車所需服務範圍也隨之擴大，如圖 4.21 所示。需求函數斜率之絕對值變化與直達公車營運班距呈負向關係，即其值越大直達公車營運班距也越小；斜率絕對值則與 BRT 營運班距呈正向關係，即斜率越大，BRT 營運班距越大。需求函數斜率變化對上述兩者之影響呈如圖 4.22 所示。在直達公車路線間距方面，其與需求函數斜率絕對值呈負向關係，即斜率絕對值越大，路線間距也隨之縮短，且呈邊際遞減，如圖 4.23 所示。

綜合上述，當需求函數斜率越陡時直達公車系統之服務範圍、路線數將增加，且發車將更密集；而 BRT 在與直達公車系統之整合規劃下，能適度調整其班距以達系統最佳化狀況。此顯示了直達公車系統與 BRT 在斜率變化下之抗衡關係，也突顯直達公車系統之服務價值。

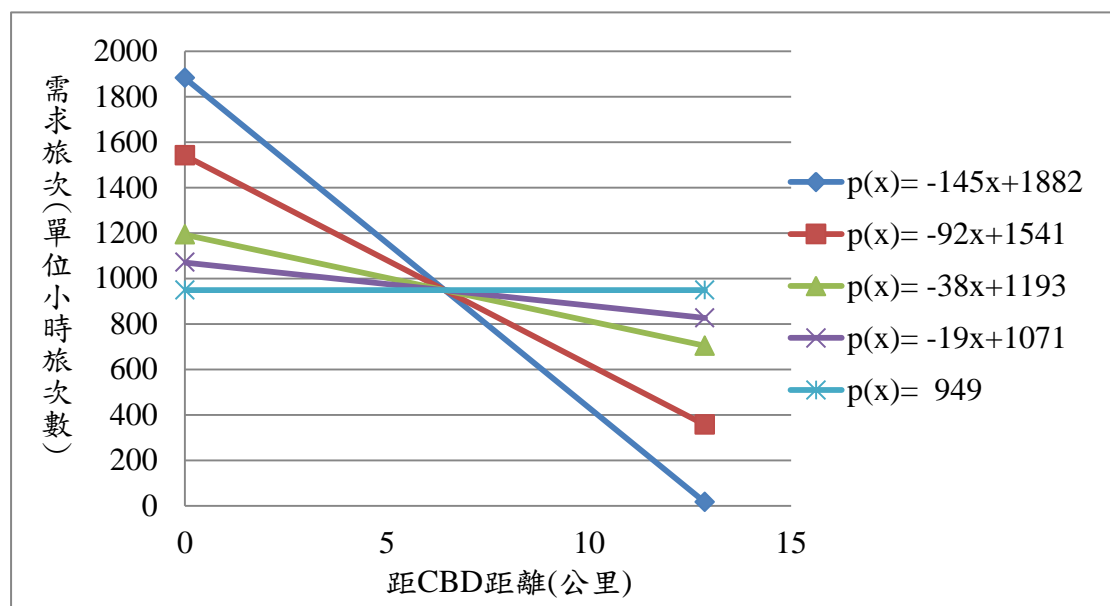


圖 4.20 旅次需求斜率變化關係圖

表 4.8 斜率變化對各決策變數之影響

需求函數	區間車 服務範圍 (公里)	直達公車 營運班距 (分鐘)	直達公車 路線間距 (公里)	BRT 營運班距 (分鐘)
$p(x) = -145x + 1882$	5.42	4.56	0.6218	2.53
$p(x) = -92x + 1541$	5.32	4.73	0.6449	2.28
$p(x) = -38X + 1193$	5.18	4.94	0.6727	2.08
$p(x) = -19x + 1071$	5.18	5.04	0.6863	2.03
$p(x) = 949$	5.11	5.13	0.6980	1.98

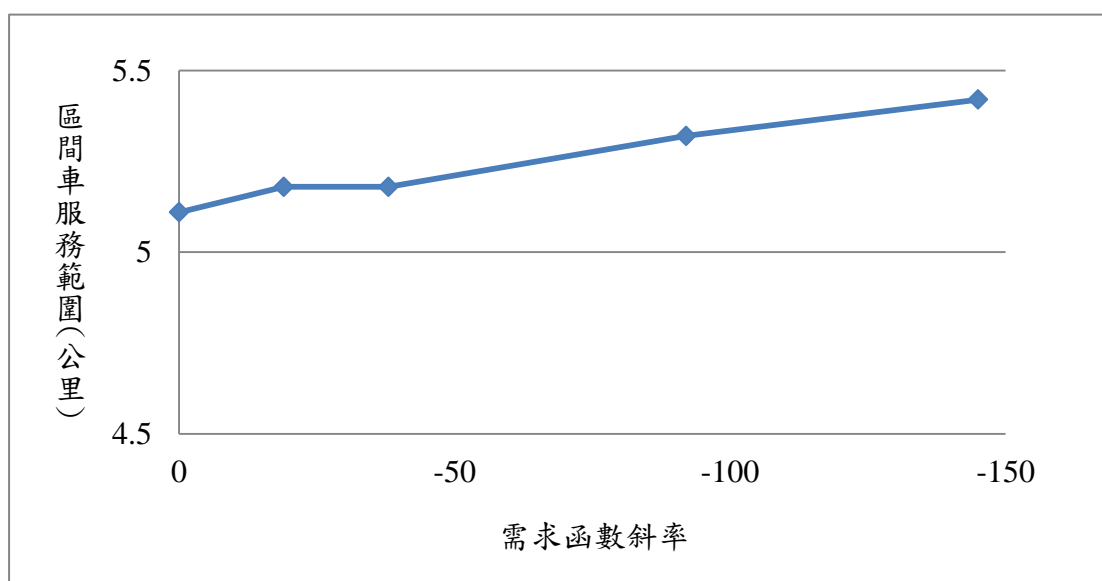


圖 4.21 需求函數斜率對區間車服務範圍之影響

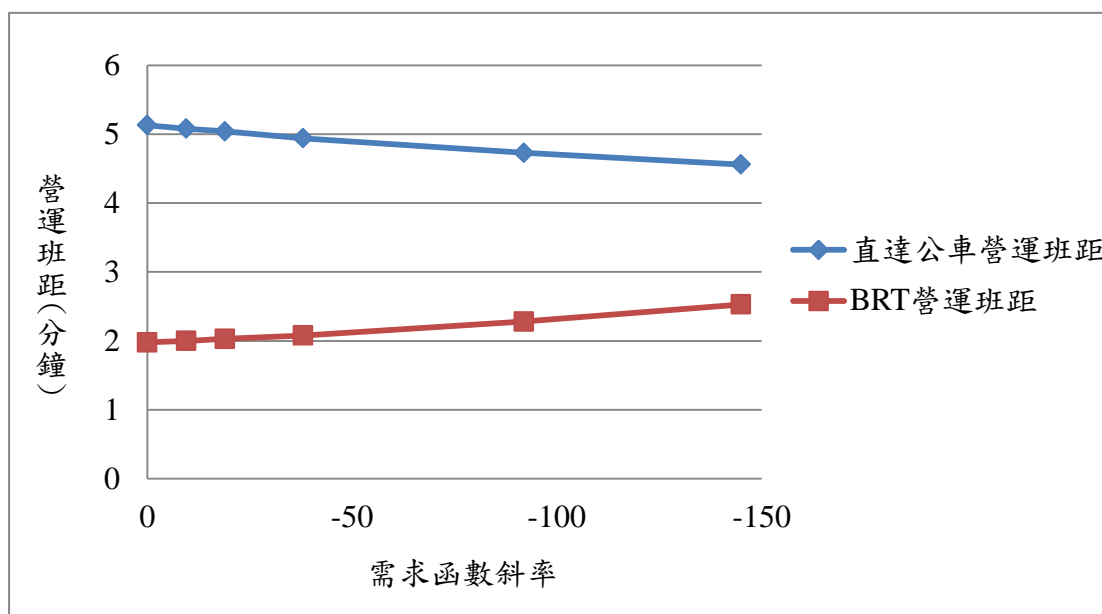


圖 4.22 需求函數斜率對營運班距之影響

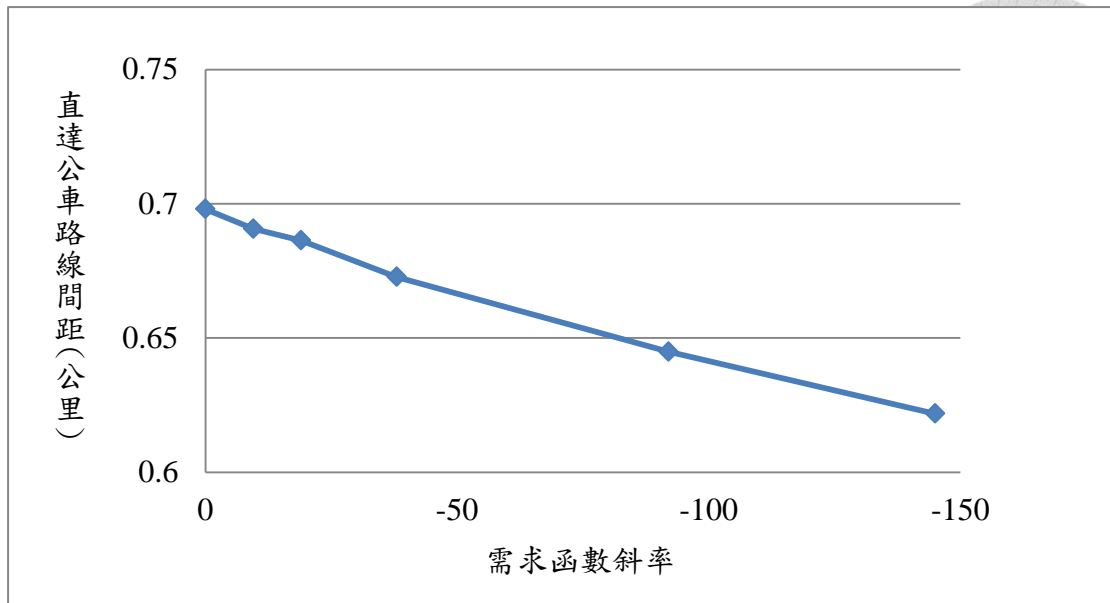


圖 4.23 需求函數斜率對直達公車路線間距之影響

2. 總旅次需求改變

總旅次需求改變對各決策變數之影響歸納如表 4.9 所示。區間車服務範圍與總旅次需求呈正向關係，即總旅次需求增加，區間車服務範圍也隨之擴大，如圖 4.24 所示。直達公車、BRT 營運班距與總旅次需求呈負向關係，即總旅次需求增加，兩者之營運班距皆呈遞減的趨勢，顯示其營運班距將較密集，其關係呈如圖 4.25 所示。在直達公車路線間距方面，其與總旅次需求呈負向關係，即旅次需求增加，直達公車路線間距隨之縮短，且呈邊際遞減，如圖 4.26 所示。

綜合上述，可知當總旅次需求增加，直達公車系統與 BRT 皆須提高其運能來滿足旅客需求，也更仰賴直達公車系統供給服務。

表 4.9 總旅次需求改變對各決策變數之影響

總旅次需求 (總旅次數/小時)	區間車 服務範圍 (公里)	直達公車 營運班距 (分鐘)	直達公車 路線間距 (公里)	BRT 營運班距 (分鐘)
7210	4.01	5.27	0.7220	2.58
12210	5.18	4.94	0.6727	2.08
17210	6.36	4.76	0.6459	1.88
22210	7.49	4.63	0.6280	1.80
27210	8.54	4.53	0.6133	1.78
32210	9.17	4.39	0.5941	1.75

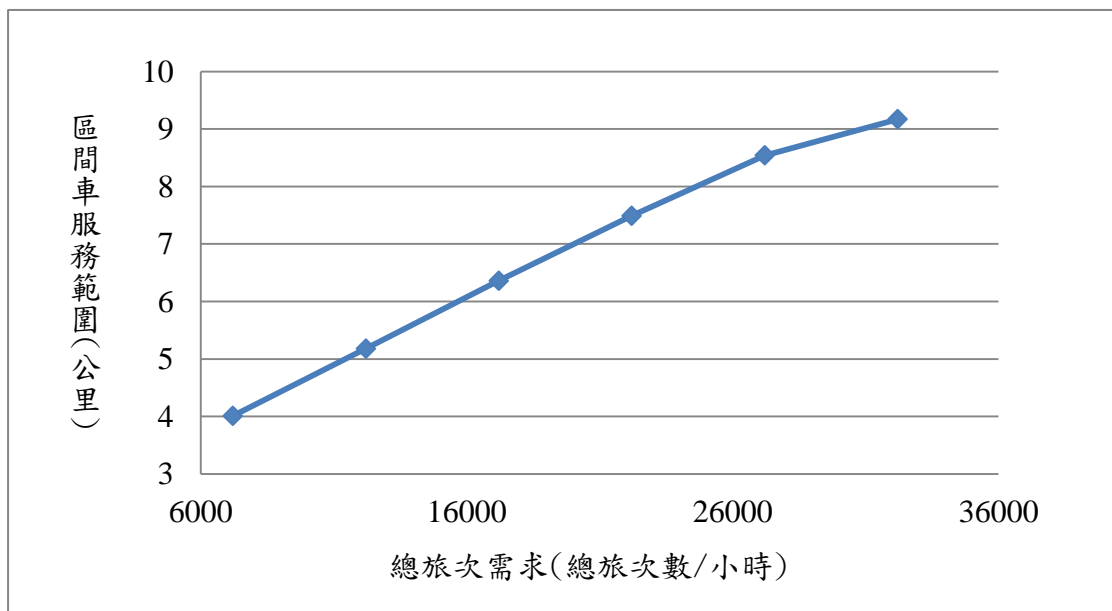


圖 4.24 總旅次需求改變對區間車服務範圍之影響

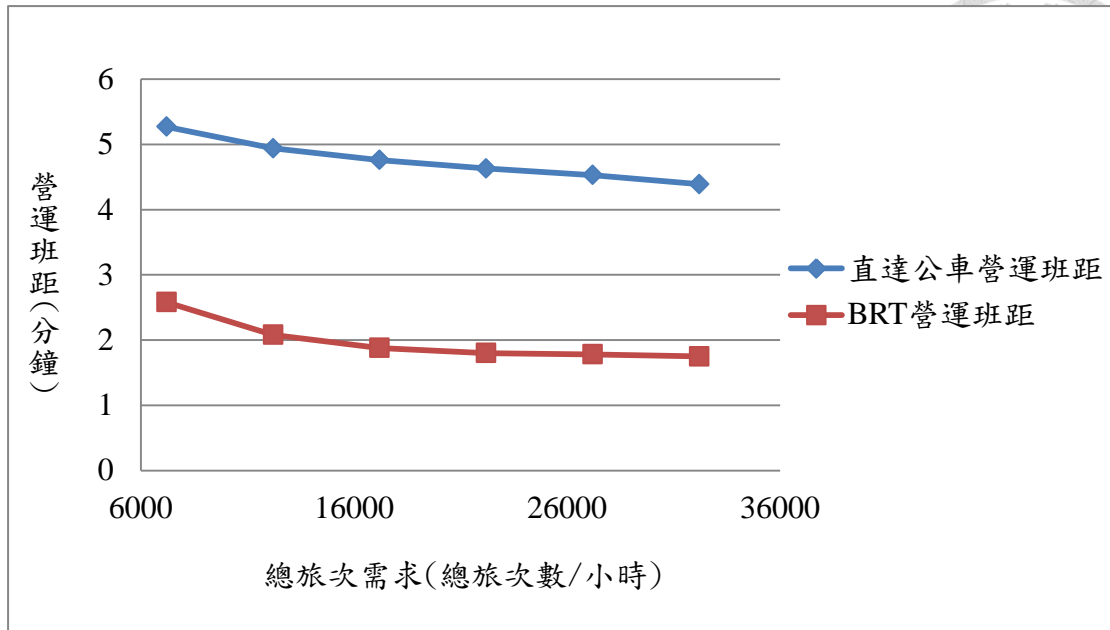


圖 4.25 總旅次需求改變對營運班距之影響

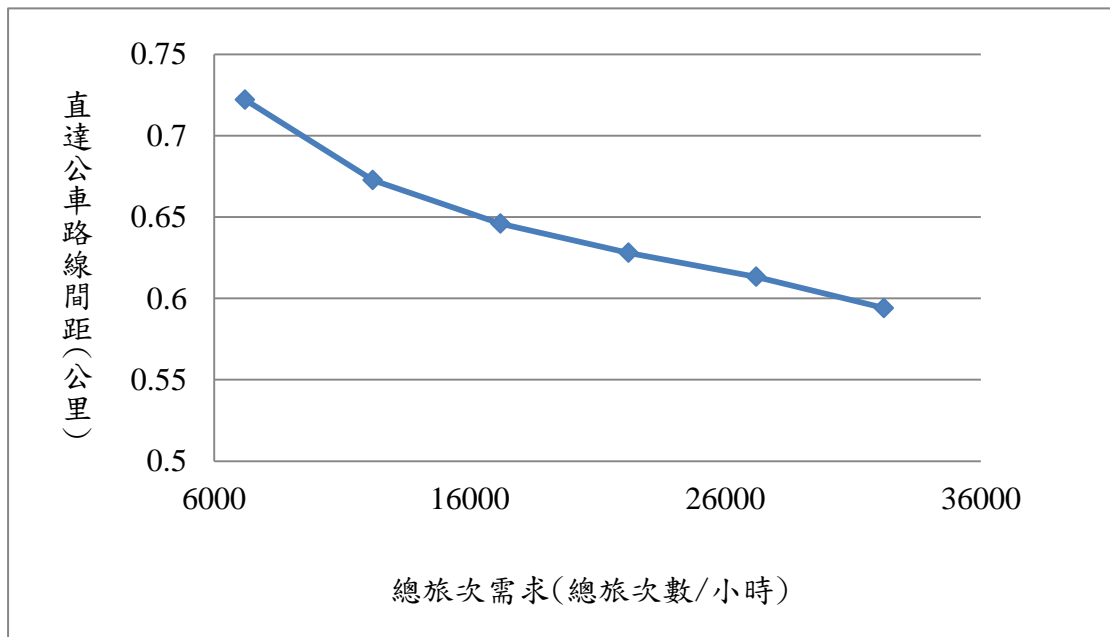


圖 4.26 總旅次需求改變對直達公車路線間距之影響

第五章 結論與建議



本研究係探討 BRT 服務走廊上公車系統與 BRT 之整合規劃設計，其分析項目包含區間車服務範圍、直達公車營運班距、直達公車路線間距與 BRT 營運班距。本研究以最小化總成本為目標來建構系統最佳化模式，並以實例作數值應用分析，探討系統參數之敏感度及其規劃營運之意涵。綜合研究成果可歸納具體之結論與建議，分述如下。

5.1 結論

本研究在多對一旅次型態之假設下，利用分析性數學模式探討 BRT 服務走廊內公車系統與 BRT 之最佳化設計，可得以下結論：


1. 本研究考量 BRT 營運彈性構建 BRT、直達公車系統與接駁公車系統之營運整合與路網最佳化模式，經實例驗證本模式可協助主管機關及 BRT 營運單位進行 BRT 走廊之整合規劃。
2. 由最佳化分析結果，以台中市 BRT 為案例之服務走廊其區間車服務範圍為 5.18 公里，直達公車平均營運班距為 4.94 分鐘，直達公車平均路線間距為 0.67 公里，BRT 平均營運班距為 2.08 分鐘。在服務水準不變的假設下，BRT 幹線上直達公車服務範圍內之平均營運班距約為 47 秒，近市中心之高需求路段可達每 32 秒一班次。案例之總系統成本為 1,187,207.55 元/時，其中 BRT 與接駁公車系統各占 37%、38%，直達公車系統約占 25%，而在各別成本項目中占總成本比例最大者為 BRT 車內時間成本，約占 26%。
3. 敏感度分析方面，使用者單位車內時間成本對總成本之影響程度最大。隨著 BRT 走廊服務長度的延伸，區間車服務範圍也隨之擴大且呈邊際遞增，直達公車系統與 BRT 營運班距也隨之增加，顯示兩者發車皆較不密集，而其對直達公車路線間距則相對不敏感。此外，隨著 BRT 走廊服務角度的擴大，區間車服務範圍隨之縮減，且直達公車之營運班距與路線間距呈遞增的趨勢，BRT

營運班距則與其服務角度呈負向關係，顯示發車將較密集。

4. 當 BRT 行駛速率提升時直達公車系統之服務範圍與路線數將隨之增加，且直達公車系統與 BRT 之營運班距也隨之縮短，顯示兩者將有較高的發車密度。
5. 當需求函數斜率越陡時區間車服務範圍越大，直達公車與 BRT 營運班距分別呈現遞減與遞增的趨勢，而直達公車路線間距則隨之縮減。在總旅次需求增加的情況下，區間車服務範圍隨之擴大，直達公車與 BRT 營運班距皆呈遞減的趨勢，顯示發車密度較高，而直達公車路線間距則隨之遞減。可知當需求函數斜率越陡時越仰賴直達公車系統供給服務，而當總旅次需求增加，直達公車系統與 BRT 皆須提高其運能來滿足旅次需求。
6. 直達公車系統擔負中短程旅次之運輸服務，而當 BRT 走廊擴大、BRT 行駛速率提升、需求函數斜率越陡與總旅次需求增加時其服務範圍也隨之擴大。而旅次需求越靠近市中心時直達公車系統更顯現其服務價值，即可分擔 BRT 幹線上之旅次數，致使 BRT 在與直達公車系統之整合規劃下能適度調整班距以達系統最佳化狀況。
7. 依模式最佳化結果可知，當一地區之需求函數為線性遞減時，直達公車行駛速率與接駁公車行駛速率相等時區間車服務範圍不存在可行解，因此本模式較適用於兩者速率存在差異之地區。

5.2 建議

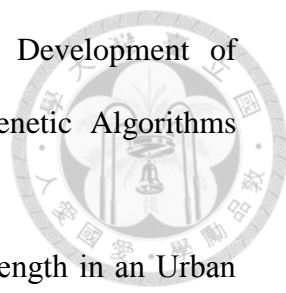
1. 主管機關及 BRT 營運單位在探討 BRT 走廊之接駁、直達公車系統以及 BRT 整合服務時，可參酌本研究建構之模型進行公車路線重整、服務範圍界定與營運整合之規劃。
2. 本研究係針對尖峰時段多對一旅次需求進行模式構建，後續研究可朝多對多旅次需求或是多時段需求型態進行探討。此外，本研究考量完全非彈性之固定需求，後續研究可將變動需求及變時段情境納入模式分析。


- 
3. 本研究假設 BRT 幹道之服務水準為定值，不因幹道車流量有所改變。未來可依實際狀況進行調整，並反映於 BRT 行駛速率上。此外，本研究以平均影響程度表示區間車路線數對 BRT 幹線之平均營運班距的影響，後續研究可探討區間車路線數的多寡對營運班距的動態變化。
 4. 本研究著重於直達公車系統與 BRT 之營運變數求解，未對接駁公車系統之營運班距與路線間距進行最佳化分析，後續研究可將其納入討論以求得總系統之最佳化狀況。
 5. 本研究假設直達與接駁公車於公路上乃沿環狀路網行駛，但在實際應用時可能受限於道路環境或是公車營運之相關規定，因此需作適當調整方可使用。
 6. 本研究考量對象為 BRT 與接駁、直達公車系統之整合，而其他社區巴士、計程車等公共運具以及未來捷運綠線並未考量在內，建議後續研究可同時考量其整合路網，以獲得更為完整的路網和整合營運計畫。

參考文獻



1. Black, A. (1978), "Optimizing Urban Mass Transit System: A General Model", *Transportation Research Record* 677: 41-47.
2. Calthorpe, P. (1993), "The Next American Metropolitan; Ecology, Community, and the American Dream", New York: Princeton Architectural Press.
3. Chang, S. K. (1991), "Radial Bus Networks with Multi-Period and Many-to-Many Demand", *Journal of Advanced Transportation* 25(2): 225-246.
4. Chien, S. I. J., Ulusoy, Y. Y. and Wei, C.H. (2010), "Integrated Transit Services for Minimum Cost Operation Considering Heterogeneous Demand", *Transportation Planning and Technology* 33(7): 605 -624.
5. Dittmar, H., and Ohland, G. (2004), "The New Transit Town: Best Practices in Transit Oriented, Development", Washington, D. C: Island Press.
6. Kuah, G. K. and Perl, J. (1989), "The Feeder-bus Network-design Problem", *Journal of the Operational Research Society* 40(8): 751-767.
7. Kuan, S. N., Ong, H. L. and Ng, K. M. (2006), "Solving the Feeder Bus Network Design Problem by Genetic Algorithms and Ant Colony Optimization", *Advances in Engineering Software* 37: 351-359.
8. Martínez, L. M. and Eiró, T. (2012), "An Optimization Procedure to Design a Minibus Feeder Service: An Application to the Sintra Rail Line", *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54: 525-536.
9. Martins, C. L. and Pato, M.V. (1998), "Search Strategies for the Feeder Bus Network Design Problem", *European Journal of Operational Research* 106: 425-440.

- 
10. Shrivastava, P. and Mahony, M.O. (2006), "A Model for Development of Optimized Feeder Routes and Coordinated schedules: A Genetic Algorithms Approach", *Transport Policy* 13: 413-425.
 11. Wirasinghe, S. C. and Seneviratne, P. N. (1986), "Rail Line Length in an Urban Transportation Corridor", *Transportation Science* 20(4): 237-245.
 12. Wright, L. and Hook, W. (2007), "Bus Rapid Transit Planning Guide", New York, Institute for Transportation Development and Policy.
 13. 王惠吟(2011), 「捷運接駁公車路線規劃模式之設計與應用」, 國立台北大學都市計劃研究所, 碩士論文。
 14. 台中市政府交通局官網, <http://www.traffic.taichung.gov.tw/index.asp>。
 15. 台北市政府捷運工程局(2002), 「台北都會區整體運輸需求預測模式」, 台北市政府捷運工程局。
 16. 呂怡蓉(2006), 「台北市捷運接駁公車路線里程最小有效規模之研究」, 淡江大學運輸管理學系, 碩士論文。
 17. 李紫琳(2004), 「台北捷運接駁公車營運績效之評估研究」, 國立台灣大學土木工程學系, 碩士論文。
 18. 周義華、邱榮川(1987), 「配合捷運系統公車路網設計之研究」, *運輸計劃季刊*, 第十六卷, 第二期, 319-344 頁。
 19. 林至晟(2012), 「台中市公車捷運系統接駁公車最佳班距分析」, 逢甲大學運輸科技與管理學系, 碩士論文。
 20. 林志盈(1986), 「未來台北都會區公車與捷運系統整合之研究」, 中華民國運輸學會第一屆學術論文研討會, 29-44 頁。
 21. 林國顯、呂怡青、陳柏江(2010), 「國內適用BRT標準探討與推動策略之研究」, 交通部運輸研究所。
 22. 邱顯明、謝國倫與蘇先知(2004), 「基因演算法應用於捷運轉乘公車路網設計之研究」, *中國土木水利工程學刊*, 第十六卷, 第四期, 635-649頁。

- 
23. 唐富藏、張有恆(1982)，「都市大眾捷運系統之接運系統規劃設計」，運輸計劃季刊，第十一卷，第四期，467-482 頁。
24. 張文哲(1989)，「捷運系統路線最適延長長度之研究」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文。
25. 張有恆、楊博文(1992)，「大眾捷運系統與接駁公車營運計劃最佳整合模式之研究」，運輸計劃季刊，第二十一卷，第四期，457-491 頁。
26. 張學孔、呂英志(2009)，「大眾運輸導向發展下運輸系統技術方案適用性之比較研究」，都市與計劃，第三十六卷，第一期，51-79頁。
27. 張學孔、張美香(1994)，「捷運路線之接駁公車路網設計」，運輸，第 23 期，31-50 頁。
28. 張學孔、劉孟翰 (1996)，「捷運走廊公車服務範圍之設計」，中國土木水利工程學刊，第八卷，第四期，647-658頁。
29. 張學孔等人(1994)，「捷運系統服務路線長度之最佳化研究」，中國土木水利工程學刊，第六卷，第四期，445-455頁。
30. 曹壽民、翁有立(1989)，「台北市木柵及其鄰近地區公車接運系統路線之規劃」，運輸季刊，第三期，43-71 頁。
31. 郭靜菽(2011)，「公車捷運系統營運計畫之策略分析」，國立臺灣大學土木工程學系，碩士論文。
32. 陳偉業、唐文斌、周宏儒等人(2011)，「公車捷運系統(BRT)車隊管理智慧化之設計與示範計畫(1/2)」，交通部運輸研究所與鼎漢國際工程顧問公司合作專題研究報告。
33. 溫傑華(1989)，「捷運系統與公車費率整合後轉車折扣率對運具選擇之影響」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文。
34. 鼎漢國際工程顧問股份有限公司(2011)，中台灣公車捷運系統(BRT)服務規劃設計與可行性評估。

附錄：模式參數變數符號定義



符號	符號說明	單位
c_x^d	直達公車進站時間成本	元/小時
c_w^d	直達公車等待時間成本	元/小時
c_v^d	直達公車車內時間成本	元/小時
c_o^d	直達公車營運者成本	元/小時
c_x^f	接駁公車進站時間成本	元/小時
c_w^f	接駁公車等待時間成本	元/小時
c_v^f	接駁公車車內時間成本	元/小時
c_o^f	接駁公車營運者成本	元/小時
c_x^b	BRT 進站時間成本	元/小時
c_w^b	BRT 等待時間成本	元/小時
c_v^b	BRT 車內時間成本	元/小時
c_o^b	BRT 營運者成本	元/小時
B_d	直達公車單位持有及營運成本	元/車輛小時
B_f	接駁公車單位持有及營運成本	元/車輛小時
B_b	BRT 單位持有及營運成本	元/車輛小時
r_x	每位乘客單位時間之步行時間價值	元/旅客小時

r_w	每位乘客單位時間之等車價值	元/旅客小時
r_v	每位乘客單位時間之車內時間價值	元/旅客小時
v_b	BRT 行駛速率	公里/小時
v_d	直達公車平均行駛速率	公里/小時
v_f	接駁公車平均行駛速率	公里/小時
v_p	平均步行速率	公里/小時
α	都會 BRT 走廊扇形角度	徑度量
L	BRT 走廊服務長度	公里
X	區間車服務範圍	公里
Y	區間車最短服務距離	公里
D_b	BRT 平均站距	公里
D_d	直達公車平均站距	公里
D_f	接駁公車平均站距	公里
d_d	直達公車平均路線間距	公里
d_f	接駁公車平均路線間距	公里
F	配置車輛數	輛
h_d	直達公車營運班距	小時
h_f	接駁公車營運班距	小時
h_b	BRT 營運班距	小時



w	步行可接受距離
$p(x)$	單位時間之潛在旅次需求
a_1	直達公車平均進站距離因子
a_2	接駁公車平均進站距離因子
a_{31}	BRT 平均垂直進站距離因子
a_{32}	BRT 平均水平進站距離因子
b_1	直達公車等待時間因子
b_2	接駁公車等待時間因子
b_3	BRT 等待時間因子
γ_1	直達公車與 BRT 營運班距關係式(1)
γ_2	直達公車與 BRT 營運班距關係式(2)
β_1	市中心區 BRT 班距調整因子
β_2	直達公車服務區域 BRT 班距調整因子
G_1	直達公車需求比例
G_2	接駁公車需求比例

