

國立交通大學

交通運輸研究所

碩士論文

智慧多模式交通系統規劃與動態派遣模式

Long-term Operation Programming and Dynamic Dispatching Operation
Modeling for Intelligent Multi-mode Transit System

研究生：吳政儒

指導教授：許鉅秉 教授

中華民國九十五年六月

智慧多模式交通系統規劃與動態派遣模式

Long-term Operation Programming and Dynamic Dispatching Operation
Modeling for Intelligent Multi-mode Transit System

研究生：吳政儒

Student：Jeng-Ru Wu

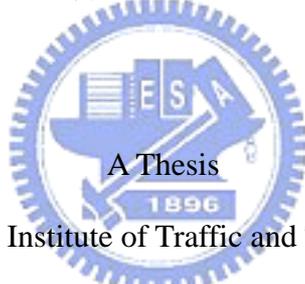
指導教授：許鈺秉

Advisor：Prof. Jiuh-Biing Sheu

國立交通大學

交通運輸研究所

碩士論文



Submitted to Institute of Traffic and Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

in

Traffic and Transportation

June 2006

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

智慧多模式交通系統規劃與動態派遣模式

研究生：吳政儒

指導教授：許鉅秉

國立交通大學交通運輸研究所

摘要

本研究探討日本豐田汽車公司最新研發之一種兼有軌道系統和道路系統優點的新型中距離、中量運輸系統 IMTS (Intelligent Multi-mode Transit System)，針對 IMTS 可在專用道上排成隊列自動行駛、可根據需要隨時改變車隊(platoon)的車輛數、亦可行駛於一般市區道路上下乘客(節省換車手續及時間)、及在一般公車設備工廠即可維修(節省系統建設與維護成本)等優點，進行營運模式構建。

本研究提出之模式架構包含了兩個模組，第一個是 IMTS 營運計劃多目標規劃模式之建立，同時考慮營運者與使用者的立場，以營運者每日長期營運總成本最小化以及使用者每日總旅行時間最小化為目標，決定出發車班距、營運所需車輛數以及路線站距。第二個為動態即時派遣模組，此模組可計算出每個決策點各繞徑路線之車輛成本增量，並與成本增量門檻值作比較，建立一評選機制，以挑選當前最迫切需要服務之派遣路線，推估動態發車間距，進行整合性的最適營運控制模式分析並與現有捷運系統及接駁公車營運績效作比較。

本研究以臺北捷運南港線與周圍接駁公車系統的整合路網進行實例應用，利用模糊數學規劃法透過目標達成滿意度之概念化方式進行求解。研究結果顯示：IMTS 發揮多模運具優勢，較現行捷運系統搭配接駁公車的營運方式，大幅減少乘客平均旅行時間。且以「動態派車」方式進行營運，在中運量的旅客需求型態下，優於傳統「固定頻率」發車方式，可有效節省整體系統成本，使派車機制與管理系統更為完善。

關鍵字：多目標規劃法、動態發車間距、模糊數學規劃法。

Long-term Operation Programming and Dynamic Dispatching Operation Modeling
for Intelligent Multi-mode Transit System

Student: Jeng-Ru Wu

Advisor: Prof. Jiuh-Biing Sheu

Institute of Traffic and Transportation
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Determining dynamic headways for correctly identifying passenger demands and quickly responding to those needs with Intelligent Multi-mode Transit System (IMTS) operations control strategies is vital to the development of advanced public transportation systems in urban areas. The proposed model primarily involves two levels of functionality:(1) long-term operation programming utilizing multi-objective programming methods, and (2) identification of service strategies coupled with the associated bus service segments using dynamic dispatching operation model in response to variances in passenger demand attributes. The numerical results significantly reveal the potential advantages of the proposed methodology. Particularly, the travel time can be reduced by 51.6%, compared to the existing operational performance in the specific case studied. We expect that this study can make available the proposed method with benefits not only for programming IMTS long-term operations, but also for deciding dynamic dispatching strategies in a comprehensive extent.

Keywords: Dynamic headways, Intelligent Multi-mode Transit System, Multi-objective programming

誌謝

在撰寫誌謝之此時，也代表著這兩年的研究生涯即將告一段落。在這兩年間，不僅在課堂上學習到許多專業知識，更重要的是在論文撰寫過程中，體會到學術研究的精神與方法，同時也增進了獨立思考的能力，我想這就是我這兩年研究生涯最大的收穫吧！

本論文得以順利完成，首先要感謝的是恩師許鉅秉教授兩年來的悉心指導，不論是在觀念上的啟迪、學業上的傳授、以及在生活上的關懷，都給予我莫大的指導與協助。而在論文口試期間，更感謝陳惠國教授與張美香教授之撥冗細審、不吝指正，使本篇論文能夠更臻完善。對於兩位教授的細心，學生謹致上十二萬分的謝意。

受業期間，感謝馮正民教授、黃台生教授、汪進財教授、陳武正教授等師長於知識上的啟發與指導，此外也感謝所辦洪小姐與柳小姐提供行政上協助，感謝博士班眾多學長姐從旁指引與經驗傳承，讓我得以順利地完成學業。而在與班上同學們相處的兩年中，印象最深刻就是與子揚、鈺錚、珮君、青峰、容禎等摯友一同吃喝玩樂，一同在課業上努力，一同為了論文而沒日沒夜的打拚，這些點點滴滴的回憶，我將永遠銘記在心，感謝大家給了我一個這麼好的研究生活！

最後，我要感謝我最親愛的父母親、大哥、大嫂、二哥、二嫂，謝謝你們多年的照顧，也要感謝給予我家教機會的許家、羅家、鄧家等，有你們支持與鼓勵才得以讓我順利完成碩士學位。而我也要由衷感謝我的女友芸綾，這些年來的陪伴與包容，在我煩悶時鼓勵我支持我，讓我得以重新調整步伐，繼續前進！

僅以本論獻給我的家人以及所有關心我的人，謝謝你們！

吳政儒 謹誌

中華民國九十五年六月

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍.....	4
1.4 研究步驟與流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 車輛排班問題相關文獻回顧.....	8
2.1.1 圖解法.....	8
2.1.2 最大承載區間法.....	11
2.1.3 數學規劃法.....	13
2.2 捷運系統排班相關文獻回顧.....	25
2.2.1 美國軌道容量分析.....	25
2.2.2 日本軌道容量分析.....	30
2.2.3 台灣軌道容量分析.....	32
2.2.4 台北捷運中運量系統容量分析—木柵線為例.....	32
2.2.5 台北捷運高運量系統容量分析—淡水線為例.....	35
2.3 模糊多目標規劃相關文獻回顧.....	37
2.3.1 多目標規劃 (Multi-objective Programming, MOP)	37
2.3.2 多目標規劃之一般模式.....	38
2.3.3 傳統多目標規劃之求解方法.....	39
2.3.4 模糊集合概念.....	42
2.3.5 模糊數學規劃法.....	44
2.3.6 模糊多目標線性規劃基本理論.....	53
2.3.7 模糊理論於運輸相關領域之運用.....	59
2.4 小結.....	61
第三章 IMTS 營運模式之建立.....	63
3.1 營運決策變數與成本項目、旅行時間關係之探討.....	63
3.1.1 服務班次.....	63
3.1.2 車輛數.....	63

3.1.3	路線站距.....	64
3.2	模式的目標函數與限制條件.....	66
3.2.1	模式基本假設.....	66
3.2.2	模式的目標函數.....	66
3.2.3	模式的限制條件.....	71
3.2.4	模式的決策變數.....	74
3.3	動態多目標 IMTS 營運計劃模式之構建.....	76
3.3.1	概述.....	76
3.3.2	動態即時派遣營運模式.....	77
第四章 IMTS 營運計劃模式之實例應用		88
4.1	案例說明.....	88
4.1.1	模式目標函數與限制條件.....	88
4.1.2	資料蒐集.....	91
4.2	演算流程與結果分析.....	109
4.2.1	確定環境下多目標規劃問題求解架構.....	109
4.2.2	起始車輛營運演算分析.....	114
4.2.3	動態車輛派遣模組演算分析.....	119
4.3	小結.....	132
第五章 情境分析與敏感度分析		133
5.1	情境分析.....	133
5.1.1	情境分析—原始需求量.....	133
5.1.2	情境分析—需求量增加.....	138
5.1.3	情境分析—需求量減少.....	141
5.1.4	綜合比較與分析.....	144
5.2	參數敏感度分析.....	150
5.3	小結.....	157
第六章 結論與建議.....		158
6.1	結論.....	158
6.2	建議.....	160
參考文獻.....		162
附錄 A IMTS 營運計劃模式之完整 LINGO 求解程式碼.....		165
簡歷.....		178

圖目錄

圖 1.1	IMTS 列隊行駛模擬圖	2
圖 1.2	研究流程圖	7
圖 2.1	累積法示意圖	8
圖 2.2	最大乘載區間法示意圖(VUCHIC, 1976)	11
圖 2.3	隸屬函數圖	54
圖 2.4	目標式隸屬函數圖	56
圖 2.5	限制式隸屬函數圖	57
圖 3.1	模式的成本項目與變數間的相互關係圖	65
圖 3.2	旅客平均步行距離估算示意圖	69
圖 3.3	動態派車決策時機示意圖	76
圖 3.4	IMTS 設計路網圖	77
圖 3.5	$t = a_1$ 時各站牌所累積的旅次需求量示意圖	78
圖 3.6	$t = a_1$ 時動態派車示意圖	78
圖 3.7	動態即時派遣系統架構示意圖	81
圖 3.8	旅客等待時間函數圖	83
圖 4.1	IMTS 規劃路網示意圖	96
圖 4.2	ε - 限制法運算流程圖	111
圖 4.3	ε - 限制法求解結果的目標值圖	117
圖 4.4	EXCEL 增益集勾選視窗圖	122
圖 4.5	EXCEL 亂數產生器相關參數輸入視窗圖	123
圖 4.6	EXCEL 計算動態派車求解圖	126
圖 4.7	動態派車策略示意圖	127
圖 4.8	繞徑路線動態派車數量直方圖 (上午 08:00:30~08:10)	130
圖 5.1	時段一(07:00~08:00)的乘客服務率	145
圖 5.2	時段二(09:00~10:00)的乘客服務率	145
圖 5.3	時段三(17:00~18:00)的乘客服務率	146
圖 5.4	時段四(19:00~20:00)的乘客服務率	146
圖 5.5	不同情境下時段一(07:00~08:00)乘客服務率比較	148
圖 5.6	不同情境下時段二(09:00~10:00)乘客服務率比較	149
圖 5.7	乘客時間價值與相關成本關係圖	151
圖 5.8	停站損失時間與平均站距、班次數、平均旅行時間關係圖	152
圖 5.9	設計旅客運量倍率與班次數、旅行時間平均成本關係圖	153
圖 5.10	營運者允許最小設計站距與平均站距、班次數、旅行時間平均成本關係圖	154
圖 5.11	乘客等車時間容忍因子與車輛數、旅行時間平均成本、及班次數關係圖	156

表目錄

表 2.1 台北捷運木柵線容量分析參數設定值	33
表 2.2 台北捷運淡水線容量分析參數設定值	36
表 2.3 多目標決策分析方法之應用	41
表 3.1 模式符號定義說明表	75
表 4.1 各時段各路線 IMTS 車輛行駛速率	91
表 4.2 各時段起迄時間表	92
表 4.3 南港線各站的平均日運量表 (93 年 12 月)	93
表 4.4 南港線各站「捷運轉公車」的平均日運量表 (93 年 12 月)	93
表 4.5 南港線各站「公車轉捷運」及協服主線的平均日運量表 (93 年 12 月)	94
表 4.6 各時段各路線的需求運量	97
表 4.7 每車公里總成本中所含 18 項成本分析表	100
表 4.8 各時段各路線車輛營運成本表	101
表 4.9 平均每人所得與消費表	104
表 4.10 各時段各路線設計旅客運量表	107
表 4.11 IMTS 旅客等車時間容忍因子	108
表 4.12 ϵ - 限制法償還矩陣表	109
表 4.13 ϵ - 限制法償還矩陣表 (IMTS)	114
表 4.14 ϵ - 限制法之非劣解集合表 (以目標二為限制式)	115
表 4.15 ϵ - 限制法之非劣解集合表 (以目標一為限制式)	116
表 4.16 模糊多目標規劃法求解結果	118
表 4.17 繞徑路線長度、行駛速率及單位營運成本表	119
表 4.18 模糊多目標規劃法求解結果表	120
表 4.19 各時段各路線繞徑需求運量表	121
表 4.20 繞徑路線動態派車策略 (上午 08:00:30~08:10)	129
表 4.21 繞徑路線各時段派車班次 (動態派車與固定班次)	131
表 4.22 繞徑路線「固定派車」與「動態派車」求解結果比較表	131
表 5.1 情境一求解結果表	134
表 5.2 情境二求解結果表	135
表 5.3 情境三求解結果表	136
表 5.4 情境一、二、三求解結果比較表	137
表 5.5 情境四求解結果表	139
表 5.6 情境五求解結果表	140
表 5.7 情境六求解結果表	142
表 5.8 情境七求解結果表	143
表 5.9 情境一、四、六求解結果比較表 (不同運量下)	144
表 5.10 時間價值變動之影響表	150

表 5.11 停站損失時間變動之影響表	151
表 5.12 設計旅客運量變動之影響表	152
表 5.13 營運者允許的最小設計站距變動之影響表	154
表 5.14 IMTS 旅客等車時間容忍因子	155
表 5.15 乘客等車時間容忍因子變動之影響表	155



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

都會區交通擁擠及其帶來之環境污染早已成為世界各國政府亟需改善或解決之重要施政內容，我國各縣市之交通問題亦為民眾亟盼改善的首要項目，更是縣市長競選政見的熱門話題，而交通擁擠的改善方式首推大眾運輸系統之執行。

近年來臺北市捷運系統之陸續通車與公車專用道之推動執行深具成效，使得臺北市交通建設蔚為各縣市所嚮往，各縣市紛紛推出大眾捷運系統興建計畫。然而，由於捷運興建經費龐大與施工期甚長等因素，使得各縣市與中央政府轉而思考興建輕軌捷運系統，但受限軌道系統之工程本質，輕軌捷運系統所需經費仍高於公車系統，因此政府對輕軌捷運系統興建預算之編列與推動仍有疑慮，因此公車捷運化或公車捷運系統(Bus Rapid Transit, BRT)成為各城市交通改善的另一個重要方式。美國交通部及主計署(GAO)於2001年10月致國會之政府施政報告提及BRT的建設與運轉費用平均而言較輕軌系統便宜，因此美國政府已編列預算大力推動BRT示範計畫，以提高大眾運具使用率，減少私人運具之使用。

BRT之構想乃欲擷取公車與捷運之優點，即具備公車系統建設經費較少、施工期程較短之優點，又能具有軌道捷運系統較大運輸能量之優點，因此BRT除較具財務與施政之可行性，尚可加速改善市區或縣市之交通問題，應可獲得縣市首長及議會之大力支持，又可作為推動未來軌道捷運系統之基石。就此展望BRT之推動，將有助達成中央政府推動大眾運輸之政策，並可疏解都市交通擁擠及各級政府財源困難之問題。

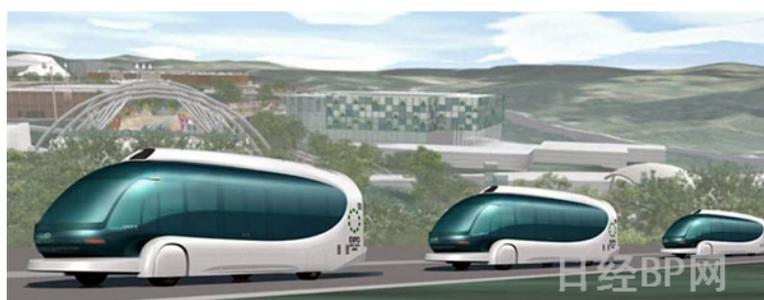
除了BRT之外，先進大眾運輸系統(Advanced Public Transportation System)一直在求新求變，利用智慧化的IT技術來發展更適合、更符合現今生活環境的交通運輸系統。例如，日本豐田汽車公司正在研究、開發一種兼有軌道系統和道路系統優點的新型中距離、中量運輸系統——「智慧多模式交通系統(Intelligent

Multi-mode Transit System, IMTS)」，最近正在該公司的東富士研究所內建設專用的實驗線進行行走實驗。為了解決廿一世紀的交通擁擠的問題和確保老年人自由移動的手段，豐田公司提議有必要開發更方便、更經濟的公共交通系統，IMTS 就是在這個提議下應運而生的。

IMTS 活用行走支援道路系統 (AHS) 的最新 ITS 技術，使公共汽車既可以像列車那樣在專用道路上進行排列、自動行駛，也可以作為普通公共汽車在一般道路上行走，兼有軌道交通系統的定時、高速性和路線公共汽車的經濟、隨機性。

IMTS 系統的特點是：公共汽車在專用道上可排成隊列自動行駛，它沒有機械性的連接，可根據需要隨時改變排列車輛的台數。當這種公共汽車在一般道路上行駛時可設定路線，節省換車手續和時間。車輛配有 CNG (壓縮天然氣) 發動機，採用無台階低地板方式，在普通公共汽車設備工廠就可進行維修，無須另外建設特別車輛基地。另外車輛在行走時不用電路和軌道，比鐵路和其他新交通系統節省建設和維修費用。

豐田公司日前宣布，已開始在 2005 年世界博覽會 (愛·地球博) 的會場進行 IMTS 的試驗行駛，作為新型交通工具，在此次萬博會上投入使用，測試“列隊自動行駛與人工控制單獨行駛間的轉換”。



資料來源：日經 BP 網

圖 1.1 IMTS 列隊行駛模擬圖

豐田負責 IMTS 車輛及系統的開發及展出，2005 年世界博覽會組委會負責會場內專用道路 (IMTS 愛·地球博專線) 的建設及營運。在專用道路上可進行無人自動駕駛及列隊行駛 (嚮導乘坐第一輛車)，在普通道路上則與一般的公共汽車一樣，通過人工控制單獨行駛。車輛憑藉信號連接編隊行駛，通過埋設在行

駛道路中央的磁標控制方向；通過車間通信及地上信號裝置，可進行自動速度控制和剎車制動。最大速度約為 30km/h，平均速度約為 20km/h。

綜合上面所述，此種智慧多模式交通系統可應用於(1)結合大眾捷運及接駁公車或(2)機場—都會區的接駁運輸工具等方面，其目的主要在於減少旅客轉乘、停等時間及營運成本等。吾人將針對結合大眾捷運及接駁公車的應用，進行研究探討。

1.2 研究目的

綜合前述，交通擁擠的改善方式首推大眾運輸系統之執行，然而 MRT 及 LRT 之興建成本高、施工期間長，完工之後營運費用高等不利因素，遲遲未被廣泛推廣。而 BRT 具備公車系統建設經費較少、施工期程較短之優點，近來多被政府交通單位所推動及支持，然興建初期，仍未見成效。有鑑於此，本研究擬採行日本豐田汽車公司最新研發之一種兼有軌道系統和道路系統優點的新型中距離、中量運輸系統 IMTS (Intelligent Multi-mode Transit System)，將之推廣應用於臺灣地區，IMTS 其優點係可在專用道上排成隊列自動行駛、可根據需要隨時改變車隊 (platoon) 的車輛數、亦可行駛於一般市區道路上下乘客，節省換車手續及時間、以及在一般公車設備工廠即可維修，節省系統建設與維護成本等。本研究擬應用多目標規劃方法發展營運規劃與動態派遣模式，決定長期營運下最佳的發車班次、系統總車輛數、繞行路線的站距，以及推估動態發車間距、決定動態派車策略，進行整合性的最適營運控制模式分析。並與現有捷運系統及接駁公車營運績效作比較，期能以新型中距離、中運量之智慧多模式交通系統替代捷運系統與接駁公車，推廣於大都會臺北地區或其他縣市，以解決各級政府財務困難但又亟於推廣大眾運輸建設、減少私人運具使用的交通問題。

本研究的主要目的有：

- (一) 構建長期營運下的最佳發車班次、營運車輛數及合理的繞徑路線站距。以及發展能即時應變乘客需求之 IMTS 動態派遣模式，據以進行即時應變之最佳派車策略。
- (二) 配合先進交通管理與資訊系統(ATMIS)的發展，使動態營運模式的交通控制系統功能更具完備性。
- (三) 藉由動態即時的整合性 IMTS 營運模式之構建，可以使派車機制與管理系統更為完善，同時也可以彌補現有公車、捷運系統無法即時反應旅次需求所造成的成本損失。
- (四) 將研究結果提供學術界參考及繼續研究，並作為政府主管機關擬定相關交通管理政策與推動大眾運輸政策之依據。



1.3 研究範圍

對於公司營運策略而言，一般可分為三個層次：長期規劃之策略(strategic)層次、中期規劃之戰略(tactical)層次、以及短期規劃之計畫執行(operational planning)層次。本文將研究範圍界定在長期營運規劃以及短期動態派遣模式的規劃。本研究將以智慧多模式交通系統(IMTS)的車隊營運作為背景，探討在可獲知行駛中車隊動態資訊之情況下，此動態資訊對於整個系統決策如何隨之改變；簡而言之，便是在探討資訊流對於動態派車系統所產生之效應。

1.4 研究步驟與流程

本研究工作分下列步驟進行，整個研究流程如圖 1.2 所示。

1.問題確認及研究範圍界定

首先了解本研究的主要目的乃為：

- (一) 構建長期營運下的最佳發車班次、營運車輛數及合理的繞徑路線站距；以

及發展能即時應變乘客需求之 IMTS 動態派遣模式，據以進行即時應變之最佳派車策略。

(二) 藉由動態即時的整合性 IMTS 營運模式之構建，可以使派車機制與管理系統更為完善，同時也可以彌補現有公車、捷運系統無法即時反應旅次需求所造成的成本損失。

在了解問題及研究目的之後，擬對 IMTS 車隊營運問題進行探討，進而了解相關之動態即時派遣問題，以確定本研究之相關假設及研究之範圍。

2.文獻回顧及評析

收集並回顧與本研究有關的文獻，擬針對各種大眾運輸工具之營運模式，諸如：公車車輛排班問題、捷運系統排班問題，以及模糊多目標規劃之相關文獻作回顧，作為本研究參考之基礎。

3.構建 IMTS 長期營運規劃與動態派遣模式

此模式架構包含了為兩個模組，第一個是 IMTS 營運計劃多目標規劃模式之建立，同時考慮營運者與使用者的立場，以營運者每日長期營運總成本最小化以及使用者每日總旅行時間最小化為目標，決定出發車班距、營運所需車輛數以及路線站距。第二個為動態即時派遣模組，此模組可計算出每個決策點各繞徑路線之車輛成本增量，並與成本增量門檻值作比較，建立一評選機制，以挑選當前最迫切需要服務之派遣路線。其中，每當有新的旅次需求產生時，便啟動此系統架構，以一遞迴之方式動態調整派車策略。而動態即時派遣模組底下，又包含了乘客屬性指標辨別模組，此模組可用來判斷此新旅客需求是屬於何種路線，如此便可採取動態派車策略去進行服務，以即時處理各種旅次需求。

4.案例研究

本研究欲參照現行臺北捷運南港線營運資料設計一單日營運案例，對此進行 IMTS 營運計劃多目標規劃模式之建立，及動態車輛指派之工作，並與現有捷運系統、接駁公車營運績效作一比較，以分析本研究所建立系統之績效。

5. 敏感度分析

將針對系統中一些參數進行改變，重新將模式運作一次，檢查此變動對於系統運作的結果將造成何種差異，以探討模式中不同參數值變化，對求解結果與相關目標項之影響。

6. 結論與建議

將測試及分析之結果加以彙總，並以此提供具體的結論與建議，以供實務界業者及此方面學者專家在未來從事相關研究之參考。



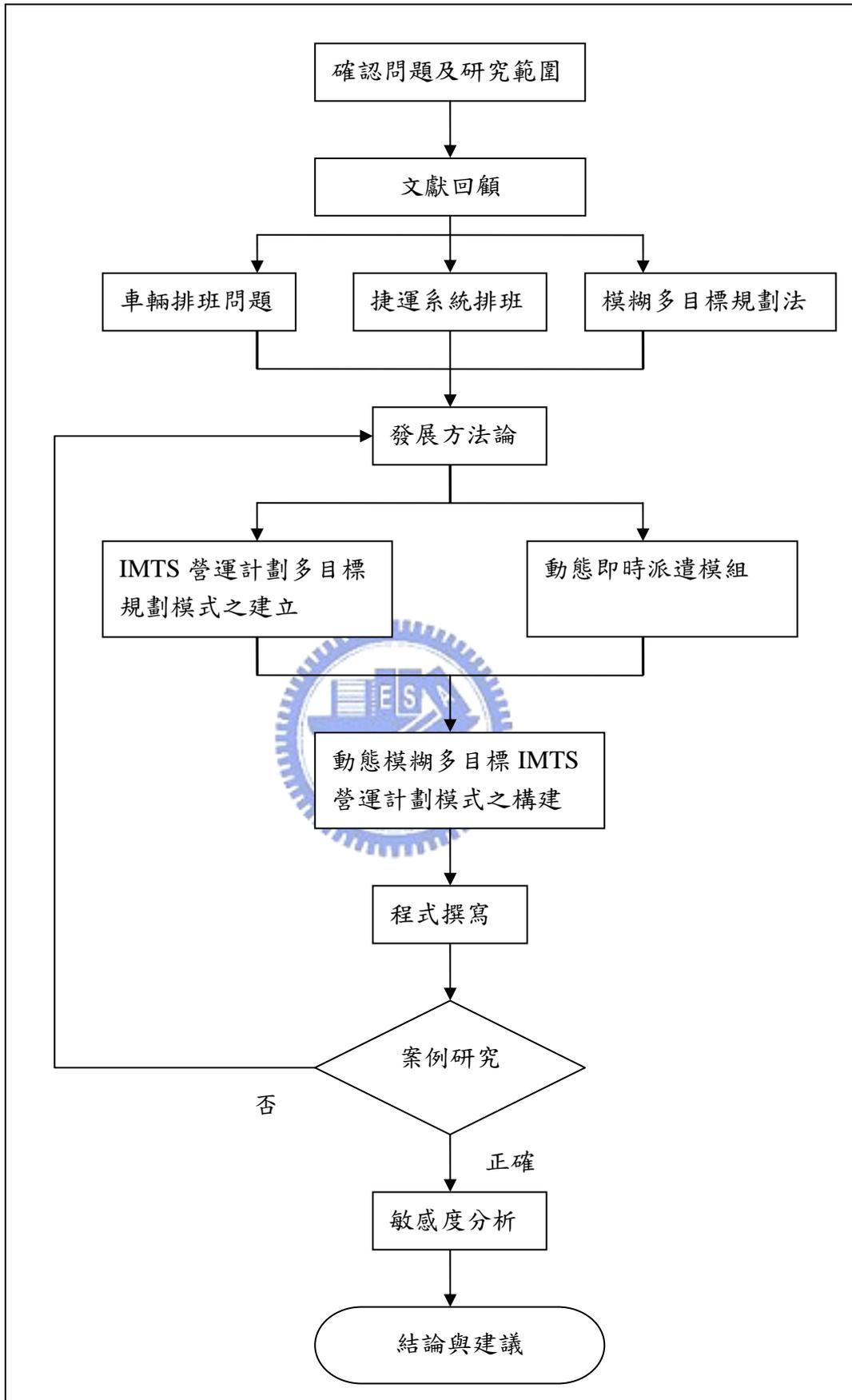


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

由於本研究擬構建能即時應變乘客需求之 IMTS 動態營運系統，據以進行即時應變之最佳派車控制決策，使派車機制與管理系統更為完善，同時也可以彌補現有公車、捷運系統無法即時反應旅次需求所造成的成本損失。是故本章將針對「車輛排班問題」、「捷運系統排班」、「模糊多目標規劃」等相關文獻進行回顧與探討。

2.1 車輛排班問題相關文獻回顧

茲將車輛排班問題相關研究分成「圖解法」、「最大承載區間法」、「數學規劃法」等三類進行回顧，分別說明如下：

2.1.1 圖解法

此方法是將乘客需求繪製成累積需求與時間關係圖，如圖 2.1 所示，依照營運者所設定的營運目標（最小等候時間、最小營運成本、最大載客數）以訂定出適當的發車班距。

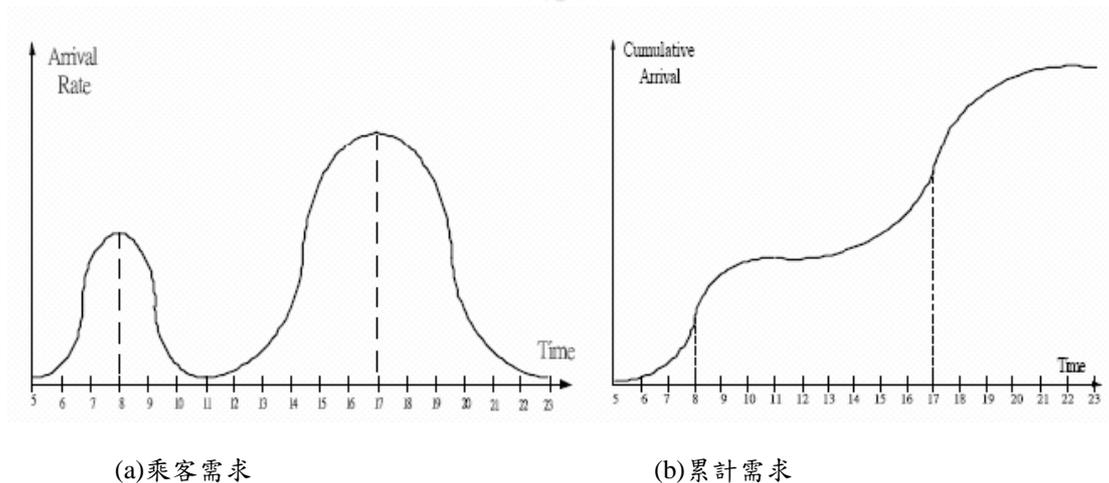


圖 2.1 累積法示意圖

Newell(1971)假設乘客抵達率為已知的時間函數，行駛時間為固定不變，而且車輛容量與車隊規模亦沒有限制，接著將各站旅次數轉換成有效需求，以起站的乘客抵達、等候情形來表示所有的乘客抵達及等候情形，以「乘客等候時間最

小」為目標，推導出班距如下：

數學公式(2.1)	符號說明
$\delta(t) = \left[\frac{2\lambda}{f(t)} \right]^{\frac{1}{2}}$	$\delta(t)$ ：班距
	$f(t)$ ：在時間點 t 時，乘客的抵達率
	λ ：每車營運收入

Salzborn(1972)延續 Newell(1971)的研究，改善部份不合理的假設，將「車輛只能使用一次」修改成「車輛可循環使用」，使之更符合實際情況。認為路線上，班車迴車時間內所需派出服務的最小車輛數即為最大尖峰、每輛車皆滿載的情況下所派出的車輛數。其先求得單一路線上所需最小車隊數之後，再考慮使乘客等候總時間最小，得到最佳派車率：

數學公式(2.2、2.3)	符號說明
尖峰時刻： $f = \lambda$	f ：每增派一車的成本
離峰時刻： $f \propto \sqrt{\lambda}$	λ ：乘客抵達率

Hurdle (1973)亦延續 Newell(1971)的研究，假設車隊數與車輛容量為固定的，以「乘客等車時間」以及「營運成本最小化」為目標式，針對尖峰與離峰時刻最適車隊與最佳派車頻率進行推導，得到發車頻率如下：

(1) 尖峰發車頻率

數學公式(2.4)	符號說明
$g(t) = \begin{cases} f(t), & \text{有乘客等候} \\ g(t-T), & \text{沒有乘客等候} \end{cases}$	$g(t)$ ：t 時間發車頻率
	$f(t)$ ：t 時間乘客抵達率
	$g(t-T)$ ：t 時間班車回站率
	T ：迴車時間

(2) 離峰發車頻率

數學公式(2.5)	符號說明
$g(t) = \text{Max} \left\{ f(t), \beta f^{\frac{1}{2}}(t) \right\}, \beta^2 = \frac{C}{2\lambda}$	C：車輛容量
	λ ：每座位派出成本

韓復華(1977)依乘客上下車的站數，將排班問題分為單一起迄點與多站式兩種，單一起迄的排班方式以 Salzborn(1972)、Hurdle(1973)為理論基礎；多站式的排班則先假設車輛數無限制、車輛旅行時間固定、乘客抵達率為確定的分配型態，以「政策班距」以及「公車容量」為限制條件，目標式為「車班利用最佳化」。求解原則：依時間的累進，計算各時刻的總載客數，在未超過容量限制下繼續延長發車班距，直到其最大值為止。

藍武王與王丘明(1990)以 Newell(1971)為基礎，分析城際客運乘客抵達率固定以及隨機抵達狀況下之等候時間與車輛排班公式如下：

(1) 乘客定性抵達且抵達率小

數學公式(2.6)	符號說明
$E(H) = \left(\frac{2r}{\lambda p} \right)^{\frac{1}{2}}$	r ：每增派一車的成本
	p ：每一乘客單位時間的等候成本
	λ ：乘客抵達率（固定常數）

(2) 乘客定性抵達且抵達率大

派車班距為車輛滿載即發車。

(3) 乘客以卜瓦松(Poisson) 分配隨機抵達

累計乘客抵達人數在 $\lambda t \pm (\lambda t)^{\frac{1}{2}}$ 變動，平均等候時間和定性抵達過程結果類似。

2.1.2 最大承載區間法

班距的訂定應以提供足夠之運能來滿足乘客需求，且系統必須維持在一定的服務水準上（不超過某一乘載率的限制），再由路線中的最大乘載區間決定發車班距，而所謂的最大乘載區間指的是路線載客量最多的兩個停靠站區間（如圖 2.2）。

Vuchic(1976)利用最大乘載區間的概念，對公車的排班提出了派車班距如下：

數學公式(2.7)	符號說明
$h = 60 \cdot \frac{\alpha \cdot C_v}{P_{\max}}$	h ：發車班距（分/班）
	α ：乘載率
	C_v ：乘客抵達率（固定常數）
	P_{\max} ：最大乘載量（人/時）

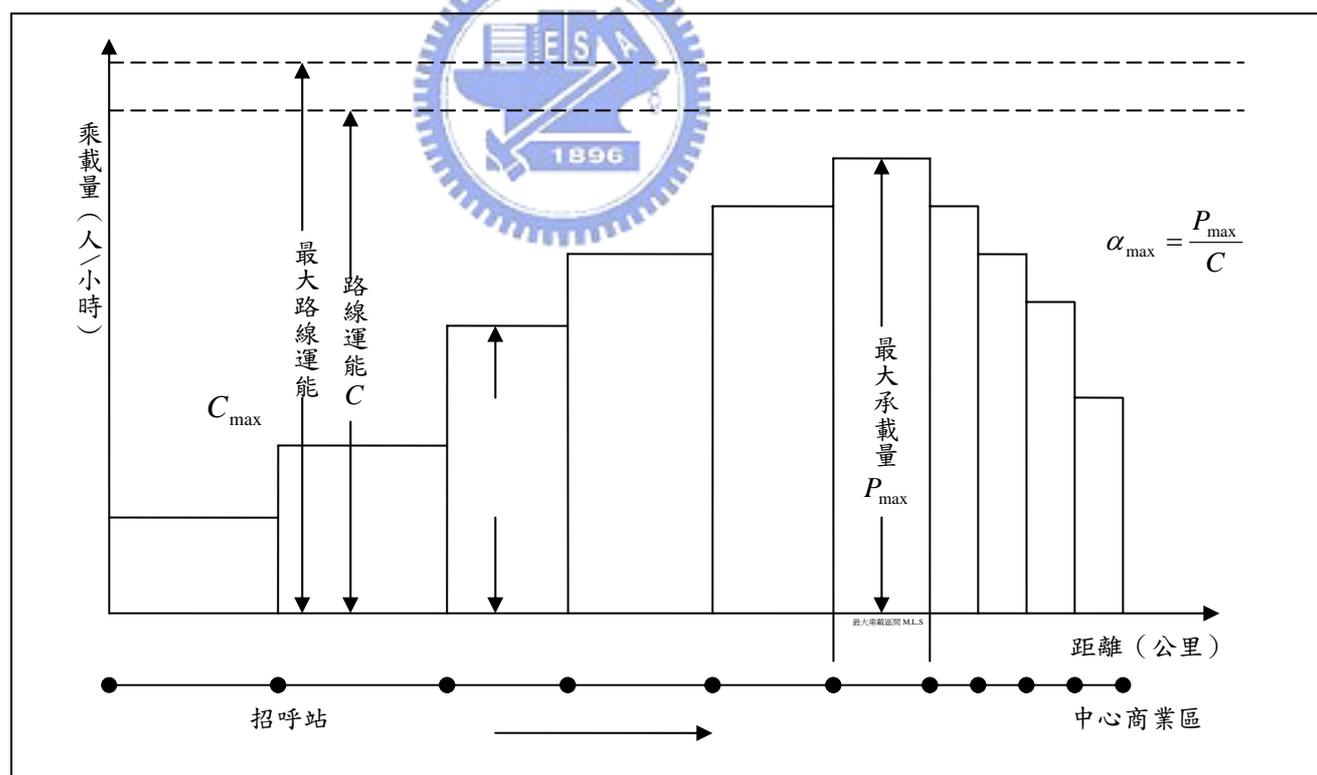


圖 2.2 最大乘載區間法示意圖(Vuchic, 1976)

Ceder(1984)提出四種決定班距的方法，前二者採用最大乘載(Max Load)的觀念，後二者採用乘載剖面(Load Profile)的觀念。

《Method 1》

以一天中最大乘載區間的乘載量作為乘客需求量來進行排班。已知 i 站之全天 P_{ij} 為最大，再以 i 站每一時段 j 之乘載量來計算發車頻率。

數學公式(2.8)	符號說明
$F_j^1 = \frac{Pd_j^*}{\alpha_j \cdot C_v} = \frac{Pd_j^*}{Cd_j}$ $j = 1, 2, \dots, q$	Pd ：每日最大乘載區間之單位時間乘載數(人/時)
	Pd_j^* ：由 $Max \left\{ \sum_{j=1}^q Pd_{ij}, i = 1, 2, \dots, I \right\}$ 得到， i 表示公車站牌
	α_j ：乘載率
	C_v ：車輛容量，包含座位數及立位數
	Cd ：設定乘載人數
	j ：時段

《Method 2》

以各個時段的最大乘載區間為基礎進行排班，尋找在 j 時段 i 站位的最大乘載量，作為計算發車頻率的基礎。

數學公式(2.9)	符號說明
$F_j^2 = \frac{Ph_j^*}{\alpha_j \cdot C_v} = \frac{Ph_j^*}{Cd_j}$ $j = 1, 2, \dots, q$	Ph ：每小時最大乘載區間之單位時間乘載數(人/時)
	Ph_j^* ：由 $Max Ph_{ij}$ 得到， i 表示公車站牌， 其中 $i = 1, 2, \dots, I$
	α_j ：乘載率
	C_v ：車輛容量，包含座位數及立位數
	Cd ：設定乘載人數
	j ：時段

《Method 3》

採用延人公里來計算，在無服務水準限制之下計算發車班次。

數學公式(2.10)	符號說明
$F_j^3 = \max \left[\frac{PL_j}{Cd_j \cdot L}, \frac{Ph_j}{C_v} \right]$	PL ：延車公里數
	Cd ：設定乘載人數
	L ：路線長度

《Method 4》

採用延人公里來計算，在一定的服務水準限制之下計算發車班次。

數學公式(2.11、2.12)	符號說明
$F_j^4 = \max \left[\frac{PL_j}{Cd_j \cdot L}, \frac{Ph_j}{C_v} \right]$ $s.t. \sum_{i \in I_j} l_i \leq \beta_j \cdot L$	α_j ：在某時段(j)內允許乘客超過設定乘載人數的路段比例
	$I_j = \left\{ i : \frac{Ph_j}{F_j} > Cd_j \right\}$ 所有乘客數超過設定乘載人數區間的集合
	L ：路線長度

將上述後三種方法加以比較，可得發車頻率的大小關係為： $F_j^2 \geq F_j^3 \geq F_j^4$ 。

2.1.3 數學規劃法

利用數學模式把能考慮的因素量化，由研究者自行設定目標函數與限制式的特性，將影響車輛排班的營運成本、乘客需求、車輛容量、政策班距等因素，依彼此之間關係構建數學模式，再根據模式型態、數學理論與求解技巧，採用適當方式求解車輛排班。

Friedman (1976) 假設路線、站位、乘客數及道路交通均已知且為定性(deterministic)，在車隊規模及駕駛員人數的限制條件下，以乘客平均候車時間最小化為目標，求解最適公車發車時間。

Tapiero and Zuckerman (1979)發展在相同路線兩家業者經營的情況下，探討最佳班距決策。假設乘客抵達呈 Poisson 分配，有三種班距策略：(1)當等車人數達到車輛容量時即派車服務、(2)固定時間間距發車、(3)以第 2 項策略為基礎，但若時發車間隔內等車人數以超過車輛容量時即派車服務。得到兩家的最佳發車班距如下：

數學公式(2.13、2.14)	符號說明
$T_1^* = \left[\frac{\frac{2K_1}{\lambda\pi_1}}{W_1 + \beta(P_1 - \frac{W_1 T_2^*}{2})} \right]^{\frac{1}{2}}$	T_1^* ：第一家業者之最佳班距
	T_2^* ：第二家業者之最佳班距
$T_2^* = \left[\frac{\frac{2K_2}{\lambda\pi_2}}{W_2 + \beta(\frac{\pi_1}{\pi_2})(P_2 - W_2 T_1^*)} \right]^{\frac{1}{2}}$	λ ：旅客平均抵達率
	π ：選擇某家服務的機率函數
	P ：票價
	W ：單位等車成本
	β ：常數（利用迴歸模式預測）

張學孔(1980)考慮單一路線變動需求與固定需求下的最佳班距。假設變動需求函數為 $q = Q(h, f, a)$ ，其中 q 為需求量、 h 為班距、 f 為費率、 a 為系統參數。當目標式是社會福利最大化的情況下，求得最佳行車班距如下：

數學公式(2.15、2.16)	符號說明
<p>變動需求</p> $h = \left[\left(\frac{e \cdot f}{w \cdot a} \right)^2 + \frac{T \cdot u}{w \cdot a \cdot q} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{e \cdot f}{w \cdot a}$	e ：班距需求彈性
	f ：費率
<p>固定需求</p> $h = \left[\frac{T \cdot u}{w \cdot a \cdot q} \right]^{\frac{1}{2}}$	w ：等待時間價值
	a ：平均等待時間與行車間距之比值
	T ：迴車時間
	u ：公車單位營運成本(元/時)
	q ：最大潛在需求密度(旅次/時/平方公里)

Jansson(1981)從社會總成本的觀點，構建一簡單的公車路線模式，以乘客候車成本、車內時間成本與業者營運成本最小化為目標，求解最適的路線發車率及公車容量。該研究發現最適公車容量與離峰時段乘客需求量的平方根成正比，而與最大容許承載率成反比。因此，認為業者在採用最適公車容量之後，應以相同車輛來服務尖、離峰時段的乘客，以避免社會總成本的增加。該研究亦論及尖、離峰成本分配的課題，認為應考慮總作業車輛小時、總車輛公里及尖峰車輛需求量等因素，並利用尖、離峰車輛數建立每日增量成本，處理成本分配問題。

Han & Wilson (1982)界定目標式為乘客等候時間與擁擠成本最小化；假設已知起迄點需求量、固定車隊數與車輛容量，分析重疊公車路線在競爭狀況下最佳配車方式。

數學公式(2.17、2.18、2.19、2.20)	符號說明
<p>目標式</p> $\text{Min } J = J(f_{ij}^k, q_k, A_k)$	<p>f_{ij}^k：公車路線 k 上在節線 ij 的乘客流量</p>
	<p>q_k：公車路線 k 的服務頻率</p>
	<p>A_k：關於公車路線 k 的其他屬性</p>
<p>限制式</p> <p>乘載可行性：$C \cdot q_k \geq f_{ij}^k \quad k \in R, ij \in L_k$</p> <p>乘客流量指派：$f_{ij}^k = g_{ij}^k(V^{ab}, q_r, A_r)$</p> <p>$k \in R, ij \in L_k, r \in X_{ij}, \text{ and } a, b \in N$</p> <p>車隊規模：$\sum_{k \in R} t_k \cdot q_k \leq M$</p>	<p>g_{ij}^k：乘客流量指派到公車路線 k 上節線 ij 的一般化函數形式</p>
	<p>V^{ab}：介於節點 a 和節點 b 的起迄流量</p>
	<p>M：全部可供利用的公車</p>
	<p>N：公車網路的節點集合</p>
	<p>L_k：公車路線 k 的節線集合</p>
	<p>R：公車路線的集合</p>
	<p>t_k：公車路線 k 的迴車時間</p>

周義華與張國揚(1989)假設班距彈性為零、車輛型式相同，考慮選擇性與非選擇性旅次，其中選擇性旅次之比例依各路線派車頻率而定，目標函數設定為每日每車營運利潤最大化（成本部分只考慮變動成本）：

數學公式(2.21、2.22、2.23、2.24、2.25)	符號說明
<p style="text-align: center;">目標式</p> <p style="text-align: center;"><i>Max</i></p> $NB = \left(1 - \frac{r}{2}\right) \cdot M \cdot \left[P_N + \sum_i \sum_j P_{oij} \left(\frac{f}{f + \sum_s f_{sij}} \right) \right] - CLF$	<i>r</i> ：優待票比例
	<i>M</i> ：票價
	<i>P_N</i> ：分選擇性旅次
	<i>P_{oij}</i> ：路線上所有從 <i>i</i> 站到 <i>j</i> 站的選擇性旅次數
	<i>f</i> ：派車頻率
	<i>f_{sij}</i> ：經過 <i>i</i> 、 <i>j</i> 之重複路線的派車頻率
<p style="text-align: center;">限制式</p> $f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$ $L_p \leq \alpha \cdot C_v$ $N_v \geq T \cdot f$ $f > 0$	<i>C</i> ：每行駛一公里之變動成本
	<i>L</i> ：路線長度
	<i>L_p</i> ：車上實際乘載人數
	<i>C_v</i> ：車輛容量
	<i>α</i> ：乘載率
	<i>N_v</i> ：路線上的配車數

Chang and Schonfeld【1991a】將多對一的公車路線型態分為固定路線與彈性路線兩種，前者係指傳統的公車營運，後者則是採彈性路線的及門服務。在業者與乘客成本最小化、社會福利最大、業者利潤最大的目標下，分別探討固定需求（單一班距、多時段班距）、變動需求（單一班距、多時段班距）之情形。推導結果顯示固定路線方案適合以大型公車在旅次需求高的地區營運；彈性路線方案應採小型公車服務乘客較少的地方。在處理乘客需求變動方面，提出一線性公車需求函數，以反應乘客對費率與旅行時間之需求彈性。

Chang and Schonfeld【1991b】在需求固定的假設條件下，以營運者成本及使用者進出站成本、等車成本、車內成本最小化為目標函數，探討多對一的接駁公車系統最佳化，共提出固定路線與彈性路線兩個方案，決策變數包括最佳公車容量與服務範圍。該研究以平均每人旅次成本高低為決策依據，比較兩方案之適

用環境，並獲得多時段的最佳化結果。

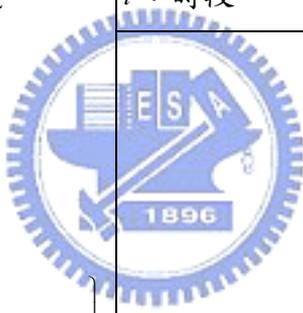
周義華與張玉君(1993)以使用者成本及業者成本總和最小化為目標，考慮標準公車、小型公車、雙層公車等三種車型，採用電腦模擬的方式，探討旅運需求與行駛時間在尖離峰時刻產生變動時最佳的發車班距與車隊組合。許文達(1995)延續周義華與張玉君的研究，發現在單一時段內也可採用混合車型的營運方式以提高系統績效。

張學孔、賴金和(1994)分析多時段公車費率及相關服務水準，在考量營運者損益兩平與容量等限制條件下，以社會福利最大化為目標，建立最佳化數學模式，並在求解過程中引入拉氏乘數，分別求得最佳化費率與最佳化班距。該研究亦將旅客上下時間損耗、不同時段時間價值及成本分配等問題，納入數學分析模式，以增加模式之精確度。在實例分析部分，分為尖峰、離峰、夜間三個時段，且結果顯示無論有無容量限制，在尖峰時段之最佳發車班距小於離峰與夜間時段最佳發車班距。其中，其目標函數與限制式如下：

數學公式(2.26、2.27、2.28)	符號說明
目標式	Y ：社會福利
$Max Y$	C_0 ：分別為營運者成本
限制式	R ：營運者收入
$C_0 = R$	L ：公車服務長度
$Lrh_t Q_t = N_t$	r ：公車服務路線間距
	h_t ：班距
	Q_t ：班距時間內所產生之需求量
	N_t ：在 t 時段每輛車容量

Lee, Kuo, Shonfeld(1995)探討市區公車混合車隊營運最佳化問題，以營運成本和使用成本總和最小為目標，考慮單一車型單一路線、單一車型多條路線多

時段、兩種車型多條路線多時段等三種情境下，利用數學規劃法求解最佳車輛容量及發車班距如下：

數學公式(2.29、2.30、2.31、2.32、2.33)	符號說明
<p>單一車型單一路線</p>	<p>a：固定成本</p>
<p>最佳容量：$S = \left(\frac{2aDq^2}{v_w V Q} \right)^{\frac{1}{2}}$</p>	<p>D：經營路線長度</p>
<p>最佳班距：$H = \frac{S}{q} = \left(\frac{2aD}{v_w V Q} \right)^{\frac{1}{2}}$</p>	<p>q：尖峰時刻路線旅運需求</p>
<p>單一車型多條路線多時段</p>	<p>v_w：乘客等候時間價值</p>
<p>最佳容量：$S = \left(\frac{\sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{2aD_r q_{rt}}{V_{rt}}}{\sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{v_w Q_{rt}}{q_{rt}}} \right)^{\frac{1}{2}}$</p>	<p>V：車輛平均速度</p>
<p>最佳班距：</p>	<p>Q：旅運需求</p>
<p>$H = \text{Min} \left\{ \left(\frac{\sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{2aD_r q_{rt}}{V_{rt}}}{\sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{v_w Q_{rt}}{q_{rt}}} \right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1}{q_{rt}}, \left(\frac{2D_r(a+bS)}{v_w V_{rt} Q_{rt}} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}$</p>	<p>r：路線編號</p>
<p>兩種車型多條路線多時段</p>	<p>t：時段</p>
<p>最佳容量：由 $\frac{QD}{V} = \frac{v_w S_1 S_2}{2a}$ 決定 r 路線使用車型</p>	
<p>(大車或小車) 的需求臨界點，並利用</p>	
<p>Quasi-Newton 數值分析方法求解</p>	

張學孔、許哲瑋(1996)延續張學孔、賴金和(1994)之研究，針對管制情況下公車系統的營運設計，以分析性最佳化方法進行求解。研究中考量大眾運輸成本

項目、服務功能與需求特性，依最大利潤、損益兩平衡下最大社會福利之目標函數，建立多時段公車之最佳化模式及二階段公車營運模式。模式中的決策變數包括了網路密度、費率與班距，經過各種模式分析後，可以得到不同時段班距與費率的最佳化結果。結果發現，業者擬定班距與管制費率的三分之一成反比，即管制費率愈低，營運班距愈長，但呈邊際現象遞減。該研究同時探討多時段成本分配模式，進行各時段的固定與變動成本分配分析，輔助公車系統之最佳化分析。

藍武王、林祥生(1997)探討均質環境（假設乘客抵達與行駛時間為固定）與異質環境（假設乘客抵達與行駛時間隨時間而變化），以系統設計觀點，尋求營運者與使用者的系統總成本。先求出最佳班車容量之後，再求出最佳班距，並對直達、接駁、轉運、轉接四種營運方式進行比較，其中直達方案的班距如下：

數學公式(2.34、2.35)	符號說明
均質環境	Ω_1 ：為每班次每小時營運固定成本(元/車小時)
$H_x = \left[\frac{\Omega_1 T_{x2} + u_1}{\lambda \delta_1 p_1} \right]^{\frac{1}{2}}$	T_{x2} ：每班次行車時間(小時/班次)
	u_1 ：靠站一次所需支付的場站成本(元/班次)
	λ ：起迄旅次需求率(人/小時)
異質環境	δ_1 ：乘客在旅次起點搭乘國道路線候車時間對行車班距之比值
$H_{iajbt} = \left[\frac{\Omega_1 T_{iajbt} + u_1}{\lambda_{iajbt} \delta_1 p_1} \right]^{\frac{1}{2}}$	p_1 ：乘客在候車時之時間價值(元/人時)
	T_{iajbt} ：在 t 時間由第 i 個生活圈第 a 旅次起點至第 j 生活圈第
	b 旅次迄點每班次營運時間
	λ_{iajbt} ：在 t 時間由第 i 個生活圈第 a 旅次起點至第 j 生活圈第
	b 旅次迄點的旅次需求率

劉方旗(1998)認為公車排班系統應屬隨機性 (stochastic)，乘客的需求與行車的時間具有不確定性，故將不確定因素納入公車排班系統中，依照實際的班車行車路線來定義目標函數，並建立一隨機系統的數學模式，最後發展出一隨機最佳化方法論找出最佳的班車班距。所謂隨機最佳化，即利用目標函數的估計值(而非真正值)來求最佳解，而該研究係以系統模擬實驗來估計任一可行解的目標函數值。文獻中假設在短期內旅客之「需求的班距彈性為零」，即乘客的需求量不會隨著班距變動而改變，也就是說所有搭乘公車的旅客皆為固定需求 (Captive demand)，且以業者的利潤最大為目標函數，求解單一班距的隨機最佳化問題，最後再將問題延伸至多班距問題求解。其中，目標函數之定義如下：

$$\text{Max 業者利潤} = \text{票價收入期望值} - \text{成本期望值}$$

$$\text{其中成本期望值} = \text{營運成本期望值} + \text{乘客等候成本期望值}$$

林容聖(2000)採用數學性分析方法，以業者利潤最大化為目標，在考量競爭對手對乘客的吸引因素與車輛容量限制的前提下，探討迴車時間變異程度與旅運需求的時間變異特性對於班次安排 (發車班距、車隊規模)、業者獲利的影響。該研究分別構建單時段與多時段兩種營運模式，在單時段營運模式方面，只考慮全天抵達率為一固定數值的情形，即假設在營運時間內路線的旅運需求均相同，以業者利潤最大為目標，求解四種調整營運狀態 (增購車隊完全載運旅客、增購車隊未能完全載運旅客、現有車隊充足完全載運旅客、現有車隊充足未能完全載運旅客) 之相對應的班距及車規模。此外，該研究亦認為班距的設定應盡量配合不同時段的乘客抵達率，故在處理旅運需求時間變異特性方面，另採行多時段班距的排班作業方式，並針對整個營運時段的切割方法、個別時段內乘客抵達率的訂定進行探討。由於採行多時段班距的營運方式，故部分系統變數 (期望收入 R_t 、行駛成本 CV_t 、乘客流失 L_t 、未載運顧客 W_t) 會隨時間而變化，不會隨營運時段而變化的變數僅有營運成本 CO 與車隊成本 CF。數學模式如下：

數學公式(2.36、2.37)	符號說明
單時段目標式	π ：業者獲利
$Max \quad \pi = R - C - L - W$	R ：期望獲利
	C ：成本(即營運成本+車隊成本+行駛成本)
	L ：顧客流失所導致的獲利損失
多時段目標式	W ：未載運的獲利損失
Max	R_t ：期望收入
	CV_t ：行駛成本
$\pi_t = R_t - \left(\sum_{t=1}^T CV_t + CO + CF \right) - L_t - W_t$	L_t ：乘客流失
	W_t ：未載運顧客



蔡文昉(2001)進行大眾運輸排班系統的研究，利用拉氏鬆弛法切入問題，修正「放鬆後集合切割限制」、「車輛起迄相同的限制」、「工作時間的限制」等等限制條件。其數學模式如下：

數學公式(2.38、2.39、2.40、2.41、2.42)	符號說明
目標式：閒置成本+車隊規模最小化	p ：表示起迄場站數
$\text{Min } \alpha \sum_v \sum_{(i,f) \in S} (t_j - t_i) x_{ij}^v + \beta \sum_v \sum_{(i,f) \in S} x_{ij}^v$	N ：為網路節點的集合
限制式	x_{ij}^v ：當 $x_{ij}^v = 1$ 表示第 i 個節點到第 j 個節點被一車輛任務鏈所涵
駕駛員下班要駛回母站	蓋，其他 $x_{ij}^v = 0$ ； I 表示場站的時空點， $I=1 \sim n$ ； v 表示一車輛任
$\sum_v x_{ij}^v = 1$	務鏈。
雙班制勤務限制	T_i ：節點 i 的時刻
$\sum_{(i,f) \in A} x_{if}^v = \sum_{(r,i) \in A} x_{ri}^v \quad \forall i \in N \setminus (N_s, N_t) \forall v$	A ：表示所有節點的集合
流量守恆限制	S ：起始節線集合
$\sum_{(i,f) \in Sp} x_{ij}^v = \sum_{(i,f) \in Tp} x_{ri}^v \quad \forall v, p$	T ：終點節線集合
駕駛員工時限制	C ：所有車輛閒置節線集合
$\sum_{(i,f) \in S} x_{ij}^v \leq 1 \quad \forall v$	E ：連結不同場站服務節線集合
	N_s 、 N_t ：表示時空網路的起迄點
	S_p ：表示車輛由 p 場站出發之連結起始節線集合
	T_p ：表示駛回 p 場站之連結起始節線集合

歐信宏(2002)透過業者的觀點，將轉運系統定義：在業者營運成本與整體運輸效率的考量下，針對旅運需求的大小，於系統內進行轉車的操作，並適當的提升服務水準(如：更密集的班距、轉車票價優惠等)，以彌補旅客因轉車所產生的不便。其數學模式如下：

數學公式(2.43~2.51)	符號說明
目標式：Max 轉運後業者的利潤=轉運後	C_i ：行駛轉運合併路線客運車之平均每車公里營運成本（元/車公里）
營運收入—轉運後的成本	C_j ：行駛未轉運合併路線客運車之平均每車公里營運成本（元/車公里）
Min $\left\{ \sum_{T=1}^{S_1} P_{ikT} D_{ikT} + \sum_{t=1}^{S_2} \sum_{j=1}^m P_{kjt} D'_{kjt} \right\}$ —	D_{ikT} ：i 站至 k 站第 T 時段之旅客需求數（人）； δ_1 ：起站候車時間比
$\left\{ C_i \times L \sum_{T=1}^{S_1} X_{jkt} Q_{jkt} + C_j \times \sum_{t=1}^{S_2} \sum_{j=1}^m (L_j X'_{kjt} Q'_{kjt}) \right\}$	D'_{kjt} ：k 站至 j 站第 t 時段之旅客需求數（人）； δ_2 ：轉運站候車時間比
限制式	K_i ：行駛轉運合併路線客運車之車廂容量（人/每車）
$\delta_1 \times \left(\sum_{T=1}^{S_1} \frac{1}{X_{ikT}} \right) \times \frac{1}{S_1} + \delta_2 \times \left(\sum_{t=1}^{S_2} \frac{1}{X'_{kjt}} \right) \times \frac{1}{S_2} \leq T_b$	K_j ：行駛未轉運合併路線客運車之車廂容量（人/每車）
$\delta_1 \times \left(\sum_{T=1}^{S_1} \frac{1}{X_{ikT}} \right) \times \frac{1}{S_1} \leq T_a$	L ：i 站與 k 站的路線長度，即轉運合併路線之運程（公里）
$\left(\sum_{T=1}^{S_1} X_{ikT} Q_{ikT} \right) \times K_i \geq \sum_{T=1}^{S_1} D_{ikT}$	L_j ：k 站與 j 站的路線長度，即未轉運合併路線之運程（公里）
$\left(\sum_{t=1}^{S_2} X'_{kjt} Q'_{kjt} \right) \times K_j \geq \sum_{t=1}^{S_2} D'_{kjt}$	M_{ikT} ：i 站到 k 站第 T 時段內之車輛運轉週期（小時）
$f_{ikT} \leq X_{ikT} \leq \frac{N_a}{M_{ikT}}$	M'_{kjt} ：k 站到 j 站第 t 時段內之車輛運轉週期（小時）
$f'_{kjt} \leq X'_{kjt} \leq \frac{N_b}{M'_{kjt}}$	N_a ：轉運合併路線之配置車輛數（輛）； N_b ：未轉運合併路線之配置車輛數（輛）
$D_{ikT} = a_{ikT} X_{ikT} + b_{ikT}$	P_{ikT} ：第 T 時段內 i 站到 k 站之票價，即轉運合併路線之票價（元/人）
$D'_{kjt} = a'_{kjt} X'_{kjt} + b'_{kjt}$	P_{kjt} ：實施轉運操作後第 t 時段內 k 站到 j 站之票價（元/人）
X_{ikT} ：第 T 時段內 i 站至 k 站之發車頻率（班次/小時）	Q_{ikT} ：i 站至 k 站第 T 時段之營運時間（小時）
X'_{kjt} ：第 t 時段內 k 站至 j 站之發車頻率（班次/小時）	Q'_{kjt} ：k 站至 j 站第 t 時段之營運時間（小時）
f_{ikT} ：i 站到 k 站第 T 時段內之政策發車頻率（班次/小時）	S_1 ：轉運合併路線劃分之時段數； S_2 ：未轉運合併路線劃分之時段數
f'_{kjt} ：k 站到 j 站第 t 時段內之政策發車頻率（班次/小時）	T_b ：未轉運前 i 站到 j 站之乘客平均等車時間（小時）
i ：起站； j ：終站； k ：轉運站； m ：未轉運合併路線之路線個數	T_a ：未轉運前 i 站到 k 站之乘客平均等車時間（小時）
	a_{ikT} ：i 站至 k 站第 T 時段內旅客需求之變動量（人/班次）
	a'_{kjt} ：k 站至 j 站第 t 時段內旅客需求之變動量（人/班次）
	b_{ikT} ：i 站至 k 站第 T 時段內不提供任何班次下的潛在需求量或其他運具的移轉需求量
	b'_{kjt} ：k 站至 j 站第 t 時段內不提供任何班次下的潛在需求量或其他運具的移轉需求量（人）

吳靜薇(2003)將最佳營運策略之評估指標設定為系統總利潤最大，主要考量使用者(乘客)、決策者(政府)及營運者(客運公司)等三大項目。其建立的排班數學模式如下：

數學公式(2.52~2.57)	符號說明
目標式：	π ：系統總利潤
$Max \quad \pi = TBR - TBC - TPWC + OR$	TBR ：公車業者營運收入
限制式	TBC ：公車業者營運成本
公車容量限制	$TPWC$ ：旅客等候成本
$\sum_{W=1}^z V_w \leq BB \times M$	V_w ： w 時點的需求量之累加
	BB ：公車容量
發車時間限制	M ：總發車次數
$T_e \geq T_{nij} \geq T_f$	T_e ：最晚發車時間
最長班距限制	T_{nij} ：第 n 班公車從 i 到 j 的時間
$T_{nij} - T_{(n-1)ij} \leq t$	T_f ：最早發車時間
發車人數限制	P ：候車人數
$P \geq \partial$	∂ ：發車人數
首班發車時間限制	
$T_{1ij} = T_f$	

2.2 捷運系統排班相關文獻回顧

由於軌道容量分析以解析模式最為簡單普遍，各國最常採用的分析法也是以解析模式為主，模擬模式與最佳化模式則因大多被包裝成套裝應用軟體，不易得知其模式之細節，因此以下針對各主要國家所發展應用的解析模式作一探討。

2.2.1 美國軌道容量分析

根據美國「大眾運輸容量暨服務品質手冊」，容量定義為「以人為客體單位之容量」。由於旅客不可能均勻到達且平均乘載於每一列車的每一車廂，軌道容量可區分為設計容量與可達成容量。「設計容量」指的是該系統理論上可以達到的最大容量；「可達成容量」係指考慮乘載變異因素後，系統所能達到的最大容量，兩者之間最大的差異在於反應旅客變異的尖峰小時因素。

該手冊將軌道容量計算方式依「系統」區分為立體分隔系統(Grade-Separated System, GSS)、輕軌鐵路(Light Rail, LR)、通勤鐵路(Commuter Rail, CR)與自動導引大眾運輸(Automated Guideway Transit, AGT)四大類，運用時再依系統特性選用適當的計算方式，雖然計算方式有所區別，主要在於參數的選用以及某些重要因子計算公式的不同，其計算程序大同小異，計算步驟包括七大步驟：

步驟一：決定最繁忙的車站

步驟二：決定號誌安全時距 t_s

步驟三：決定停站時間 t_d

步驟四：決定營運寬裕時間 t_m

步驟五：決定乘客乘載水準

步驟六：決定尖峰小時因素 ρ_d

步驟七：整體運算

在計算軌道容量時，其程序依上述步驟，但其中的影響因子則必須因路線條件、系統特性、運轉條件之不同而選用不同的計算方式。以下將就 GSS 容量計算步驟所採用的公式與參數設定細節作一說明。

步驟一：決定最繁忙的車站

路線容量為單位時間內通過路線上任一固定點的最大客體數，應為整條路線上路段容量、車站容量、折返點容量、銜接點容量中較小者。對於複線配置及複線運轉的系統而言，根據該手冊所述，路線容量有高達 79% 的比例是受制於車站容量，有 15% 的瓶頸發生於折返點，僅有 5% 的比例是由銜接點所控制，因此路線容量通常是由路線上最繁忙的車站所決定。

步驟二：決定號誌安全時距

號誌控制系統可概分為固定閉塞區間號誌系統、移動閉塞區間號誌系統與混合閉塞號誌系統三類。其最小運轉時隔可由實際營運經驗、模擬或以簡化的公式計算。台北捷運採用固定閉塞號誌系統，手冊提供的計算公式如下。

數學公式(2.58~2.65)	符號說明
$t_s = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7)$	t_s ：控制系統列車最小運轉時隔 (s)
(1) 月台淨空時間 = $\sqrt{\frac{2(L+D)}{a_s(1-0.1G_0)}}$	L ：最長列車的長度 (m) D ：停站列車之前端至離站後第一個閉塞區間的距離 (m)
(2) 列車行駛車身長的時間 = $\frac{L}{v_a}$	a_s ：起始服務加速度 (m/s^2)
(3) 安全煞車時間 = $\left(\frac{100}{k} + B\right) \left(\frac{v_a}{2d_s}\right)$	G_0 ：出站坡度 (%) v_a ：進站速度 (m/s)
(4) 超速控制時間	k ：煞車安全因子 (%)
$= \frac{a_s(1-0.1G_i)v_v^2 t_{os}^2}{20000v_a} \left(1 - \frac{v_a}{v_{max}}\right)$	B ：列車安全分隔因子 d_s ：服務減速度 (m/s^2)
(5) 超速時間 = t_{os}	G_i ：進站坡度 (%)
(6) 急衝度限制時間 = t_{jl}	l_v ：電壓降 (%)
(7) 煞車系統反應時間 = t_{br}	v_{max} ：最大列車速度 (m/s)

其中，煞車安全因子 k 為考慮煞車系統作用效能的係數，在多數情況下，列

車正常煞車時的減速度會低於緊急煞車的效率，此比例通常為 75%。列車安全分隔因子 B 是用來表示煞車距離的增量，其值隨號誌控制系統而定，通常車廂號誌系統採用 1.2，三時相號誌系統採用 2.4。

步驟三：決定停站時間

停站時間為影響列車間距最重要的因素，決定停站時間的因子包括旅客流時間、等候車門關閉時間及車門關閉後等候發車時間。影響停站時間的因素非常複雜，可由經驗值、簡化的理論公式或統計公式決定。

一般決定列車停站時間的方法包括下列四種：

1. 指定合理數值

一般停站時間合理範圍為 30~50 秒，如果要求更高的精確度亦可使用 35~45 秒之範圍。合理的數值必須視系統特性而定，非常繁忙的車站如紐約地鐵的中央車站甚至超過 60 秒。

2. 使用既有停站時間資料

參考營運中的類似系統的停站時間資料，依美國的經驗，一般停站時間為 27.5~61.5 秒。

3. 使用同一系統內其他站停站時間

本法僅適用於同一系統新增同樣營運模式的路線，如果新路線運轉時隔決定車站的旅客量與舊有路線同等級車站不同，可以依每小時站內旅客移動量比例調整停站時間的旅客流量因子（Flow Component of Dwell Time）。

4. 由尖峰小時旅客流量計算停站時間

此法最適合使用於沒有鐵路大眾運輸系統，但可以提供充足轉乘運輸的新設路線，計算式如下。

數學公式(2.66)	符號說明
$\ln(t_d) = 3.168 + 0.0254 FT_{\max}^{(mode)}$	t_d ：停站時間 (s)
	$FT_{\max}^{(mode)}$ ：旅客流動時間 (s)

旅客流動時間的計算必須選擇最大旅客量車站並作旅客流模式分類，旅客流模式包括以「下車旅客流為主」、以「上車旅客流為主」，以及「混合旅客流」三種，大部份模式多為處理早上尖峰的情形。旅客流動時間迴歸方程式如下數學式表之。

數學公式(2.67、2.68、2.69)	符號說明
<p>(1) 下車旅客流為主的迴歸模式</p> $\ln(FT_{\max}^{\text{alight}}) = 1.440 + 0.0922F_{\max}^{\text{alight}} - 0.00116(F_{\max}^{\text{alight}})^2$ <p>(2) 上車旅客流為主的迴歸模式</p> $\ln(FT_{\max}^{\text{board}}) = 1.380 + 0.124F_{\max}^{\text{board}} - 0.00214(F_{\max}^{\text{board}})^2$ <p>(3) 混合旅客流的迴歸模式</p> $\ln(FT_{\max}^{\text{mixed}}) = 1.368 + 0.0948F_{\max}^{\text{alight}} - 0.112F_{\max}^{\text{board}} - 0.00184(F_{\max}^{\text{alight}})^2 - 0.00225(F_{\max}^{\text{board}})^2$	<p>$F_{\max}^{(\text{mode})}$：最繁忙車門旅客流動時間 (s)</p>

最繁忙車門旅客流動時間的計算式如同式 2.70 所示。

數學公式(2.70)	符號說明
$F_{\max} = \frac{R \times V_{ph} \times (t_s + t_d + t_m)}{3600 \times D_n \times n_c \times \rho_d}$	<p>R：最繁忙車門使用率對平均車門使用率的比值</p>
	<p>V_{ph}：尖峰小時單一月台旅客量 (prs/h)</p>
<p>D_n：每車廂的車門數 (雙門)</p>	<p>t_s：控制系統列車最小運轉時隔 (s)</p>
<p>n_c：每列車的車廂數</p>	<p>t_d：停站時間 (s)</p>
<p>ρ_d：尖峰小時因素</p>	<p>t_m：營運寬裕時間 (s)</p>

步驟四：決定營運寬裕時間

由於軌道系統並非絕對穩定，在運作過程中必定會有不預期事件發生，為避免某一系列車的延誤影響下一列車的運作，運轉時隔必須考慮營運寬裕時間，其值的決定大多依經驗值或參考類似系統。一般通則如下：

- 1.當系統以最大容量營運且可允許的營運寬裕時間較少時，其營業寬裕時間範圍可定為 20~25 秒。

2.一般情況下建議設為 25 秒，但若欲服務更多的需求時，可降至 20 或 15 秒。

3.無法得知或不確定系統長期需求時，可將營運寬裕時間設為 25 秒。

步驟五：決定乘客乘載水準

乘客乘載水準 (Passenger Loading Level) 是決定列車容量與服務品質的重要因子，通常以每個旅客佔有的面積或單位列車長度的旅客數 (Linear Loading Level) 來表示，手冊中建議後者較佳。

決定乘載水準的目的是為了要計算列車容量 (Train Capacity)，決定每列車可以乘載旅客數的方式包括：先確定乘載水準再透過經驗式來決定總乘載旅客數，或由可載人面積依選定之密度計算座位數及站位數再估算總乘載旅客數。

由單位列車長度計算列車容量的概念來自於各類型車廂寬度相近，依照北美的經驗：輕軌系統可以採用 5~9 prs/m (建議值 5 prs/m)，重軌系統可採用 7~11 prs/m (建議值 6 prs/m)。

步驟六：決定尖峰小時因素

討論旅客運輸量尖離峰分佈不同之因素稱之為尖峰小時因素，在尖峰小時內，車廂內或列車內的旅客並不會均勻分佈，此不均勻的特性稱之為乘載變異因子 (Loading Diversity Factor)，手冊中將乘載變異因子併入尖峰小時因素來考慮，而尖峰小時因素的決定大多依經驗值或參考類似系統。

在北美都市鐵路系統中，通常建議採用尖峰 15 分鐘的尖峰小時因素值為：重軌系統 0.80，輕軌系統 0.75，通勤鐵路 0.60，其數學式可如式 2.71 所示。

數學公式(2.71)	符號說明
$\rho_d = \frac{V_{ph}}{4V_{15\min}}$	ρ_d ：尖峰小時因素
	V_{ph} ：尖峰小時乘載量 (prs)
	$V_{15\min}$ ：尖峰 15 分鐘乘載量 (prs)

步驟七：整體運算

最後步驟為決定該系統的最大容量，即決定最小運轉時隔 h_{\min} 。最小運轉時

隔為「號誌安全時距」、「停站時間」及「營業寬裕時間」三項之加總，進一步可估算出每小時最大列車數，如式 2.72、2.73 所示。

數學公式(2.72、2.73)	符號說明
最小運轉時隔	t_s ：號誌安全時距 (s)
$h_{\min} = t_s + t_d + t_m$	t_d ：停站時間 (s)
最大列車數	t_m ：營運寬裕時間 (s)
$C_l = \frac{3600}{h_{\min}} = \frac{3600}{t_s + t_d + t_m}$	C_l ：每小時最大列車數 (TU/h)

若將每小時最大列車數乘上列車容量即可得到該路線的最大可達成容量如下列數學式所示。

數學公式(2.74)	符號說明
最大容量	C_l ：列車容量 (prs/TU)
$C_a = C_l \times C_t \times \rho_d = C_l \times L \times P_m \times \rho_d$	L ：列車長 (m)
	P_m ：單位列車長的旅客數 (prs/m)
	ρ_d ：尖峰小時因素

2.2.2 日本軌道容量分析

日本軌道容量分析乃著重於路段容量計算，並不考慮銜接點、車站對容量的影響，關於路段容量之計算在一般複線區間採山岸氏概算法 (式 2.75)，單線區間則採運轉局簡易式 (式 2.76)，如果是通勤電車專用區間則採通勤電車專用區間計算式 (式 2.77)，數學式簡單說明如下。

1. 山岸式概算法 (複線區間)

山岸式概算法計算的是複線區間每一股道的容量，該公式考慮不同速度列車進出站的運轉時隔，而以加權平均的方式來計算。

數學公式(2.75)	符號說明
複線區間（山岸式概算法）	h_1 ：高速列車之間的運轉時隔（分）
$C_w = \frac{1440}{h_1 r_h + (h_2 + h_3 + 1) r_l} \times \delta$	h_2 ：低速先行列車與高速續行列車的進站運轉時隔（分）
	h_3 ：高速先行列車與低速續行列車的進站運轉時隔（分）
C_w ：路段容量（列車數/日）	r_h ：高速列車所佔比率=高速列車次數/列車總次數
δ ：路線利用率，一般採 0.6	r_l ：低速列車所佔比率=低速列車次數/列車總次數

2.運轉局簡易式（單線區間）

運轉局簡單式以列車於站間之平均運轉時分，而非最慢列車於最長區間的運轉時間為計算的依據，公式中同時考慮到路線利用率因子，將容量作適度的折減。

數學公式(2.76)	符號說明
單線區間（運轉局簡易式）	t ：列車於站間的平均運轉時隔（分）
$C_w = \frac{1440}{t + t_s} \times \delta$	t_s ：辦理閉塞所需的時間（分），自動閉塞制及聯動閉塞制為 1.5 分，電氣路牌式閉塞制為 2.5 分
	δ ：路線利用率，一般採 0.6
C_w ：路段容量（列車數/日）	

3.通勤電車專用區間

通勤電車專用區間沒有高速列車與低速列車的差別，因此在計算路線容量時，不需考慮低速列車待避高速列車的延滯，其計算式顯得更簡單。

數學公式(2.77)	符號說明
通勤電車專用區間	C_w ：路段容量（列車數/日）
$C_w = \frac{1440}{h} \times \delta$	h ：最小運轉時隔（分）
	δ ：路線利用率，一般採 0.6

2.2.3 台灣軌道容量分析

台灣目前正在營運的軌道運輸系統主要有台灣鐵路系統以及台北捷運系統，關於傳統鐵路方面的部份，台灣鐵路管理局對於容量分析的計算方式與日本使用的計算方式很類似，主要還是在於運轉時隔的計算，並無有系統的分析架構。路線容量的計算是為了長期計劃投資的需要，必須了解輸送需求及運輸能力的關係，以作為投資建設之依據。台鐵容量計算式與日本國鐵的公式類似，列車的站間運轉時分是以上下行列車的平均運轉時分來計算，公式中除了考慮路線利用率之外，並增加了行車制度的調整因素，以反應自動化閉塞區間對容量的影響。此外，該公式所計算的是整個區間所有軌道的容量，因此在式中有軌道數的調整因子 n_t 。台鐵使用的簡易計算公式如下所示。

數學公式(2.78)	符號說明
$C_l = \frac{1440}{\frac{t_1 + t_0}{2} + t_s} \times \delta \times \eta \times n_t$	C_l ：路段容量（列車數/日）
	t_1 ：上行客貨列車所佔比例的混合運轉時分（分）
	t_0 ：下行客貨列車所佔比例的混合運轉時分（分）
η ：行車制度效率因素，又稱續行係數	t_s ：辦理閉塞及號誌時間（分），台鐵目前採用 1.5 分
n_t ：軌道數（單軌、雙軌、三軌）	δ ：路線利用率，台鐵採用 0.7

2.2.4 台北捷運中運量系統容量分析－木柵線為例

步驟一：決定最繁忙的車站

木柵線忠孝復興站為木柵線與板南線的交會車站，轉乘旅次非常多，為木柵線最繁忙的車站，以忠孝復興站為基準的容量相關參數設定如表 2.1 所示，其中列車安全分隔因子 B 、超速控制時間 t_{os} 及尖峰小時因素 ρ_d 三項參數因捷運木柵線無法提供，故採用美國「大眾運輸容量暨服務品質手冊」(Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCQSM)的通用預設值。

表 2.1 台北捷運木柵線容量分析參數設定值

參數	定義	設定值	單位
L	最長列車之長度	55	m
D	停站列車之前端至離站後第一個閉塞區間的距離	30	m
a_s	起始服務加速度	1.0	m/s^2
G_0	出站坡度	0.0	%
v_a	進站速度	16.67	m/s
k	煞車安全因子	76	%
B	列車安全分隔因子	4	
d_s	服務減速度	1.0	m/s^2
G_i	進站坡度	0.0	%
v_{max}	最大列車速度	22.22	m/s
t_{os}	超速控制時間	1.0	s
t_{jl}	列車急衝度限制寬裕時間	0.5	s
t_{br}	列車駕駛反應時間及煞車系統反應時間	0.5	s
C_t	列車容量 (立位密度以 $5\text{ prs}/m^2$ 計算)	座位：24 人 立位：75 人 合計：99 人 4 車合計：396 人	prs/TU
t_d	停站時間	合計：25	s
t_m	營運寬裕時間		
ρ_d	尖峰小時因素	0.8	

資料來源：台北市捷運局及「台灣地區軌道系統容量研究架構暨台北捷運系統容量分析」

步驟二：決定號誌安全時距

利用式 2.58 可求得下列式子。

數學公式(2.79)

$$t_s = \sqrt{\frac{2 \times (55 + 30)}{1 \times (1 - 0.1 \times 0)}} + \frac{55}{16.67} + \left(\frac{100}{76} + 4\right) \left(\frac{16.67}{2 \times 1}\right) + \frac{1 \times (1 - 0.1 \times 0) \times 3^2}{2 \times 16.67} \left(1 - \frac{16.67}{22.22}\right) + 1 + 0.5 + 0.5 \cong 62.64(s)$$

步驟三：決定停站時間

系統設定的停站時間 t_d 與營運寬裕時間 t_m 係採 25 秒合併計算。

步驟四：決定營運寬裕時間

已與停站時間合併 25 秒計算。

步驟五：決定乘客乘載水準

立位密度以 $5 \text{ prs}/m^2$ 計算，一營運列車載運人數 396 人。

步驟六：決定尖峰小時因素

系統沒有提供，採手冊通用預設值 0.8。

步驟七：整體運算

由式 2.72，可計算最小運轉時隔如下式。

數學公式(2.80)

$$h_{\min} = 62.64 + 25 = 87.64(s)$$

由式 2.73，可計算每小時最大列車數如下式。

數學公式(2.81)

$$C_l = \frac{3600}{87.64} = 41.08(TU/h)$$

由式 2.74，可計算可達成容量如下式。

數學公式(2.82)

$$C_a = 41.08 \times 396 \times 0.8 \cong 13014(\text{prs}/h)$$

依列車設計載運乘客數 396 人的乘載水準，以及尖峰小時因素 0.8 計算，可得台北捷運木柵線每小時最大單向運量約為 13,014 人。

2.2.5 台北捷運高運量系統容量分析－淡水線為例

步驟一：決定最繁忙的車站

淡水線台北車站為淡水線與板南線的交會車站，轉乘旅次亦非常多，為淡水線最繁忙車站，以台北車站為基準的容量相關係數設定如表 2.2 所示。其中列車安全分隔因子 B 、超速控制時間 t_{os} 及尖峰小時因素 ρ_d 三項參數因捷運淡水線無法提供，同樣採用美國 TCQSM 手冊的通用預設值。另外，此處計算容量時同樣不考慮電壓降 l_v 的影響。

步驟二：決定號誌安全時距

利用式 2.58 可求得下列式子。

數學公式(2.83)

$$t_s = \sqrt{\frac{2 \times (141 + 30)}{1 \times (1 - 0.1 \times 2.35)}} + \frac{141}{16.67} + \left(\frac{100}{76} + 1.2 \right) \left(\frac{16.67}{2 \times 1} \right) + \frac{1 \times (1 - 0.1 \times (-1.97)) \times 3^2}{2 \times 16.67} \left(1 - \frac{16.67}{22.22} \right) + 3 + 0.5 + 0.5 \cong 55.65(s)$$

步驟三：決定停站時間

系統設定的停站時間 t_d 與營運寬裕時間 t_m 係採 30 秒合併計算。

步驟四：決定營運寬裕時間

已與停站時間合併 30 秒計算。

步驟五：決定乘客乘載水準

立位密度以 $5 \text{ prs}/m^2$ 計算，一營運列車載運人數 1,656 人。

步驟六：決定尖峰小時因素

系統沒有提供，採手冊通用預設值 0.8。

步驟七：整體運算

由式 2.72，可計算最小運轉時隔如下式。

數學公式(2.84)

$$h_{\min} = 55.65 + 30 = 85.65(s)$$

表 2.2 台北捷運淡水線容量分析參數設定值

參數	定義	設定值	單位
L	最長列車之長度	141	m
D	停站列車之前端至離站後第一個閉塞區間的距離	30	m
a_s	起始服務加速度	1.0	m/s^2
G_0	出站坡度（往淡水方向出站）	+2.35	%
v_a	進站速度	16.67	m/s
k	煞車安全因子	76	%
B	列車安全分隔因子	1.2	
d_s	服務減速度	1.0	m/s^2
G_i	進站坡度（往新店方向進站）	-1.97	%
v_{max}	最大列車速度	22.22	m/s
t_{os}	超速控制時間	3.0	s
t_{jl}	列車急衝度限制寬裕時間	0.5	s
t_{br}	列車駕駛反應時間及煞車系統反應時間	1.5	s
C_t	列車容量（立位密度以 $5\text{ prs}/m^2$ 計算）	座位：60 人 立位：216 人 合計：276 人 6 車合計：1,656 人	prs/TU
t_d	停站時間	合計：30	s
t_m	營運寬裕時間		
ρ_d	尖峰小時因素	0.8	

資料來源：台北市捷運局及「台灣地區軌道系統容量研究架構暨台北捷運系統容量分析」

由式 2.73，可計算每小時最大列車數如下式。

數學公式(2.85)
$C_l = \frac{3600}{85.65} = 42.03(TU/h)$

由式 2.74，可計算可達成容量如下式。

數學公式(2.86)
$C_a = 42.03 \times 1656 \times 0.8 \cong 55681(prs/h)$

依列車設計載運乘客數 1,656 人的乘載水準，以及尖峰小時因素 0.8 計算，可得台北捷運木柵線每小時最大單向運量約為 55,681 人。

2.3 模糊多目標規劃相關文獻回顧

2.3.1 多目標規劃 (Multi-objective Programming, MOP)

多目標規劃理論根源於 Von Neumann & Morgenstern 於 1944 年提出之「數個衝突的最大化問題之困境」的概念。隨後在 1950 年代初期，Koopmans 首先應用效率向量 (Efficient Vector) 的觀念，對資源最有效分派考量多目標問題 (Koopmans,1951)。Kuhn & Tucker 兩位學者亦提出向量最適化 (Vector Optimization) 觀念 (Kuhn & Tucker, 1951)，導出效率解之必要條件，從此多目標問題之求解獲得重大突破。當 1972 年第一次多評準決策 (Multiple Criteria Decision Making; MCDM) 研討會在美國南卡羅來那州 (South Carolina) 舉辦以後，MCDM 方法及其在決策問題上的應用，開始獲得重視 (Cohon, 1978)。而模糊集合論 (Fuzzy Set) 之發表 (Zadeh, 1965)，開啟了模糊理論 (Fuzzy Set) 之發展。至 1978 年 Zimmermann 開始探討含多目標之模糊規劃 (Fuzzy Programming) 問題，使模糊理論與多評準決策 (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) 與群體決策 (Group Decision Making) 結合。近年來更有灰色理論 (Gray Theory)、神經網路 (Neural Network)、遺傳基因演算法 (Genetic Algorithm) 等新方

法之引入，使得 MCDM 方法所能處理之問題更為廣泛、規模更加龐大，與現實生活中之狀況，人類決策之過程也更為符合。

2.3.2 多目標規劃之一般模式

多目標規劃方法是一組可量化的目標，在一組定義清楚之限制式下，以數學規劃之方式，求解一組非劣解(Non-inferior Solution)或妥協解(Compromise Solution)，然後結合決策者之偏好資訊最後求得偏好解(Preferred Solution)之分析方法。其特性在於能夠同時考慮，並解決多個具衝突目標之最適化問題，在問題分析上，則是採用多目標規劃之求解方法，探討其目標間彼此之權衡(Trade-off)下，對各目標之影響。

若以數學模式描述一般 K 個目標之線性 MODM 問題，可以下列式子表示：

數學公式(2.87、2.88、2.89)	符號說明
目標式	Cx ：多目標函數
$Max \quad Cx$	$C = C_{k \times n}$ ； $C_k = (C_{k_1}, C_{k_2}, \dots, C_{k_n})$ ：是第 k 個目標函數之效益或成本係數之向量
限制式	$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T$ ：是所有可用資源之向量
$Ax \leq b$	$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ ：是決策變數向量
$x \geq 0$	$A = [a_{ij}]_{m \times n}$ ：技術層面係數矩陣

前面所述之非劣解、妥協解或柏拉圖解(Pareto's Solution)之含義為：若模式已求出非劣解，則無法在不損失其中一組目標值的情況下，改善其他的目標值。

若以數學式表示時，設 x^* 為非劣解則：

$$\forall x \in Ax \text{ and } x \geq 0, \text{ if } \exists x^* \in x \text{ then } \exists f_i(x^*) \geq f_i(x)$$

此時各目標是已達到一個經濟學上所說之柏拉圖(Pareto Optimality)最適境界。

2.3.3 傳統多目標規劃之求解方法

由於解出之非劣解為許多可能解之集合，因此在最後求解過程中，加入決策者之偏好，而得到一偏好解 (Preferred Solution)。多目標規劃方法依據決策者提供偏好資訊的時間性，可分為以下四類(Hwang and Yoon, 1981)：

1. 決策者完全不提供偏好資訊 (No Articulation of Preference Information)：

在問題認定、目標函數與限制式決定後，決策者不須提供任何主觀之偏好資訊，唯一要求即是接受規劃者提供的結果。此法之優點為其結果不受規劃者的影響，缺點則是必須對決策者的偏好作許多假設。

2. 決策者先提供偏好資訊 (A Prior Articulation of Preference Information)：

在分析者解決實際問題之前，決策者即事先提供本身的偏好資訊，因此所求之解為決策者之偏好解。此類方法的優點為求解容易，成本較低，且所得到的結果易為決策者接受，此種「從上至下 (Top Down)」的分析方式，頗能符合實際決策模式。缺點則為甚難求得決策者真正的價值函數 (Value Function) 及提供所必須的偏好資訊 (Evans, 1984)。

此類方法可依決策者所提供資訊型態分成兩大類型，基數資訊 (Cardinal Information) 與混合資訊 (Ordinal and Cardinal Information)。而基數資訊又可分為效用函數法 (Utility Function Method) 和限制目標法 (Bounded Objective Method)；混合資訊又可分為辭書式法 (Lexicographic Method)、目標規劃法 (Goal Programming) 及目標達成法 (Goal Attainment Method) 之 (Hwang and Masud, 1979) 三種。

3. 決策者逐漸提供偏好資訊 (Progressive Articulation of Preference Information)：

即互動法 (Inter-reactive Method) 或交談式法，此乃基於決策者對問題之認知或理解程度，係受決策情況與所處環境之影響。因此決策者僅能提供局部性的偏好資訊，在進行多次反覆過程後，逐漸求得一滿意解。這方法的優點為決策者不需要提供事先的偏好資訊。而缺點則為決策者無法保證能在每一步驟中，提供

正確的局部偏好資訊；同時也無法保證在一定次數的反覆過程後，求得一最滿意解，另外此類方法與其他方法比較起來，費時較多。

4. 決策者事後提供偏好資訊 (A Posterior Articulation of Preference Information) :

即非劣解法，本法不需要決策者的效用函數或提供任何偏好資訊，完全由規劃者求出問題中所有（或大部分）的非劣解，然後再由決策者選擇一最滿意解。此法的優點為決策者有更多的選擇機會，而且不需要決策者的偏好資訊。缺點則為：計算複雜、決策者甚難理解、許多大規模實際問題難以使用本法求解、以及產生之非劣解數目太多，使決策者無從選擇一最滿意解。此四類決策提供資訊之型態所應用的方法，如表 2.3 所示。

本研究所採用之規劃方法基本上即是放棄理想解(Ideal Solution)（即個別目標之最佳解位於決策空間中之位置）的追求，而設法從非劣解集中尋找一個較接近理想解之妥協解。

為了尋找最接近理想解的解，必須設定理想之參考點，再由非劣解集中對應出與理想解距離最短之解。其基本觀念是由可行集合(Feasible Set)中尋找與理想點之間最近距離之一點代表妥協解，此解即表示在無法同時滿足各目標最佳解之情況下，最接近最佳解之解。

表 2.3 多目標決策分析方法之應用

資訊之提供	資訊型態	主要方法
無提供任何偏好		* Global Criterion Method
事先提供偏好	基數偏好 (Cardinal)	* Utility Function * Bounded Objection Function
	順序偏好 (Ordinal)	* Lexicographic Method * Goal Programming Method * Goal Attainment Method
逐漸提供偏好	明示權衡 (Explicit Trade-off) 	* Method of Geoffrion and Interactive Goal Programming * Surrogate Worth Trade-off Method * Method of Satisfactory Goal * Method of Zions-Wallenius
	隱含權衡 (Implicit Trade-off)	* ATEM and Related Methods * SEMOPS and SIGMOP Method * Method of Displaced * GPDTEM Method * Method of Steuer
事後提供偏好	隱含權衡 (Implicit Trade-off)	* Parametric Method * -constraint Method * MOLP Method * Adaptive Search Method

資料來源：Hwang and Yoon. 1979

2.3.4 模糊集合概念

基本概念

在普通集合論中，元素與集合的關係，只有「屬於」或「不屬於」兩種；換言之，普通集合論只能表現「非此即彼」的現象，但是真實世界中，很多元素與集合之間的關係是相當模糊及複雜的，模糊數學就是用來處理模糊現象的研究方法，這裡所謂的模糊性，主要是指客觀事物的差異在中介過渡時呈現的「亦此亦彼」性，而沒有明確外延的概念，稱作模糊概念。普通集合無法表示模糊概念，於是 Zadeh 於 1965 年創立了模糊集合論，用隸屬程度來描述差異的中介過渡，它是用精確的數學式對模糊性的一種陳述。

普通集合只能表現確切概念，但要表達模糊概念，則需要模糊集合，而模糊子集完全由隸屬函數來表達，隸屬函數的定義如下：所謂給定了論域 U 上的一個模糊子集 \tilde{A} 是指對於任意 $u \in U$ ，都指定一個數 $\mu_{\tilde{A}}(u) \in [0,1]$ ，稱作 u 對 \tilde{A} 的隸屬程序。

當 $\mu_{\tilde{A}}$ 的值域等於 $[0,1]$ 時， $\mu_{\tilde{A}}$ 退化成一個普通子集的特徵函數， \tilde{A} 則成為一個普通子集。若想知道 \tilde{A} 是由哪些元素組成，則必須了解截集的概念，截集概念是聯繫普通子集與模糊子集的橋樑，定義如下：

設 $\tilde{A} \in F(U)$ ， $\forall \lambda \in [0,1]$ ， $\exists \left(\tilde{A} \right)_{\lambda} = \Delta A_{\lambda} = \Delta \{u | \mu_{\tilde{A}}(u) \geq \lambda\}$ ，稱為 \tilde{A} 的 λ 截集。依此定義，凡 u 對 \tilde{A} 的隸屬度達到或超過 λ 者就可算是 \tilde{A} 的成員，則模糊子集 \tilde{A} 就變成普通子集 λ 。

可能性分佈

「可能性分佈」(possibility distribution)的概念首先是由 Zadeh 於 1978 年提出。他認為當我們對資訊的重視主要在其意義，而非如何衡量資訊時，分析資訊的適當架構應是「可能性」而非「機率性」，因此產生「可能性理論」，進一步以模糊集合理論作為可能性理論的基礎。就實際背景上來說，由於可能性理論與自

然語言所傳遞的信息關係密切，這個概念很快引起了人們的注意。有許多學者從事此方面的研究，並將之應用至數學規劃與決策管理領域。模糊理論與可能性理論之間的關係相當密切，因此在說明可能性分佈之前，首先要了解模糊限制(fuzzy restriction)的概念。

設 U 是論域， x 是取值於 U 的一個變量，關於變量 x 的一個模糊限制是指：存在一個相容性函數(Compatibility function)，使得變量定義域上的每個值都對應了區間 $[0,1]$ 中的一個數，以這個數來表示這個值對於這個模糊限制的相容程度。

依以上模糊限制的定義，如果 F 是 U 上的一個模糊子集，則對於在論域 U 上取值的變量 x ， F 的隸屬函數 μ_F 也可以作為一個相容性函數，此時 F 的作用就成了對於 x 取值時的一種彈性限制，記作 $x = u : \mu_F(u)$ 。

模糊集本身不是一個模糊限制，只有當它的作用是對於論域上的變量進行限制時，才產生一個與模糊集對應的模糊限制。如果以 $R(x)$ 表示 x 的一個模糊限制，則以 $R(x) = F$ 表示模糊子集 F 在此模糊限制的作用。因此，可說明可能性分佈之定義如下：



假設 x ：論域 U 上取值的變量

F ：論域 U 上的模糊子集

$R(x)$ ：由 F 產生關於 x 的模糊限制

則命題「 x 是 F 」可表示為 $R(x) = F$ 。

於是，命題「 x 是 F 」就是把變量 x 與一個等於 $R(x)$ 的分佈聯繫起來，這個分佈記作 π_x ，稱之為「可能性分佈」，以 π_x 表示可能性分佈函數，在數值上定義為 F 的隸屬度函數，即 $\pi_x \triangleq \mu_F$ 。綜上所述，茲整理歸納如下：

1. 模糊子集：是對於子集概念的推廣，由隸屬函數所刻劃。
2. 模糊限制：是對於變量取值的彈性限制。
3. 可能性分佈：反應對於變量 x 的不同取值，命題「 x 是 F 」是否可能。

以上三種概念從不同的角度反應同一個模糊現象。

模糊數

定義實數集合 R 的模糊子集(fuzzy set)若具有下列三個條件，則稱為模糊數。

1. 為凸模糊集(a convex fuzzy set)
2. 為正規化模糊子集(a normalized fuzzy set)
3. 隸屬函數是逐段且連續的(piecewise continuous)

2.3.5 模糊數學規劃法

本研究的目標之一，是以模糊數學規劃法，求解模糊環境下的最佳化問題，以下將回顧以模糊數學規劃法求解最佳化問題之相關文獻，據以確立本研究之研究方法。

不確定性問題的處理方法

不確定性問題對於最佳化問題及決策問題有極重大的影響，而現實決策環境中，確實存在許多的不確定性，唯有將不確定性也一併納入模式考慮，才能使發展出的模式更符合現實世界的需要。一般而言，處理數學規劃模式參數不精確的問題可概分為下列三類，簡要說明如下：

(一) 事後最佳化分析(a post-optimization)

傳統上用以處理參數不精確問題的主要方法是事後最佳化分析，乃透過敏感度分析(sensitivity analysis)，影子價格(shadow price)及參數規劃法(parametric programming)加以處理，然而以上三種方法對於參數不精確所造成的影響皆無法適當地進行全面性分析。其中，透過敏感度分析可以產生最佳化環境下的替選方案；影子價格可以反應資源項變動對目標函數造成的影響；參數規劃法可以反應數個參數同時變動對結果的影響，但以上三種方法都無法指出何者為最佳方案。

(二) 隨機規劃(stochastic programming)

隨機規劃係假設其參數為隨機變數(random variables)，並假設隨機變數屬於某種統計分配，是故要精確地決定隨機變數值是相當困難的，由於隨機規劃模

式結構相當複雜，過去較少有學者從事這方面的研究，但近年來為了使模式構建更符合現況，有越來越多的學者進行相關的研究。

(三) 模糊數學規劃法

模糊數學規劃法是以概念化的求解架構，來處理具有複雜性、不精確性及模糊性的問題，利用簡化問題的方式，試圖降低模式的複雜度，以近似方法反應現實世界的決策問題，使模式能更彈性地處理現實世界中的決策問題。

模糊數學規劃法

模糊數學規劃法發展至今，仍以線性規劃相關研究最多。茲將數學規劃模式表示如下：

數學公式(2.90、2.91)	符號說明
目標式	$x = x_1, x_2, \dots, x_n$ ：決策變數向量
Max / min	$C_k = (C_{k_1}, C_{k_2}, \dots, C_{k_n})$ ：是目標函數 f_k 的參數
$f(x; c) \Delta [f_1(x; c_1), f_2(x; c_2), \dots, f_k(x; c_k)]$	$A = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ ：為限制式 g 的參數
限制式	$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ ：是限制式資源項之值
$g(x; a_i) \otimes b_i, i = 1, 2, \dots, m$	\otimes ：可表示 $<、\leq、=、\geq、>$ 等運算符號

由以上模式可知，參數 A 、 b 、 c 和目標式四項皆可為模糊或不精確的，因此模糊數學規劃模式可概分為下列四種，以下分述之。

(一) 模糊限制式問題

模糊限制式相關文獻中通常一併整理模糊限制式與目標函數模糊問題，多目標線性規劃模式如公式所示。

數學公式(2.92、2.93)	符號說明
目標式	⊗ 為模糊不等式 ~
$\tilde{Max}/\tilde{min} \quad C_k x$	⊗ : 可表示 <、≤、=、≥、> 等運算符號
限制式	
$Ax \otimes b, x \geq 0$ ~	

Zimmermann 是首位將模糊理論導入多目標規劃問題的學者，並且同時處理模糊限制式與目標函數模糊的問題，結果顯示以模糊線性規劃所求者多為有效解。以下即以多目標線性規劃最大化問題說明 Zimmermann 處理模糊限制與目標函數模糊問題的方法。

數學公式(2.94~2.99)	符號說明
目標式	$C_k = (C_{k_1}, C_{k_2}, \dots, C_{k_n})$: 是目標函數 f_k 的參數
$Max \quad Z = C_k x$	
限制式	$x = x_1, x_2, \dots, x_n$: 決策變數向量
$Ax \leq b$ $x \geq 0$	$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$: 是限制式資源項之值
模糊環境下限制式	Z_{ko} : 表示決策者對目標 k 所期望的水準
$C_k x \geq Z_{ko}$ ~	
$Ax \leq b$ ~	
$x \geq 0$ ~	

Zimmermann 進一步將上式的模糊多目標問題改為下列的單目標問題：

數學公式(2.100、2.101、2.102)	符號說明
<p style="text-align: center;">目標式</p> <p style="text-align: center;">$Max \lambda$</p> <p style="text-align: center;">限制式</p> <p style="text-align: center;">$\mu_i(x) \geq \lambda, i = 1, \dots, m+1$</p> <p style="text-align: center;">$\lambda, \mu_i \in [0,1]$</p> <p style="text-align: center;">$x \geq 0$</p>	<p style="text-align: center;">其中</p> $\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } B_i x \leq d_i \\ 1 - \frac{B_i x - d_i}{p_i} & \text{for } d_i \leq B_i x \leq d_i + p_i \\ 0 & \text{for } B_i x > d_i + p_i \end{cases}$ $B = \begin{bmatrix} -c \\ A \end{bmatrix} \quad d = \begin{bmatrix} -Z \\ b \end{bmatrix}$

上述的方法可迅速找到多目標線性規劃的滿意解，當資源項 b_i 為模糊時，如果 b_i 的隸屬函數與模糊限制的隸屬函數相同，則同樣可以上式(2.100~2.102)處理。

(二) 目標模糊性問題

多目標規劃問題之各目標間是互相衝突的，有賴決策者表達其對各目標的主觀偏好，以選擇偏好解。若其目標偏好具模糊性，則屬於模糊目標問題。從事模糊目標問題研究的學者頗多，相關文獻對於決策者目標偏好訊息的引進與處理有下列方式：

1. 目標期望水準

(1) Sakawa 和 Yano 法(1985, 1986)

Sakawa 和 Yano 引進決策者目標偏好之隸屬函數值 $(\hat{\mu}_{f_i})$ ，以 MinMax 法在決策者偏好隸屬值 $(\hat{\mu}_{f_i})$ 下，由下列的擴增 MinMax 問題，求得局部柏拉圖最佳解。

數學公式(2.103~2.107)	符號說明
<p style="text-align: center;">目標式</p> $\mathit{Min}_{x \in X} \left\{ \mathit{Max}_{1 \leq i \leq k} (\hat{\mu}_{f_i} - \mu_{f_i}(x)) + \rho \sum_{i=1}^k (\hat{\mu}_{f_i} - \mu_{f_i}(x)) \right\}$ <p style="text-align: center;">或 $\mathit{Min}_{v, x \in X} \left\{ v + \rho \sum_{i=1}^k (\hat{\mu}_{f_i} - \mu_{f_i}(x)) \right\}$</p> <p style="text-align: center;">限制式</p> $\hat{\mu}_{f_i} - \mu_{f_i}(x) \leq v, i = 1, \dots, k$ <p style="text-align: center;">或</p> $\mathit{Min}_{w, x \in X} w$ <p style="text-align: center;"><i>s.t.</i> $\hat{\mu}_{f_i} - \mu_{f_i}(x) \leq w - \rho \sum_{i=1}^k (\hat{\mu}_{f_i} - \mu_{f_i}(x))$</p> <p style="text-align: center;">$i = 1, \dots, k$</p>	<p>μ_{f_i} : 是目標函數 f_k 的參數</p> <p>$\hat{\mu}_{f_i}$: 為決策者對目標 i 之偏好隸屬函數值</p> <p>ρ : 為小的正值</p>

(2) Sakawa 和 Yano 法(1987)

Sakawa 和 Yano(1987)將 MinMax 法應用在求解線性規劃問題，使得模糊規劃法的各目標間或限制式問題的總計方法，不再受限於 Zadeh(1970)的 MaxMin 法。

Sakawa 和 Yano(1987)之方法如下：

數學公式(2.108、2.109、2.110)	符號說明
<p style="text-align: center;">目標式</p> $\mathit{Min}_{x \in X} \mathit{Max}_{1 \leq i \leq k} (\bar{\mu}_{z_i} - \mu_{z_i}(x))$ <p style="text-align: center;">或 $\mathit{Min}_{v, x \in X} v$</p> <p style="text-align: center;"><i>s.t.</i> $\bar{\mu}_{z_i} - \mu_{z_i}(x) \leq v, i = 1, \dots, k$</p>	<p>μ_{z_i} : 為目標 i 的隸屬函數</p> <p>$\bar{\mu}_{z_i}$: 為決策者的目標偏好隸屬值，為一常數</p>

(3)Ostermark(1988)

Ostermark 直接由決策者決定各目標的期望隸屬值($\bar{\mu}_{zi}$)，而以 MinMax 法求解。

數學公式(2.111、2.112、2.113、2.114)	符號說明
目標式	μ_{zi} ：為目標 i 的隸屬函數
$Max \quad \lambda = \lambda^+ - \lambda^-$	$\bar{\mu}_{zi}$ ：為決策者對目標 i 的期望隸屬值
限制式	λ^+ ：代表實際值與決策者期望的隸屬函數之正向差距
$Ax \leq b$	
$\lambda^+ - \lambda^- \leq \mu_{zi} - \bar{\mu}_{zi} \quad \forall i$	λ^- ：代表實際值與決策者期望的隸屬函數之負向差距
$\lambda^+, \lambda^-, x \geq 0$	

2. 優先順序法

Narasimhan(1980)、Rubin 和 Narasimhan(1984)等人認為目標之重要對決策者而言只是模糊的概念，不應以明確的數值表示，故使用巢式優先次序方法，來處理目標之間優先順序問題，並利用 MaxMin 法將多目標線性問題轉變成單目標線性規劃問題。

3. 確定性權重

Hannan(1981)綜合目標規劃以及模糊理論，發展出模糊目標規劃(fuzzy goal programming)，在各目標優先順序相同時，則由決策者給予不同權重，目標式如下：

數學公式(2.115)	符號說明
目標式	d_i^- ， d_i^+ ：分別代表目標 i 的隸屬函數負向差距及正向差距
$Min \quad \sum_{i=1}^k (m_i^- d_i^- + m_i^+ d_i^+)$	m_i^- ， m_i^+ ：代表目標 i 的相對權重

4. 參數規劃法

Chanas(1983)使用參數規劃法來處理多目標線性規劃模糊目標問題，其目標的隸屬函數假設為線性，採用之參數規劃法如公式(2.116~2.119)所示。

數學公式(2.116、2.117、2.118、2.119)	符號說明
目標式 $\text{Max } Z_1 = C_{1_1}x_1 + C_{2_1}x_2 + \dots + C_{n_1}x_n$	Z_1^* ：為決策者對目標 1 的期望水準
限制式 $\sum C_{j_1}x_j \geq Z_1^* - \theta(Z_1^* - Z_1') \quad 1=2, \dots, k$	$(Z_1^* - Z_1')$ ：為決策者對目標 1 的容忍範圍
$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, i=1,2, \dots, m$	
$x \geq 0, j=1,2, \dots, n$	

以上對於目標隸屬函數型態的定義，多為線性，Sakawa(1985)則擴充為五種函數型態的隸屬函數，分別為線性、指數型、雙曲線、反雙曲線、以及片段線性(piecewise linear)，並利用反函數的觀念，將非線性隸屬函數轉成線性型態，而以線性規劃法加以求解。

(三) 參數模糊性問題

在現實問題中，除了目標外，限制式資源項(b)及變數係數(c, A)等皆可能因資料的不可信賴，而具有不確定性。一般而言，當考慮的模糊參數種類越多，問題的複雜性越高。早期有關模糊數學規劃法的研究，係以模糊集合理論，定義模糊參數的隸屬函數並加以求解。近年來，為了簡化問題，則積極嘗試以可能性理論來求解問題，使現實世界的複雜問題透過可能性數學規劃模式充分表現出來。

相關研究對於複雜的模糊參數問題，不管是使用模糊集合理論的模糊規劃法或可能性理論的可能性規劃法，其對於模糊參數的處理，多以 α 截集(α -cut)的方式，透過模糊不等式關係的比較，將模糊限制式轉化成明確限制式。針對模糊不等式關係的概念說明如下：

1. Tanaka 和 Asia 利用 h 值的概念來表示模糊不等式的關係。首先假設模糊參數的隸屬函數為對稱三角形，中心值 α ，寬度 c ，並將所有目標式或限制式表為 $\tilde{Y}_i > 0$ 的形式，其概念如下公式：

數學公式(2.120、2.121)	符號說明
$\tilde{Y}_i > 0 \iff \mu_{Y_i}(0) \leq 1-h, x^t \alpha_i \geq 0$	α_i ：為 i 限制式模糊參數式中心值

其中 $\tilde{Y}_i > 0$ 表示 \tilde{Y}_i 大約為正， α_i 為 i 限制式模糊參數式中心值，當 h 值越大， $\tilde{Y}_i > 0$ 的可能性就越大。我們依公式 2.120~2.121 的概念可將模糊規劃問題轉為公式 2.122~2.123 之明確問題加以求解。

數學公式(2.122、2.123)	符號說明
目標式 $Max \quad h = h^*$ 限制式 $\mu_{Y_i}(0) \leq 1-h, i = 0, 1, \dots, m$	其中 $\mu_{Y_i}(0) = 1 - \frac{\alpha_i^t x}{c_i^t x}$

2. Ramik 和 Rimanek(1985)採取較嚴格的限制來處理模糊數之不等關係，其概念如下：若 a, b 兩模糊數的 α 截集(α -cut)表示為 a_α, b_α ，則 $\tilde{a} < \tilde{b}$ 定義為下式：

數學公式(2.124、2.125)	符號說明
$\tilde{a} < \tilde{b} \quad \text{if } (\sup a_\alpha \leq \sup b_\alpha)$ $\& (\inf a_\alpha \leq \inf b_\alpha) \text{ for each } \alpha \in [0,1]$	\sup ：最小上界 \inf ：最大下界

3. Buckley(1989, 1990)使用可能性理論定義模糊不等式的關係，並依 α 的可能性概念將模糊不等式轉為明確不等式，其模糊不等關係基本概念說明如下：以 $\text{poss}[x \in F]$ 表示 x 為可行解的可能性，則 α 的可能性概念可表為 $\text{poss}[x \in F] > \alpha$ ， $0 < \alpha < 1$ 。依此概念，當 \otimes 表示 \leq 或 $<$ 時，其模糊不等式可表示如(式 2.126)；當 \otimes 表示 \geq 或 $>$ 時，則(式 2.127)成立。

數學公式(2.126)	符號說明
$\sum_{j=1}^n a_{ij1}^{\alpha} x_j \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \otimes b_i < b_{iu}^{\alpha}$	If $a_{ij} \in (a_{ij1}^{\alpha}, a_{iju}^{\alpha})$, $b_i \in (b_{i1}^{\alpha}, b_{iu}^{\alpha})$

數學公式(2.127)	符號說明
$\sum_{j=1}^n a_{iju}^{\alpha} x_j \geq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \otimes b_i > b_{i1}^{\alpha}$	If $a_{ij} \in (a_{ij1}^{\alpha}, a_{iju}^{\alpha})$, $b_i \in (b_{i1}^{\alpha}, b_{iu}^{\alpha})$

4. Lai 和 Hwang(1992)採用 Ramix 和 Rimaneck(1985)的基本概念並加入模糊數中間值的限制，處理模糊參數可能性分佈的不等關係。模糊參數 a ， b 的三角形可能性分佈分別以 (a^m, a^p, a^o) 及 (b^m, b^p, b^o) 表示，並將 $\tilde{a} \leq \tilde{b}$ 的模糊不等式轉為下列明確不等式，如(式 2.128~2.130)。

數學公式(2.128、2.129、2.130)	符號說明
$\begin{cases} a_{\alpha}^m x \leq b_{\alpha}^m \\ a_{\alpha}^p x \leq b_{\alpha}^p \\ a_{\alpha}^o x \leq b_{\alpha}^o \end{cases}$	該三個限制式同時聯立。

以上幾種處理模糊不等式的方法由於概念不同，所造成可行解空間亦不盡相同，各有其意義，以 Buckley(1989, 1990)、Ramik 和 Rimaneck(1985)相比較，可以發現 Buckley 採取較樂觀的法則，可行解空間較大，但相對地其所冒的風險也較大。規劃者應視需要，採取適當概念來處理模糊不等關係。

(四) 模糊參數與模糊目標問題

此類問題同時考慮了參數與目標的模糊性，複雜度較高，尤其是多目標規劃問題。Zimmermann(1978)首度將模糊理論應用於多目標規劃問題，並同時處理了模糊目標與模糊限制式的問題。其後許多學者沿用或修改 Zimmermann 的模式，發展出許多模糊多目標規劃模式，如 Llana(1985)應用於目標規劃法；

Chanas(1983, 1989)結合參數規劃法；Tanaka 和 Asai 則擴充至模糊目標、模糊參數 A, b, c 的線性規劃問題。當模糊參數的隸屬函數或可能性分佈型態為非對稱型或非線性時，則此類的問題顯得更為棘手，對於此類問題，Sakawa 和 Yano(1989)、Buckley(1989)則使用 α 截集(α -cut)法，求得 α 柏拉圖最佳解。Sakawa 和 Yano(1989)應用多目標非線性規劃問題，將模糊規劃模式轉為下列明確模式(式 2.131~2.132)求解，但文中並沒有交待 α -cut 後如何處理區間值的問題。

數學公式(2.131、2.132)	符號說明
目標式	c ：為目標參數
$Min \ v$	b ：為限制式參數
限制式	\bar{f}_i ：為決策者對目標 i 的偏好值
$f_i(x, c_i) - \bar{f}_i \leq v, \quad i=1,2,\dots,k$	$L_\alpha(\tilde{b}, \tilde{c}) = \{(b, c) \mu_{\tilde{c}}(c_{ir}) \geq \alpha; (b, c) \mu_{\tilde{b}}(c_{js}) \geq \alpha\}$ $i=1,2,\dots,k; \quad r=1,2,\dots,p_i;$ $j=1,2,\dots,m; \quad s=1,2,\dots,q_j$
$(b, c) \in L_\alpha(\tilde{b}, \tilde{c})$	
$x \in x(b)$	

Buckley(1989)則將模糊參數表為可能性分佈，發展單目標可能性線性問題的求解方法，並說明 α -cut 後模糊不等關係的處理原則，Buckley(1990)繼續將可能性規劃觀念擴充至多目標線性規劃。

2.3.6 模糊多目標線性規劃基本理論

模糊數學規劃 (Fuzzy Mathematics Programming, FMP) 為 Tanaka et al., (1974) 根據由 Bellman and Zadeh (1970) 之模糊決策所提出之觀念，從此模糊數學規劃就開始廣泛地應用在許多實際的層次上。

Zimmermann 在 1976 年首先將模糊集理論引入傳統之線性規劃問題。他將線性規劃中之目標式及限制式視為模糊子集，並構成前述之模糊決策空間。若有一傳統線性規劃問題如公式 2.133~2.135：

數學公式(2.133、2.134、2.135)	符號說明
目標式 $Max \ Cx$	$x = x_1, x_2, \dots, x_n$: 決策變數向量
限制式 $Ax \leq b$ $x \geq 0$	$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$: 是限制式資源項之值

Zimmermann 提議放寬滿足限制式之嚴格要求，而將上述問題改寫成模糊線性規劃問題，其表示如式 2.136~2.140：

數學公式(2.136~2.140)	符號說明
$Cx\pi = z_0$	$B = \begin{bmatrix} C \\ A \end{bmatrix} ; b = \begin{bmatrix} z_0 \\ b \end{bmatrix}$
$Ax\pi = b$	
$x \geq 0$	
即 $Bx\pi = b$	
$x \geq 0$	

其隸屬函數可如式 2.141 所示。其隸屬函數圖可如圖 2.3 表之。

數學公式(2.141)	符號說明
$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } B_i x \leq d_i \\ 1 - \frac{B_i x - d_i}{p_i} & \text{for } d_i \leq B_i x \leq d_i + p_i \\ 0 & \text{for } B_i x > d_i + p_i \end{cases}$	p_i : 為主觀給定之常數，表示第 i 個不等式可容許之容忍程度。

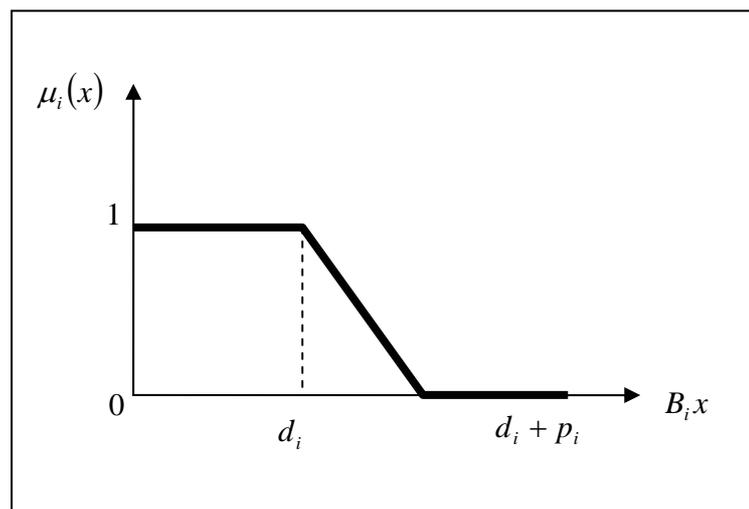


圖 2.3 隸屬函數圖

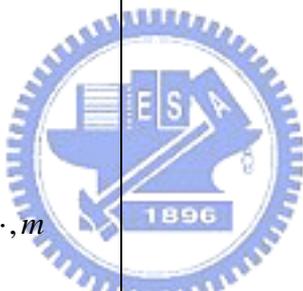
依據前述之模糊決策概念，可得到本問題之隸屬函數如式 2.142 所示。

數學公式(2.142)	符號說明
$\mu_p(x^*) = \underset{x \geq 0}{\text{Max}} \underset{i=1,2,\dots,m}{\text{Min}} \{\mu_i(x)\}$	

簡言之，就是在所有限制式及目標式之交集所組成的決策空間中，求其隸屬函數最大。可令 $d_i \sim \frac{d_i}{p_i}$ ， $B_i x \sim \frac{B_i x}{p_i}$ 代入式 2.142 可得式 2.143。

數學公式(2.143)	符號說明
$\mu_p(x^*) = \underset{x \geq 0}{\text{Max}} \underset{i=1,2,\dots,m}{\text{Min}} \{1 + d_i - B_i x\}$	

若引入輔助變數 λ 可將式 2.143 轉換為傳統線性規劃問題如式 2.144~2.146。

數學公式(2.144~2.146)	符號說明
目標式 $\text{Max } \lambda$ 限制式 $\lambda \leq 1 + d_i - B_i x, i = 0, \dots, m$ $x \geq 0$	

Zimmermann 將前述之模糊線性規劃模型與多目標規劃結合成為模糊多目標線性規劃 (1978)。隨後 Leberling (1981) 和 Hannan (1981) 將問題擴展至可解決非線性之隸屬函數。

Dyson (1980) 比較了折衷規劃中之 maxmin 法和模糊線性規劃法，在相同權重之目標下，此兩種方法皆可導出相同之數學模式。Martison (1993) 比較模糊線性規劃和 maxmin 距離矩陣法 (Minmax Distance Metric)，在相同目標權重和目標權重有差異之情況下，此兩種方法之差異。該研究中之模糊線性規劃方法式採用最小化運算 (Min-Operation) 來求解。

假定決策者對第 i 個目標 z_i ，有其上界 $z_i^* = \hat{c}_i x^*$ 與下界 $z_i^- = \bar{c}_i x^-$ ，而此上下界之決定，可由決策者依照其所認知之理想水準，或將此目標視為可行解空間中

之函數，經由計算而得。而決策者對於限制式，亦可設定其可接受之程度，除了滿足原來之右界值 d_i ，亦可將之放大至可接受的水準 $d_i + q_i$ 。

對於第 i 個模糊目標之隸屬函數可如式 2.147 所示。隸屬函數圖如圖 2.4 所示。

數學公式(2.147)	符號說明
$\mu_{G_i}(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } Z \geq Z_i^* \\ \frac{Z - Z_i^-}{Z_i^* - Z_i^-} & \text{for } Z_i^- \leq Z \leq Z_i^* \\ 0 & \text{for } Z_i \leq Z_i^- \end{cases}$	

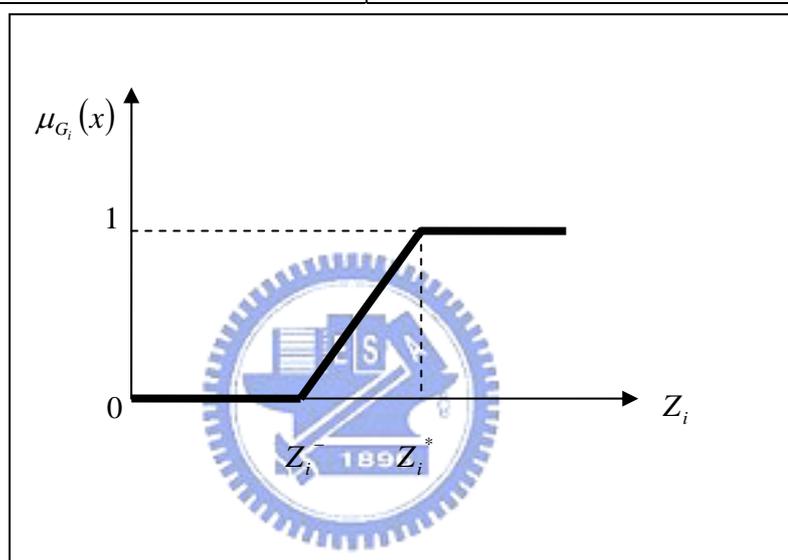


圖 2.4 目標式隸屬函數圖

由圖 2.4 可知，當目標之理想水準小於或等於 Z_i^- 時，其隸屬度為 0，大於或等於 Z_i^* 時，其隸屬度為 1，若在兩點之間則為 0 至 1 之間的單調函數。

對於模糊限制式 j 之隸屬函數可以式 2.148 表示。隸屬函數圖如圖 2.5 所示。

數學公式(2.148)	符號說明
$\mu_{c_j}(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } A_j x \leq d_j \\ 1 - \frac{A_j x - d_j}{q_j} & \text{for } d_j \leq A_j x \leq d_j + q_j \\ 0 & \text{for } A_j x > d_j + q_j \end{cases}$	

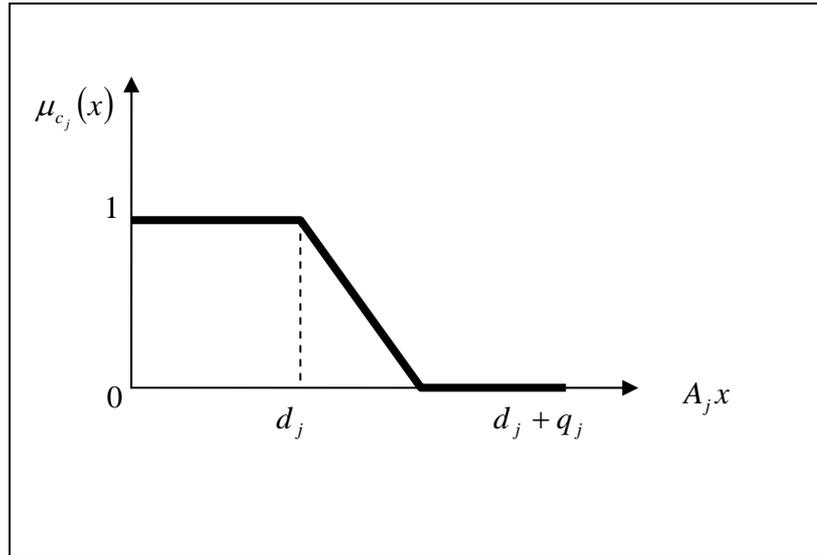


圖 2.5 限制式隸屬函數圖

決策集合之隸屬函數 $\mu_p(x)$ 如式 2.149 所示。式 2.149 中之 Min-Operation 式表示此模式之可行模糊集合為目標式和限制式之交集。由於決策者需要明確之決策提議，所以需要此決策集合中隸屬程度最高之值 x_{Max} 故取其最大值，進而可得到一對應之隸屬函數 $\mu_p(x_{Max})$ 如式 2.150。

數學公式(2.149)	符號說明
$\mu_p(x) = \text{Min}_{i,j} \{ \mu_{G_i}(x), \mu_{c_j}(x) \mid i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, m \}$	

數學公式(2.150)	符號說明
$\mu_p(x_{Max}) = \text{Max}_{x \geq 0} \text{Min}_{i,j} \{ \mu_{G_i}(x), \mu_{c_j}(x) \mid i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, m \}$	

最後我們可將此問題轉換成如式 2.151~2.154 之明確的 LP 問題來求解。再經過化簡可改寫數學式，以式 2.155~2.158 表之。如此便可利用一般線性規劃方式進行求解。

數學公式(2.151~2.154)	符號說明
<p style="text-align: center;">目標式</p> <p style="text-align: center;">$Max \lambda$</p> <p style="text-align: center;">限制式</p> $\left[\frac{Z_i - Z_i^-}{Z_i^* - Z_i^-} \right] \geq \lambda, i = 1, \dots, k$ $1 - \left[\frac{A_j x - d_j}{q_j} \right] \geq \lambda, j = 1, \dots, m$ <p style="text-align: center;">$x \geq 0$</p>	
數學公式(2.155~2.158)	符號說明
<p style="text-align: center;">目標式</p> <p style="text-align: center;">$Max \lambda$</p> <p style="text-align: center;">限制式</p> $\lambda(Z_i^* - Z_i^-) - Z_i \leq -Z_i^-, i = 1, \dots, k$ $\lambda q_j + A_j x \leq d_j + q_j, j = 1, \dots, m$ <p style="text-align: center;">$x \geq 0$</p>	

2.3.7 模糊理論於運輸相關領域之運用

王文林（1991）應用模糊多目標規劃法於高速公路交流道附近地區土地使用方案之研究，即是以多目標規劃方法建立數學模式，採用模糊規劃演算法，將參數的模糊性納入考量，並以漸進式的決策分析架構，將模糊參數可容許隸屬函數值、目標期望隸屬函數值兩者由決策者決定，使決策者與規劃者不斷交換情報，透過互相溝通的方式來達成適當的方案。

杜世文（1992）應用模糊理論處理旅行時間與時窗的模糊性，建立一個結合提高顧客服務水準與運輸業者追求成本極小的貨物配送多目標規劃模式，以人機互動方式進行規劃，將顧客服務水準目標視為前提限制，形成單目標的模糊規劃問題，再利用啟發式解法，結合模糊觀念的修正，完成人機互動計算部份的核心。最後，再透過決策者多次考量，反覆求得不同服務水準下的排程資料，以獲得決策者心中最適滿意解。

Kikuchi（1992）利用模糊規劃應用於具有時窗（time window）限制的撥召車輛配送問題，該文獻所提出的二階段路線規劃方法具有相當的貢獻。首先建立起始路線，再利用插入法改善起始路線，同時處理了「旅行時間」與「顧客希望車輛到達時間」這兩個參數的模糊性。該文獻提到造成旅行時間不確定性的原因有二：（1）車輛的行駛環境（2）駕駛者的駕駛行為。由於交通的擁擠與號誌、車禍所造成延滯的發生機會具有機率性，因此行駛環境使得車輛旅行時間是為一隨機變數（random variable）；另一因素由駕駛者所控制，例如駕駛者態度、駕駛者對路線的選擇及車間距的控制等，此項因素使得旅行時間的估計應為模糊數（fuzzy number）主觀決定，非隨機數（random number）。

林秀璘（1992）應用模糊多目標規劃法考慮最佳之公車營運計畫之多個目標及部分具不確定性之參數，建立模糊環境下之公車營運計畫多目標規劃模式，採用可能性規劃法加以求解並同時研擬互動性決策運算架構，讓決策者實際參與決策程序，使結果更符合實際決策之需要。

沈進成(1995)採用模糊多目標規劃法，整合高速鐵路系統列車停站方式與營運計畫之關係，以營運成本最小化、旅客停站損失時間最小化與營運利潤最大化等三目標構建模糊多目標高速鐵路最適變動停站方式模式。

黃木才(1995)應用模糊多目標遺傳算法，對貨櫃運輸公司車輛排程問題進行研究。根據模糊多目標規劃方法，考量運送車型時距離及司機之工作量，並採用修改之遺傳演算法作排程之程式設計。

陳郁文(1998)考慮到不論自然或人為的災禍，常對運輸系統造成極大的負面影響。而當災害發生時，若運輸系統效率低落，則救災資源將無法即時趕赴災區做必要之支援。為合理化、系統化暨科學化地進行大規模救災及復舊，因此提出應用「模糊多目標規劃法」與「基因演算法」來求解大規模救災及復舊，以提升運輸系統之災後應變效率。

謝嘉鴻(1998)發現在地震發生之最短時間內若能作出適當且有效之避難疏散決策，經常能縮減二次災害對民眾所造成生命財產之威脅。因此，構建一模糊多目標避難區位指派模式，規劃在有限之空間與時間限制下，大型震災後人員的疏散與指派。

蔡麗敏(2000)針對廢輪胎處理廠之區位指派與運送路線選擇問題，以模糊多目標規劃方法作一規劃研究；在處理廠區位指派方面考量營運成本與環境污染問題、在運送路線選擇方面考量運輸成本與對周圍交通之影響，同時對廢輪胎處理廠做區位指派並決定可行之運送路線。

彭浚忠(2002)利用模糊多目標規劃法，針對震災後人員避難特性構建一個疏散指派模式，考慮了各單位分區的災民疏散之避難所的總時間，以及各避難所能服務容納的災民總數，進一步也將整體災民的活動空間納入考量。由於真實生活中，總目標達成度的衡量以及相關的影響參數並不那麼明確，因此在求解過程中導入模糊集合論的觀念，使構建出的疏散指派模式更符合實際情況。

2.4 小結

綜上所述，可獲得下列結論：

一、圖解法以時間與累計人數為軸，組成二維座標系，其概念可以作為假設乘客不會發生流失的情況下，業者最省成本的發車方式，且圖解法在實務上必須事先知道車輛何時派出，亦即事先給定時刻表，與本研究欲決定動態發車時間的目的大不相同；本研究係考慮旅客抵達的尖離峰特性，將可以採用統計方法，配適符合旅運需求型態的累積機率函數。

二、最大乘載區間法的概念適合用在行車途中的停靠站可以同時上下乘客，在每站蒐集乘客上下車統計資料，以分析乘載最多乘客的區段，作為發車依據，特別適用市區公車的營運；本研究係雙模運具營運模式之構建，其中亦有行駛於一般市區道路的營運方式，故可參考最大乘載區間法的分析概念。

三、數學規劃法須將問題予以簡化並依據問題特性做出合理的假設，因此可擷取出問題之精要，並顯示問題之基礎結構從而透過觀察各因素間的因果關係，來充分表達問題的特性，使人明白易懂。加上數學規劃法可因應問題的形式，予以擴充或變化，且解法容易利用現有數學規劃法的觀念與演算步驟求解，有時亦可利用電腦輔助軟體求解，使其求解過程不至於費時費力。

四、在進行軌道容量分析時，由於模擬模式與最佳化模式大多被包裝成套裝應用軟體，不易得知其模式之細節，故各國最常採用的分析法仍是以解析模式為主。前述文獻利用美國「大眾運輸容量暨服務品質手冊」中提到計算軌道容量七大步驟：(1) 決定最繁忙的車站 (2) 決定號誌安全時距 (3) 決定停站時間 (4) 決定營運寬裕時間 (5) 決定乘客乘載水準 (6) 決定尖峰小時因素 (7) 整體運算，來對台北捷運系統木柵線、淡水線進行容量分析。我們由式 2.37 可知，路線可達成容量 C_a 的大小取決於該路線每小時最大可通過列車數、列車容量以及尖峰小時因素，凡會影響上述三要素者，諸如軌道線形、車廂尺寸、尖離峰乘載不均等等，均會影響到 C_a 值。然而，該案例在分析時，未發展台灣的軌道

容量計算公式，而直接引用美國的分析法，且未將相關參數進行本土化處理，因此計算結果僅供參考。

五、過去有關大眾運輸系統營運計劃的研究大多假設參數為明確值，但在實際生活當中，由於調查資料及外在環境因素的影響，往往使得參數具有不確定性，本研究所探討的智慧多模式交通系統（IMTS）乃是尚未廣泛運行的新型大眾運輸系統，我們在構建營運模式時，亦納入參數不確定性的考量，使模式能更符合實際營運計劃的需要。

六、本研究欲探討的智慧多模式交通系統（IMTS）營運模式的函數型態相當複雜，而 ε -限制法不管可行解區域是凸集合或非凸集合皆可運用來求解。因此，本研究將採用 ε -限制法來求解確定環境下的多目標規劃模式。

七、本研究擬採用模糊數學規劃法來求解多目標問題，主要歸因於下列幾點優點：

- (1) 可在規劃與決策過程中，表現不同決策者的主觀意識及行為，較符合實際人類的決策行為。
- (2) 可用來處理不精確或具模糊性的相關資訊，使模式運作更趨近於真實世界的需要。



第三章 IMTS 營運模式之建立

IMTS 系統的營運是為運輸服務而產生，業者並非以追求營運成本最低或利潤最大為目標，而是希望能在可接受的合理成本下，兼顧使用者的立場，提供適當的 IMTS 運輸服務。因此，以每日營運總成本最小為單一目標的營運模式所得結果，實無法反應營運計劃內容的真正需要。因此，本研究將同時考慮營運者的營運成本及使用者的旅行時間，透過營運決策變數與其他相關變數的組合，構建 IMTS 營運多目標規劃模式，以同時求解 IMTS 營運計劃之班次數、車輛數及路線站距(市區道路繞徑)。

3.1 營運決策變數與成本項目、旅行時間關係之探討

構建 IMTS 系統營運模式時，有三個重要問題，必須妥善規劃：

- 1.提供適當班次，以符合旅客需求，維持合理成本；
- 2.營運所需的車輛數；
- 3.規劃合理的路線站距。

以上三個重要的 IMTS 營運決策變數，不僅與營運者的營運成本有關，同時也影響了旅客的旅行時間，而搭乘 IMTS 在市區繞徑所需的旅行時間如果太長，將可能使乘客搭乘意願不大，進而轉用其他交通工具代替。是故，決定 IMTS 營運決策變數時，應同時考慮營運者的營運成本與旅客的旅行時間等。以下就針對這些營運決策變數，探討其相互關係，以作為進一步構建營運模式時參考。

3.1.1 服務班次

服務班次數的多寡主要依旅客需求量而定，旅客需求量越大，所需服務班次越多，相對地系統營運所需車輛數增加，營運成本亦隨之提高。對旅客而言，當班次改變時，等車時間也跟著改變，班次數減少時，等車時間增長，將增加旅客等車的不耐，旅行時間亦增加，如此一來，將會影響旅客搭乘 IMTS 車輛的意願。

3.1.2 車輛數

影響車輛數多寡的因素主要是車輛來回旅行時間以及班次數。車輛來回旅行

時間長短影響車輛的運轉次數，當車輛來回旅行時間越長，則系統營運所需的車輛數也將增多。而車輛來回旅行時間除了與路線長度、車輛行駛速率有關，亦與路線站距有關；路線站距越短，停站次數越頻繁，則停站損失時間增加，因此使得車輛來回旅行時間增長，營運所需的車輛數也隨之增加，相對地車輛管理成本、車輛擁有成本都將增加。除此之外，車輛數增加，營運業者也需有更充足的貯車空間來停放車輛。總而言之，營運所需車輛多寡，將影響營運者的營運成本，而營運所需的車輛數，取決於下列各因素：

- (1)班次數
- (2)路線長度
- (3)車輛平均行駛速率
- (4)IMTS 路線站距
- (5)IMTS 車輛停靠站平均損失時間

3.1.3 路線站距

路線站距越長，IMTS 車輛停站次數越少，則營運成本相對較低。然而，路線站距越長，乘客步行的時間將隨之增加，為使乘客步行的時間在合理的接受範圍內，我們應該規劃合理的路線站距。設計合理的路線站距時，不僅需考量營運成本，也應該考慮乘客的步行時間及停站損失時間。

基於以上的分析，營運決策變數間，其與外生變數以及成本項目間存在相當密切的關係，模式構建前必須釐清其相互關係，才能構建出一完整的模式。因此，本研究將 IMTS 營運模式規劃中重要項目之間的相互關係予以找出，以便尋求整體系統的最佳調配，圖 3.1 表示各成本項目與模式內變數之間的相互關係。模式的外生變數包括：

- (1)IMTS 車輛路線及其長度
- (2)車輛平均行駛速率
- (3)旅客需求運量
- (4)IMTS 車輛的容量

(5)政策班次

(6)IMTS 路線站距的上下限

(7)旅客等車時間容許比例

(8)IMTS 車輛停靠站平均損失時間

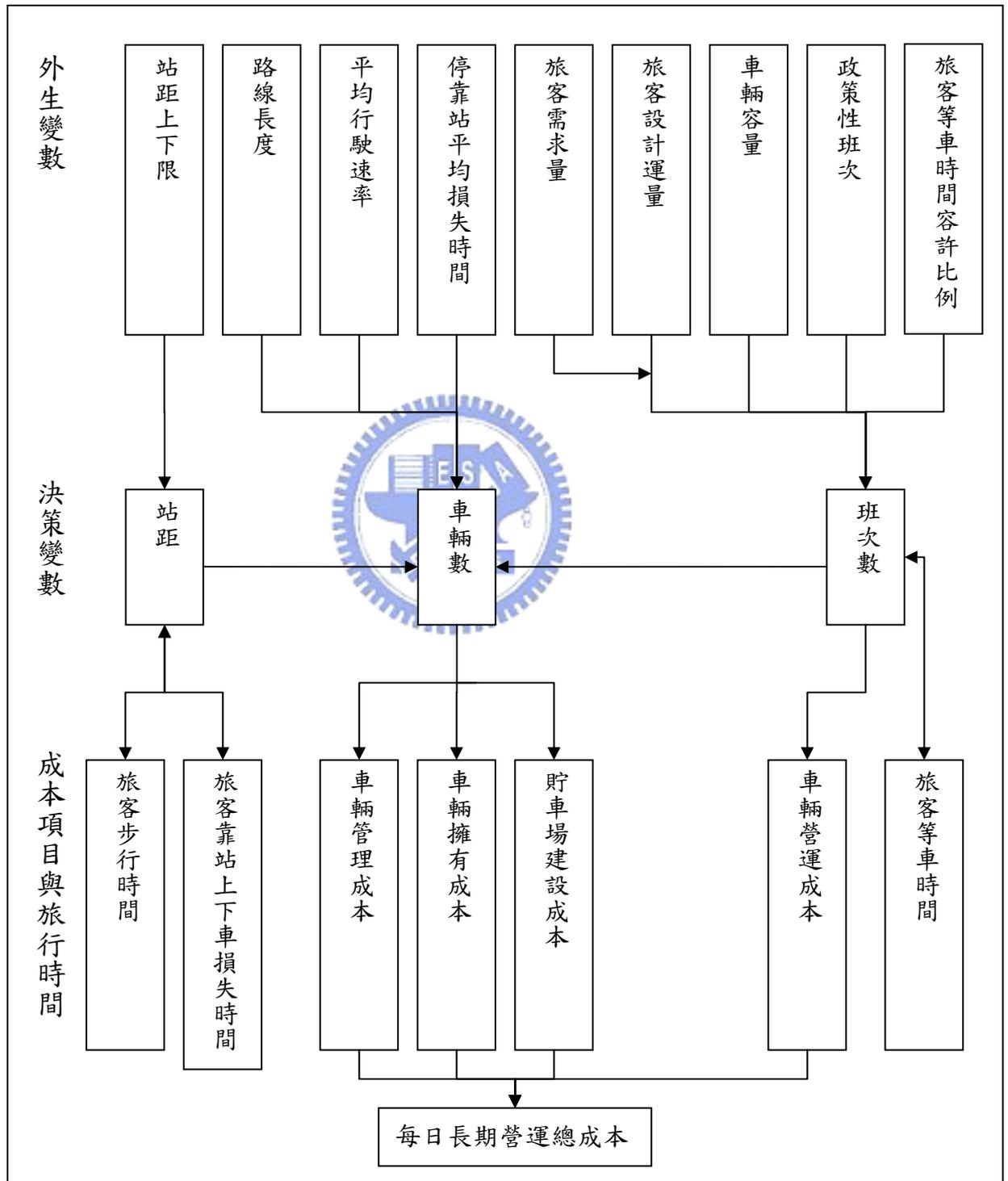


圖 3.1 模式的成本項目與變數間的相互關係圖

3.2 模式的目標函數與限制條件

3.2.1 模式基本假設

由於影響 IMTS 營運計劃的因素頗為複雜，再加上資料蒐集不易，因此，模式並無法完全反應現實的系統狀況，故模式構建前必須建立一些基本假設。本研究將以智慧多模式交通系統(IMTS)的車隊營運作為背景，探討在可獲知行駛中車隊動態資訊之情況下，此動態資訊對於整個系統決策如何隨之改變；簡而言之，便是在探討資訊流對於動態派車系統所產生之效應。下列為本研究之基本假設：

- (一) 固定場站，且其位置已知(行駛主線)。
- (二) 單一車種但可採取車隊方式服務所有旅客。
- (三) 已知之固定車班(行駛主線)提供乘客上下車的服務，不可中途指派。
- (四) 非固定車班(進行市區繞徑)的車輛可進行動態加派，即當監控中心傳送新的路徑與旅次需求時，車輛可於服務完目前的旅次之後，即時更動其行駛路徑。
- (五) 加派車在市區繞徑時只進行收集乘客(pickup)，結束繞徑後在主線上讓旅客下車(delivery)。
- (六) 監控中心對於各旅次之屬性資料為已知。
- (七) 忽略交通狀態對於旅行時間之影響，即假設旅行之時間與距離成正比。
- (八) 車輛單位營運成本為已知，且假設與行駛距離成正比。
- (九) 車輛有乘客最大承載量之限制，車輛的數量為固定值。
- (十) 車輛有最長服務時間限制，若已超過時間限制，便無法再接受新的即時指派，而必須返回場站。

3.2.2 模式的目標函數

本研究考慮的目標函數包括「單位時間長期營運總成本」最小化，以及「單位時間旅客總旅行時間」最小化，以下分別探討之：

- (一) 單位時間長期營運總成本(TC)

單位時間長期營運總成本包括下列四項成本：

- (1)車輛營運成本(合併駕駛員成本)：係指車輛營運所需消耗的能源，以及駕駛員的成本。
- (2)車輛管理成本：車輛管理所需之費用，主要與車輛的總數有關。
- (3)車輛擁有成本：與購買車輛有關之資本成本，與車隊大小具有密切關係。
- (4)貯車場建造成本。

各成本項目詳細敘述如下：

(1)車輛營運成本(C_o)

車輛營運成本主要和車輛行駛的路線與時段有密切關係，其估算方式乃是由各路線各時段的車輛單位營業成本(E_{tr})乘上各時段持續營運時間(P_t)，以及每小時的服務班次(F_{tr})來決定，因此每日車輛營運成本(C_o)為：

$$C_o = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R E_{tr} \times P_t \times F_{tr} \quad (式 3.1)$$



其中各變數定義如下：

C_o ：車輛營運總成本(元/日)

E_{tr} ：路線 r 、 t 時段的車輛單位營運成本(元/車)

P_t ： t 時段的持續營運時間(小時)

F_{tr} ：路線 r 、 t 時段的班次(班/小時)

(2)車輛管理成本(C_a)

車輛管理成本(C_a)與所擁有車輛數(n)有關，以下為數學式：

$$C_a = A \times n \quad (式 3.2)$$

其中，

A ：每一車輛的單位管理成本(元/日一車)

n ：系統所需總車輛數

C_a ：車輛管理成本(元/日)

(3) 車輛擁有成本(C_h)

車輛擁有成本(C_h)為系統中一日擁有 n 輛車所需花費的資本成本，式子為：

$$C_h = H \times n \quad (\text{式 3.3})$$

其中，

H ：每一車輛的單位擁有成本(元/日一車)

n ：系統所需總車輛數

C_h ：車輛擁有成本(元/日)

(4) 貯車場建造成本(C_b)

貯車場建造成本乃是由貯車場站單位建造成本乘以貯車格位數而得，以傳統排班方式而言，車輛係於路線上來回營運，因此所需貯車格位數即為各場站最終時段車輛數的總和，即等於系統車輛總數 n ，故建造成本可以數學式表示如下：

$$C_b = B \times n \quad (\text{式 3.4})$$

其中，

B ：貯車格位單位平均建造成本(元/日一格位)

n ：系統所需總車輛數

C_b ：貯車場建造成本(元/日)

(二) 單位時間旅客總旅行時間(TT_u)

每日旅客總旅行時間共包括下列四項：

(1) 每日旅客總步行時間

(2) 每日旅客總等車時間

(3) 每日旅客總車內時間

(4) 每日旅客靠站上下車總損失時間

各項詳細敘述如下：

(1)每日旅客總步行時間(T_k)

如圖 3.2 所示，假設 IMTS 系統服務帶寬度為 W 公里，且旅客旅次活動均勻產生，單位面積的旅次發生數為 k 人/平方公里。旅客由旅次產生點至停等站牌的平均步行距離以 L_W (公里)表示，路線 r 的平均站距以 S_r (公里)表示，則 L_W 的計算公式如下：

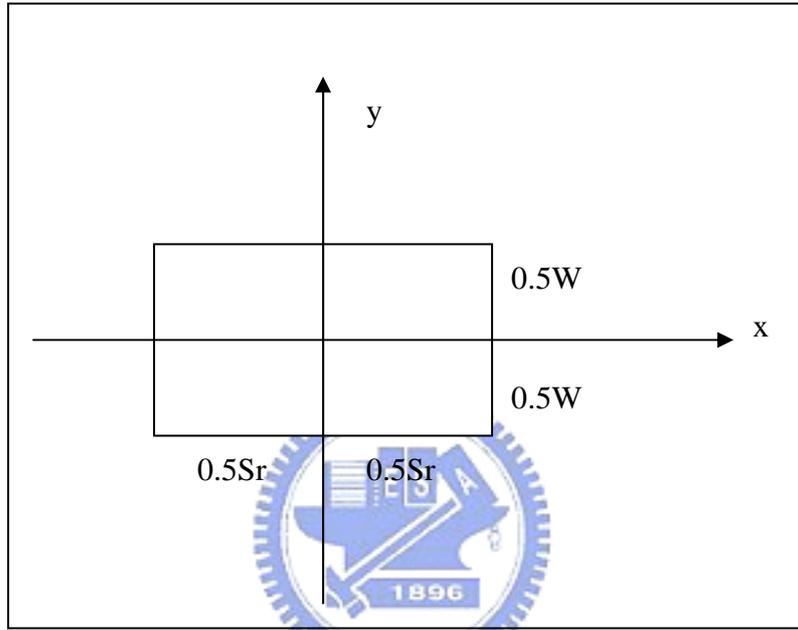


圖 3.2 旅客平均步行距離估算示意圖

$$L_W = \frac{4 \times \int_0^{0.5W} \int_0^{0.5S_r} (x+y) \times k \times dx dy}{k \times W \times S_r} = \frac{S_r + W}{4} \quad (\text{式 3.5})$$

由於每一旅次的步行距離包括從旅次產生點至停等站牌處，以及從停等站牌處至旅次吸引點的距離，估算為 L_W 的兩倍，若以 V_k 表示旅客平均步行速率(公里/小時)，則計算出平均步行時間 t_k (小時)，如下數學式所示：

$$t_k = 2 \times \frac{S_r + W}{4} \times \frac{1}{V_k} = \frac{S_r + W}{2V_k} \quad (\text{式 3.6})$$

將旅客的平均步行時間 t_k 乘上旅客需求運量 Q_{tr} (人/小時)與 t 時段持續營運時間 P_t ，即可求得每日旅客總步行時間 T_k ，數學式如下：

$$T_k = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{S_r + W}{2V_k} \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 3.7})$$

(2)每日旅客總等車時間(T_w)

將旅客的平均等車時間($\zeta \times h_{tr}$)乘上旅客需求運量 Q_{tr} 以及 t 時段持續營運時間 P_t ，即可得到每日旅客總等車時間 T_w ，以數學式表示如下：

$$T_w = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \zeta \times h_{tr} \times Q_{tr} \times P_t = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \zeta \times \frac{1}{F_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 3.8})$$

其中

ζ ：表平均等車時間與班距的比值

h_{tr} ：路線 r、t 時段的發車班距(小時/班次)

(3)每日旅客總車內時間

將旅客平均旅次長度 L_{ar} (公里)除以 IMTS 車輛平均行駛速率 V_{tr} (公里/小時)即可得旅客平均車內時間，再將之乘以旅客需求運量 Q_{tr} 以及 t 時段持續營運時間 P_t ，即可得到每日旅客總車內時間 T_v (小時)，以數學式表示如下：

$$T_v = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{L_{ar}}{V_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 3.9})$$



(4)每日旅客靠站上下車總損失時間

將旅客平均旅次長度 L_{ar} 除以 IMTS 路線站距 S_r ，即可求得旅客每一旅次平均停靠站數，再將之乘以 IMTS 車輛各站停靠平均損失時間 Z_r 、旅客需求量 Q_{tr} 及 t 時段持續營運時間 P_t ，即可得到每日旅客靠站上下車總損失時間 T_l (小時)，其數學式如下：

$$T_l = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 3.10})$$

其中

Z_r ：路線 r 各站停靠平均損失時間(小時/站)

3.2.3 模式的限制條件

(一) 系統所需車輛限制條件

假設系統車輛於路線 r 上營運，則系統營運所需輛數即為車輛營運時間乘以班次數，此處的車輛營運時間 T_{tr} 包括車輛行駛時間及停靠站損失時間，數學式可表示如下：

$$T_{tr} = \frac{L_r}{V_{tr}} + \frac{L_r}{S_r} \times Z_r \quad (\text{式 3.11})$$

系統所需車輛限制條件可以下列數學式表之：

$$n_{tr} = \left(\frac{L_r}{V_{tr}} + \frac{L_r}{S_r} \times Z_r \right) \times F_{tr} \quad (\text{式 3.12})$$

$$\hat{n} = \text{Max} \left(\sum_{r=1}^R n_{tr} \right), \forall t \quad (\text{式 3.13})$$

$$n = 1.2 \times \hat{n} \quad (\text{式 3.14})$$

其中

n_{tr} ：路線 r 、 t 時段營運中的車輛數

\hat{n} ：系統最大營運車輛數

n ：系統所需總車輛數



\hat{n} 為系統營運中的最大車輛數，為維持車輛正常運轉，IMTS 系統多備有預備車輛，以確保維修狀況良好，此比例約佔營運車輛之一成。此外，為避免車輛因突發狀況(事故、尖峰需求暴增)所造成的營運系統停擺，我們於場站必須備有臨時調度車輛，此車輛數亦大約佔營運車輛的一成，以維持正常車輛調度。基於上述假設，系統所需的總車輛數 n 約為最大營運車輛數 \hat{n} 的 1.2 倍。

(二) 尖峰路段旅客運量需求條件

系統所提供的服務，必須以滿足旅客需求為前提，故系統所提供的運輸容量應大於或等於最大乘載區間的旅客需求量。考慮車輛容量的不確定性，則尖峰時段各路段的旅客運量需求條件可以下列數學式表示：

$$\sum_{z \in Z_{tr}} d_{trz} \leq C \times F_{tr}, \forall t, r \quad (\text{式 3.15})$$

其中

d_{trz} : t 時段通過 r 路線及 z 區間的旅客運量(人/小時)

C : 車輛容量(位/車)

Z_{tr} : r 路線 t 時段最大乘載區間的區間組合

(三) 設計旅客運量的限制條件

在某一服務區間中各路線最大乘載區間旅客需求量的總和，應等於服務區間的旅客設計運量。考慮旅客設計的不確定性，則設計旅客運量的限制條件可表示為下列數學式：

$$\sum_{r \in R_z} d_{trz} = D_{tz}, \forall t, z \quad (\text{式 3.16})$$

其中

D_{tz} : t 時段、z 區間的設計旅客運量(人/小時)

R_z : z 區間相關路線的組合



(四) 政策班次限制條件

IMTS 的服務班次應滿足政策性班次，以維持某種程度的服務水準。數學式如下：

$$\sum_{r \in R_z} F_{tr} \geq \underline{F}_{tz}, \forall t, z \quad (\text{式 3.17})$$

其中

\underline{F}_{tz} : t 時段、z 區間的政策班次(最少班次數)(班/小時)

(五) 班次上限限制條件

若班次過多，將低估旅客等車時間總成本，且易造成營運者營運成本增加過多的情況，因此實有必要合理限制班次的上限，以符合現況。數學式如下：

$$\sum_{r \in R_z} F_{tr} \leq \bar{F}_{tz}, \quad \forall t, z \quad (\text{式 3.18})$$

其中

\bar{F}_{tz} : t 時段、z 區間的班次上限(班/小時)

(六) 旅客等車時間限制式

由都會區旅客特性來看，車外時間過長，容易使旅客久候不耐，因而降低對大眾運輸服務的滿意程度。有鑑於此，實有必要使車外等車時間佔總旅行時間的比例 δ 保持在一定水準，以確保 IMTS 的服務水準。而旅客對於此等車時間容忍因子的感受程度可能隨服務時段與車輛行駛路線不同而有差異，考慮此等車時間因子具有不確定性，則旅客等車時間限制式可以下列數學式表之：

$$\zeta \times h_{tr} \leq \delta_{tr} \left[\left(\frac{W + S_r}{2V_k} \right) + (\zeta \times h_{tr}) + \left(\frac{L_{ar}}{V_{tr}} \right) + \left(\frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r \right) \right] \quad (\text{式 3.19a})$$

即

$$\frac{\zeta}{F_{tr}} \leq \delta_{tr} \left[\left(\frac{W + S_r}{2V_k} \right) + \left(\frac{\zeta}{F_{tr}} \right) + \left(\frac{L_{ar}}{V_{tr}} \right) + \left(\frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r \right) \right] \quad (\text{式 3.19b})$$

經整理可得

$$\zeta(1 - \delta_{tr}) \times \frac{1}{F_{tr}} \leq \delta_{tr} \left[\left(\frac{W + S_r}{2V_k} \right) + \left(\frac{L_{ar}}{V_{tr}} \right) + \left(\frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r \right) \right] \quad (\text{式 3.19c})$$

其中

$\zeta \times h_{tr}$, $\frac{\zeta}{F_{tr}}$: 為旅客平均等車時間

$\frac{W + S_r}{2V_k}$: 旅客平均步行時間

$\frac{L_{ar}}{V_{tr}}$: 旅客平均車內時間

$\frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r$: 旅客平均靠站上下車損失時間

ζ : 等車時間與班距的比值

δ_{tr} : 旅客等車時間容忍因子

(七) 路線站距限制式

1. 旅客的平均步行距離應在其可忍受範圍內，乘客才願意選搭 IMTS 車輛，因此必須列入以下限制條件。

$$\frac{S_r + W}{4} \leq L_1 \quad (\text{式 3.20})$$

其中

L_1 ：乘客願意忍受之步行距離(公里)，此值具有不確定性。

2. 對旅客而言，當然希望 IMTS 路線站距能夠越小越好，可以縮短其步行距離；相反地，對營運業者而言，則對路線站距有其所能允許的下限，以避免成本過高且能使營運效率達到一定水準。

$$S_r \geq L_2 \quad (\text{式 3.21})$$

其中

L_2 ：IMTS 路線最小設計站距(公里)，此值具有不確定性。



3.2.4 模式的決策變數

(一) 發車班距 h_{rt} (可由 F_{rt} 取倒數求得)

(二) 營運所需車輛數 \hat{n}

(三) 路線站距 S_r

以上模式符號定義，如表 3.1 所示。

表 3.1 模式符號定義說明表

符號	定義	單位	符號	定義	單位	符號	定義	單位
A	每一車輛的單位管理成本	元/日—車	F_{tz}	t 時段，z 區間的政策班次	班/小時	T_k	每日旅客總步行時間	小時
B	貯車格位單位平均建造成本	元/天—格位	H	每一車輛單位擁有成本	元/日—車	T_l	每日旅客靠站上下車總損失時間	小時
C	IMTS 車輛容量	位/車	L_1	旅客步行最大容忍距離	公里	T_v	每日旅客總車內時間	小時
C_a	車輛管理成本	元/日	L_2	IMTS 路線最小設計站距	公里	T_w	每日旅客總等車時間	小時
C_b	貯車場建造總成本	元/日	L_r	r 路線的長度	公里	V_k	旅客平均步行速率	公里/小時
C_h	車輛擁有成本	元/日	L_{ar}	r 路線旅客平均旅次長度	公里	V_{tr}	r 路線 t 時段公車平均行駛速率	公里/小時
C_o	車輛營運成本	元/日	n	系統所需總車輛數	車	W	IMTS 系統服務帶寬度	公里
d_{trz}	t 時段通過 r 路線及 z 區間的旅客量	人/小時	\hat{n}	系統最大營運車輛數	車	Z_r	r 路線車輛各站停靠平均損失時間	小時/站
D_{tz}	t 時段，z 區間的設計旅客運量	人/小時	n_{tr}	r 路線 t 時段營運中車輛數	車	ζ	等車時間與班距之比值	
E_{tr}	r 路線 t 時段的車輛單位營運成本	元/車	P_t	時段 t 持續時間	小時	δ_{tr}	旅客等車時間容忍因子	
F_{tr}	r 路線 t 時段的班次	班/小時	Q_{tr}	r 路線 t 時段的 IMTS 旅客運量	人/小時			
\bar{F}_{tz}	t 時段，z 區間的班次上限	班/小時	S_r	r 路線的平均站距	公里			

3.3 動態多目標 IMTS 營運計劃模式之構建

3.3.1 概述

本研究將以智慧多模式交通系統(IMTS)之營運為問題背景，探討當監控中心可確實掌握所有車隊動態資訊之情況下，監控中心人員如何有效且迅速的回應不同旅客之即時旅次需求，作出適當的決策。以此架構提出一可同時兼顧旅客需求(各旅客加權總等待時間最小)以及減少營運成本(車輛服務所有旅客之總成本最小)之目標式，以多目標決策方式求解。

本研究的決策時機是每次的發車時間點(固定班距 t)，及兩連續車班發車時間點的中間點($\frac{1}{2}t$ ，加班車，如圖 3.3 所示)，以即時處理的方式來反應，即收集每一筆旅次需求，於決策時間點針對總需求去作處理，將其資料帶入模式內運作，以便能在最短的時間內獲得最佳派遣車輛之決策。當旅次需求產生，便將此需求收集整理，在決策時間點經過演算後選擇出一輛(或車隊型式)可滿足總目標式最小化之車輛路徑，以挑選該車種進行服務此新旅次需求點。

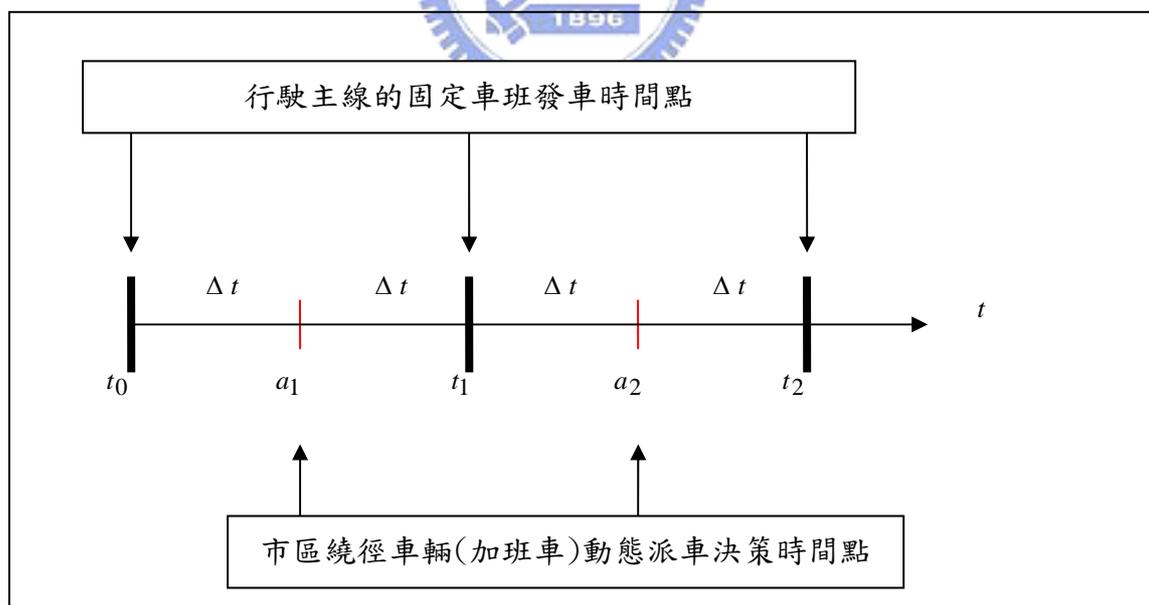


圖 3.3 動態派車決策時機示意圖

3.3.2 動態即時派遣營運模式

問題描述

本研究所要處理的問題層面，主要是在探討當監控中心可完全掌握所有車隊之動態資訊(如即時車輛位置資訊、即時車輛之容量資訊、車輛行駛時間紀錄、車輛異常資訊等)之情況下，監控中心如何能夠有效利用這些動態資訊，來快速回應旅客旅次之需求，並且降低系統整體的成本。因此，本研究將以行駛中的「動態車隊資源」為問題中心，試圖藉由模式演算法之建構，去開發此一因新科技導入營運車隊而獲得的新資源。

由於本研究所著重的焦點為動態車隊資源之配置調度，因此初始之靜態車輛排程將視為已知條件，僅針對即時產生之旅次需求去改變動態車輛排程，系統狀態之改變可由一簡單範例呈現，如圖 3.4 至圖 3.6 所示。

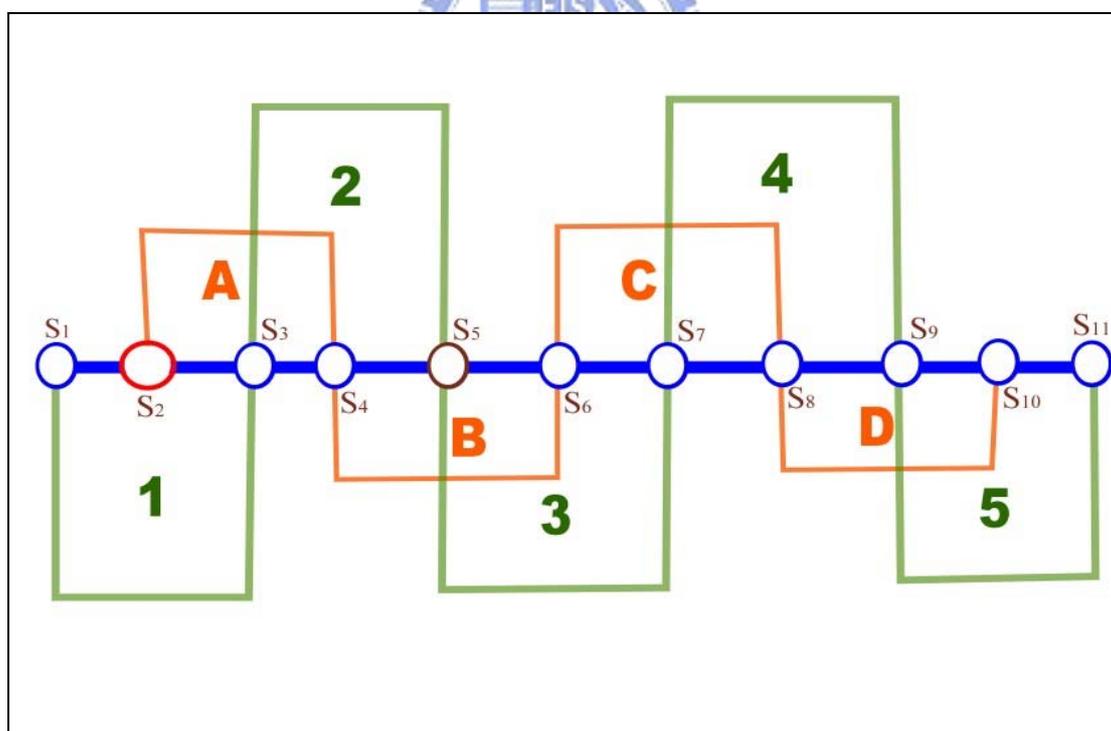


圖 3.4 IMTS 設計路網圖

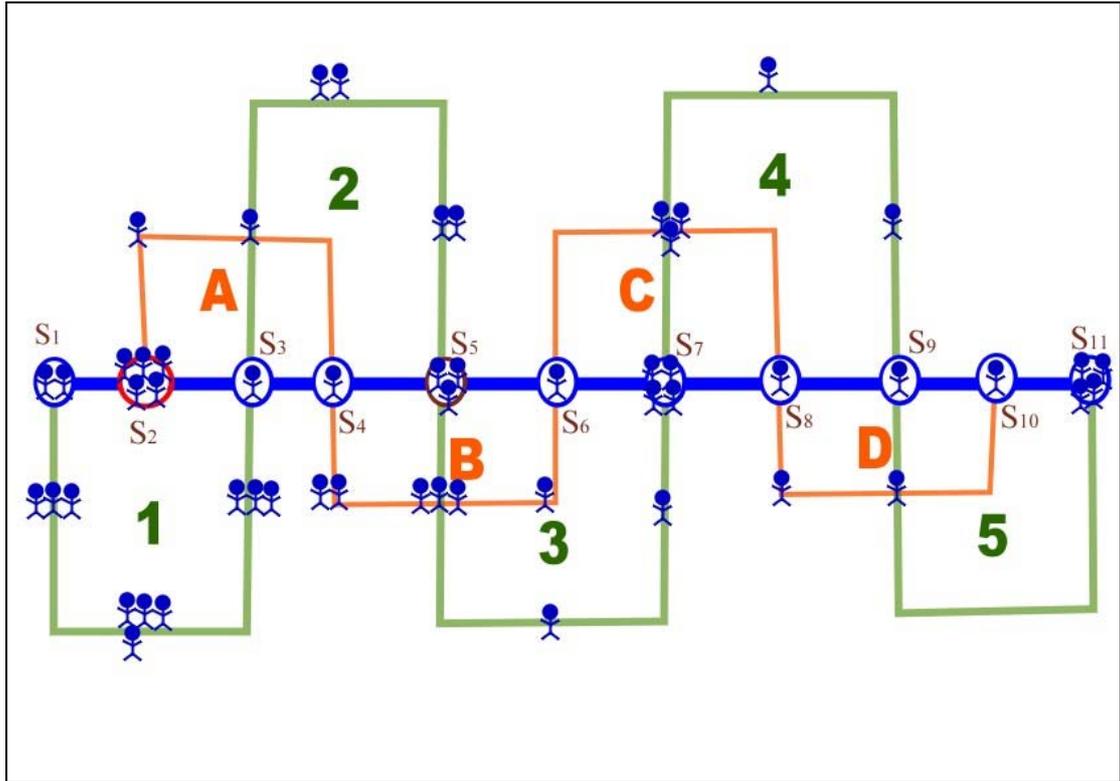


圖 3.5 $t = a_1$ 時各站牌所累積的旅次需求量示意圖

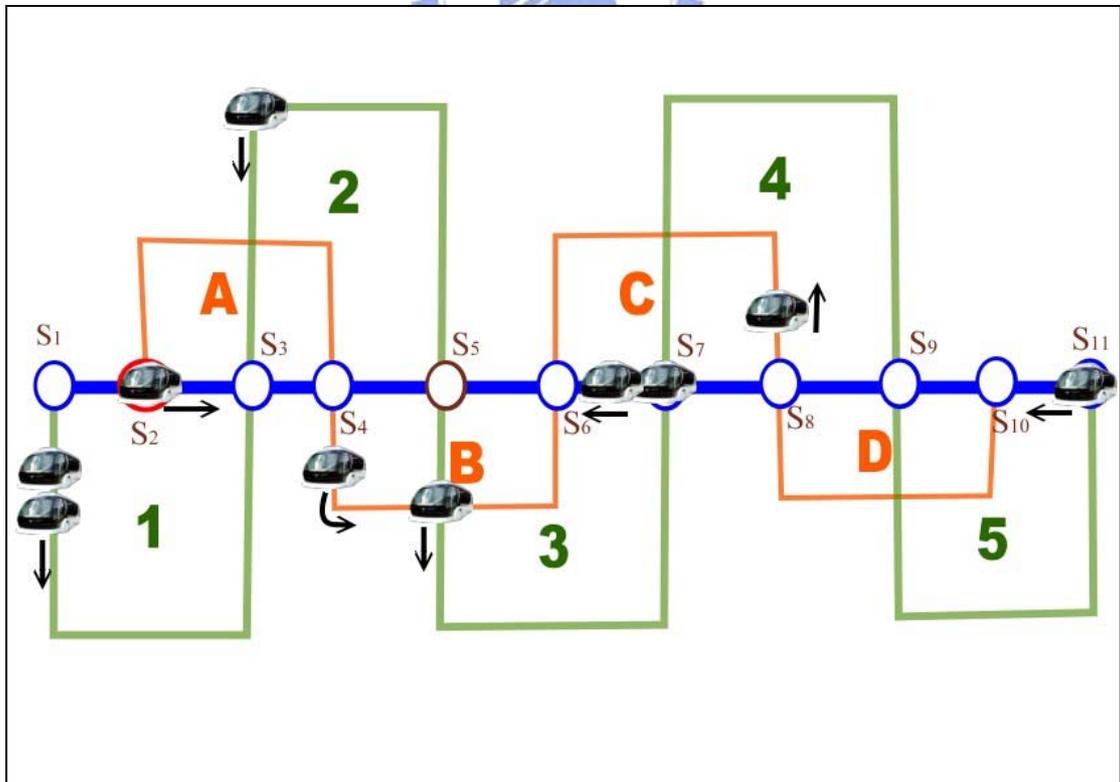


圖 3.6 $t = a_1$ 時動態派車示意圖

圖 3.4 所示為本研究設計之 IMTS 行駛路網圖，包括主要幹線(藍線 $S_1 \sim S_{11}$ 站)，接駁路線(綠線 1~5、橘線 A~D)等多種路線。其中藍線場站設置如同捷運，採取每站皆停的策略，擁有特定軌道、專用路權；接駁繞徑路線(綠、橘線)，例如綠 1 主要為進入第 1 區進行繞徑收集乘客(似公車繞徑 pickup)，結束繞徑後進入主線讓旅客下車(delivery)；其餘接駁路線同理類推。此路線設計概念主要是想利用多模運具特殊的行車特性，讓市區道路上車的乘客直接於主線的場站下車，減少一次轉乘，節省旅行時間，增加大眾運輸系統的效益。

而圖 3.5 則表示 $t = a_1$ 時，各站牌從上一時階 $t = t_0$ 起累積至此瞬間的旅客需求量，吾人以旅客需求位置圖來表示，聚集的人越多則表示該時刻的需求量越大。從示意圖中可以很明顯的觀察出 S_2 站、 S_{11} 站及第 1 區的旅客需求量頗大，在經過我們「IMTS 動態即時派遣模組」的運算之後，即可在當下決定合適的派車策略，以即時反應旅客需求進行派車服務，減少旅客停等時間，同時也可縮減營運成本。

圖 3.6 表示在 $t = a_1$ 時，透過「IMTS 動態即時派遣模組」的運算之後，所決定派遣服務路線的車輛示意圖。從圖中觀察得知，由於第 1 區及 S_7 站的旅客需求量過大，我們可以指派 IMTS 車輛以車隊(platoon)的方式進行載客服務，其餘派車策略即為一般的單車輛派車服務，但必要時亦可再合併(merge)成車隊行駛，充分利用到多模運具在運作上的優點，提升整體系統服務績效。

本模式架構之完整流程如圖 3.7 所示，圖中的上半部分為動態即時派遣模式的決策流程，而下半部則是車輛載送旅客繞徑排程之流程示意圖。透過 IMTS 動態即時派遣模式，可計算出每個決策點之**車輛成本增量**、**上一時階末累積至此一時階的尚未服務旅客之總等待時間**，將利用上述計算式發展出適合評估當前最適派遣路線的評估指標，進行動態即時派遣。

在計算出特定路線的當前「車輛成本增量」成本後，必須將該值與一成本增量門檻值 η 作比較，若該解小於 η ，則將此旅次需求進入模式的第二部份，也就是「乘客屬性指標辨別模組」，此階段主要是藉由分析乘客旅次屬性的資料，來

進行「乘客需求指標評估」及「乘客總旅行時間指標評估」，決定由何種路線車輛來服務此時階的新需求，即時處理各種旅次需求。反之若該解的結果超過 η ，便判斷是否以達到政策派車標準(旅客等候時間已過久)，若是，則進入「乘客屬性指標辨別模組」，決定派車策略；若否，則等待到下一決策時間點再進行決策。



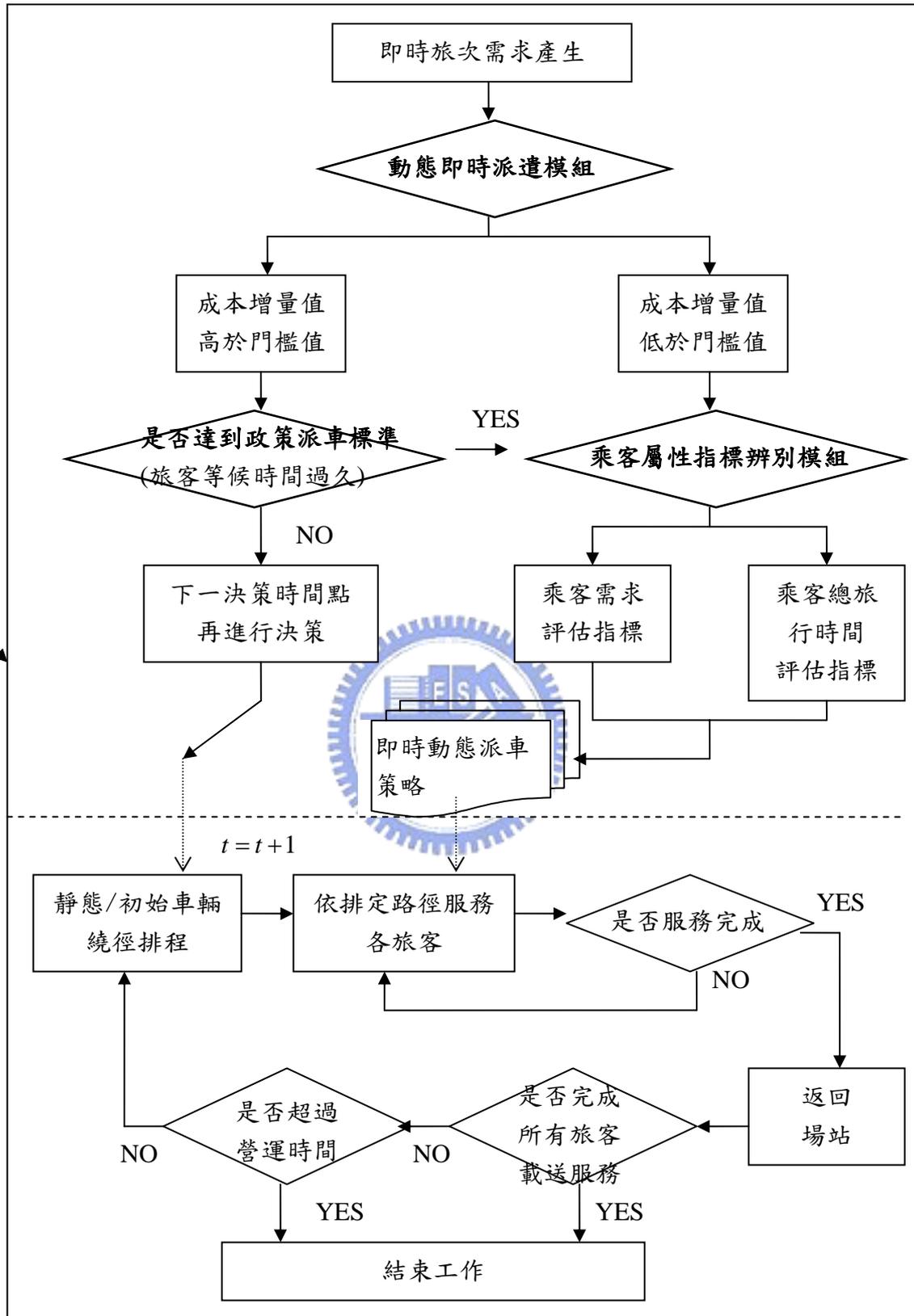


圖 3.7 動態即時派遣系統架構示意圖

數學模式

由前述 3.2 節所示模式，分別再對(1)車輛成本增量、(2)尚未服務旅客之總等待時間提出計算公式。

(1)車輛成本增量

我們考慮每一時階可能派遣車輛的車輛營運成本，定義 $r_{ij} \in \{0,1\}$ ， i 表示主線上的站名， $i = S_1, S_2, \dots, S_{11}, \dots$ ； j 表示車輛繞徑的區域， $j = 1, 2, 3, 4, 5, A, B, C, D$ 。舉例來說 $r_{S_1,1=1}$ 表示從車站 S_1 派出車輛繞徑區域 1； $r_{S_7,B=0}$ 表示從車站 S_7 往繞徑區域 B 並不派出車輛。我們可以由下列數學式計算出各路線的車輛派遣成本增量。

$$C_{oa_{ij}} = E_{r_{ij}} \times r_{ij} \quad (\text{式 3.22})$$

其中，

$E_{r_{ij}}$ ：車輛單位營運成本（元）（車站 i 至區域 j ）

r_{ij} ：為 0 或 1 的二元變數



(2)尚未服務旅客之總等待時間

我們在計算旅客等待時間時，將考慮上一時階末累積至此一時階的尚未服務旅客之總等待時間。圖 3.8 所表示的是從上一時階末(發車後才到的旅客)至下一時階發車點的旅客等待時間函數圖。我們以下列數學式表示之。

$$T_{w_{r_{ij}}} = \sum_{m=0}^t (t - t_m) \times Q_m r_{ij} \quad (\text{式 3.23})$$

其中，

$T_{w_{r_{ij}}}$ ： t 時段內，尚未服務旅客總等待時間

$Q_m r_{ij}$ ： t_m 時，路線 r_{ij} 的旅客到達量

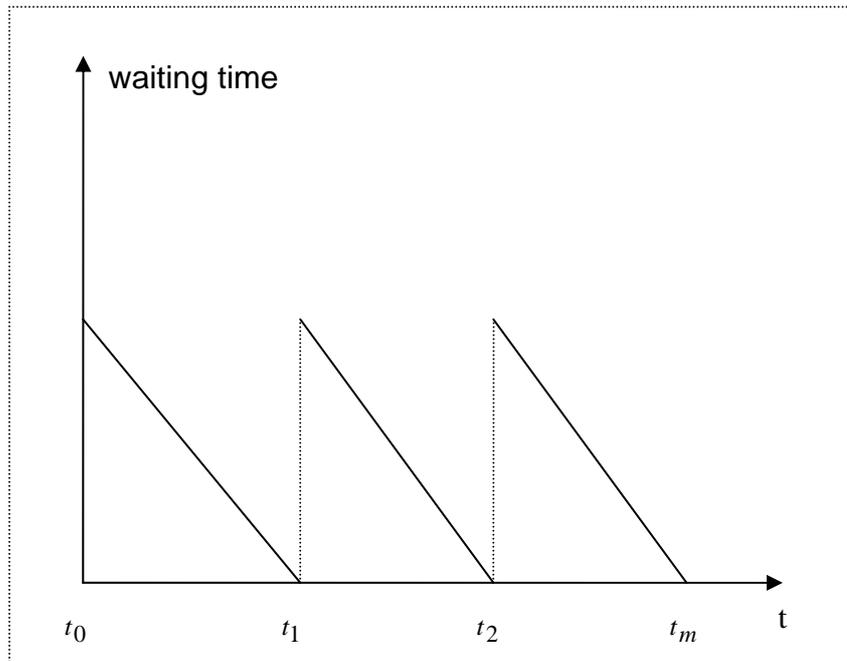


圖 3.8 旅客等待時間函數圖

派遣策略評估指標

在此動態即時派遣營運模式中，我們必須訂定一些評估指標，供模式運算後，決定營運策略時參考。我們訂定的指標如下：(1)成本增量門檻值(2)乘客總旅行時間評估指標(3)乘客需求評估指標(4)動態營運路線派遣決策指標。

(1)成本增量門檻值

我們在考慮此決策時間點是否應該派出 IMTS 車輛進行服務時，首先會考慮此時間點，該行駛路線上在時間 t_m 時累積的旅客數有多少？以及在時間 t_m 時，待服務旅客的排隊長度有多長？在營運者的角度來看，當然希望旅客數夠多，才能收取足夠的票價；在使用者的角度來看，總是不希望等候成本過高。因此我們定義一成本增量門檻值 η ，其為收取票價及乘客等候時間成本的總和，可以下列數學式表之。

$$\eta = b \times u_m + \alpha_w \times \int_{t_{m-1}}^{t_m} q(t) dt \quad (\text{式 3.24})$$

其中，

η ：成本增量門檻值(決定行駛路線 r_{ij} 是否派出車輛)

b ：票價

u_m ：時間 t_m 時所服務的旅客數

α_w ：等候單位時間價值

$q(t)$ ：時間 t 的排隊長度

因此，當車輛成本增量 C_{oa} 小於或等於成本增量門檻值 η 時，即可能是旅客數夠多，收取的票價足夠負荷派出新車輛；或者是旅客的排隊長度過長，等候成本過高。上述的情形都會促使我們派出新車輛進行服務，以避免整個系統的營運成本過高。以數學式說明，在式 3.25 情況下，我們則需增派車輛進行服務；在式 3.26 的情況下，我們原則上不增派車輛，除非已達到政策派車標準。

$$C_{oa} \leq \eta \quad (\text{式 3.25})$$

$$C_{oa} > \eta \quad (\text{式 3.26})$$

除此之外，我們特別考慮 IMTS 車輛具有可排成車隊行駛的特性，定義：成本增量門檻值與車輛成本增量的比值 $\rho = \frac{\eta}{C_{oa}}$ ，若 ρ 值大於 1，即表示此決策時間點僅派出一輛 IMTS 車輛可能並不足以服務所有的旅客；理論上，若 $\rho \geq 2$ ，其實我們可以派出 2 輛 IMTS 車輛以車隊的方式服務旅客。以此類推，我們將計算出的 ρ 值四捨五入取整數，便可決定派車時間點應該派出幾輛車進行服務。但礙於一個車隊最多僅能有 6 輛車列隊行駛，故派出的車輛需小於或等於 6 輛。

(2) 乘客總旅行時間評估指標

在計算動態即時派遣營運模式下，每一時階的乘客總旅行時間時，我們可參考式 3.7、式 3.9、式 3.10 及式 3.32，考慮旅客總步行時間、旅客總車內時間、旅客靠站上下車總損失時間及尚未服務旅客之總等待時間，數學式如下。

$$TT_{u_{r_{ij}}} = \left(\frac{S_{r_{ij}+W}}{2V_{k_{ij}}} \times Q_{r_{ij}} + \frac{Lar_{ij}}{V_{r_{ij}}} \times Q_{r_{ij}} + \frac{Lar_{ij}}{S_{r_{ij}}} \times Z_{r_{ij}} \times Q_{r_{ij}} + \sum_{m=0}^t (t-t_m) \times Q_{m_{r_{ij}}} \right) \times r_{ij} \quad (\text{式 3.27})$$

接著，我們定義乘客總旅行時間評估指標 θ (式 3.28)，當「特定路線的總旅行時間」佔「所有路線的總旅行時間」比例達到路線總和的倒數值時(式 3.29)，代表該路線對此路網的整體績效具有影響力，我們便可對此路線派出車輛進行服務。然而，並非所有時刻所有路線的需求都能夠滿足，在系統車輛數不足以服務所有需求路線時，我們將針對影響程度的輕重進行排序，對影響程度較重的前幾條路線，優先派車服務。以下列數學式說明之。

$$\theta = \frac{TT_{u_{r_{ij}}}}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D TT_{u_{r_{ij}}}} \quad (\text{式 3.28})$$

$$\theta \geq \frac{1}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D r_{ij}} \quad (\text{式 3.29})$$

(3) 乘客需求評估指標

我們根據收集到每一時階、各行駛路線，動態的旅客需求量，定義乘客需求評估指標 ϕ (式 3.30)，當「特定路線的總旅客需求量」佔「所有路線的總旅客需求量」比例達到路線總和的倒數值時(式 3.31)，代表該路線對此路網的整體績效具有相當的影響力，我們便可對此路線派出車輛進行服務。然而，並非所有時刻所有路線的需求都能夠滿足，在系統車輛數不足以服務所有需求路線時，我們將針對影響程度的輕重進行排序，對影響程度較重的前幾條路線，優先派車服務。以下列數學式說明之。

$$\phi = \frac{\sum_{t=m}^t Q_{m_{r_{ij}}} \times r_{ij}}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D \sum_{t=m}^t Q_{m_{r_{ij}}} \times r_{ij}} \quad (\text{式 3.30})$$

$$\phi \geq \frac{1}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D r_{ij}} \quad (\text{式 3.31})$$

(4) 動態營運路線派遣決策指標

綜前所述，我們給予「乘客總旅行時間評估指標」及「乘客需求評估指標」相同的權重($w_1 = w_2$)，計算出「動態營運路線派遣決策指標 ψ (式 3.32)」，我們可根據 ψ 值的大小，依序決定出當前最迫切需要派遣車輛服務的路線，進行動態派車策略。

$$\psi = \frac{w_1 \times \theta + w_2 \times \phi}{w_1 + w_2} \quad (\text{式 3.32})$$

營運績效評估指標

動態即時派遣營運模式構建完成之後，我們需要訂定營運績效評估指標，用以衡量此營運模式的績效良莠。我們訂定的營運績效評估指標如下：(1)每日乘客總旅行時間 (2)乘客平均旅行時間 (3)每日各路線的乘客服務率 (4)各時階的乘客服務率。

(1) 每日乘客總旅行時間(PTT)

由式 3.27，我們可以估算動態即時派遣營運模式下，第 k 時階的乘客總旅行時間(式 3.33)，進一步將每日各時階的乘客總旅行時間進行加總，即可求得每日乘客總旅行時間 PTT (式 3.34)，並對服務績效進行分析探討，數學式如下。

$$TTu_{ij}^k = \left(\frac{S_{r_{ij}+W}}{2V_{k_{ij}}} \times Q_{r_{ij}^k} + \frac{Lar_{ij}}{V_{r_{ij}}} \times Q_{r_{ij}^k} + \frac{Lar_{ij}}{S_{r_{ij}}} \times Z_{r_{ij}} \times Q_{r_{ij}^k} + \sum_{m=0}^t (t-t_m) \times Q_{m_{r_{ij}}} \right) \times r_{ij} \quad (\text{式 3.33})$$

$$PTT = \sum_{k=1}^K \sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D TTu_{ij}^k \quad (\text{式 3.34})$$

(2) 乘客平均旅行時間($PATT$)

由式 3.34，我們將 PTT 除以整個路網的運量，則可求得乘客平均旅行時間， $PATT$ ，如下列數學式所示。

$$PATT = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D TTu_{ij}^k}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D Q_{r_{ij}^k} \times r_{ij}} \quad (\text{式 3.35})$$

(3) 每日各路線的乘客服務率 ($PSR_{r_{ij}}$)

針對各特定路線，我們定義在第 k 時階，路線 r_{ij} 所服務的旅客數為 $Q_{r_{ij}}^k$ ，則

每日的各路線乘客服務率 $PSR_{r_{ij}}$ ，可以下列數學式表之。

$$PSR_{r_{ij}} = \frac{\sum_{k=1}^K Q_{r_{ij}}^k \times r_{ij}}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D Q_{r_{ij}}^k \times r_{ij}} \times 100\% \quad (\text{式 3.36})$$

(4) 各時階的乘客服務率 (PSR_k)

我們考慮各時階實際服務乘客量佔總旅客需求量的百分比，求算出各時階的乘客服務比例 PSR_k ，用以衡量該時階的服務績效，如下列數學式所示。

$$PSR_k = \frac{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D Q_{r_{ij}}^k \times r_{ij}}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D \sum_{m=0}^t Q_{mr_{ij}}^k \times r_{ij}} \times 100\%, \quad k=1,2,\dots,K \quad (\text{式 3.37})$$

其中，

$Q_{r_{ij}}^k$ ：在第 k 時階，路線 r_{ij} 所服務的旅客數

$Q_{mr_{ij}}^k$ ：在第 k 時階， t_m 時，路線 r_{ij} 的旅客到達量

透過以上四種衡量「動態即時派遣營運模式」營運績效的評估指標，我們可以更清楚了解各路線的營運狀況，並適當的對各路線進行分析，有助於修正或驗證模式。

第四章 IMTS 營運計劃模式之實例應用

本章首先就確定環境下（指各參數值皆為已知且明確的單一數值）IMTS 營運計劃多目標規劃模式，分別以模糊規劃法與傳統多目標規劃法之 ε -限制法加以求解，以了解模糊規劃法於多目標規劃問題的實際應用結果。

4.1 案例說明

根據第三章所建立的 IMTS 營運計劃模式，本研究將以臺北捷運系統南港線（西門—昆陽）與周圍接駁公車系統的整合路網為例，來說明模式的應用。前章所建立的營運模式，乃是選擇每日旅客總旅行時間作為使用者的目標式，由旅客步行時間、等車時間、車內時間及靠站上下車損失時間加總而得，此種計算方式即表示乘客對於前述各項旅行時間的感受程度相同，但針對實際狀況而言，乘客對於各項旅行時間的感受程度與重視程度並不一定相同，為了反應此種現象，本研究的實例應用，乃將旅客的各項旅行時間乘以旅客旅行時間價值（隨各項旅行時間性質不同而有所差異），進而得到旅客的旅行時間成本，以作為使用者的目標式。

4.1.1 模式目標函數與限制條件

由於乘客對於各項旅行時間的重視程度可能並不相同，本研究的實例應用乃將第三章所建立的 IMTS 營運模式的使用者目標式—每日旅客總旅行時間（式 3.7~3.10），改為每日旅客總旅行時間成本（式 4.1~4.4）。實例應用所採用模式的目標函數有二，目標一為每日長期營運總成本最小化，如第三章 IMTS 營運模式所列（式 3.1~3.4），目標二為旅客旅行時間總成本最小化（式 4.1~4.4）；模式的限制式與第三章所建立的 IMTS 營運模式之限制式相同。茲針對目標二說明如下。每日旅客旅行時間總成本應包括以下四項成本：(1)每日旅客步行時間總成本(2)每日旅客等車時間總成本(3)每日旅客車內時間總成本(4)每日旅客靠站上下車時間損失總成本。以下針對各成本進行說明並提出計算公式。

(1) 每日旅客步行時間總成本 (C_k)

由第三章所構建的數學式 3.7 估算出每日旅客總步行時間 (T_k) 後，再將之乘以旅客步行時間價值 (α_k)，便可得 C_k 。數學式如下所示：

$$C_k = T_k \times \alpha_k = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{S_r + W}{2V_k} \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_k \quad (\text{式 4.1})$$

其中，

α_k ：旅客步行時間價值 (元/人一小時)

S_r ：路線 r 的平均站距 (公里)

W ：IMTS 系統服務帶寬度 (公里)

V_k ：旅客平均步行速率(公里/小時)

Q_{tr} ：t 時段，路線 r 的旅客需求運量 (人/小時)

P_t ：t 時段的持續營運時間(小時)



(2) 每日旅客等車時間總成本 (C_w)

由每日旅客總等車時間 (T_w) 乘以旅客等車時間價值 (α_w) 可得 C_w 。數學式可以表示如下：

$$C_w = T_w \times \alpha_w = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \zeta \times \frac{1}{F_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_w \quad (\text{式 4.2})$$

其中，

α_w ：旅客等車時間價值 (元/人一小時)

ζ ：表平均等車時間與班距的比值

F_{tr} ：路線 r、t 時段的班次(班次/小時)

Q_{tr} ：t 時段，路線 r 的旅客需求運量 (人/小時)

P_t ：t 時段的持續營運時間(小時)

(3) 每日旅客車內時間總成本 (C_v)

由每日旅客總車內時間 (T_v) 乘上旅客車內時間價值 (α_v) 可得 C_v 。數學式可表示如下：

$$C_v = T_v \times \alpha_v = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{L_{ar}}{V_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_v \quad (\text{式 4.3})$$

其中，

α_v ：旅客車內時間價值 (元/人一小時)

L_{ar} ：路線 r 的旅客平均旅次長度 (公里)

V_{tr} ：t 時段，路線 r 的 IMTS 車輛平均行駛速率 (公里/小時)

Q_{tr} ：t 時段，路線 r 的旅客需求運量 (人/小時)

P_t ：t 時段的持續營運時間(小時)

(4) 每日旅客靠站上下車時間損失總成本 (C_l)

由每日旅客上下車總損失時間 (T_l) 乘以旅客車內時間價值 (α_v) 可得 C_l 。此處我們將旅客上下車的行為視為仍在車內，故考慮其車內時間價值 α_v 。其數學式如下：

$$C_l = T_l \times \alpha_v = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_v \quad (\text{式 4.4})$$

其中，

α_v ：旅客車內時間價值 (元/人一小時)

L_{ar} ：路線 r 的旅客平均旅次長度 (公里)

S_r ：路線 r 的平均站距 (公里)

Z_r ：路線 r 各站停靠平均損失時間(小時/站)

Q_{tr} ：t 時段，路線 r 的旅客需求運量 (人/小時)

P_t ：t 時段的持續營運時間(小時)

每日旅客旅行時間總成本 (TC_u) 由以上四項成本加總而得，目標二即：

$$\text{Min } TC_u = C_k + C_w + C_v + C_l \quad (\text{式 4.5})$$

4.1.2 資料蒐集

本研究的實例應用，將以臺北捷運系統南港線（西門－昆陽）與周圍接駁公車系統的整合路網為例。

一、基本資料

（一）IMTS 車輛行駛速率

因 IMTS 系統尚未營運，所以我們參考現行藍線路網公車行駛速率及捷運南港線營運行駛速率等資料，作為 IMTS 車輛行駛於各路線的速率參考。見表 4.1。

表 4.1 各時段各路線 IMTS 車輛行駛速率

路線代號	路線長度 (公里)		營運平均速率 (公里/小時)							
			時段 1		時段 2		時段 3		時段 4	
	繞徑	主線	繞徑	主線	繞徑	主線	繞徑	主線	繞徑	主線
M1	--	9.671	--	35.00	--	35.00	--	35.00	--	35.00
A1	3.281	7.569	14.67	35.00	22.93	35.00	14.67	35.00	22.93	35.00
B1	3.569	8.057	15.43	35.00	24.11	35.00	15.43	35.00	24.11	35.00
C1	5.165	7.599	15.90	35.00	24.85	35.00	15.90	35.00	24.85	35.00
D1	3.667	7.876	15.36	35.00	24.00	35.00	15.36	35.00	24.00	35.00
E1	4.893	8.286	15.63	35.00	24.43	35.00	15.63	35.00	24.43	35.00
F1	4.761	8.102	15.75	35.00	24.61	35.00	15.75	35.00	24.61	35.00
G1	5.966	7.686	15.32	35.00	23.94	35.00	15.32	35.00	23.94	35.00
H1	3.772	7.719	14.40	35.00	22.50	35.00	14.40	35.00	22.50	35.00
I1	4.869	7.544	15.36	35.00	24.00	35.00	15.36	35.00	24.00	35.00
M2	--	9.671	--	35.00	--	35.00	--	35.00	--	35.00
A2	3.281	7.569	14.67	35.00	22.93	35.00	14.67	35.00	22.93	35.00
B2	3.569	8.057	15.43	35.00	24.11	35.00	15.43	35.00	24.11	35.00
C2	5.165	7.599	15.90	35.00	24.85	35.00	15.90	35.00	24.85	35.00
D2	3.667	7.876	15.36	35.00	24.00	35.00	15.36	35.00	24.00	35.00
E2	4.893	8.286	15.63	35.00	24.43	35.00	15.63	35.00	24.43	35.00
F2	4.761	8.102	15.75	35.00	24.61	35.00	15.75	35.00	24.61	35.00
G2	5.966	7.686	15.32	35.00	23.94	35.00	15.32	35.00	23.94	35.00
H2	3.772	7.719	14.40	35.00	22.50	35.00	14.40	35.00	22.50	35.00
I2	4.869	7.544	15.36	35.00	24.00	35.00	15.36	35.00	24.00	35.00

註：各路線繞徑長度係利用 ArcView 地理資料系統應用軟體於電子地圖上量測而得。

資料來源：「臺北捷運公司、臺北市聯營公車、本研究整理」

(二) IMTS 車輛站牌停靠上下車損失時間設定為每人 5 秒/站。

(三) IMTS 系統營運時間

由於 IMTS 系統尚未實際營運，是故我們參考臺北捷運系統每日的營運時間，設定 IMTS 系統營運時間自早上 6 點至晚上 12 點止，共 18 小時。其營運服務型態可分為尖峰時間與非尖峰時間兩種，尖峰又可分為上午尖峰、下午尖峰，各時段起迄時間如表 4.2。

表 4.2 各時段起迄時間表

代號	時段	起迄時間
P_1	1	06:00~09:00
P_2	2	09:00~16:00
P_3	3	16:00~19:00
P_4	4	19:00~24:00

(四) 各時段各路線的運量

我們由臺北捷運公司所提供的 93 年度 12 月份每日各路線的運量(表 4.3)，以及公車轉捷運、捷運轉公車的轉乘比例等相關資料，推算得知各路線的旅客需求運量。由臺北捷運公司 2003 年年報中得知，91 年公車轉捷運的比例約 27.32%，92 年上升至 33.30%；91 年捷運轉公車的比例約 29.55%，92 年增加 5.75%，上升至 35.30%。從成長趨勢看來每年約成長 1.2 倍，是故我們假設成長趨於穩定，而推算出 93 年的公車轉捷運比例約為 39.96%，而捷運轉公車比例可達 42.36%。

表 4.3 南港線各站的平均日運量表 (93 年 12 月)

迄 起	西門站	臺北車站	善導寺	忠孝新生	忠孝復興	忠孝敦化	國父紀念館	市政府	永春	後山埤	昆陽	總計
西門站	0	70	21	840	1,918	1,998	980	2,051	1,075	813	1,959	11,726
臺北車站	2,300	0	535	1,149	2,127	1,920	1,163	3,286	1,175	1,108	2,701	17,464
善導寺	783	663	0	201	530	511	316	691	317	258	728	4,999
忠孝新生	953	1,177	178	0	724	677	399	894	493	361	872	6,728
忠孝復興	1,967	2,161	465	616	0	211	421	1,352	643	655	1,217	9,709
忠孝敦化	1,751	1,809	456	527	259	0	204	1,448	869	786	1,791	9,899
國父紀念館	784	1,218	327	411	486	231	0	506	501	493	1,049	6,006
市政府	2,597	3,595	693	1,090	1,475	1,566	504	0	390	752	1,677	14,339
永春	1,126	1,380	365	569	693	922	501	458	0	235	817	7,067
後山埤	933	1,103	318	421	678	936	514	824	227	0	695	6,649
昆陽	1,870	2,173	809	946	1,202	1,829	1,024	1,715	718	554	0	12,839
總計	15,064	15,350	4,168	6,771	10,091	10,802	6,026	13,225	6,408	6,015	13,507	

資料來源：「臺北捷運公司、本研究整理 (不考慮同站進出)」

表 4.4 南港線各站「捷運轉公車」的平均日運量表 (93 年 12 月)

93 年捷運轉 公車推估比例 42.36%	從西門方向來 的運量總和 (離站)	站名	從昆陽方向來 的運量總和 (離站)	93 年捷運轉 公車推估比例 42.36%
0	0	西門站	15,064	6,381
30	70	臺北車站	15,280	6,472
236	556	善導寺	3,612	1,530
928	2,191	忠孝新生	4,580	1,940
2,245	5,299	忠孝復興	4,792	2,030
2,253	5,318	忠孝敦化	5,484	2,323
1,475	3,483	國父紀念館	2,543	1,077
4,333	10,228	市政府	2,997	1,269
2,314	5,463	永春	945	400
2,313	5,461	後山埤	554	235
5,722	13,507	昆陽	0	0
21,847	51,576	總計	55,850	23,658

資料來源：「臺北捷運公司、本研究整理」

表 4.5 南港線各站「公車轉捷運」及協服主線的平均日運量表 (93 年 12 月)

主線各站 實際服務 的量	繞徑路線 協助服務 主線的量	各站應由 主線服務 的量 (60.04%)	93 年公車 轉捷運推 估比例 39.96%	往西門方 向運量總 和(進站)	站名	往昆陽 方向運 量總和 (進站)	93 年公車 轉捷運推 估比例 39.96%	各站應由 主線服務 的量 (60.04%)	繞徑路線 協助服務 主線的量	主線各站 實際服務 的量
0	0	0	0	0	西門站	11,726	4,686	7,040	335	6,705
1,315	66	1,381	919	2,300	臺北車站	15,164	6,060	9,105	434	8,671
827	41	868	578	1,446	善導寺	3,553	1,420	2,133	102	2,032
1,320	66	1,386	922	2,308	忠孝新生	4,419	1,766	2,653	126	2,527
2,978	149	3,127	2,081	5,209	忠孝復興	4,500	1,798	2,702	129	2,573
2,746	137	2,883	1,919	4,802	忠孝敦化	5,097	2,037	3,060	146	2,915
1,977	99	2,075	1,381	3,457	國父紀念館	2,549	1,019	1,531	73	1,458
6,587	329	6,917	4,603	11,520	市政府	2,819	1,127	1,693	81	1,612
3,439	172	3,611	2,404	6,015	永春	1,052	420	632	30	602
3,404	170	3,574	2,379	5,953	後山埤	695	278	417	20	398
7,342	367	7,709	5,131	12,839	昆陽	0	0	0	0	0
31,935	1,597	33,532	22,317	55,850	總計	51,576	20,610	30,966	1,475	29,491

資料來源：「臺北捷運公司、本研究整理」

圖 4.1 即為 IMTS 規劃路網圖，從圖中可知，行駛路線 A1 除了不通過臺北車站外，其餘各站皆會通過。同理，除了西門站與昆陽站外（起迄站各繞徑路線皆會通過，故有 9 條路線通過），其餘各站因為路網設計採用「跳站」的方式，都只會有 8 條繞徑路線通過。因此若我們欲估算路線 A1 的運量可由(1)離開西門站(搭乘公車離開的比例是 42.36%) (2)進入善導寺站運量（搭乘公車進入的比例是 39.96%） (3)協服主線的運量三方面來考慮。

其中針對「協服主線」的運量另作說明，此處我們考慮到路線 A1 在市區道路繞徑完畢回到主線行駛後，亦會在各站上下旅客，對主線的運量服務亦有些微的貢獻。因此，我們假設主線上的列車發車頻率約 3 分鐘一班，且每列車可以由 6 輛 IMTS 車輛形成車隊進行服務；市區繞徑的車輛約 10 分鐘一班，每車次服務僅以 1 輛車進行服務。由此可估算，主線上的列車服務運量比上繞徑路線 A1 的服務運量，每小時約為 20:1。所以我們將主線總運量（已扣除公車轉捷運的運量）乘上比例 $\frac{1}{21}$ ，得到 3,071 旅次量，這便由繞徑路線 A~I 進行平均的協服，以減少主要路線服務運量，增加繞徑路線的服務旅客數。

承上所述，路線 A1 所協服主線的量應為，善導寺、忠孝新生、忠孝復興、忠孝敦化、國父紀念館、市政府、永春、共七站往昆陽方向的「繞徑路線協助服務主線運量」的總和乘上比例 $\frac{1}{7}$ ，再加上後山埤站往昆陽方向的「協服量」乘上比例 $\frac{1}{8}$ 共得 100 旅次量。其中經過臺北車站的繞徑路線共有 8 條，但是 B1 路線雖然經過臺北車站，它在經過臺北車站後便進入市區繞徑，所以並不會對臺北車站往昆陽方向的主線運量進行協助服務，故能協服臺北車站的路線數減為 7 條，每條路線所能提供的服務也僅有 $\frac{1}{7}$ 的該站協服量，其餘「善導寺」至「永春」等站亦是相同道理；至於「西門站」、「後山埤站」則因為對該站可進行協服的路線有 8 條，故每條路線能提供 $\frac{1}{8}$ 的該站協服量。綜合上述，我們估算出路線 A1 的運量為 7,901。其餘各路線的運量估算方法亦相同。

此外，我們亦假設尖峰時段（時段 1 及時段 3）的需求運量佔全天總運量的比例為 $\frac{2}{3}$ ；離峰時段（時段 2 及時段 4）的需求運量佔全天總運量的比例為 $\frac{1}{3}$ ，據以推算出各時段各路線的運量。如表 4.6 所示。

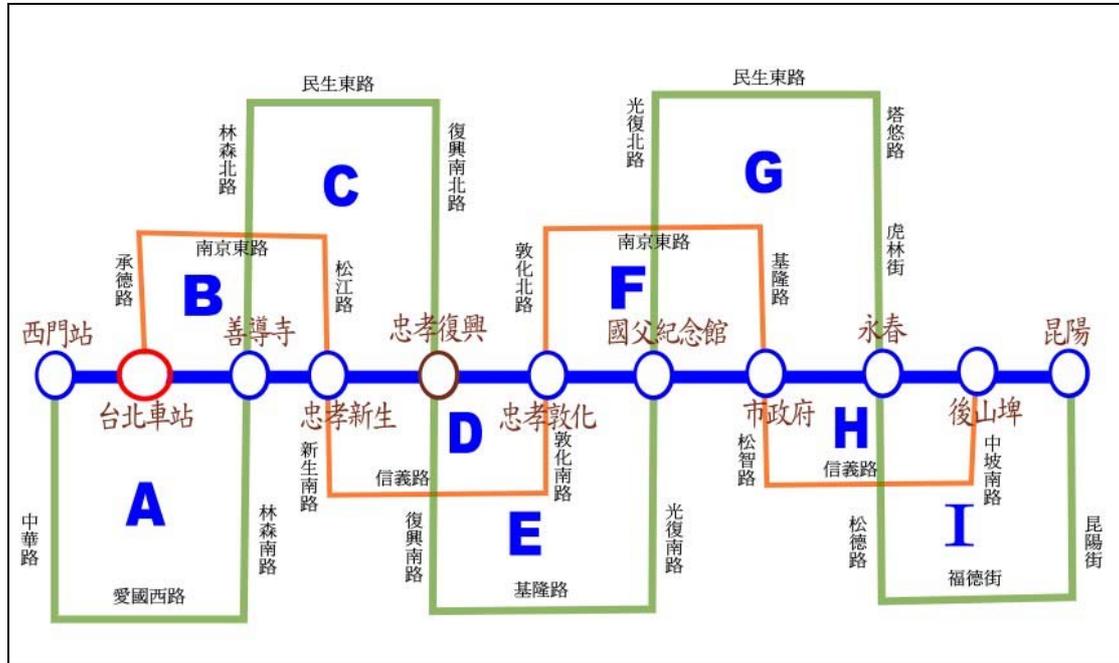


圖 4.1 IMTS 規劃路網示意圖

註：

- | | |
|--|----------|
| A 路線：中華路 ↔ 愛國西路 ↔ 中山南路 ↔ 徐州路 ↔ 林森南路 | 共 3.28KM |
| B 路線：承德路 ↔ 南京東路 ↔ 松江路 | 共 3.57KM |
| C 路線：林森北路 ↔ 民生東路 ↔ 復興北路 ↔ 復興南路 | 共 5.17KM |
| D 路線：新生南路 ↔ 信義路 ↔ 敦化南路 | 共 3.67KM |
| E 路線：復興南路 ↔ 和平東路 ↔ 基隆路 ↔ 光復南路 | 共 4.89KM |
| F 路線：敦化北路 ↔ 南京東路 ↔ 基隆路 | 共 4.76KM |
| G 路線：光復北路 ↔ 民生東路 ↔ 撫遠街 ↔ 塔悠路 ↔ 松信路 ↔ 永吉路 ↔ 虎林街 | 共 5.97KM |
| H 路線：松智路 ↔ 信義路 ↔ 福德街 ↔ 中坡南路 | 共 3.77KM |
| I 路線：松德路 ↔ 福德街 ↔ 新福路 ↔ 昆陽街 | 共 4.87KM |

表 4.6 各時段各路線的需求運量

路線別	路線代號	總運量 (人/日)	各時段運量			
			時段 1	時段 2	時段 3	時段 4
S_1S_{11}	M1	29,491	9,830	4,915	9,830	4,915
$S_1AS_3S_{11}$	A1	7,901	2,634	1,317	2,634	1,317
$S_1S_2BS_4S_{11}$	B1	8,396	2,799	1,399	2,799	1,399
$S_1S_3CS_5S_{11}$	C1	2,205	735	368	735	368
$S_1S_4DS_6S_{11}$	D1	3,133	1,044	522	1,044	522
$S_1S_5ES_7S_{11}$	E1	3,428	1,143	571	1,143	571
$S_1S_6FS_8S_{11}$	F1	3,552	1,184	592	1,184	592
$S_1S_7GS_9S_{11}$	G1	2,078	693	346	693	346
$S_1S_8HS_{10}S_{11}$	H1	7,178	2,393	1,196	2,393	1,196
$S_1S_9IS_{11}$	I1	7,642	2,547	1,274	2,547	1,274
$S_{11}S_1$	M2	31,935	10,645	5,323	10,645	5,323
$S_{11}S_3AS_1$	A2	6,422	2,141	1,070	2,141	1,070
$S_{11}S_4BS_2S_1$	B2	9,124	3,041	1,521	3,041	1,521
$S_{11}S_5CS_3S_1$	C2	2,797	932	466	932	466
$S_{11}S_6DS_4S_1$	D2	3,425	1,142	571	1,142	571
$S_{11}S_7ES_5S_1$	E2	3,345	1,115	558	1,115	558
$S_{11}S_8FS_6S_1$	F2	3,348	1,116	558	1,116	558
$S_{11}S_9GS_7S_1$	G2	1,930	643	322	643	322
$S_{11}S_{10}HS_8S_1$	H2	7,323	2,441	1,220	2,441	1,220
$S_{11}IS_9S_1$	I2	8,275	2,758	1,379	2,758	1,379

資料來源：本研究整理（其中 S_1 表西門站、 S_2 表臺北車站，其餘類推。）

二、成本資料

本研究中各模式所需的成本資料，包括「每日長期營運總成本」以及「每日旅客旅行時間總成本」等八項成本資料。

每日長期營運成本，包括：

1. 車輛營運成本
2. 車輛管理成本
3. 車輛擁有成本
4. 貯車場建造成本

每日旅客旅行時間總成本，包括：

1. 旅客步行時間成本
2. 旅客等車時間成本
3. 旅客車內時間成本
4. 旅客靠站上下車損失成本

茲分別說明計算過程如下。



(一)每日長期營運總成本(TC)

1.車輛營運成本(C_o)

$$C_o = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R E_{tr} \times P_t \times F_{tr} \quad (\text{式 4.6})$$

其中，

E_{tr} ：路線 r 、 t 時段的車輛單位營運成本(元/車)

P_t ： t 時段的持續營運時間(小時)

F_{tr} ：路線 r 、 t 時段的班次(班/小時)

(1)各時段持續時間(P_t)

$$P_1=3 ; P_2=7 ; P_3=3 ; P_4=5$$

(2)車輛單位營運成本(E_{tr})

車輛單位營運成本的計算乃依「臺北市聯營公車營運成本檢討暨運價調整報告」中提及民國 93 年臺北市聯營公車「公里平均成本」乘以「路線長度」而得。數學式如下。各相關成本可見表 4.7 整理。

$$E_{tr} = C_{ov} \times L \quad (\text{式 4.7})$$

其中，

C_{ov} ：車輛車公里平均成本=36.63 元/車

L ：路線長度（公里）

以上臺北市聯營公車每車公里平均成本，吾人考慮行駛相關成本「燃料（7.1425 元/車公里）」、「附屬油料（0.1118 元/車公里）」、「輪胎（0.3603 元/車公里）」、「行車人員薪資（18.8631 元/車公里）」、「行車附支（0.1005 元/車公里）」、「業務員工薪資（3.6933 元/車公里）」及「業務費用（1.1923 元/車公里）」等十項成本項目加總計算而得，不含利息等其他費用，且已經合併司機成本。由於 IMTS 系統並未正式開始營運，無法求得確切的車輛行駛成本相關資訊，是故我們以「臺北市聯營公車每車公里成本」來替代之。經由以上資料，可計算得到表 4.8 之各路線車輛營運成本表。

表 4.7 每車公里總成本中所含 18 項成本分析表

順序	成本項目	89 年審定 成本 (元)	公車公會 成本 (元)	交通局初核 成本 (元)	交通局成本 佔總成本比例
1	燃料	6.3464	7.5787	7.1425	15.59%
2	附屬油料	0.1258	0.1098	0.1118	0.24%
3	輪胎	0.3616	0.3606	0.3603	0.79%
4	車輛折舊	6.3830	7.7925	5.6679	12.37%
5	行車人員薪資	20.8785	18.8631	18.8631	41.17%
6	行車附支	0.7155	0.9118	0.5813	1.27%
7	修車材料	1.0276	1.3237	1.4974	3.27%
8	修車員工薪資	3.4226	3.0923	3.0923	6.75%
9	修車附支	0.0989	0.1654	0.1005	0.22%
10	業務員工薪資	4.0879	3.6933	3.6933	8.06%
11	業務費用	1.1208	1.2322	1.1923	2.60%
12	各項設備折舊	0.3359	0.5615	0.3434	0.75%
13	管理員工薪資	1.6020	1.4473	1.4473	3.16%
14	管理費用	0.7723	1.2356	0.9593	2.09%
15	稅捐費用	0.0729	0.1786	0.2227	0.49%
16	場站租金	1.2783	1.1607	1.0834	2.36%
17	通行費	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%
18	財務費用	0.9313	2.2937	0.9621	2.10%
18 項成本合計		49.5613	52.0008	47.3210	103.27%
補 1	補貼扣除款	-2.4268	0.0000	-1.4984	-3.27%
18 項成本及補 1 合計		47.135	52.0008	45.8226	100.00%

資料來源：「臺北市聯營公車營運成本檢討暨運價調整報告（草稿 III）」

表 4.8 各時段各路線車輛營運成本表

路線代號	路線長度 (公里)	車輛單位營運成本 (E_{tr})	車輛營運成本(C_o)			
			時段 1 $E_{1r}P_1F_{1r}$	時段 2 $E_{2r}P_2F_{2r}$	時段 3 $E_{3r}P_3F_{3r}$	時段 4 $E_{4r}P_4F_{4r}$
M1	9.671	2,125.49	6,376.48 F_{1M1}	14,878.45 F_{2M1}	6,376.48 F_{3M1}	10,627.46 F_{4M1}
A1	10.85	397.44	1,192.31 F_{1A1}	2,782.05 F_{2A1}	1,192.31 F_{3A1}	1,987.18 F_{4A1}
B1	11.626	425.86	1,277.58 F_{1B1}	2,981.02 F_{2B1}	1,277.58 F_{3B1}	2,129.30 F_{4B1}
C1	12.764	467.55	1,402.64 F_{1C1}	3,272.82 F_{2C1}	1,402.64 F_{3C1}	2,337.73 F_{4C1}
D1	11.543	422.82	1,268.46 F_{1D1}	2,959.74 F_{2D1}	1,268.46 F_{3D1}	2,114.10 F_{4D1}
E1	13.179	482.75	1,448.24 F_{1E1}	3,379.23 F_{2E1}	1,448.24 F_{3E1}	2,413.73 F_{4E1}
F1	12.863	471.17	1,413.52 F_{1F1}	3,298.20 F_{2F1}	1,413.52 F_{3F1}	2,355.86 F_{4F1}
G1	13.652	500.07	1,500.22 F_{1G1}	3,500.51 F_{2G1}	1,500.22 F_{3G1}	2,500.36 F_{4G1}
H1	11.491	420.92	1,262.75 F_{1H1}	2,946.41 F_{2H1}	1,262.75 F_{3H1}	2,104.58 F_{4H1}
I1	12.413	454.69	1,364.06 F_{1I1}	3,182.82 F_{2I1}	1,364.06 F_{3I1}	2,273.44 F_{4I1}
M2	9.671	2,125.49	6,376.48 F_{1M2}	14,878.45 F_{2M2}	6,376.48 F_{3M2}	10,627.46 F_{4M2}
A2	10.85	397.44	1,192.31 F_{1A2}	2,782.05 F_{2A2}	1,192.31 F_{3A2}	1,987.18 F_{4A2}
B2	11.626	425.86	1,277.58 F_{1B2}	2,981.02 F_{2B2}	1,277.58 F_{3B2}	2,129.30 F_{4B2}
C2	12.764	467.55	1,402.64 F_{1C2}	3,272.82 F_{2C2}	1,402.64 F_{3C2}	2,337.73 F_{4C2}
D2	11.543	422.82	1,268.46 F_{1D2}	2,959.74 F_{2D2}	1,268.46 F_{3D2}	2,114.10 F_{4D2}
E2	13.179	482.75	1,448.24 F_{1E2}	3,379.23 F_{2E2}	1,448.24 F_{3E2}	2,413.73 F_{4E2}
F2	12.863	471.17	1,413.52 F_{1F2}	3,298.20 F_{2F2}	1,413.52 F_{3F2}	2,355.86 F_{4F2}
G2	13.652	500.07	1,500.22 F_{1G2}	3,500.51 F_{2G2}	1,500.22 F_{3G2}	2,500.36 F_{4G2}
H2	11.491	420.92	1,262.75 F_{1H2}	2,946.41 F_{2H2}	1,262.75 F_{3H2}	2,104.58 F_{4H2}
I2	12.413	454.69	1,364.06 F_{1I2}	3,182.82 F_{2I2}	1,364.06 F_{3I2}	2,273.44 F_{4I2}

註：M1、M2 的車輛單位營運成本係由每列車有 6 輛車形成車隊進行估算。

資料來源：本研究整理。

2. 車輛管理成本(C_a)

$$C_a = A \times n \quad (\text{式 4.8})$$

其中，

A ：每一車輛的單位管理成本(元/日一車)

n ：系統所需總車輛數

此處的每日每車單位管理成本，是依「臺北市聯營公車營運成本檢討暨運價調整報告」中的「管理員工薪資成本」與「管理費用成本」予以加總，並將之乘以每日每車平均行駛距離（188.29 公里）而求得。

$$A = (1.4473 + 0.9593) \times 188.29 = 453.19 (\text{元/日一車})$$

3. 車輛擁有成本(C_h)

$$C_h = H \times n \quad (\text{式 4.9})$$

其中，

H ：每一車輛的單位擁有成本(元/日一車)

此處的每日每車單位擁有成本，是依「臺北市聯營公車營運成本檢討暨運價調整報告」中的「車輛折舊成本」、「各項設備折舊成本」、「稅捐費用成本」與「財務費用成本」予以加總，並將之乘以每日每車平均行駛距離（188.29 公里）求得。

$$H = (5.6679 + 0.3434 + 0.2227 + 0.9621) \times 188.29 = 1355 (\text{元/日一車})$$



4. 貯車場建造或租賃成本(C_b)

$$C_b = B \times n \quad (\text{式 4.10})$$

其中，

B ：貯車格位單位平均建造或租賃成本(元/日一格位)

此處的每日每車貯車場建造或租賃成本，是依「臺北市聯營公車營運成本檢討暨運價調整報告」中的「場站租金費用」進行估算，將前述費用（1.0834 元/車公里），乘以每日每車平均行駛距離（188.29 公里）求得。

$$B = 1.0834 \times 188.29 = 204 (\text{元/日一車})$$

由以上成本資料分析，可求得每日長期營業總成本可如下式所示。

$$TC = \sum_{t=1}^4 \sum_{r=1}^R E_{tr} \times P_t \times F_{tr} + 453.19 \times n + 1355 \times n + 204 \times n \quad (\text{式 4.11})$$

(二)每日旅客總旅行時間成本(TC_u)

1.每日旅客步行時間總成本(C_k)

由計算式 4.1 $C_k = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{S_r + W}{2V_k} \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_k$ 進行估算。

其中，我們根據「臺灣地區旅運時間價值調查報告」的調查顯示，在民國 85 年時，旅客步行的時間價值約為 126 元/小時。我們合理假設旅客步行時間價值與當年度國民所得成正比，是故依行政院主計處出版的統計資料「平均每人所得與消費」(表 4.9)，合理推估民國 93 年時，旅客步行時間價值為 158.76 元/小時。

因此，此計算式中的各主要參數可以設定如下：

(1)旅客步行時間價值 $\alpha_k = 158.76$ 元/小時

(2)旅客平均步行速率 $V_k = 4$ 公里/小時

(3)服務帶寬度 $W = 0.8$ 公里

(4)路線 r 每日總旅客量 $Q_r = \sum_{t=1}^4 Q_{tr} \times P_t$ 進行估算。 (式 4.12)

由以上參數及 IMTS 旅客需求運量資料可得到旅客步行的時間成本，如下式所示。

$$C_k = 19.845 \times \sum_{r=1}^R S_r \times Q_r + 19.845 \times 0.8 \times \sum_{r=1}^R Q_r \quad (\text{式 4.13})$$

表 4.9 平均每人所得與消費表

年 Year	平均每人國民生產毛額 Per Capita GNP			平均每人國民所得 Per Capita National Income			平均每人民間消費支出 Per Capita Private Consumption		
	金額 (元)	年增率 (%)	折合美金 (美元)	金額 (元)	年增率 (%)	折合美金 (美元)	金額 (元)	年增率 (%)	折合美金 (美元)
80年	240,909	10.46	8,982	219,637	10.18	8,189	128,842	10.51	4,804
81年	264,338	9.73	10,506	241,307	9.87	9,591	144,661	12.28	5,750
82年	289,337	9.46	10,964	264,196	9.49	10,011	160,577	11.00	6,085
83年	312,386	7.97	11,806	286,191	8.33	10,816	179,394	11.72	6,780
84年	336,042	7.57	12,686	308,086	7.65	11,630	194,426	8.38	7,340
85年	364,115	8.35	13,260	333,948	8.39	12,161	212,267	9.18	7,730
86年	389,059	6.85	13,556	356,624	6.79	12,426	228,121	7.47	7,948
87年	411,802	5.85	12,307	376,910	5.69	11,264	244,067	6.99	7,294
88年	425,235	3.26	13,177	387,708	2.86	12,015	255,937	4.86	7,931
89年	440,769	3.65	14,114	399,154	2.95	12,781	269,168	5.17	8,619
90年	432,701	-1.83	12,798	387,250	-2.98	11,454	270,050	0.33	7,987
91年	445,512	2.96	12,884	398,248	2.84	11,517	273,337	1.22	7,904
92年	452,259	1.51	13,139	403,056	1.21	11,710	273,672	0.12	7,951
93年	471,132	4.17	14,093	420,216	4.26	12,570	287,132	4.92	8,589

資料來源：「行政院主計處，93年國民所得年報」

2. 旅客等車時間成本(C_w)

由計算式 4.2 $C_w = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \zeta \times \frac{1}{F_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_w$ 進行估算。

其中，我們根據「臺灣地區旅運時間價值調查報告」的調查顯示，在民國 85 年時，旅客等車的時間價值約為 126 元/小時。同上述之推估方式，可推算出民國 93 年時，旅客等車時間價值為 158.76 元/小時。

因此，此計算式中的各主要參數可以設定如下：

(1) 旅客等車時間價值 $\alpha_w = 158.76$ 元/小時

(2) 旅客等車時間與班距的比值 $\zeta = \frac{1}{2}$

(3) 假設尖峰運量佔全日運量的 $\frac{2}{3}$ ，並平均分佈於晨峰及昏峰，各時段的運量推

估如表 4.6 所示。

由以上參數值代入旅客等車時間成本的公式，可計算出等車時間成本，如下式所示。

$$C_w = 79.38 \times \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{1}{F_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 4.14})$$

3. 旅客車內時間成本(C_v)

由計算式 4.3 $C_v = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{L_{ar}}{V_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_v$ 進行估算。

其中，我們根據「臺灣地區旅運時間價值調查報告」的調查顯示，在民國 85 年時，旅客車內的時間價值約為 84.11 元/小時。同上述之推估方式，可推算出民國 93 年時，旅客車內時間價值為 105.97 元/小時。

因此，此計算式中的各主要參數可以設定如下：

(1) 旅客車內時間價值 $\alpha_v = 105.97$ 元/小時

(2) 旅客平均旅次長度 $L_{ar} = 8$ 公里

(3) IMTS 車輛平均行駛速率 V_{tr} 如表 4.1 所示。

由以上參數值代入旅客車內時間成本的公式，可計算出車內時間成本，如下式所示。

$$C_v = 847.76 \times \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{1}{V_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 4.15})$$

4. 旅客靠站上下車損失成本(C_l)

由計算式 4.4 $C_l = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{L_{ar}}{S_r} \times Z_r \times Q_{tr} \times P_t \times \alpha_v$ 進行估算。

各主要參數可以設定如下：

(1) 旅客車內時間價值 $\alpha_v = 105.97$ 元/小時

(2) 旅客平均旅次長度 $L_{ar} = 8$ 公里

(3) 各站牌平均損失時間 $Z_r = 0.0014$ 小時/站

由以上參數值代入旅客靠站上下車損失成本的公式，可計算出旅客靠站上下

車損失成本，如下式所示。

$$C_l = 1.1869 \times \sum_{r=1}^R \frac{1}{S_r} \times Q_r \quad (\text{式 4.16})$$

由以上成本資料分析，可求得每日旅客旅行時間總成本可如下式所示。

$$TC_u = \left(19.845 \times \sum_{r=1}^R S_r \times Q_r + 19.845 \times 0.8 \times \sum_{r=1}^R Q_r \right) + 79.38 \times \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{1}{F_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t \quad (\text{式 4.17})$$

$$+ 847.76 \times \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \frac{1}{V_{tr}} \times Q_{tr} \times P_t + 1.1869 \times \sum_{r=1}^R \frac{1}{S_r} \times Q_r$$

(三)限制式參數

1.限制式修正

由以上資料分析可知，本研究實例應用之 IMTS 需求量乃為捷運南港線 93 年 12 月的平均日運量，我們針對第三章 IMTS 營運計劃模式中的尖峰路段旅客運量需求條件、以及設計旅客運量的限制條件稍作修正，結果如下所示。

(1)尖峰路段旅客運量需求條件 (式 3.15)

$$\sum_{z \in Z_{tr}} d_{trz} \leq C \times F_{tr}$$

(2) 設計旅客運量的限制條件 (式 3.16)

$$\sum_{r \in R_z} d_{trz} = D_{tz}$$

以上兩式可合併為旅客運量需求限制條件，數學式如下。

$$\sum_{r \in R_z} C \times F_{tr} \geq D_{tz} \quad (\text{式 4.18})$$

其中，

d_{trz} ：t 時段通過 r 路線及 z 區間的旅客運量(人/小時)

C ：車輛容量(位/車)

D_{tz} ：t 時段、z 區間的設計旅客運量(人/小時)

R_z ：z 區間相關路線的組合

承上所述，我們設定每輛車的容量為 50 人，而在主線行駛的路線 M1、M2 則因為每列車共有 6 輛 IMTS 車列隊行駛，故其 C 值設定為 300。此外，我們利用「大眾捷運系統的最大乘載區間運量」與「尖峰小時運量」之近似比例約為

0.4，加以推估 IMTS 系統之最大乘載區間旅客數，作為訂定「設計旅客運量」時的參考依據。以下就針對區間 A 在訂定設計旅客運量時的推估方式作一說明。我們知道與區間 A 相關的路線分別為 A1、A2，且透過表 4.6 可知道路線 A1 在時段 1 時的運量為 2,634，路線 A2 在時段 1 時的運量為 2,141，且知時段 1 的營運時間為 3 小時，因此可分別求出路線 A1、A2 的尖峰小時運量分別為 878 與 714，將前述旅次量乘上比例 0.4，即可推得路線 A1、A2 的設計旅客運量分別為 351、285。其餘各時段各路線的設計旅客運量可同理類推，估算的結果如下表 4.10 所示。

表 4.10 各時段各路線設計旅客運量表

路線代號	各時段運量				各時段設計旅客運量 (比例 0.4)			
	時段 1	時段 2	時段 3	時段 4	時段 1	時段 2	時段 3	時段 4
	$P_1 = 3$	$P_2 = 7$	$P_3 = 3$	$P_4 = 5$	$P_1 = 3$	$P_2 = 7$	$P_3 = 3$	$P_4 = 5$
M1	9,830	4,915	9,830	4,915	1,311	281	1,311	393
A1	2,634	1,317	2,634	1,317	351	75	351	105
B1	2,799	1,399	2,799	1,399	373	80	373	112
C1	735	368	735	368	98	21	98	29
D1	1,044	522	1,044	522	139	30	139	42
E1	1,143	571	1,143	571	152	33	152	46
F1	1,184	592	1,184	592	158	34	158	47
G1	693	346	693	346	92	20	92	28
H1	2,393	1,196	2,393	1,196	319	68	319	96
I1	2,547	1,274	2,547	1,274	340	73	340	102
M2	10,645	5,323	10,645	5,323	1,419	304	1,419	426
A2	2,141	1,070	2,141	1,070	285	61	285	86
B2	3,041	1,521	3,041	1,521	406	87	406	122
C2	932	466	932	466	124	27	124	37
D2	1,142	571	1,142	571	152	33	152	46
E2	1,115	558	1,115	558	149	32	149	45
F2	1,116	558	1,116	558	149	32	149	45
G2	643	322	643	322	86	18	86	26
H2	2,441	1,220	2,441	1,220	325	70	325	98
I2	2,758	1,379	2,758	1,379	368	79	368	110

2.限制式相關參數

茲將限制式相關參數的設定說明如下。

(1)政策性班次 $F_{tz}=1$ (班/小時)

(2)為避免旅行時間成本過份低估，應訂定合理的班次上限，我們假設繞徑路線尖峰班次的上限為 12 (班/小時)，離峰的班次上限為 4 (班/小時)；主線尖峰班次的上限為 20 (班/小時)，離峰的班次上限為 12 (班/小時)。

(3)設旅客最大容忍步行距離為 375 公尺，營運者允許的最小設計站距為 375 公尺。

(4)旅客等車時間容忍度會因時段、路線不同而有所差異，假設各時段、各路線的旅客等車時間容忍因子如表 4.11 所示。

表 4.11 IMTS 旅客等車時間容忍因子

路線代號	時段 1	時段 2	時段 3	時段 4
M1、M2	0.10	0.20	0.10	0.20
A1、A2	0.15	0.25	0.15	0.25
B1、B2	0.20	0.30	0.20	0.30
C1、C2	0.25	0.30	0.25	0.30
D1、D2	0.15	0.25	0.15	0.25
E1、E2	0.25	0.30	0.25	0.30
F1、F2	0.15	0.25	0.15	0.25
G1、G2	0.30	0.35	0.30	0.35
H1、H2	0.20	0.30	0.20	0.30
I1、I2	0.30	0.35	0.30	0.35

4.2 演算流程與結果分析

4.2.1 確定環境下多目標規劃問題求解架構

根據 2.3.5 及 2.3.6 小節所述，決策者在缺乏資訊下，實難以決定其目標期望水準，是故本研究將分別對各目標函數求其極佳解與極差解，以作為目標值的上下界。以下說明其基本概念與求解步驟。

一、 ε -限制法的演算法則

(一) 第一步驟：建立償還表 (Pay-off table)

1. 分別解出 P 個目標的最佳值 (Optimal) 稱第 k 個目標函數的解為

$$x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)。$$

2. 找出每個目標函數的最佳值後，將其解分別代入其他目標函數而得 $f_1(x^k)$ ， $f_2(x^k)$ ， \dots ， $f_p(x^k)$ ，其中 $k = 1, 2, \dots, p$ 。

3. 排列 x^1 ， x^2 ， \dots ， x^p 所相關於每個目標函數的值，如表 4.12。

表 4.12 ε -限制法償還矩陣表

	$f_1(x^k)$	$f_2(x^k)$	$f_p(x^k)$
x^1	$f_1(x^1)$	$f_2(x^1)$	$f_p(x^1)$
x^2	$f_1(x^2)$	$f_2(x^2)$	$f_p(x^2)$
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
x^p	$f_1(x^p)$	$f_2(x^p)$	$f_p(x^p)$

4. 在第 k 行中選出最大值與最小值，分別以 M_k 及 n_k 表示，其中 $k = 1, 2, \dots, p$ 。

(二) 第二步驟：將多目標問題轉化成限制問題

$$\text{Min } F(x_1, x_2, \dots, x_n) = F[f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, f_p(x_1, x_2, \dots, x_n)] \quad (\text{式 4.19})$$

$$\text{s.t. } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in T$$

轉成限制問題

$$\text{Min } f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (\text{式 4.20a})$$

$$\text{s.t. } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in T$$

$$f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq U_k, \text{ 其中 } k = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, p \quad (\text{式 4.20b})$$

(三) 第三步驟：由第一步驟所求出的 M_k 及 n_k ，表示第 k 個目標函數的非劣解範圍之上、下限，即 $n_k \leq f_k \leq M_k$ ，當第 k 個目標函數為限制式時， U_k 就在 n_k 和 M_k 之間，改變不同的 U_k 值，就可以得到一些非劣解點。

(四) 第四步驟：對每個不同的 U_k 值解第二步驟所建立的限制問題，其中，

$$U_k = n_k + \frac{t}{r-1} \times (M_k - n_k) \quad (\text{式 4.21})$$

$$k = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, p$$

$$t = 0, 1, 2, \dots, r-1$$

整個演算流程可參見圖 4.2 (以兩個目標為例)



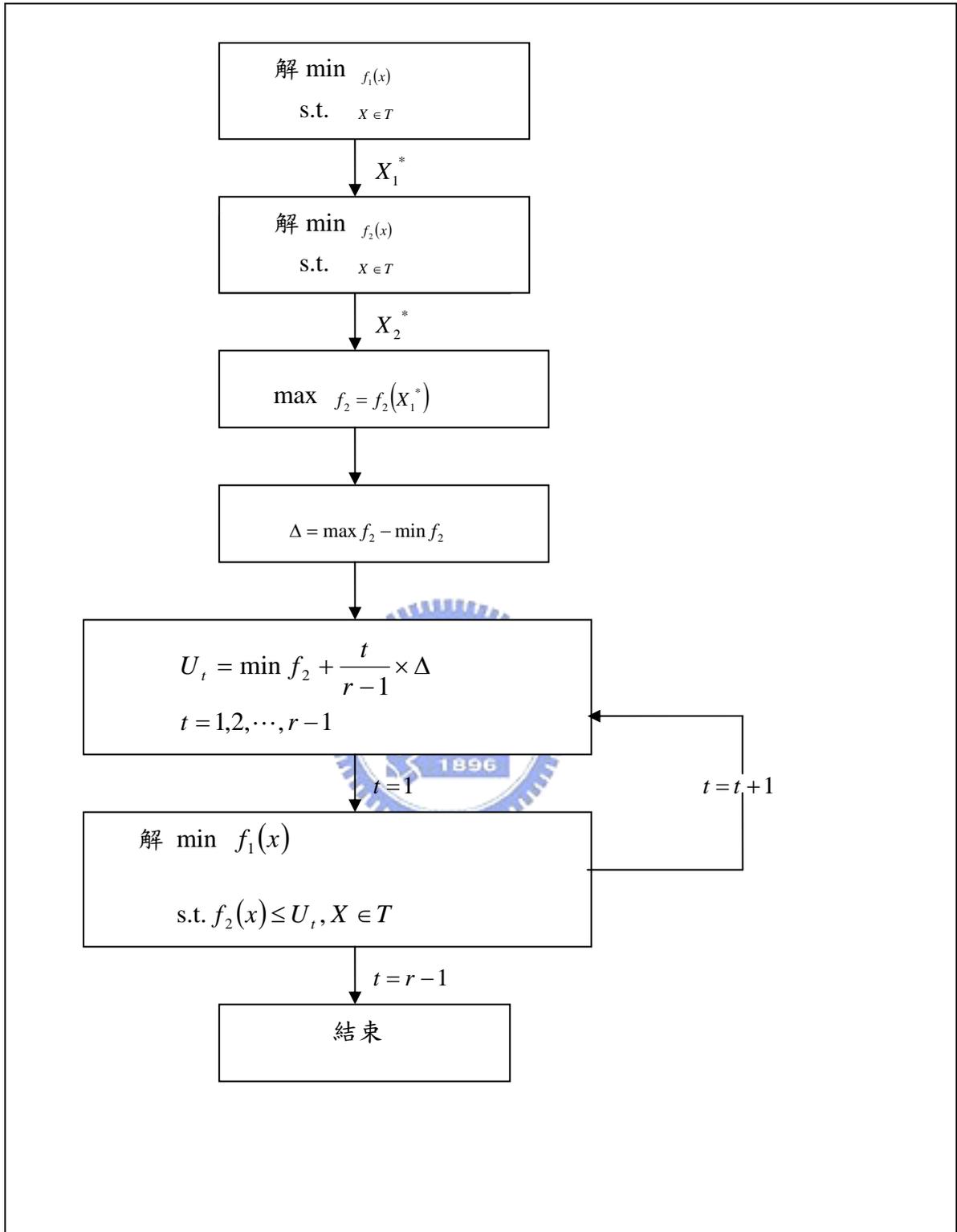


圖 4.2 ε -限制法運算流程圖

二、模糊規劃求解多目標問題的基本概念

若各目標達到目標的程度以隸屬函數 $\mu_k(x)$ 表示，則當採取保守的規避風險策略（以 min-operator 運算）時，模糊決策集合 D 的隸屬函數可表為 μ_d ，則：

$$\mu_d(x) = \min_k \mu_k(x) \quad (\text{式 4.22})$$

原問題轉變為找尋最大的 $\mu_d(x)$ ，則模糊規劃問題可轉為一般的數學規劃問題，所對應的 x_0 即為妥協滿意解，數學式如下所示。

$$\mu_d(x_0) = \max_{x \geq 0} \min_k \mu_k(x) \quad (\text{式 4.23})$$

三、模糊規劃求解步驟

本研究的 IMTS 營運計劃模式屬非線性多目標規劃模式，目標函數為成本最小化，可表為以下數學式。

$$\text{目標式 } \min Z_k = C_k x \quad k = 1, 2 \quad (\text{式 4.24a})$$

$$\text{限制式 } g_i(x, a_i) \otimes b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{式 4.24b})$$

其中，

” \otimes ”可表示 $<、\leq、=、\geq、>$ 等運算符號

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，是決策變數向量

$C_k = (C_{k_1}, C_{k_2}, \dots, C_{k_n})$ ：是目標函數 Z_k 的參數

$a_i = (a_{i1}, \dots, a_{in})$ ，為限制式 g_i 的參數

$b_i = (b_1, \dots, b_m)$ ，為限制式資源項值

以模糊規劃求解（式 4.24）的多目標規劃問題，可分為兩大步驟，步驟一係指定目標 K 的目標期望水準 L_k （下界）及可接受水準 U_k （上界），以構建模糊規劃模式；步驟二則將模糊規劃模式轉換為一般規劃模式（a crisp model）並加以求解。以下說明詳細的求解步驟。

(一) 定義各個目標的隸屬函數

1. 分別求解單一目標問題，求得各個目標的極佳解

$$x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$$

2. 將上述解代入其他目標函數而得

$$Z_p(x^k), \quad p = 1, 2, \dots, k$$

3. 令 $U_k = \max Z_k(x^m), \quad m = 1, 2, \dots, k$

$$L_k = \min Z_k(x^m)$$

4. 假設目標函數的隸屬函數為線性，則目標函數的隸屬函數可定義如下：

$$\mu_k = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_k \leq L_k \\ 1 - \frac{Z_k - L_k}{U_k - L_k} & \text{if } L_k \leq Z_k \leq U_k \\ 0 & \text{if } Z_k > U_k \end{cases}$$

其中，

μ_k 可視為目標 K 達成理想解的程度

$\mu_k = 1$ 時，表目標 K 完全達到理想解

$\mu_k = 0$ 時，表目標 K 完全未達成



(二) 以模糊規劃法求解時，根據模糊集合間運算法的不同，可構建不同的數學規劃模式，若採用 min-operator 運算法則，數學式 4.24 可改寫如下：

$$\text{目標式 } \max \lambda \quad (\text{式 4.25a})$$

$$\text{限制式 } \mu_k \geq \lambda, \quad k = 1, 2 \quad (\text{式 4.25b})$$

$$g_i(x, a_i) \otimes b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{式 4.25c})$$

其中，我們以 $\mu_k = \frac{U_k - Z_k}{U_k - L_k}$ 代入。

上式可以一般數學規劃方法加以求解，表示每個目標達成理想解的程度 (μ_k) 都必須滿足滿意水準 (λ)，而當滿意水準達到最大時，相對應的解即為妥協滿意解(Compromise Satisfactory Solution)。

4.2.2 起始車輛營運演算分析

由 4.1 的案例說明，所得到的各項成本及參數資料，即可形成本研究 IMTS 營運計劃模式的目標函數及其限制式，完整的模式內容列於附錄 A 以供參考。為了解傳統多目標規劃法的 ε - 限制法以及模糊多目標規劃法之差異，本研究分別以 4.2.1 小節所述的 ε - 限制法與 2.3.6、4.2.1 小節所採用的模糊規劃法求解架構，求解 IMTS 營運計劃模式，我們利用 LINGO 9.0 套裝軟體進行此非線性規劃模式求解。本研究的營運計劃模式輸出結果包括各時段各路線的服務班次與所需車輛數、各路線站距、每日長期營運總成本及旅客旅行時間總成本，在此列出各時段平均服務班次、總車輛數、平均站距及目標值。其模式輸出結果如表 4.13、表 4.14、表 4.15 及表 4.16 所示，茲說明各表的內容如下。

一、分別求解單一目標問題，再將所求得的解代入另一目標函數，並建立「償還矩陣表」如表 4.13 所示。

表 4.13 ε - 限制法償還矩陣表 (IMTS)

	目標一 $Z_1(X)$	目標二 $Z_2(X)$
X^1	$Z_1(X^1) = 1,204,303.00$	$Z_2(X^1) = 11,938,567.68$
X^2	$Z_1(X^2) = 2,564,962.87$	$Z_2(X^2) = 9,847,212.00$

資料來源：本研究整理。

二、利用 ε - 限制法求解，以目標一：「每日長期營運總成本」為目標函數，目標二：「每日旅客旅行時間成本」為限制式，目標值容許範圍切割成六等分，求解結果如表 4.14 所示。

三、利用 ε - 限制法求解，以目標二：「每日旅客旅行時間成本」為目標函數，目標一：「每日長期營運總成本」為限制式，目標值容許範圍亦切割成六等分，求解結果則如表 4.15 所示。

四、將 ε - 限制法求解結果 (表 4.14 及表 4.15) 的目標值以圖形表示，如圖 4.3。

五、模糊多目標規劃法的求解結果，整理如表 4.16 所示。

表 4.14 ϵ - 限制法之非劣解集合表 (以目標二為限制式)

	目標值			決策變數		
	每日 長期營運 總成本	旅客 旅行時間 總成本	旅客旅行 時間平均 成本*	平均 服務班次	車 輛 數	IMTS 繞徑路線 平均站距
單位	元/日	元/日	元/旅次	班/小時	輛	公尺
非劣解 1	1,740,717.00	9,958,115.04	65.12	時段 1： 9.24	157	375
				時段 2： 4.08		
				時段 3： 9.24		
				時段 4： 4.28		
非劣解 2	1,421,909.00	10,306,674.31	67.39	時段 1： 6.82	125	375
				時段 2： 3.54		
				時段 3： 6.82		
				時段 4： 3.68		
非劣解 3	1,288,770.00	10,655,233.60	69.67	時段 1： 5.82	111	375
				時段 2： 3.05		
				時段 3： 5.82		
				時段 4： 3.20		
非劣解 4	1,240,208.00	10,906,351.86	71.32	時段 1： 5.74	106	407
				時段 2： 2.95		
				時段 3： 5.74		
				時段 4： 2.98		
非劣解 5	1,209,913.00	11,146,383.27	72.89	時段 1： 5.66	103	599
				時段 2： 2.86		
				時段 3： 5.66		
				時段 4： 2.86		

註 1：* 表旅客旅行時間平均成本係由旅客旅行時間總成本除以每日總運量而得。

註 2：目標值容許範圍切割成六等分。

資料來源：本研究整理。

表 4.15 ϵ - 限制法之非劣解集合表 (以目標一為限制式)

	目標值			決策變數		
	每日 長期營運 總成本	旅客 旅行時間 總成本	旅客旅行 時間平均 成本*	平均 服務班次	車 輛 數	IMTS 繞徑路線 平均站距
單位	元/日	元/日	元/旅次	班/小時	輛	公尺
非劣解 6	1,431,079.65	10,529,700.00	68.85	時段 1: 6.90	126	375
				時段 2: 3.55		
				時段 3: 6.90		
				時段 4: 3.72		
非劣解 7	1,657,856.24	10,264,530.00	67.12	時段 1: 8.67	149	375
				時段 2: 3.95		
				時段 3: 8.67		
				時段 4: 4.18		
非劣解 8	1,884,633.00	10,098,410.00	66.03	時段 1: 9.96	171	375
				時段 2: 4.23		
				時段 3: 9.96		
				時段 4: 4.40		
非劣解 9	2,111,409.43	9,985,304.00	65.29	時段 1: 10.98	193	375
				時段 2: 4.41		
				時段 3: 10.98		
				時段 4: 4.56		
非劣解 10	2,338,186.43	9,904,457.00	64.76	時段 1: 11.99	215	375
				時段 2: 4.55		
				時段 3: 11.99		
				時段 4: 4.72		

註 1: * 表旅客旅行時間平均成本係由旅客旅行時間總成本除以每日總運量而得。

註 2: 目標值容許範圍切割成六等分。

資料來源: 本研究整理。

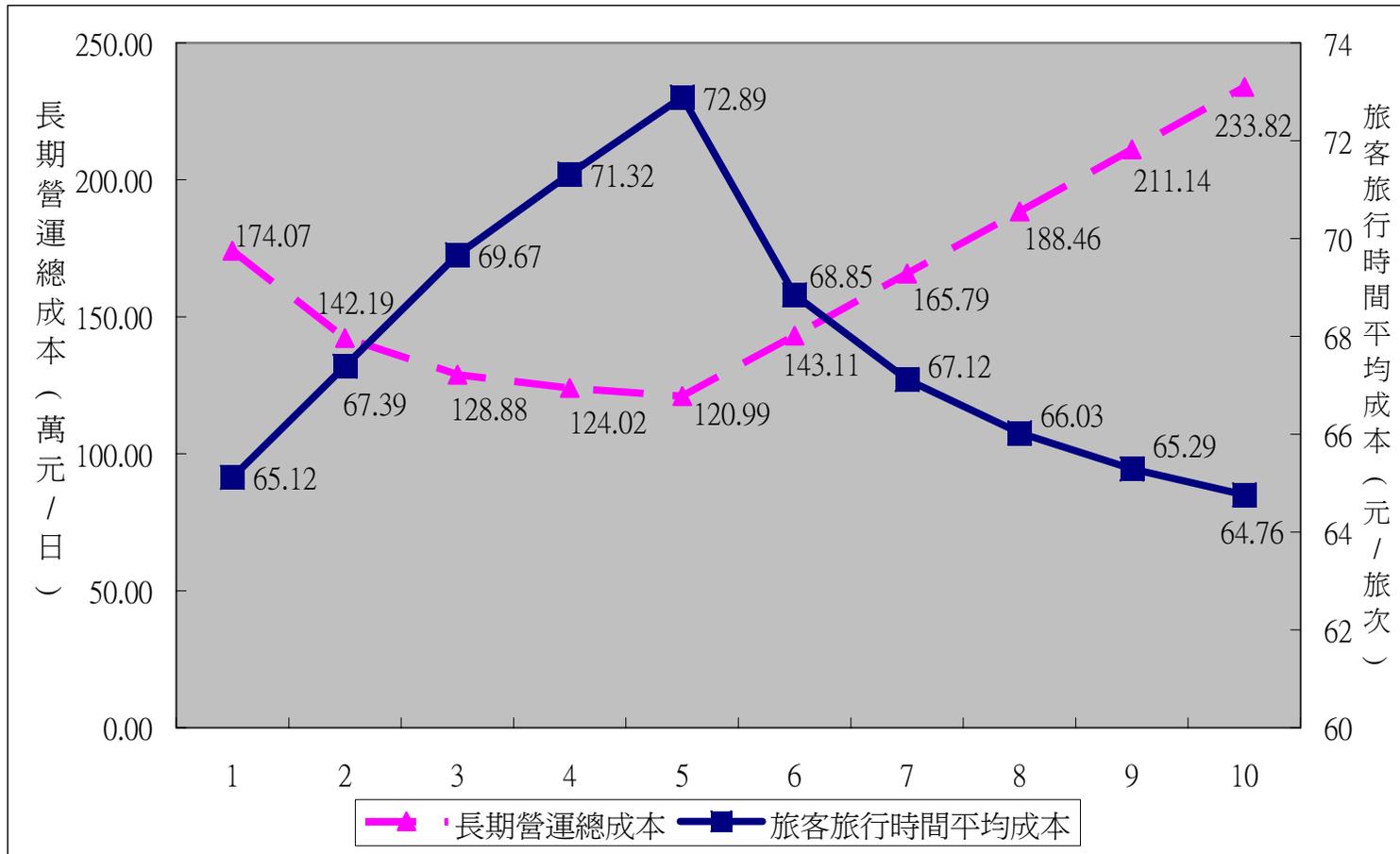


圖 4.3 ϵ -限制法求解結果的目標值圖

表 4.16 模糊多目標規劃法求解結果

項目		
目標達成滿意度	目標一	0.747
	目標二	0.747
每日長期營運總成本 (元/日)		1,547,911
旅客旅行時間總成本 (元/日)		10,375,340
旅客旅行時間平均成本* (元/旅次)		67.84
平均服務班次 (班/小時)	時段 1	7.86
	時段 2	3.71
	時段 3	7.86
	時段 4	4.04
總車輛數 (輛)		139
IMTS 繞徑路線平均站距 (公尺)		375

註：*表旅客旅行時間平均成本係由旅客旅行時間總成本除以每日總運量而得
資料來源：本研究整理。

本數學模式的變數共有 185 個，其中非線性的變數有 100 個；限制式共有 412 條，而非線性的限制式有 161 條，在利用 LINGO 9.0 套裝軟體來進行求解時約只要「2~3」秒即可求出最佳解。且由上述的模式輸出結果，我們可以發現，以 ϵ - 限制法求解時，產生的非劣解數目很多，視目標值容許範圍切割等分而定，由圖 4.3 可明顯看出「每日長期營運總成本」升高時，伴隨的是「旅客旅行時間平均成本」的降低，二者呈現彼此消長 (trade-off) 的現象。因此，端賴決策者對目標之偏好來選擇適當方案。而模糊規劃法則透過「目標達成滿意度」的概念化方式進行求解，可以明確地告訴決策者，採取規避風險的保守策略下可得到的最佳妥協滿意解與目標達成滿意度。

4.2.3 動態車輛派遣模組演算分析

本節將延續前一節的案例，探討監控中心可完全掌握所有車隊之動態資訊及旅客的即時旅次需求的情況下，如何針對即時產生之旅次需求去進行動態車輛派遣，以節省系統整體的成本。然而，由於主線每日的運量相當大，欲對其進行動態派遣策略恐耗費過多的營運成本，故我們將僅針對繞徑路線進行動態派車，探究動態派車的策略對系統整體成本的影響。

一、資料取得

(一)長期營運基本參數

1.繞徑路線長度、行駛速率及單位營運成本

我們參考表 4.1、表 4.8 求出各時段各路線的行駛速率、營運成本及路線長度，如表 4.17 所示。

表 4.17 繞徑路線長度、行駛速率及單位營運成本表

路線代號	路線長度 (公里)	車輛單位 營運成本	營運行駛平均速率 (公里/小時)			
			時段 1	時段 2	時段 3	時段 4
A1	10.850	397.44	24.66	30.19	24.66	30.19
B1	11.626	425.86	25.19	30.74	25.19	30.74
C1	12.764	467.55	23.55	30.04	23.55	30.04
D1	11.543	422.82	24.89	30.55	24.89	30.55
E1	13.179	482.75	23.97	30.16	23.97	30.16
F1	12.863	471.17	24.10	30.27	24.10	30.27
G1	13.652	500.07	22.42	29.12	22.42	29.12
H1	11.491	420.92	23.82	29.60	23.82	29.60
I1	12.413	454.69	23.31	29.67	23.31	29.67
A2	10.850	397.44	24.66	30.19	24.66	30.19
B2	11.626	425.86	25.19	30.74	25.19	30.74
C2	12.764	467.55	23.55	30.04	23.55	30.04
D2	11.543	422.82	24.89	30.55	24.89	30.55
E2	13.179	482.75	23.97	30.16	23.97	30.16
F2	12.863	471.17	24.10	30.27	24.10	30.27
G2	13.652	500.07	22.42	29.12	22.42	29.12
H2	11.491	420.92	23.82	29.60	23.82	29.60
I2	12.413	454.69	23.31	29.67	23.31	29.67

2. IMTS 車輛站牌停靠上下車損失時間設定為每人 5 秒/站。($Z_r = 0.0014$ 小時)
3. IMTS 系統營運時間 $P_1=3$; $P_2=7$; $P_3=3$; $P_4=5$, 每日共營運 18 小時。
4. 平均旅次長度 L_{cr} 設定為 8 公里。
5. IMTS 服務寬帶 W 設定為 0.8 公里。
6. 旅客平均步行速率 V_k 設定為 4 公里/小時。
7. IMTS 長期營運發車班次、營運車輛數及平均站距

表 4.18 模糊多目標規劃法求解結果表

路線	時段 1 班/小 時	時段 1 車輛	時段 2 班/小 時	時段 2 車輛	時段 3 班/小 時	時段 3 車輛	時段 4 班/小 時	時段 4 車輛
A1	10.22	4.91	4.00	1.60	10.22	4.91	4.00	1.60
B1	10.21	5.16	4.00	1.69	10.21	5.16	4.00	1.69
C1	4.94	2.92	2.81	1.33	4.94	2.92	3.33	1.57
D1	6.25	3.17	3.52	1.48	6.25	3.17	4.00	1.68
E1	6.08	3.64	3.45	1.68	6.08	3.64	4.00	1.95
F1	6.27	3.65	3.55	1.68	6.27	3.65	4.00	1.89
G1	4.61	3.04	2.64	1.37	4.61	3.04	3.12	1.62
H1	9.42	4.95	4.00	1.72	9.42	4.95	4.00	1.72
I1	9.32	5.39	4.00	1.86	9.32	5.39	4.00	1.86
A2	9.22	4.43	4.00	1.60	9.22	4.43	4.00	1.60
B2	10.64	5.37	4.00	1.69	10.64	5.37	4.00	1.69
C2	5.57	3.28	3.16	1.50	5.57	3.28	3.74	1.77
D2	6.53	3.31	3.68	1.55	6.53	3.31	4.00	1.68
E2	6.01	3.60	3.41	1.66	6.01	3.60	4.00	1.95
F2	6.09	3.54	3.45	1.63	6.09	3.54	4.00	1.89
G2	4.44	2.93	2.54	1.32	4.44	2.93	3.01	1.56
H2	9.51	5.00	4.00	1.72	9.51	5.00	4.00	1.72
I2	9.69	5.61	4.00	1.86	9.69	5.61	4.00	1.86
最大營運車輛 N		139	M1 時段 1 所需 營運車輛	21	M2 時段 1 所需 營運車輛	21		

4.2.2 小節利用模糊多目標規劃法進行求解,在滿意水準 74.7%下求得各路線的發車班次、所需營運車輛及平均站距(參見表 4.16),可整理如表 4.18 所示。其中將系統營運最大車輛數 139 輛,減去行駛主線 M_1 (21 輛)、 M_2 (21 輛)後,

繞徑路線可使用的車輛約為 97 輛。而平均站距求算出來約為 375 公尺。

8. 乘客乘車票價設定為每人 15 元。($b = 15$)

9. 乘客步行時間價值 α_k 為 158.76 元/小時、等候時間價值 α_w 為 158.76 元/小時及車內時間價值 α_v 為 105.97 元/小時。

(二) 即時旅次產生

我們參考 4.1.2 小節及表 4.6 整理出各路線各時段的繞徑路線需求運量，可如表 4.19 所示。

表 4.19 各時段各路線繞徑需求運量表

路線代號	總運量 (人/日)	各時段各路線繞徑需求運量(人/小時)			
		時段 1	時段 2	時段 3	時段 4
		$P_1 = 3$	$P_2 = 7$	$P_3 = 3$	$P_4 = 5$
A1	7,801	867	186	867	260
B1	8,268	919	197	919	276
C1	2,034	226	48	226	68
D1	2,965	329	71	329	99
E1	3,263	363	78	363	109
F1	3,379	375	80	375	113
G1	1,896	211	45	211	63
H1	6,990	777	166	777	233
I1	7,445	827	177	827	248
A2	6,216	691	148	691	207
B2	8,919	991	212	991	297
C2	2,608	290	62	290	87
D2	3,245	361	77	361	108
E2	3,159	351	75	351	105
F2	3,188	354	76	354	106
G2	1,782	198	42	198	59
H2	7,151	795	170	795	238
I2	8,125	903	193	903	271
總和	88,432				

由於從臺北捷運公司取得的各站旅客運量資料，並無即時動態的詳細資料，是故我們將利用 Microsoft Excel 試算軟體當中的亂數產生器，假設每條路線每小時到達的旅客服從卜瓦松 (Poisson) 分配，每 30 秒產生 1 筆到達旅客量的詳細資料，每 1 小時共可產生 120 筆資料。

Excel 軟體的操作說明如下：

Step1：我們首先將路徑「工具→增益集」底下的「VBA 分析工具箱」與「分析工具箱」勾選起來，見圖 4.4。

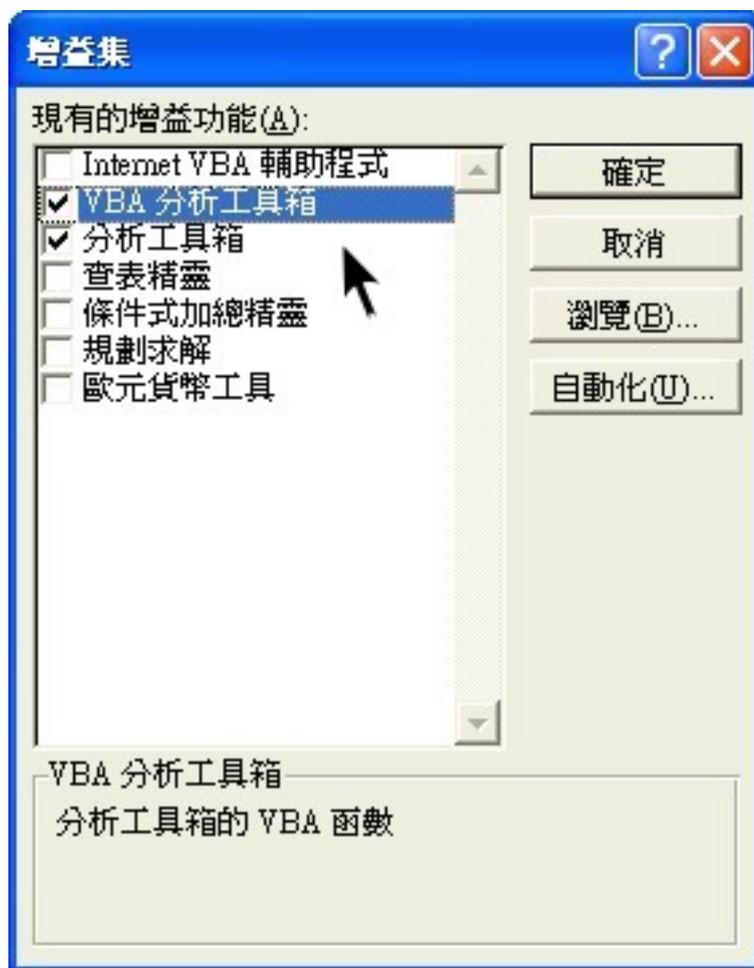


圖 4.4 Excel 增益集勾選視窗圖

Step2：接著進到路徑「工具→資料分析→亂數產生器」底下，可見到如圖 4.5 的相關參數輸入視窗。首先先選取「波氏分配」，接著因為我們需要的「變數個數」只有旅客數量，故輸入「1」；我們需要每 30 秒產生 1 筆資料，1 小時共有 120

筆資料，故在「亂數個數」欄位輸入「120」；接著我們以路線 A1 為例進行說明，因為 A1 的繞徑旅客需求量是 867 人/小時，我們將之換算成平均每 30 秒約有 7.223 人到達，是故我們在 λ （平均到達率）這個欄位填入 7.223；「亂數基值」此欄位可以選擇欲從哪一群亂數群中產生亂數；「輸出選項」：我們設定輸出範圍為同一工作表中的 C2~C121 等儲存格中。同理類推，其他路線的動態即時旅次，我們亦可以相同方法產生之。

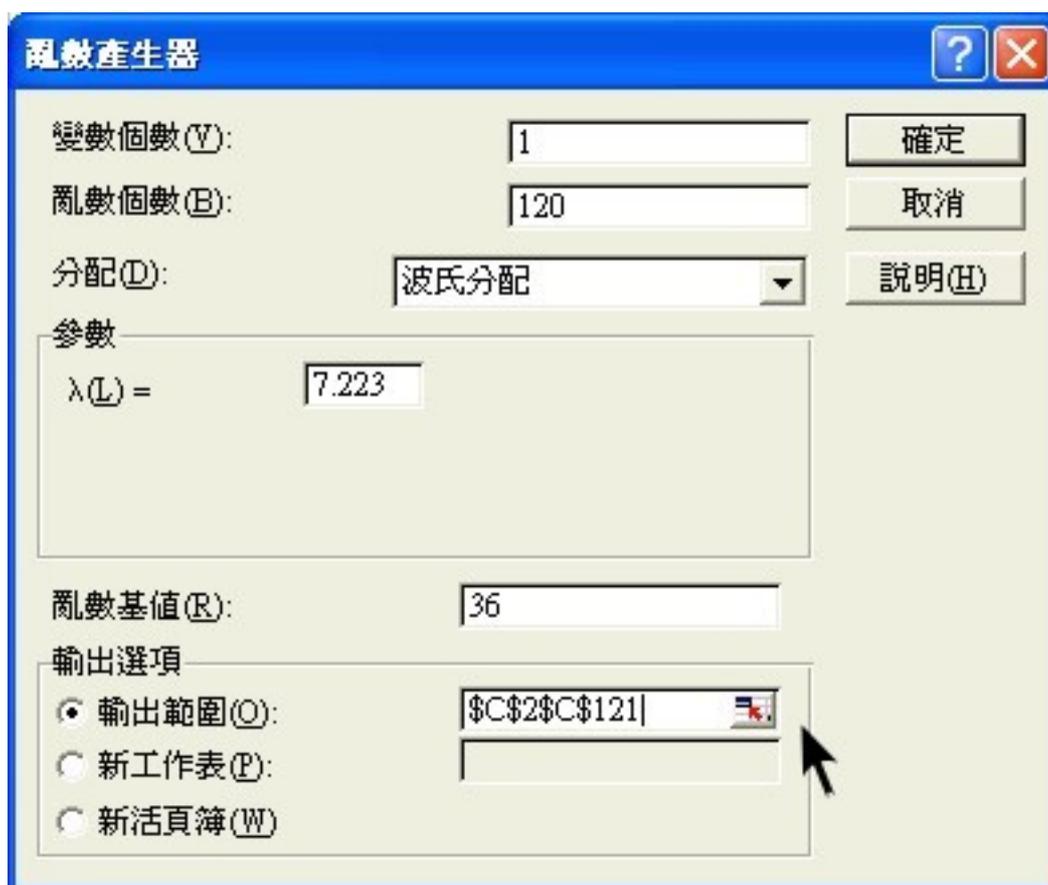


圖 4.5 Excel 亂數產生器相關參數輸入視窗圖

二、動態車輛派遣模式應用

利用上述方法，我們取得各路線各時段的動態即時旅次資料，進一步即可利用第三章 3.4.2 小節所構建的動態即時派遣營運模式，來計算各時階的(1)車輛成本增量 C_{oa} （式 3.22）、(2)尚未服務旅客之總等待時間 $T_{w_{rj}}$ （式 3.23）。以下特針對派遣策略評估指標的計算過程提出說明。

(一) 成本增量門檻值

我們定義成本增量門檻值，其為收取票價及乘客等候時間成本的總和，公式如下所示。

$$\eta = b \times u_m + \alpha_w \times \int_{t_{m-1}}^{t_m} q(t) dt \quad (\text{式 4.26})$$

其中，

η ：成本增量門檻值(決定行駛路線 r_{ij} 是否派出車輛)

b ：票價。設定為 15 元/人。

u_m ：時間 t_m 時所服務的旅客數。

α_w ：等候時間價值 α_w 為 158.76 元/小時。

$q(t)$ ：時間 t 的排隊長度。

當成本增量門檻值 η 大於或等於車輛成本增量 C_{oa} (以 A1 路線而言， $\eta \geq 397.44$) 時，可能是旅客數夠多，收取的票價足夠負荷派出新車輛；或者是旅客的排隊長度過長，等候成本過高。上述兩種情形都會迫使我們派出新車輛進行服務，以避免整個系統的營運成本過高。

(二) 乘客總旅行時間評估指標

在計算動態即時派遣營運模式下，每一時階的乘客總旅行時間時，我們考慮旅客總步行時間、旅客總車內時間、旅客靠站上下車總損失時間及尚未服務旅客之總等待時間，數學式如下。

$$TT_{u_{r_{ij}}} = \left(\frac{S_{r_{ij}} + W}{2V_{k_{ij}}} \times Q_{r_{ij}} + \frac{Lar_{ij}}{V_{r_{ij}}} \times Q_{r_{ij}} + \frac{Lar_{ij}}{S_{r_{ij}}} \times Z_{r_{ij}} \times Q_{r_{ij}} + \sum_{m=0}^t (t - t_m) \times Q_{m_{r_{ij}}} \right) \quad (\text{式 4.27})$$

其中，

$S_{r_{ij}}$ ：各路線平均站距。設定為 0.375 公里。

$V_{k_{ij}}$ ：旅客平均步行速率。設定為 4 公里/小時。

Lar_{ij} ：平均旅次長度。設定為 8 公里。

W ：IMTS 服務寬帶。設定為 0.8 公里。

$Q_{m_{ij}}$ ：各時階各路線的旅客量。

接著，我們定義乘客總旅行時間評估指標 θ (式 4.28)，當「特定路線的總旅行時間」佔「所有路線的總旅行時間」比例達到 $\frac{1}{18}$ 時 (式 4.29)，代表該路線對此路網的整體績效具有影響力，我們便可對此路線派出車輛進行服務。在此我們假設系統車輛足以服務所有需求路線。

$$\theta = \frac{TT_{u_{r_{ij}}}}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D TT_{u_{r_{ij}}}} \quad (\text{式 4.28})$$

$$\theta \geq \frac{1}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D r_{ij}} \quad (\text{式 4.29})$$

(三) 乘客需求評估指標

我們根據收集到每一時階、各行駛路線，動態的旅客需求量，定義乘客需求評估指標 ϕ (式 4.30)，當「特定路線的總旅客需求量」佔「所有路線的總旅客需求量」比例達到 $\frac{1}{18}$ 時 (式 4.31)，代表我們可對此路線派出車輛進行服務。

$$\phi = \frac{\sum_{t=m}^t Q_{m_{r_{ij}}} \times r_{ij}}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D \sum_{t=m}^t Q_{m_{r_{ij}}} \times r_{ij}} \quad (\text{式 4.30})$$

$$\phi \geq \frac{1}{\sum_{i=S_1}^{S_{11}} \sum_{j=1}^D r_{ij}} \quad (\text{式 4.31})$$

茲利用 Excel 應用軟體，撰寫程式語言，來計算各時階的動態資訊，以進行動態派車策略之評估，如圖 4.6 所示。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	時間	路線	人數	累積人數	從上一次派車後累積至此時階的旅客	0.0441	累積幾秒	時間成本	累積時間成本	票價*人數+從上一次派車後累積到現在的旅客乘上時間成本	派車與否	TTurij(小時)	TCu(元)
2	08:00:30	A1	7	7	7							0.00	0.00
3	08:01:00	A1	4	11	11	0.0003472	30	1.32	9.26	174.26	NO		0.00
4	08:01:30	A1	4	15	15	0.0003472	30	1.32	23.81	248.81	NO		0.00
5	08:02:00	A1	5	20	20	0.0003472	30	1.32	43.66	343.66	NO		0.00
6	08:02:30	A1	8	28	28	0.0003472	30	1.32	70.11	490.11	YES	14.05	1706.28
7	08:03:00	A1	8	36	8	0.0003472	30	1.32	37.04	157.04	NO		0.00
8	08:03:30	A1	10	46	18	0.0003472	30	1.32	47.62	317.62	NO		0.00
9	08:04:00	A1	6	52	24	0.0003472	30	1.32	71.44	431.44	YES	12.04	1462.90
10	08:04:30	A1	3	55	3	0.0003472	30	1.32	31.75	76.75	NO		0.00

圖 4.6 Excel 計算動態派車求解圖

其中，我們針對儲存格 E5、I5、J5、K6、L6、M6 的程式語法進行說明如下。

1. 儲存格 E5 (從上一次派車後，累積至此時階的旅客數)

其程式語法為「=IF(J4>397.44,D5-D4,E4+C5)」。其涵意為，若儲存格 J4 的值大於 397.44 (為路線 A1 派車的成本增量)，則計算 D5-D4 (表示在 08:01:30 那個時階派車，則下一時階 08:02:00 的旅客累積人數僅剩 5 人)；反之，則計算 E4+C5 (繼續累積旅客人數)。

2. 儲存格 I5 (累積時間成本)

其程式語法為「=IF(J4>397.44,H5*E4,H5*E4+I4)」。其涵意為，若儲存格 J4 的值大於 397.44 (表示在 08:01:30 那個時階派車)，則計算 H5×E4 (表示「單位時間成本」乘上「此時階累積旅客數」)；反之，則計算 H5×E4+I4 (表示 08:01:30 那個時階未派車，求算「此時階的累積時間成本」再加上「上一時階已累積的時間成本」)。

3. 儲存格 J5 (成本增量門檻值)

其程式語法為「=E5*15+I5」。其涵意為「累積至此時階的人數」乘上「票價」，再加上「至此時階的累積等候時間成本」。

4. 儲存格 K6 (動態派車與否)

其程式語法為「=IF(J6>397.44,"YES","NO")」。其涵意為，若儲存格 J6 的值大於 397.44，則顯示「YES」(表示該時階進行動態派車)；反之顯示「NO」(該

時階不派車)。

5. 儲存格 L6 (乘客總旅行時間)

其程式語法為「=IF(K6="YES",((0.375+0.8)/8*E6+('A1 路線平均行駛速率)*E6+(8/0.375)*0.0014*E6+(I6/H6)/3600),0)」。其涵意為，若該時階派車，則估算此班車的乘客總旅行時間。

6. 儲存格 M6 (乘客總旅行時間成本)

其程式語法為「=IF(K6="YES",((0.375+0.8)*E6*158.76/8+('A1 路線平均行駛速率)*E6*105.97+(8/0.375)*0.0014*E6*105.97+(I6/H6)*158.76/3600),0)」。其涵意為，若該時階派車，則估算此班車的乘客總旅行時間成本。

(四) 動態營運路線派遣決策指標

綜前所述，我們定義動態營運路線派遣決策指標 ψ ，其數學式如下所示，其中 $w_1 = w_2$ 。我們將各時階各路線的動態資訊求算出並彙整起來，依據 ψ 值的大小，決定當前動態派車路線的優先順序，進行動態派遣策略。在此我們假設系統車輛足以服務所有需求路線。圖 4.7 表示時階 08:02:30 的派車策略。

$$\psi = \frac{w_1 \times \theta + w_2 \times \phi}{w_1 + w_2} \quad (\text{式 4.32})$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
85	時間	路線	TTurij	θ	Qmrij	Φ	Ψ	$\theta > 1/18$ 否	$\Phi > 1/18$ 否	Ψ 派車優先順序	派車數量
86	08:02:30	A1	14.04552	0.18881	28	0.091803	0.140307	Y	Y		5
87	08:02:30	B1	14.34992	0.192902	29	0.095082	0.143992	Y	Y		3
88	08:02:30	C1		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
89	08:02:30	D1		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
90	08:02:30	E1		0	13	0.042623	0.021311	N	N		0
91	08:02:30	F1		0	13	0.042623	0.021311	N	N		0
92	08:02:30	G1		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
93	08:02:30	H1		0	23	0.07541	0.037705	N	Y		0
94	08:02:30	I1	14.57285	0.195899	28	0.091803	0.143851	Y	Y		4
95	08:02:30	A2		0	17	0.055738	0.027869	N	Y		0
96	08:02:30	B2	16.32771	0.219489	33	0.108197	0.163843	Y	Y		1
97	08:02:30	C2		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
98	08:02:30	D2		0	13	0.042623	0.021311	N	N		0
99	08:02:30	E2		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
100	08:02:30	F2		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
101	08:02:30	G2		0	8	0.02623	0.013115	N	N		0
102	08:02:30	H2		0	23	0.07541	0.037705	N	Y		0
103	08:02:30	I2	15.09363	0.2029	29	0.095082	0.148991	Y	Y		2
104	總和		18	74.38962		305					5

圖 4.7 動態派車策略示意圖

(五) 動態即時派遣策略結果分析

藉由動態車輛派遣模式的應用，我們求算出每日營運時間內繞徑路線的動態派車策略。從早上 6:00 至凌晨 0:00 總共 18 個小時，以前述之模式進行計算，我們總共求出 2160 個時階的動態資訊（每一時階間隔為 30 秒）。我們將以上午 08:00:30~08:10:00 這 10 分鐘的求解計算結果作一簡略說明。如表 4.20 所示，在 08:05:30 這個時階，我們將派出路線 A1、B2、D1、F2、H1 共 5 車進行繞徑載客服務；另外，此 10 分鐘內的動態派車總數量合計高達 52 班車。圖 4.8 係將此 10 分鐘內的動態派車數量以直方圖表示，其中以路線 A1 而言，其 10 分鐘內的派車時間點分別為 08:02:30、08:04:00、08:05:30、08:07:30 以及 08:09:00，共 5 班車，其班距並不固定，係根據動態即時派遣營運模式計算出的動態發車間距。

除此之外，我們將全日各時階的派車策略計算求出後，結果整理如表 4.21 所示，並將「繞徑路線動態派車」的「每日長期總營運成本」與「旅客旅行時間成本」與 4.2.2 小節所求之模糊多目標規劃法求解結果作比較（僅針對繞徑路線）。「動態派車」與傳統的「固定頻率發車」兩種營運方式所衍生的「每日長期總營運成本」與「旅客旅行時間成本」則整理如表 4.22 所示。從表中，我們不難發現當採取「動態派車」這種營運方式，所造成的結果是「旅客旅行時間平均成本」每旅次約節省 18%，但是付出的代價則是「營運成本」會顯著提升；除此之外，由於動態派車在旅客需求量的尖峰時段，需要派遣相當多的車輛進行服務，所以在 IMTS 系統開始營運的初期就必須購買較多的車輛，以期能滿足尖峰時段需求車輛較多的情況。

若以整體系統的觀點來探討繞徑部份的成本，模糊多目標規劃法求解得出在滿意水準 74.7% 下，每日長期營運總成本與旅客旅行時間之和為 7,429,092 元；若以動態派車的營運方式，每日長期營運總成本與旅客旅行時間之和則為 7,395,474 元，比較的結果為「動態派車」每日可節省整體系統成本約 33619 元，採用此種營運方式應為較佳，可以使派車機制與管理系統更為完善，同時也可以彌補現有公車、捷運系統無法即時反應旅次需求所造成的成本損失。

表 4.20 繞徑路線動態派車策略 (上午 08:00:30~08:10)

派車策略		時間 (上午 8:00:30~8:10:00) 共 20 個時階																				
路線	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	總計	
A1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	
A2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	4	
B1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	5	
B2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	5	
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	
F1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	
F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	
G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
G2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
H1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4	
H2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	4	
I1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	5	
I2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	4	
總計	0	0	0	0	5	2	1	3	5	1	5	5	1	2	3	7	2	4	3	3	52	

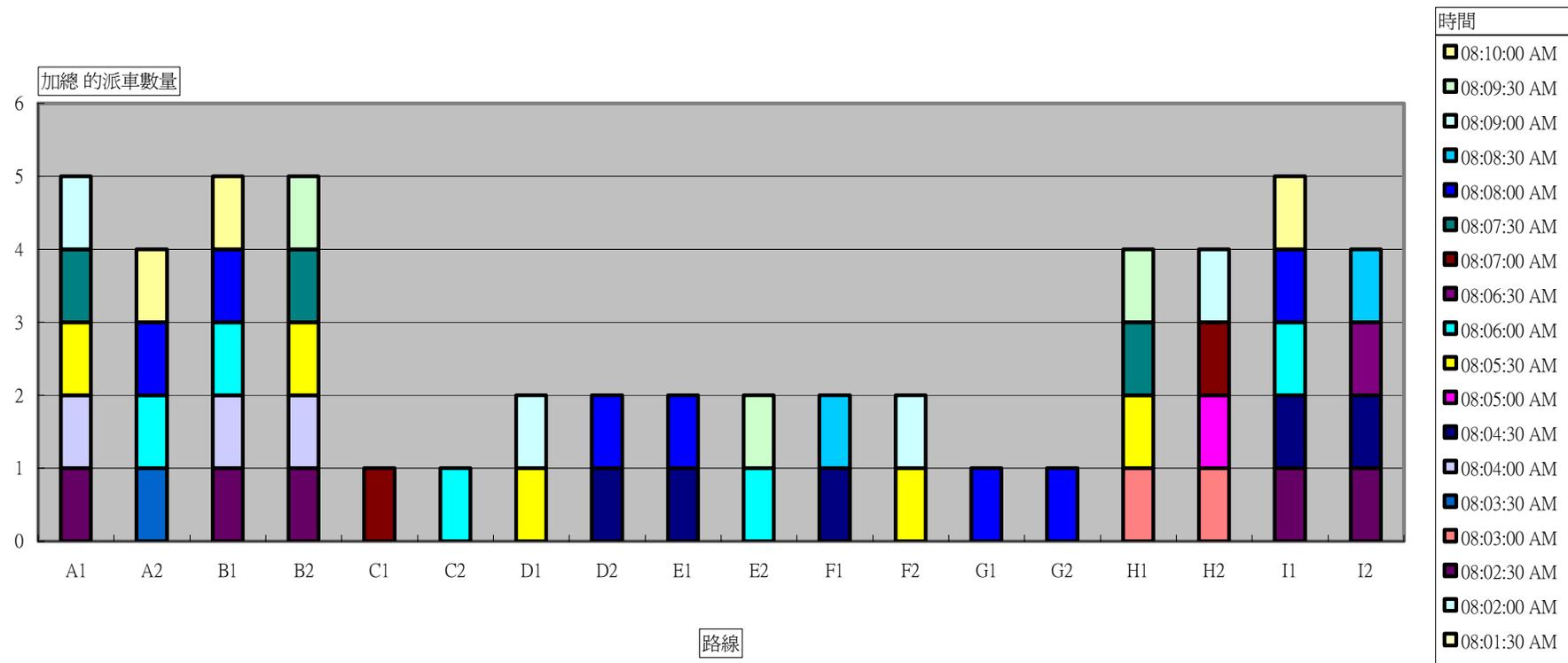


圖 4.8 繞徑路線動態派車數量直方圖 (上午 08:00:30~08:10)

表 4.21 繞徑路線各時段派車班次（動態派車與固定班次）

營運方式	動態派車	固定班次	動態派車	固定班次	動態派車	固定班次	動態派車	固定班次
路線	時段 1 班/小時	時段 1 班/小時	時段 2 班/小時	時段 2 班/小時	時段 3 班/小時	時段 3 班/小時	時段 4 班/小時	時段 4 班/小時
A1	33	10.22	11	4.00	33	10.22	12	4.00
B1	32	10.21	10	4.00	32	10.21	12	4.00
C1	10	4.94	3	2.81	10	4.94	4	3.33
D1	14	6.25	5	3.52	14	6.25	6	4.00
E1	14	6.08	4	3.45	14	6.08	6	4.00
F1	15	6.27	5	3.55	15	6.27	6	4.00
G1	8	4.61	3	2.64	8	4.61	4	3.12
H1	29	9.42	8	4.00	29	9.42	12	4.00
I1	28	9.32	10	4.00	28	9.32	13	4.00
A2	25	9.22	9	4.00	25	9.22	11	4.00
B2	34	10.64	10	4.00	34	10.64	13	4.00
C2	11	5.57	4	3.16	11	5.57	5	3.74
D2	16	6.53	5	3.68	16	6.53	6	4.00
E2	13	6.01	4	3.41	13	6.01	6	4.00
F2	14	6.09	4	3.45	14	6.09	6	4.00
G2	8	4.44	3	2.54	8	4.44	4	3.01
H2	28	9.51	9	4.00	28	9.51	12	4.00
I2	31	9.69	9	4.00	31	9.69	11	4.00

表 4.22 繞徑路線「固定派車」與「動態派車」求解結果比較表

項目	繞徑路線營運方式	
	固定派車	動態派車
每日長期營運總成本（元/日）	992,596	2,115,673
旅客旅行時間總成本（元/日）	6,436,496	5,279,800
整體系統總成本（元/日）	7,429,092	7,395,474
旅客旅行時間平均成本（元/旅次）	72.78	59.70
平均服務班次 （班/小時）	時段 1	7.50
	時段 2	3.57
	時段 3	7.50
	時段 4	3.84
繞徑路線需求總車輛數（輛）	97	237
IMTS 繞徑路線平均站距（公尺）	375	375

4.3 小結

綜合以上之分析與說明，本章可歸納得到下列結論：

1. 本研究採用 Zimmermann 處理多目標問題的基本概念，來求解確定環境下 IMTS 營運計劃多目標規劃模式，分別對各目標函數求其極佳解與極差解，以作為目標值的上下界，並透過目標達成滿意度之定義，以 min-operator 法則進行運算。
2. 本研究研擬以模糊數學規劃法，求解確定環境下 IMTS 營運計劃多目標規劃模式，並將模式應用於實例，且分別以模糊多目標規劃法與傳統多目標規劃法之 ε -限制法求解。由模式輸出的結果可發現，以 ε -限制法求解時，所產生的非劣解數目相當多，端看決策者對目標的偏好來選擇當時最適宜的方案。模糊規劃法則透過目標達成滿意度的概念化方式進行求解，可以明確地告訴決策者妥協滿意解及目標達成滿意度。
3. 本研究利用 Excel 應用軟體，模擬出服從卜瓦松分配的旅客到達動態資料，進而利用第三章所構建的動態即時派遣營運模式，求解確定環境下 IMTS 繞徑路線營運模式。由模式輸出結果得知，以「動態派車」此種方式營運，可以有效節省整體系統成本，使派車機制與管理系統更為完善。
4. 本研究所探討的 IMTS 系統，有別於一般行駛公車專用道的普通公車。IMTS 車輛車體本身為**低底盤無階梯**設計，便利老人、婦孺或殘障民眾搭乘。且 IMTS 車輛在繞徑路線收集乘客後，直接進入主線專用道行駛（**減少一次轉乘**），此時可排成車隊並進行「**無人自動行駛**」，沒有機械性的連接，僅透過埋設在行駛道路中央的「磁標」控制方向，兼有軌道系統的定時、**高速性**和路線公車的經濟、**可及性**佳等優點。透過「動態派遣模式」，更將此「智慧型」的新型運具妥善應用，利用即時的動態資訊，針對「旅客旅次需求」進行動態派車，有效節省系統總成本。

第五章 情境分析與敏感度分析

5.1 情境分析

本研究針對 4.1.2 節推算求得每日各時段各路線的旅客需求量，提出下列數種不同情境的營運方式，進行結果分析與討論。除此之外，另針對不同乘客需求型態，探討乘客需求量多寡對不同營運方式所造成的影響。

5.1.1 情境分析－原始需求量

以下就針對各種不同情境，收集相關資料後，利用第三章所建構的數學模式，進行求解。

情境一：主線、繞徑路線皆採用固定派車的 IMTS 系統進行營運

我們將 4.1.2 節所收集到的相關資料，套入第三章所構建的數學模式當中，藉由套裝軟體 LINGO 9.0 進行求解，求出 IMTS 的最適營運結果如表 5.1 所示。

情境二：主線採用固定派車營運方式，繞徑路線採用動態派車的 IMTS 系統進行營運

在此，我們將情境一所求出的主線最適營運班次保留，而將繞徑路線利用第三章所構建的「動態即時派遣營運模式」，進行動態派車，其營運輸出結果如表 5.2 所示。

情境三：主線採用現行捷運營運方式，繞徑路線採用現行公車進行營運

我們收集現行「藍線」捷運、「藍線」接駁公車營運的相關資料，考慮捷運尖峰班距約為 3 分 30 秒，離峰班距約為 5 分 50 秒，而公車尖、離峰班距分別為 10、15 分。設定主線上每站的停靠站時間為 18~25 秒不等(忠孝復興站為 40 秒)。除此之外，更將旅客「搭公車轉乘捷運」的等候時間納入考慮，設定為尖峰 105 秒/人，離峰 175 秒/人。其各項營運輸出結果如表 5.3 所示。

表 5.1 情境一求解結果表

情境一	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	
	152,930	需求量 (人/日)	29,491	7,901	8,396	2,205	3,133	3,428	3,552	2,078	7,178	7,642	
	469	班次數總和 (班/日)	33	28	28	16	20	20	20	15	27	27	
	7.86 (平均)	時段 1	11.12	10.22	10.21	4.94	6.25	6.08	6.27	4.61	9.42	9.32	
	3.71 (平均)	時段 2	4.94	4.00	4.00	2.81	3.52	3.45	3.55	2.64	4.00	4.00	
	7.86 (平均)	時段 3	11.12	10.22	10.21	4.94	6.25	6.08	6.27	4.61	9.42	9.32	
	4.04 (平均)	時段 4	5.70	4.00	4.00	3.33	4.00	4.00	4.00	4.00	3.12	4.00	4.00
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2	
		需求量 (人/日)	31,935	6,422	9,124	2,797	3,425	3,345	3,348	1,930	7,323	8,275	
		班次數總和 (班/日)	33	26	29	18	21	19	20	14	27	27	
		時段 1	11.12	9.22	10.64	5.57	6.53	6.01	6.09	4.44	9.51	9.69	
		時段 2	5.01	4.00	4.00	3.16	3.68	3.41	3.45	2.54	4.00	4.00	
		時段 3	11.12	9.22	10.64	5.57	6.53	6.01	6.09	4.44	9.51	9.69	
		時段 4	5.93	4.00	4.00	3.74	4.00	4.00	4.00	4.00	3.01	4.00	4.00
	總車輛數 (輛)	139	主線車輛數 (輛)	42	繞徑車輛數 (輛)	97	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375					
	每日長期營運總成本 (元/日)	1,547,911											
	乘客旅行時間總成本 (元/日)	10,375,340											
整體系統總成本 (元/日)	11,923,251												
乘客旅行時間平均成本 (元/旅次)	67.84												
乘客平均旅行時間 (分/旅次) (PATT)	31.76												

表 5.2 情境二求解結果表

情境二	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1
	152,930	需求量 (人/日)	29,491	7,901	8,396	2,205	3,133	3,428	3,552	2,078	7,178	7,642
	1057	班次數總和 (班/日)	33	89	86	27	39	38	41	23	78	79
	19.26 (平均)	時段 1	11.12	33.00	32.00	10.00	14.00	14.00	15.00	8.00	29.00	28.00
	6.30 (平均)	時段 2	4.94	11.00	10.00	3.00	5.00	4.00	5.00	3.00	8.00	10.00
	19.26 (平均)	時段 3	11.12	33.00	32.00	10.00	14.00	14.00	15.00	8.00	29.00	28.00
	8.03 (平均)	時段 4	5.70	12.00	12.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	12.00	13.00
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2
		需求量 (人/日)	31,935	6,422	9,124	2,797	3,425	3,345	3,348	1,930	7,323	8,275
		班次數總和 (班/日)	31,935	6,422	9,124	2,797	3,425	3,345	3,348	1,930	7,323	8,275
		時段 1	33	70	91	31	43	36	38	23	77	82
		時段 2	11.12	25.00	34.00	11.00	16.00	13.00	14.00	8.00	28.00	31.00
		時段 3	5.01	9.00	10.00	4.00	5.00	4.00	4.00	3.00	9.00	9.00
		時段 4	11.12	25.00	34.00	11.00	16.00	13.00	14.00	8.00	28.00	31.00
	總車輛數(輛)	279	主線車輛數(輛)	42	繞徑車輛數(輛)	237	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375				
	每日長期營運總成本(元/日)	2,670,988										
乘客旅行時間總成本(元/日)	9,218,644											
整體系統總成本(元/日)	11,889,632											
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	60.28											
乘客平均旅行時間(分/旅次)(PATT)	26.41											

表 5.3 情境三求解結果表

情境三	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1
	107,425	需求量 (人/日)	51,576	7,801	8,268	2,034	2,965	3,263	3,379	1,896	6,990	7,445
	470	班次數總和 (班/日)	55	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	7.11 (平均)	時段 1	17.14	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	4.63 (平均)	時段 2	10.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	7.11 (平均)	時段 3	17.14	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	4.63 (平均)	時段 4	10.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2
		55,850	需求量 (人/日)	6,216	8,919	2,608	3,245	3,159	3,188	1,782	7,151	8,125
		55	班次數總和 (班/日)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
		17.14	時段 1	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
		10.28	時段 2	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		17.14	時段 3	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
		10.28	時段 4	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	總車輛數(輛)	377	主線車輛數(輛)	280	繞徑車輛數(輛)	97	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375				
	每日長期營運總成本(元/日)	7,362,374										
	乘客旅行時間總成本(元/日)	12,719,466										
整體系統總成本(元/日)	20,081,840											
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	118.40											
乘客平均旅行時間(分/旅次)(PATT)	54.60											

由表 5.1 及表 5.2 可發現，當我們採用動態派車的營運方式時，整個系統原本所需的車輛數將由 139 輛增加至 279 輛，所以在初期購買車輛的時候，這項購車成本相當可觀。而由每日長期總營運的成本上來看，情境二的成本比情境一多了約 112 萬元；但若觀察乘客旅行時間總成本的變化，我們可以發現情境二的成本比情境一減少約 115 萬元，是故採取動態派車的方式，可以使每日整體系統總成本節省 3 萬元左右。在情境二中，單一旅次的平均時間成本為 60.28 元，比情境一求解出來的 67.84 元，減少了 11% 左右；在旅行時間上，情境二的平均旅行時間也比情境一節省 5.35 分鐘。探究其原因，主要是因為情境二係採用動態派車的營運方式，可針對即時需求量，每 30 秒鐘計算一次該時階的最適派車策略，對繞徑路線的旅客，提供最佳的服務，節省旅客的旅行時間，以達到整個系統的成本最小。

由表 5.3、表 5.4 發現，現行的捷運系統搭配接駁公車的營運方式，其單一旅次的平均時間成本約為 118.4 元，平均旅行時間更高達 54.6 分鐘。情境一與情境二的成本及旅行時間都比情境三的結果來得少，主要是因為 IMTS 系統乃是多模運具，可充份節省乘客轉乘不同運具時所需花費的等候時間。

表 5.4 情境一、二、三求解結果比較表

情境	情境一	情境二	情境三
營運方式	主線：固定	主線：固定	主線：捷運
	繞徑：固定	繞徑：動態	繞徑：公車
班次數	469	1057	470
車輛數	139	279	377
乘客旅行時間平均成本（元/旅次）	67.84	60.28	118.40
乘客平均旅行時間（分/旅次）	31.76	26.41	54.60
每日長期營運總成本（元/日）	1,547,911	2,670,988	7,362,374
乘客旅行時間總成本（元/日）	10,375,340	9,218,644	12,719,466
整體系統總成本（元/日）	11,923,251	11,889,632	20,081,840

5.1.2 情境分析－需求量增加

以下針對不同乘客需求型態，探討乘客需求量增加時對情境一、情境二的營運方式所造成的影響。

情境四：主線、繞徑路線皆採用固定派車的 IMTS 系統進行營運且運量增加 $\frac{1}{3}$

情境五：主線採用固定派車營運方式，繞徑路線採用動態派車的 IMTS 系統進行營運且運量增加 $\frac{1}{3}$

情境四、情境五的營運輸出結果如表 5.5 及表 5.6 所示。



表 5.5 情境四求解結果表

情境四	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	
	203,907	需求量 (人/日)	39,322	10,535	11,195	2,941	4,177	4,571	4,736	2,771	9,571	10,189	
	493	班次數總和 (班/日)	33	30	30	17	21	21	21	16	28	28	
	8.35 (平均)	時段 1	11.12	10.96	10.95	5.30	6.70	6.52	6.72	4.94	10.09	9.99	
	3.85 (平均)	時段 2	5.17	4.00	4.00	3.01	3.77	3.70	3.81	2.83	4.00	4.00	
	8.35 (平均)	時段 3	11.12	10.96	10.95	5.30	6.70	6.52	6.72	4.94	10.09	9.99	
	4.13 (平均)	時段 4	6.11	4.00	4.00	3.56	4.00	4.00	4.00	3.35	4.00	4.00	
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2	
		需求量 (人/日)	42,580	8,562	12,165	3,730	4,567	4,460	4,463	2,574	9,764	11,034	
		班次數總和 (班/日)	34	28	31	19	22	21	21	15	28	29	
		時段 1	11.12	9.88	11.41	5.97	7.00	6.44	6.53	4.76	10.20	10.39	
		時段 2	5.38	4.00	4.00	3.39	3.95	3.65	3.70	2.72	4.00	4.00	
		時段 3	11.12	9.88	11.41	5.97	7.00	6.44	6.53	4.76	10.20	10.39	
		時段 4	6.36	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.22	4.00	4.00	
	總車輛數(輛)	145	主線車輛數(輛)	42	繞徑車輛數(輛)	103	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375					
	每日長期營運總成本(元/日)	1,613,986											
	乘客旅行時間總成本(元/日)	13,741,200											
整體系統總成本(元/日)	15,355,186												
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	67.40												
乘客平均旅行時間(分/旅次)(PATT)	31.59												

表 5.6 情境五求解結果表

情境五	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	
	203,907	需求量 (人/日)	39,322	10,535	11,195	2,941	4,177	4,571	4,736	2,771	9,571	10,189	
	1259	班次數總和 (班/日)	34	109	99	32	48	44	46	30	94	96	
	23.51 (平均)	時段 1	11.12	42.00	37.00	12.00	18.00	16.00	17.00	11.00	36.00	36.00	
	7.81 (平均)	時段 2	5.46	13.00	13.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	10.00	11.00	
	23.51 (平均)	時段 3	11.12	42.00	37.00	12.00	18.00	16.00	17.00	11.00	36.00	36.00	
	8.11 (平均)	時段 4	6.46	12.00	12.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	12.00	13.00	
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2	
		需求量 (人/日)	42,580	8,562	12,165	3,730	4,567	4,460	4,463	2,574	9,764	11,034	
		班次數總和 (班/日)	35	86	107	41	48	45	44	30	94	97	
		時段 1	11.12	32.00	41.00	15.00	18.00	17.00	16.00	11.00	36.00	37.00	
		時段 2	5.68	11.00	12.00	6.00	6.00	5.00	6.00	4.00	10.00	12.00	
		時段 3	11.12	32.00	41.00	15.00	18.00	17.00	16.00	11.00	36.00	37.00	
		時段 4	6.72	11.00	13.00	5.00	6.00	6.00	6.00	4.00	12.00	11.00	
	總車輛數(輛)	331	主線車輛數(輛)	42	繞徑車輛數(輛)	289	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375					
	每日長期營運總成本(元/日)	3,107,250											
	乘客旅行時間總成本(元/日)	12,281,547											
整體系統總成本(元/日)	15,388,797												
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	60.23												
乘客平均旅行時間(分/旅次)(PATT)	29.01												

由表 5.5 及表 5.6 得知，在旅客需求量增加的情況下，IMTS 系統的營運績效仍有一定的水準，其乘客旅行時間平均成本為 67.40 元，平均旅行時間為 31.59 分鐘。若採用動態派車的方式進行營運，其改善的幅度在旅行成本上為 10.6%，而在旅行時間上為 8.17%。針對每日營運總成本而言，情境五比情境四增加了 149 萬元左右，而在旅客旅行時間總成本方面，僅僅節省了 146 萬元。是故在整體系統總成本方面，情境五（動態派車）反倒高於的情境四（固定班次派車），主要是因為旅客需求量增加，促使動態派車的數量增加過多，提高了營運的總成本。若以動態派車方式進行營運，則每日的整體系統總成本不降反升（每日多增加 3.4 萬元左右），是故建議 IMTS 系統，盡量於中、低運量的旅客需求型態下採用即時動態派車策略。

5.1.3 情境分析－需求量減少

接著，我們設計出下列兩種不同的情境，欲探討乘客需求量減少時，對情境一、情境二的營運方式所造成的影響。

情境六：主線、繞徑路線皆採用固定派車的 IMTS 系統進行營運且運量減少 $\frac{1}{3}$

情境七：主線採用固定派車營運方式，繞徑路線採用動態派車的 IMTS 系統進行營運且運量減少 $\frac{1}{3}$

情境六、情境七的營運輸出結果如表 5.7 及表 5.8 所示。透過表 5.7 與表 5.8 的輸出結果，我們不難發現，IMTS 系統在運量較少的情況下，能表現較佳的營運績效！舉例而言，情境七的乘客旅行時間平均成本為 59.29 元，平均旅行時間為 20.31 分鐘，比起情境六的乘客旅行時間平均成本（68.17 元）、平均旅行時間（31.89 分鐘），分別改善了 13%、36.3%。而欲達成這樣的營運績效，只需要在系統營運初期，多購置約 57% 的車輛（約增購 77 輛），再配合動態派車的方式，即可使整個系統的營運績效獲得明顯改善。在整體系統總成本方面，每日約可節省 16.7 萬元。

表 5.7 情境六求解結果表

情境六	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1
	101,954	需求量 (人/日)	19,661	5,267	5,597	1,470	2,088	2,286	2,368	1,386	4,785	5,095
	452	班次數總和 (班/日)	33	27	27	15	19	19	19	14	26	26
	7.52 (平均)	時段 1	11.12	9.71	9.70	4.69	5.93	5.78	5.95	4.37	8.94	8.85
	3.64 (平均)	時段 2	4.94	4.00	4.00	2.67	3.42	3.27	3.41	2.50	4.00	4.00
	7.52 (平均)	時段 3	11.12	9.71	9.70	4.69	5.93	5.78	5.95	4.37	8.94	8.85
	3.96 (平均)	時段 4	5.41	4.00	4.00	3.16	3.96	3.87	3.99	2.96	4.00	4.00
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2
		需求量 (人/日)	20,290	4,281	6,083	1,865	2,283	2,230	2,232	1,287	4,882	5,517
		班次數總和 (班/日)	33	26	28	17	20	18	19	14	26	26
		時段 1	11.12	8.75	10.11	5.29	6.20	5.70	5.78	4.21	9.03	9.21
		時段 2	4.94	4.00	4.00	3.01	3.50	3.24	3.41	2.41	4.00	4.00
		時段 3	11.12	8.75	10.11	5.29	6.20	5.70	5.78	4.21	9.03	9.21
		時段 4	5.63	4.00	4.00	3.56	4.00	3.83	3.87	2.85	4.00	4.00
	總車輛數(輛)	134	主線車輛數(輛)	42	繞徑車輛數(輛)	92	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375				
每日長期營運總成本(元/日)	1,506,205											
乘客旅行時間總成本(元/日)	6,950,048											
整體系統總成本(元/日)	8,456,253											
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	68.17											
乘客平均旅行時間(分/旅次)(PATT)	31.89											

表 5.8 情境七求解結果表

情境七	總計	路線別	M1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	
	101,954	需求量 (人/日)	19,661	5,267	5,597	1,470	2,088	2,286	2,368	1,386	4,785	5,095	
	841	班次數總和 (班/日)	33	65	64	21	31	30	33	19	60	63	
	13.86 (平均)	時段 1	11.12	21.00	21.00	7.00	10.00	10.00	11.00	6.00	20.00	20.00	
	6.30 (平均)	時段 2	4.94	11.00	10.00	3.00	5.00	4.00	5.00	3.00	8.00	10.00	
	13.86 (平均)	時段 3	11.12	21.00	21.00	7.00	10.00	10.00	11.00	6.00	20.00	20.00	
	8.03 (平均)	時段 4	5.73	12.00	12.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	12.00	13.00	
		路線別	M2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2	
		需求量 (人/日)	20,290	4,281	6,083	1,865	2,283	2,230	2,232	1,287	4,882	5,517	
		班次數總和 (班/日)	33	58	71	25	33	30	30	19	61	62	
		時段 1	11.12	19.00	24.00	8.00	11.00	10.00	10.00	6.00	20.00	21.00	
		時段 2	5.04	9.00	10.00	4.00	5.00	4.00	4.00	3.00	9.00	9.00	
		時段 3	11.12	19.00	24.00	8.00	11.00	10.00	10.00	6.00	20.00	21.00	
		時段 4	5.97	11.00	13.00	5.00	6.00	6.00	6.00	4.00	12.00	11.00	
	總車輛數(輛)	211	主線車輛數(輛)	42	繞徑車輛數(輛)	169	繞徑路線平均站距(公尺)(Sr)	375					
	每日長期營運總成本(元/日)						2,243,631						
	乘客旅行時間總成本(元/日)						6,045,174						
整體系統總成本(元/日)						8,288,805							
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)						59.29							
乘客平均旅行時間(分/旅次)(PATT)						20.31							

5.1.4 綜合比較與分析

我們試圖比較情境一、情境四及情境六等不同旅量需求情況下，對整體營運模式所造成的影響，其結果比較如下表 5.9 所示。

表 5.9 情境一、四、六求解結果比較表（不同運量下）

情境	情境一	情境四	情境六
營運方式	主線：固定	主線：固定	主線：固定
	繞徑：固定	繞徑：固定	繞徑：固定
需求運量	152,930	203,907	101,954
班次數	469	493	452
車輛數	139	145	134
乘客旅行時間平均成本（元/旅次）	67.84	67.40	68.17
乘客平均旅行時間（分/旅次）	31.76	31.59	31.89
每日長期營運總成本（元/日）	1,547,911	1,613,986	1,506,205
乘客旅行時間總成本（元/日）	10,375,340	13,741,200	6,950,048
整體系統總成本（元/日）	11,923,251	15,355,186	8,456,253

從表中，我們發現，當需求量由情境一增加 $\frac{1}{3}$ 變成情境四時，其乘客旅行時間總成本約成長 32.4%；若由情境一減少 $\frac{1}{3}$ 變成情境六時，其乘客旅行時間總成本約減少 33%，表示旅運需求量與乘客旅行時間總成本之間為正比關係。從表中，我們得知情境一的乘客旅行時間平均成本約為 67.84 元/旅次，而在情境六則增高至 68.17 元/旅次，探究其原因係因為情境六的旅運需求量減少，造成每日總班次數減少（從 469 班減為 452 班），班次數一旦減少，勢必造成旅客平均等候時間的增加，連帶造成旅客旅行時間總成本的增加，所以每旅次的平均成本才會隨之增加。而在情境四下，由於旅運需求量增加，考慮到旅客的旅行時間價值對整體系統總成本有著相當程度的影響，故模式追求最適化的結果，勢必要增開班次，才能防止整體系統總成本的增加幅度過大，也連帶造成乘客旅行時間平均成本降為 67.40 元/旅次。

接著，我們利用第三章所構建的「營運績效評估指標」，透過式 3.37 的運算結果來評估各時階的旅客服務率(PSR_k)。我們將情境二中各時階的旅客服務率以圖 5.1~5.4 表示。其中圖 5.1 表示時段一(僅取上午 07:00~08:00)的服務情形，圖 5.2 則為時段二，其餘類推。

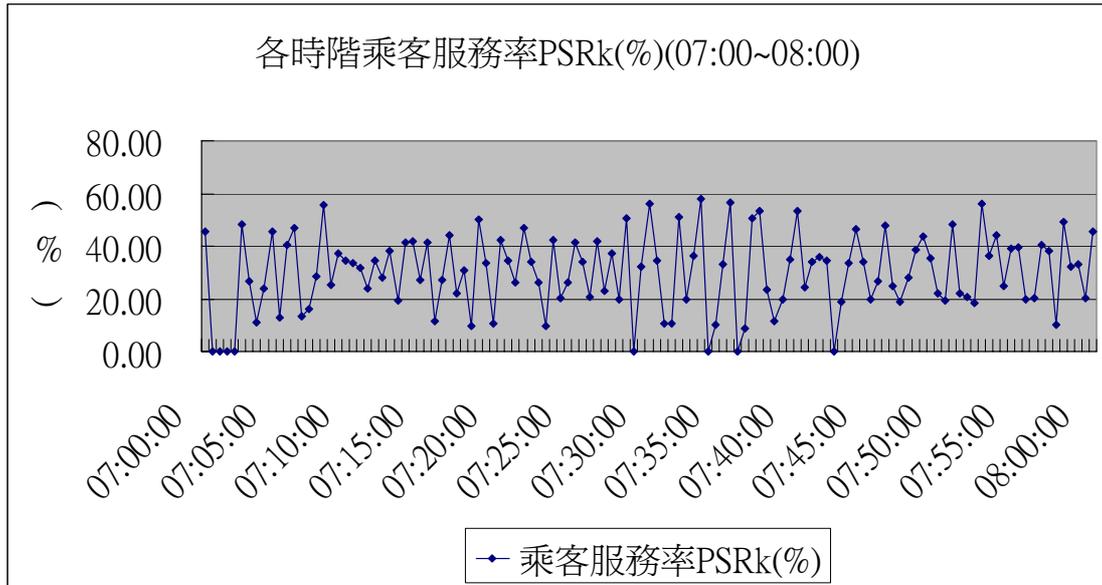


圖 5.1 時段一(07:00~08:00)的乘客服務率

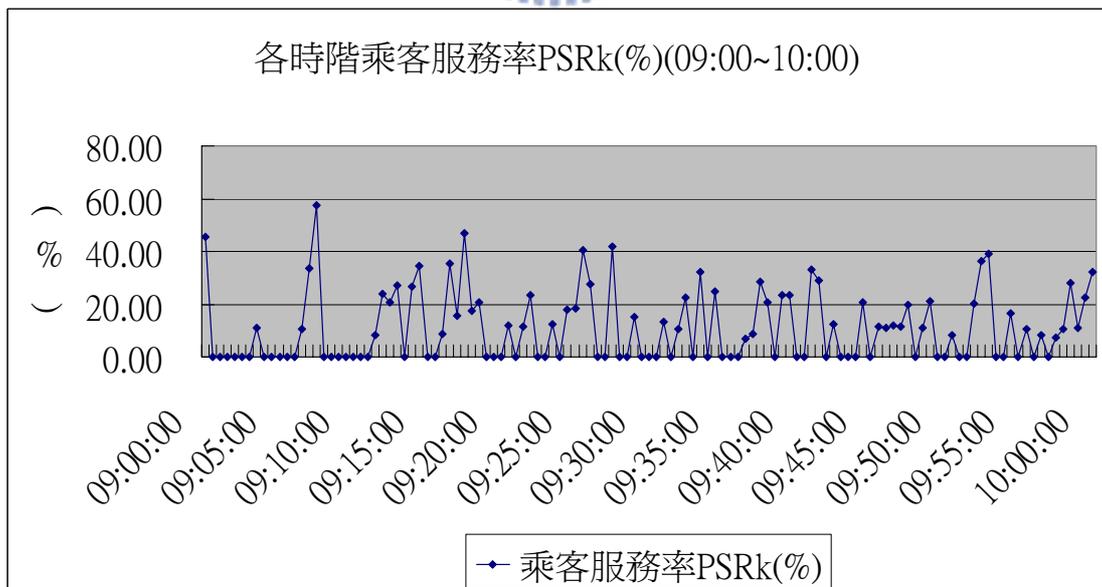


圖 5.2 時段二(09:00~10:00)的乘客服務率

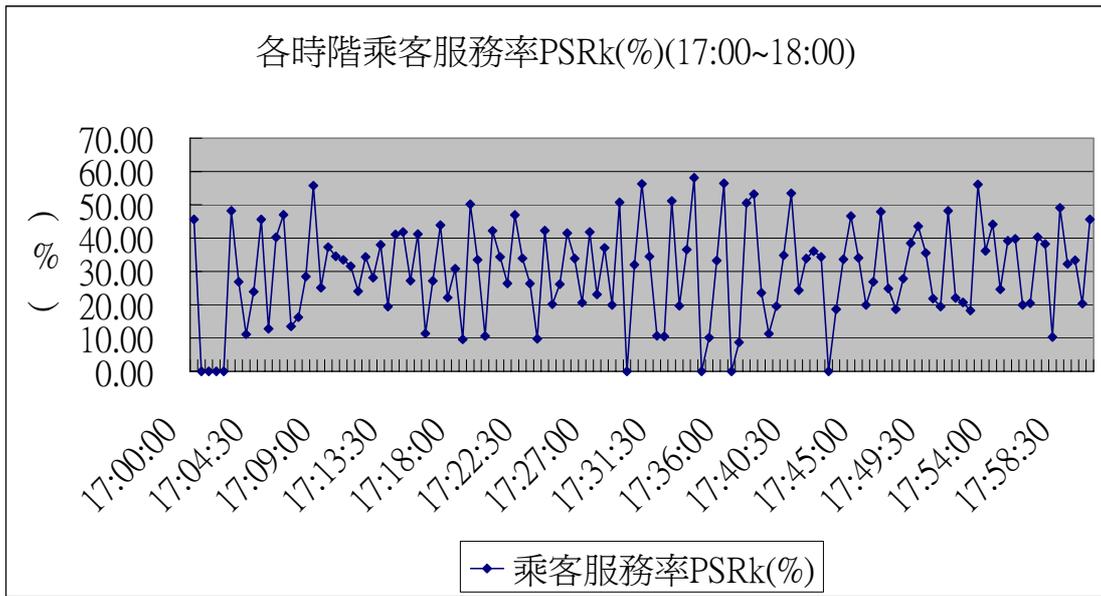


圖 5.3 時段三(17:00~18:00)的乘客服務率

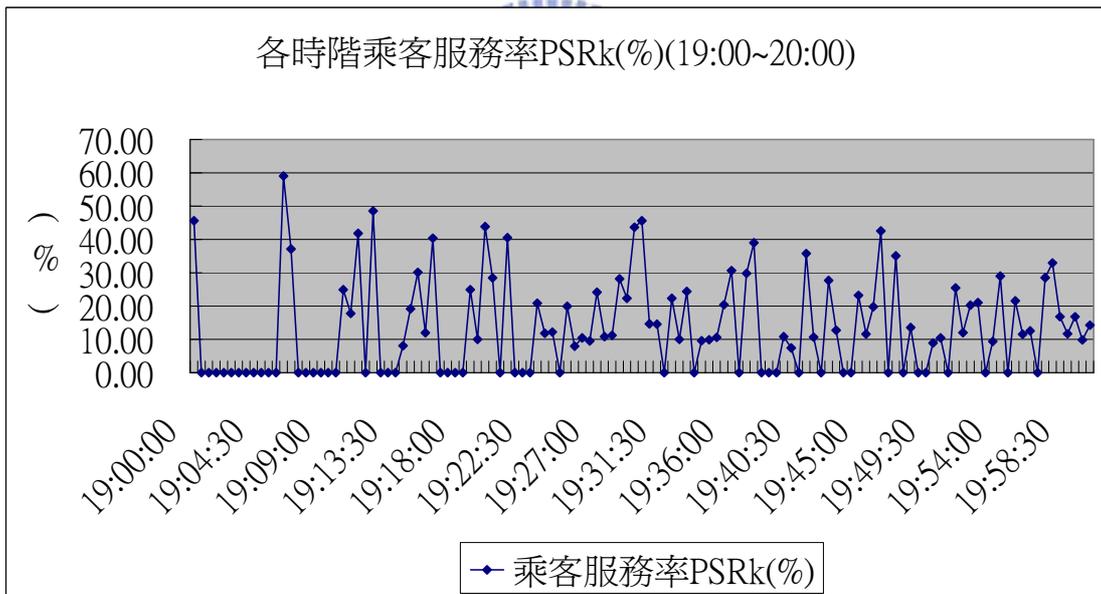


圖 5.4 時段四(19:00~20:00)的乘客服務率

其中服務率為 0%，則表示該時階並不進行動態派車。是故我們可以從圖 5.1 與圖 5.3 中看出，在尖峰時段不派車的時階是相當少的，每個時階的服務率都約在 40% 以上。反觀圖 5.4，由於該時段屬於晚間的非尖峰時段，旅客的需求量明顯減少，是故不派車的時階增多，而進行派車服務的時階，其乘客服務率僅在 20% 左右。

我們試著比較情境二、情境五及情境七等不同旅量需求量情況下，在動態派車的營運方式下，其尖峰時段（僅取上午 07:00~08:00）各時階乘客服務率的情形如圖 5.5 所示；其非尖峰時段（僅取上午 09:00~10:00）各時階乘客服務率的情形則如圖 5.6 所示。

從圖 5.5 中，我們發現在尖峰時段，各情境的乘客服務率皆高。情境五由於旅客需求量較高，服務率一直維持在 60% 左右；情境二的乘客服務率約為 55%；情境七由於旅客量較少，動態派車的發車間距較長，於圖中出現較多服務率為 0% 的時間點。

觀察圖 5.6，由於非尖峰時段，各情境的動態發車間隔時間增長，從圖中可明顯看出，情境七大多是乘客服務率為 0% 的時間點，主要是因為動態派車需累積一定的旅客需求量才進行派車，以節省車輛營運成本，而情境七的旅客需求量遠比情境二及情境五來得少，是故不派車的時階也較其餘二者多。

綜上所述，我們可以歸納出，當「各時階旅客服務率折線圖」之服務率為 0% 的時間點越多且越連續，表示該時段是非尖峰時段或者是旅客需求量較少的情境。相反地，若折線圖服務率為 0% 的時間點很少且零星散落，則表示該時段的旅客需求量頗多，利用動態派車的發車班次較多，其車輛營運成本也會跟著增加。

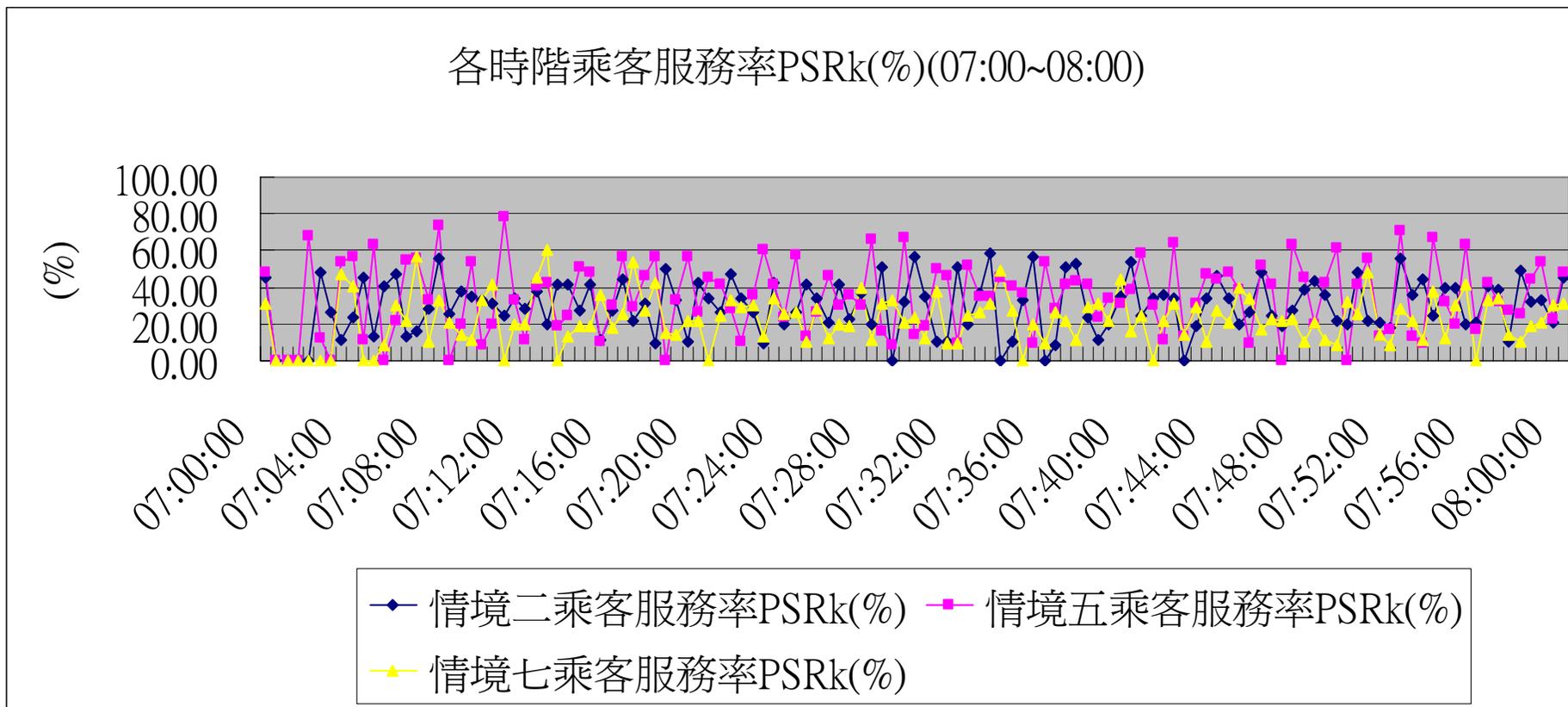


圖 5.5 不同情境下時段一(07:00~08:00)乘客服務率比較

各時階乘客服務率PSRk(09:00~10:00)

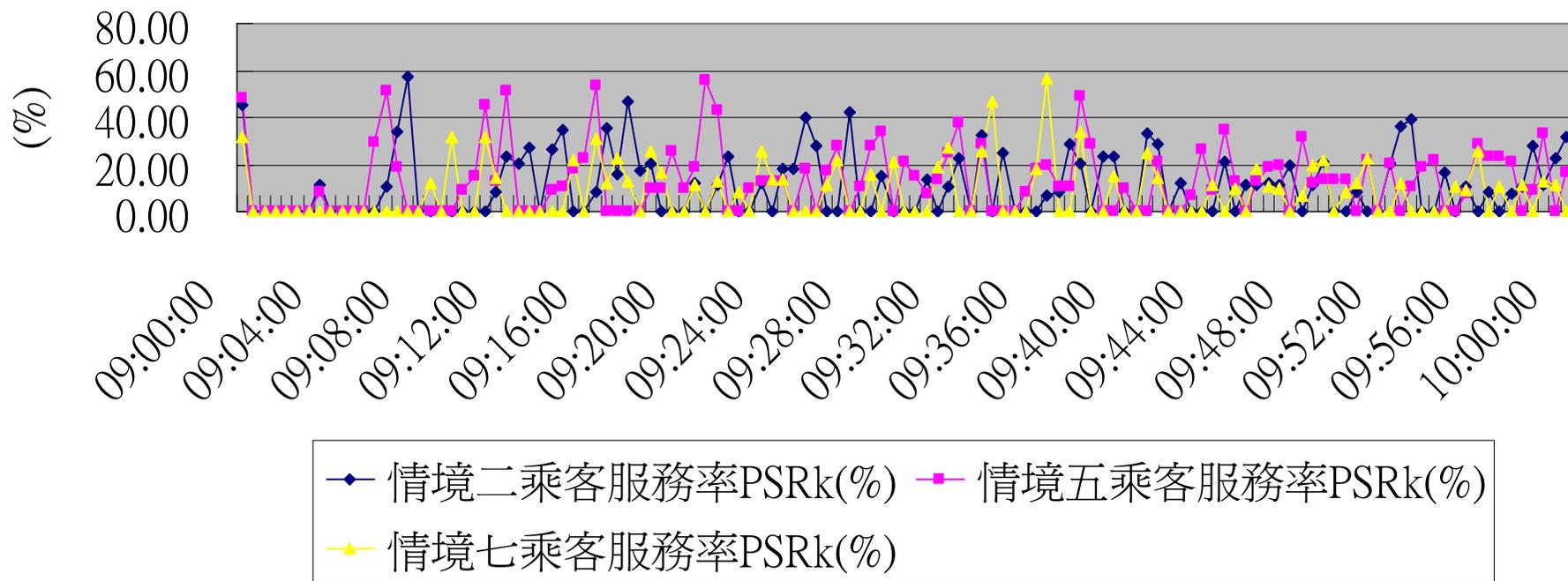


圖 5.6 不同情境下時段二(09:00~10:00)乘客服務率比較

5.2 參數敏感度分析

由情境分析最適營運模式的結果，我們考慮到營運者願意購買的固定資產應該相當有限，顯示 IMTS 系統採用動態派車的營運方式（初期必須購買大量營運車輛），並不普遍可行；是故在全盤考量評估下，我們認為在情境一的條件下，不管營運者或旅客都較能接受，則利用該營運模式進行 IMTS 的營運，應能使整體系統總成本降到最低。因此，以下將針對情境一進行個別參數的敏感度分析。

在數學規劃模式中，我們設定了參數包括：(1)乘客的時間價值：乘客步行時間成本(α_k)、乘客等車時間成本(α_w)、乘客車內時間成本(α_v)，(2)各站牌乘客上下車平均損失時間 (Z_r)，(3) 設計旅客運量 (D_{tc})，(4)營運者允許的最小設計站距 (L_2)，(5)乘客等車時間容忍因子 (δ_{rr}) 等五項重要參數，以下針對各參數變動對最適營運模式結果之影響程度加以分析討論。

一、乘客的時間價值 (α_k 、 α_w 、 α_v)

本研究總共測試了將乘客時間價值減少 10%、增加 10%及增加 20%等情況，與原設定之時間價值作比較，其結果如表 5.10 所示。並由圖 5.7 明顯看出，變動乘客時間價值僅對乘客旅行時間總成本有影響，而對最適營運模式並無影響。

表 5.10 時間價值變動之影響表

調整比例		減少 10%	原設定值	增加 10%	增加 20%
時間 價值	乘客步行時間成本(α_k)	142.88	158.76	174.64	190.51
	乘客等車時間成本(α_w)	142.88	158.76	174.64	190.51
	乘客車內時間成本(α_v)	95.37	105.97	116.57	127.16
班次數		469	469	469	469
車輛數		139	139	139	139
乘客旅行時間平均成本 (元/旅次)		61.06	67.84	74.63	81.41
乘客平均旅行時間 (分/旅次)		31.76	31.76	31.76	31.76
每日長期營運總成本 (元/日)		1,547,911	1,547,911	1,547,912	1,547,912
乘客旅行時間總成本 (元/日)		9,337,809	10,375,340	11,412,880	12,450,410
整體系統總成本 (元/日)		10,885,720	11,923,251	12,960,792	13,998,322

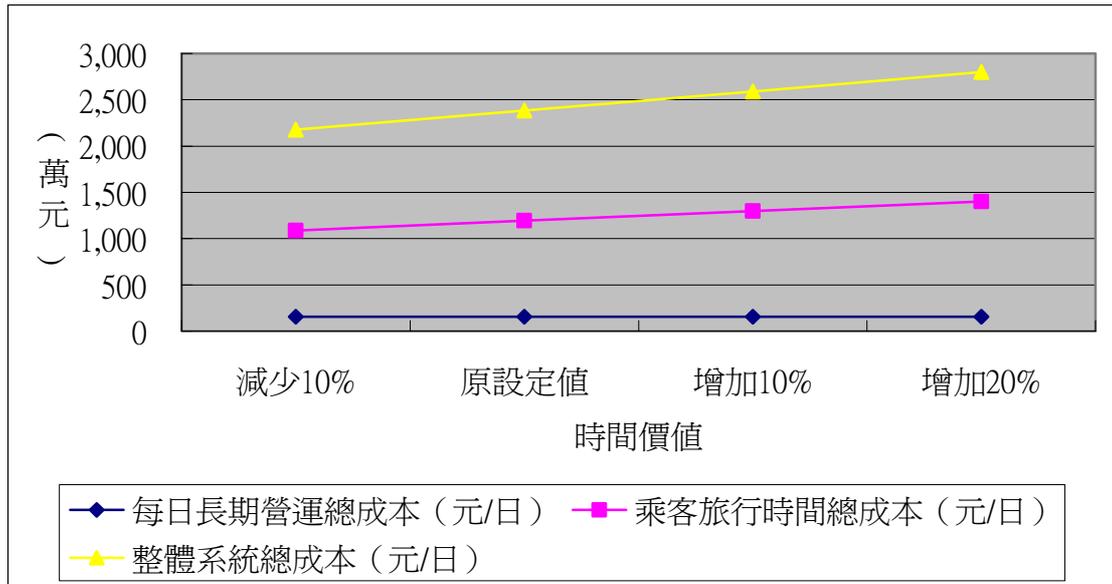


圖 5.7 乘客時間價值與相關成本關係圖

主要原因是，營運模式已達到最適化，除非時間價值提高「相當大」，才有可能影響營運模式的派車間距。是故圖中的「每日長期營運總成本」為一水平直線，而「整體系統總成本」則隨著「乘客旅行時間總成本」變化。

二、乘客上下車平均損失時間 (Z_r)

我們根據經驗將乘客上下車平均損失時間設定為每人 5 秒/站，在本節敏感度分析的假設情況下，我們分別測試了 3 秒/站、10 秒/站、15 秒/站與 20 秒/站等情況，與原先設定的 5 秒/站比較。從表 5.11 的輸出結果，我們不難發現每站的停站損失時間越小，則乘客的旅行時間總成本越小，反之，則越大。

表 5.11 停站損失時間變動之影響表

Case	A	B(原設定值)	C	D	E
停站損失時間 (秒/站-人)	3	5	10	12	15
班次數	469	469	476	478	480
車輛數	134	139	150	154	157
繞徑路線平均站距(公尺)	375	375	375	390	436
乘客旅行時間平均成本 (元/旅次)	66.55	67.84	70.95	72.20	73.98
乘客平均旅行時間 (分/旅次)	31.04	31.76	33.53	34.20	35.03
每日長期營運總成本 (元/日)	1,545,837	1,547,911	1,575,426	1,584,443	1,590,832
乘客旅行時間總成本 (元/日)	10,176,820	10,375,340	10,850,420	11,042,220	11,313,280
整體系統總成本 (元/日)	11,722,657	11,923,251	12,425,846	12,626,663	12,904,112

且從圖 5.8 中，我們發現，當停站損失時間到達每人 12 秒/站時，繞徑路線平均站距開始增大。到每人 15 秒/站時，平均站距增大至 436 公尺，主要是因為停站的損失時間過大，造成系統必須增加平均站距，減少每條繞徑路線的停站數，以節省乘客的總旅行時間。而班次數及乘客平均旅行時間則與停站損失時間呈現正比關係。

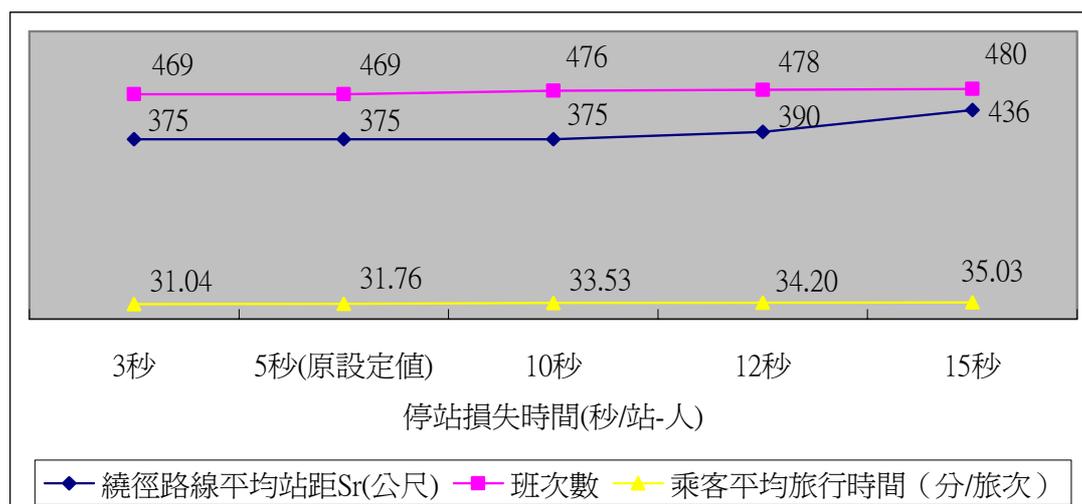


圖 5.8 停站損失時間與平均站距、班次數、平均旅行時間關係圖

三、設計旅客運量 (D_{tz})

本研究原先設定「設計旅客運量」為「尖峰小時旅客需求量」的 0.4 倍，在此節我們將其倍率調整為 0.2、0.6 及 0.8 等不同倍率，去探討設計旅客運量改變時，對營運成本與乘客旅行時間成本所造成的影響。其結果如表 5.12 所示。

表 5.12 設計旅客運量變動之影響表

Case	A	B(原設定值)	C
設計旅客運量倍率	0.2	0.4	0.6
班次數	444	469	506
車輛數	132	139	148
繞徑路線平均站距(公尺)	375	375	375
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	68.35	67.84	67.17
乘客平均旅行時間(分/旅次)	31.96	31.76	31.51
每日長期營運總成本(元/日)	1,484,420	1,547,911	1,648,697
乘客旅行時間總成本(元/日)	10,452,980	10,375,340	10,272,870
整體系統總成本(元/日)	11,937,400	11,923,251	11,921,567

從圖 5.9，我們發現當「設計旅客運量」的倍率調整為「尖峰小時旅客需求量」的 0.6 倍時，其意涵為該時段該區間的服務旅客運量提升，所造成的結果則為班次數的增加，連帶減少了旅客的等車時間，且由於班次數的增加僅造成營運總成本約 10 萬元的提升，而乘客旅行時間總成本卻有 10.2 萬元的減少，是故整體系統總成本在「設計旅客運量」的倍率較高的情況下，表現較佳。但本研究亦發現，當調整倍率調高至 0.8 時，整個系統並無可行解產生！

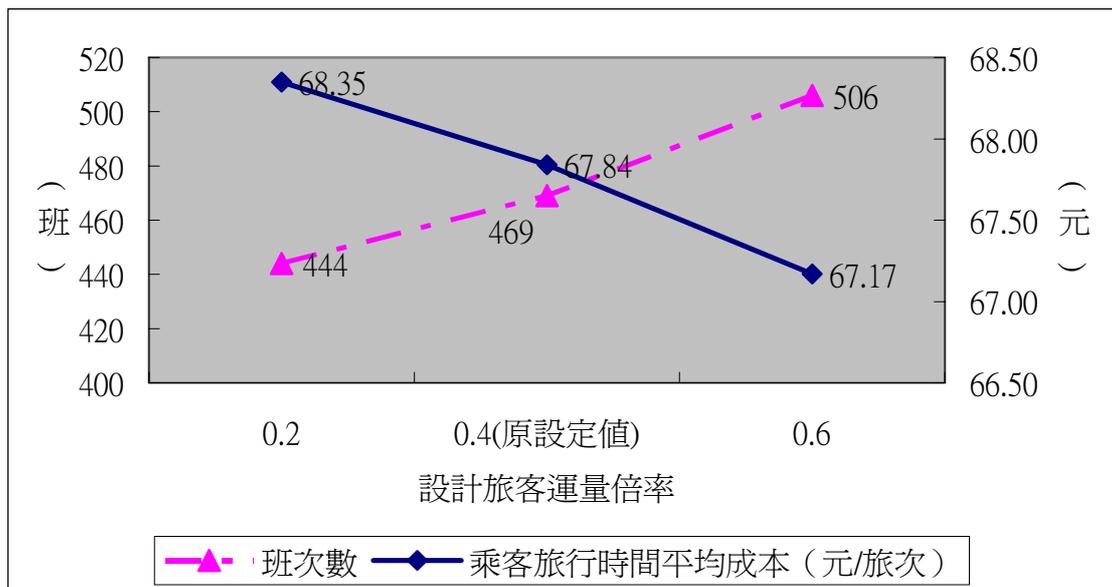


圖 5.9 設計旅客運量倍率與班次數、旅行時間平均成本關係圖

四、營運者允許的最小設計站距 (L_2)

本研究根據經驗假設營運者允許的最小設計站距為 375 公尺，在進行敏感度分析時，我們特別測試 L_2 等於 200、300、500 等不同數值時，其結果對整個最適營運模式的影響。其結果列於下表 5.13。

表 5.13 營運者允許的最小設計站距變動之影響表

Case	A	B	C	D(原設定值)	E
營運者允許最小設計站距(公尺)	200	250	300	375	500
班次數	462	462	464	469	482
車輛數	143	143	141	139	138
繞徑路線平均站距(公尺)	253	253	300	375	500
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	67.07	67.07	67.24	67.84	69.32
乘客平均旅行時間(分/旅次)	31.77	31.77	31.68	31.76	32.17
每日長期營運總成本(元/日)	1,544,512	1,544,202	1,542,780	1,547,911	1,569,103
乘客旅行時間總成本(元/日)	10,257,230	10,257,600	10,282,910	10,375,340	10,601,080
整體系統總成本(元/日)	11,801,742	11,801,802	11,825,690	11,923,251	12,170,183

由圖 5.10，我們發現當最小設計站距增長為「500 公尺」時，對營運者而言是有利的（因為可以減少各路線設站的數目），但對於乘客而言，平均的步行時間則相對增加，且由於乘客時間價值對整體系統成本的影響顯著，迫使營運者必須增加發車班次數，以縮短乘客的等候時間，進而達到縮減乘客旅行時間總成本的目的。透過參數敏感度的分析，我們得知在最小設計站距設定為「250 公尺」時，求出繞徑路線平均站距為 253 公尺，同時班次數開始減少，且乘客旅行時間平均成本亦有改善。

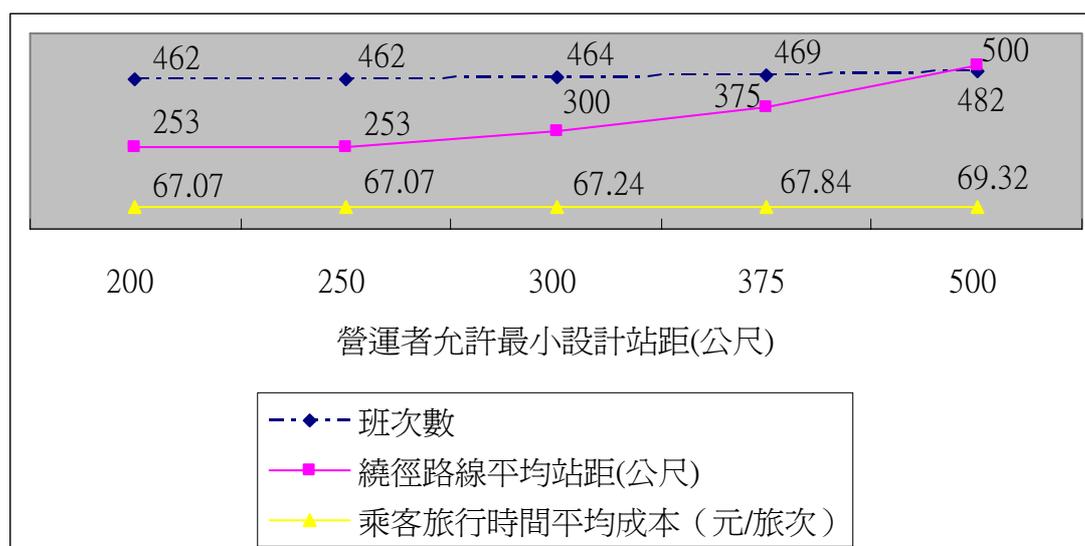


圖 5.10 營運者允許最小設計站距與平均站距、班次數、旅行時間平均成本關係圖

五、乘客等車時間容忍因子 (δ_{tr})

本研究所設定的乘客等車時間容忍因子 (δ_{tr}) 如下表 5.14 所示。我們將根據表中所訂定的各路線各時段的容忍因子，考慮其呈現-5%、+50%、+100%、+150%等不同幅度增減的情況下，對整個系統的影響。其結果整理如表 5.15。

表 5.14 IMTS 旅客等車時間容忍因子

路線代號	時段 1	時段 2	時段 3	時段 4
M1、M2	0.10	0.20	0.10	0.20
A1、A2	0.15	0.25	0.15	0.25
B1、B2	0.20	0.30	0.20	0.30
C1、C2	0.25	0.30	0.25	0.30
D1、D2	0.15	0.25	0.15	0.25
E1、E2	0.25	0.30	0.25	0.30
F1、F2	0.15	0.25	0.15	0.25
G1、G2	0.30	0.35	0.30	0.35
H1、H2	0.20	0.30	0.20	0.30
I1、I2	0.30	0.35	0.30	0.35

表 5.15 乘客等車時間容忍因子變動之影響表

Case	A	B	C	D	E
乘客等車時間容忍因子調整比例	減少 5%	原設定值	增加 50%	增加 100%	增加 150%
班次數	479	469	400	365	352
車輛數	143	139	109	98	94
繞徑路線平均站距(公尺)	375	375	375	375	375
乘客旅行時間平均成本(元/旅次)	67.57	67.84	70.06	71.41	72.02
乘客平均旅行時間(分/旅次)	31.66	31.76	32.60	33.11	33.34
每日長期營運總成本(元/日)	1,594,680	1,547,911	1,273,069	1,156,745	1,111,859
乘客旅行時間總成本(元/日)	10,332,890	10,375,340	10,714,770	10,921,100	11,014,330
整體系統總成本(元/日)	11,927,570	11,923,251	11,987,839	12,077,845	12,126,189

由圖 5.11，我們可以發現，當「乘客等車時間容忍因子」調整增加時，其意涵為乘客容許較長的等車時間，對營運者而言是有利的。營運者便可以減少發車班次數。班次數一旦大幅減少，系統所需的車輛數亦會隨之減少，我們可以明顯看到，當「乘客等車時間容忍因子」調整增加 150% 時，此時的營運車輛只需要 94 輛，比原設定值下的最佳營運車輛數減少了 45 輛。除此之外，我們也發現，因為班次數的減少，伴隨產生乘客旅行時間平均成本上升 6.16%，平均旅行時間增加約 1.6 分鐘。然而，若將「乘客等車時間容忍因子」調降，即表示乘客極不願意等待時間過長，如此勢必造成營運者增派車班進行服務，故營運總成本增加。

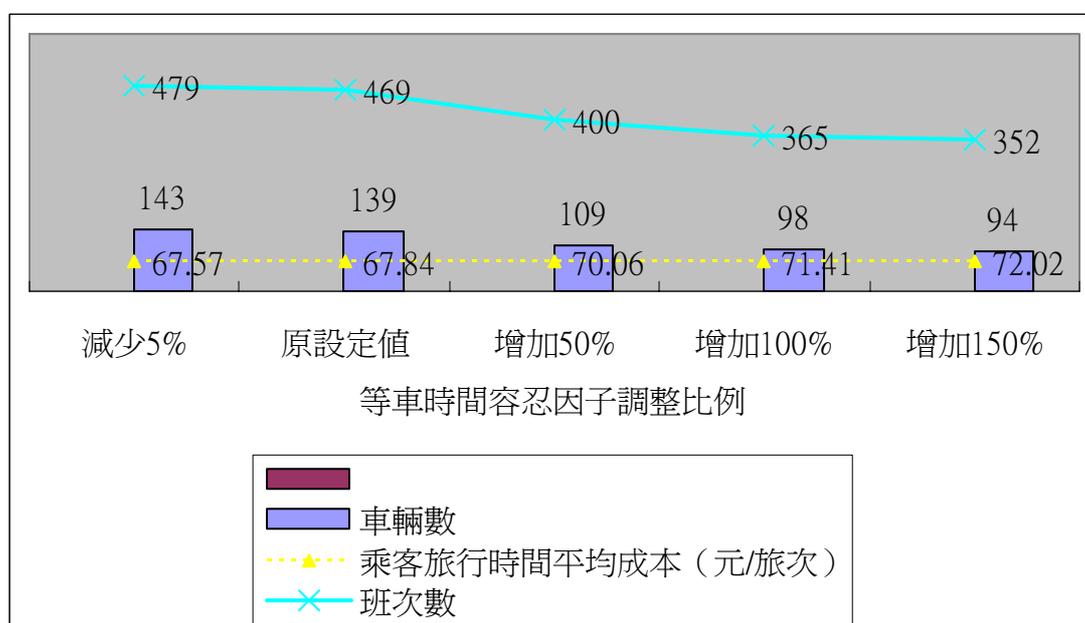


圖 5.11 乘客等車時間容忍因子與車輛數、旅行時間平均成本、及班次數關係圖

5.3 小結

綜合以上之分析與說明，本章可歸納得到下列結論：

1. 本研究之情境一（IMTS 營運模式）與情境二（IMTS 營運模式配合繞徑路線動態派車）的每日長期營運總成本、乘客旅行時間總成本及每日乘客總旅行時間都比情境三（現行捷運搭配接駁公車）的結果來得少，主要是因為 IMTS 系統乃是多模運具，可充份節省乘客轉乘不同運具時所需花費的等候時間。
2. 本研究所提出的 IMTS 營運模式配合繞徑路線動態派車，可以使派車機制與管理系統更為完善，同時也可以彌補現有公車、捷運系統無法即時反應旅次需求所造成的成本損失。此外，研究結果顯示 IMTS 系統在運量較少的情況下，能表現較佳的營運績效，且建議莫於過高運量的旅客需求型態下採用即時動態派車策略。
3. 透過系統參數敏感度分析，本研究發現變動「乘客時間價值」僅對「乘客旅行時間總成本」有影響，而對最適營運模式並無影響。
4. 本研究顯示，「班次數」及「乘客平均旅行時間」與「停站損失時間」呈現正比關係。且停站的損失時間過大，容易造成系統增加平均站距，減少每條繞徑路線的停站數，以節省乘客的總旅行時間。
5. 當「設計旅客運量」的倍率調整為「尖峰小時旅客需求量」的 0.6 倍時，將造成班次數的增加，連帶減少了旅客的等車時間，也使得整體系統總成本在調整倍率愈高（不高於 0.8）的情況下，呈現愈少的趨勢。
6. 本研究發現在最小設計站距設定為「250 公尺」時，求出繞徑路線平均站距為 **253** 公尺，此時每日服務班次數較少，且乘客旅行時間平均成本亦有改善。
7. 從研究中得知若乘客容許較長的等車時間，則可將「乘客等車時間容忍因子」調高。營運者便可以減少發車班次數。班次數大幅減少後，系統所需的車輛數亦伴隨減少。數據顯示，當「乘客等車時間容忍因子」調整增加 150% 時，此時的營運車輛只需要 94 輛，比原設定值下的最佳營運車輛數減少了 **45** 輛。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究同時考慮營運者與使用者的立場，並納入旅客需求運量、車輛容量、旅客設計運量、旅客等車時間容忍因子、乘客步行忍受距離及 IMTS 繞徑路線最小設計站距等參數之不確定性，建立 IMTS 營運計劃多目標規劃模式與動態即時派遣營運模式，並經由實例之應用分析後，可歸納得到下列結論：

1. 本研究選擇之 IMTS 的營運決策變數包括服務班次、車輛數及路線站距，經由營運決策變數、外生變數及成本項目關係之探討，並根據營運者目標—每日長期營運總成本最小化，及使用者目標—每日旅客總旅行時間最小化，分別形成模式之目標函數，所考慮的限制式則包括系統所需車輛限制條件、尖峰路段旅客運量需求條件、設計旅客運量之限制條件、政策班次限制條件、班次上限限制條件、旅客等車時間限制式及繞徑路線站距限制式，經由營運決策變數及相關變數之組合，建構 IMTS 營運計劃多目標非線性規劃模式以及動態即時派遣營運模式。
2. 本研究以模糊數學規劃法求解多目標規劃問題之原因，係因為模糊數學規劃法不僅可用來處理不精確性與模糊性資訊，使模式運作趨近於真實世界之需要。此外，可在規劃與決策過程中，表現不同決策者的主觀意識行為，使模式輸出結果更具彈性，因此所得到的營運計劃內容能符合決策者的實際需要。
3. 本研究研擬以模糊數學規劃法，求解確定環境下 IMTS 營運計劃多目標規劃模式之架構，並將模式應用於實例，而為了反應旅客對各項旅行時間不同的感受或重視程度，實例應用部份以每日旅客旅行時間總成本作為使用者目標，且分別以模糊多目標規劃法與傳統多目標規劃法之 ε -限制法求解。由模式輸出結果可發現，以 ε -限制法求解時，產生的非劣解數目很多，端賴決策者對目標之偏好來選擇適當方案。模糊規劃法則透過目標達成滿意度之概念化方式進行求解，可以明確地告訴決策者妥協滿意解及目標達成滿意度。

4. 由於本研究採 min-operator 之運算法則，當決策者不提供目標期望滿意程度時，不管參數是確定或為模糊參數，以模糊數學規劃法求解多目標問題，當達到妥協滿意解時，各個目標的滿意程度趨於一致。
5. 本研究利用 Excel 應用軟體，模擬出服從卜瓦松分配的旅客到達動態資料，進而利用第三章所構建的動態即時派遣營運模式，求解確定環境下 IMTS 繞徑路線營運模式。由模式輸出結果得知，以「動態派車」此種方式營運，優於以傳統「固定班次」方式派車，可有效節省整體系統成本，使派車機制與管理系統更為完善。
6. 本研究所探討的 IMTS 系統，有別於一般行駛公車專用道的普通公車。IMTS 車輛車體本身為低底盤無階梯設計，便利老人、婦孺或殘障民眾搭乘。且 IMTS 車輛在繞徑路線收集乘客後，直接進入主線專用道行駛（減少一次轉乘），此時可排成車隊並進行「無人自動行駛」，沒有機械性的連接，僅透過埋設在行駛道路中央的「磁標」控制方向，兼有軌道系統的定時、**高速性**和路線公車的經濟、**可及性**佳等優點。
7. 本研究之情境一（IMTS 營運模式）與情境二（IMTS 營運模式配合繞徑路線動態派車）的每日長期營運總成本、乘客旅行時間總成本及每日乘客總旅行時間都比情境三（現行捷運搭配接駁公車）的結果來得少，主要是因為 IMTS 系統乃是多模運具，可充份節省乘客轉乘不同運具時所需花費的等候時間。
8. 本研究所提出的 IMTS 營運模式配合繞徑路線動態派車，可以使派車機制與管理系統更為完善，同時也可以彌補現有公車、捷運系統無法即時反應旅次需求所造成的成本損失。此外，研究結果顯示 IMTS 系統適合推廣於「**中運量需求**」的地區使用，能表現較佳的營運績效，且建議莫於過高運量的旅客需求型態下採用即時動態派車策略。
9. 透過系統參數敏感度分析，本研究發現變動「乘客時間價值」僅對「乘客旅行時間總成本」有影響，而對最適營運模式並無影響。

10. 本研究顯示，「班次數」及「乘客平均旅行時間」與「停站損失時間」呈現正比關係。且停站的損失時間過大，容易造成系統增加平均站距，減少每條繞徑路線的停站數，以節省乘客的總旅行時間。
11. 當「設計旅客運量」的倍率調整為「尖峰小時旅客需求量」的 0.6 倍時，將造成班次數的增加，連帶減少了旅客的等車時間，也使得整體系統總成本在調整倍率愈高（不高於 0.8）的情況下，呈現愈少的趨勢。
12. 本研究發現在最小設計站距設定為「250 公尺」時，求出繞徑路線平均站距為 **253** 公尺，此時每日服務班次數較少，且乘客旅行時間平均成本亦有改善。
13. 從研究中得知若乘客容許較長的等車時間，則可將「乘客等車時間容忍因子」調高。營運者便可以減少發車班次數。班次數大幅減少後，系統所需的車輛數亦伴隨減少。數據顯示，當「乘客等車時間容忍因子」調整增加 150% 時，此時的營運車輛只需要 94 輛，比原設定值下的最佳營運車輛數減少了 **45** 輛。

6.2 建議

1. 現實決策環境中普遍存在不精確性與模糊性之問題，而模糊理論對於此類問題之處理具有方便的特性，未來可嘗試應用至實際之決策環境，應有助於決策品質的提升。
2. 本研究所構建的模式假設 IMTS 路線為固定（自行設計之 IMTS 營運路網），不考慮路網結構問題，若能在模式中加以考慮，則營運計劃模式將更能符合實際狀況。
3. 本研究所構建的模式假設旅客需求量為已知，且不受服務水準所影響，若能修正需求假設會隨服務水準變化而改變之變動需求，並引進實際的需求函數型態，將能使模式更接近實際情況。
4. 在實際應用時，營運決策變數中之車輛數必須為整數，建議未來的研究可求解此類混合整數規劃問題，則以模糊規劃法考慮參數之不確定性時，將對結果產生更大影響，使模式所得之營運決策變數組合更符合實際之狀況。

5. 本研究在訂定「乘客總旅行時間評估指標」與「乘客需求評估指標」之門檻值時，所考慮的是特定路線對整體路網是否具有影響力，故訂為「路線總和的倒數值」。建議未來研究時，可將門檻值訂為資料之「四分位數」或「算術平均數」等，將可使比較分析資料來源相同，更適宜進行指標評估。



參考文獻

(一) 中文部分

1. 沈進成，「公車系統營運計劃最佳化模式之研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 77 年。
2. 楊博文，「配合大眾捷運系統之接運公車營運計劃整合之研究—分析數學法與多目標規劃法之應用」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 79 年。
3. 林秀璘，「應用模糊多目標規劃法於公車營運計劃之研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 81 年。
4. 許志義，「多目標決策」，五南圖書出版公司，民國 83 年。
5. 趙瑞芳，「單一公車路線選擇最佳服務策略之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 85 年。
6. 「台灣地區旅運時間價值調查報告」，交通部統計處編印，民國 85 年。
7. 劉方旗，「市區公車排班與即時機動調度之研究—以新竹客運為例」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 87 年。
8. 李啟仲，「認識 fuzzy」，全華科技圖書股份有限公司，民國 88 年。
9. 蔡淑惠，「建構迅速反應式公車服務策略之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 89 年。
10. 林容聖，「旅運需求與迴車時間變異對國道客運排班與車隊影響之研究」，國立交通大學運輸工程與管理研究所碩士論文，民國 89 年。
11. 蔡文昉，「大眾運輸排班系統之研究」，國立交通大學運輸工程與管理研究所碩士論文，民國 90 年。
12. 陳惠國等，「運輸網路分析」，五南圖書出版有限公司，民國 90 年。
13. 周蘇江，「含時窗限制的動態車輛途程問題之研究」，私立中原大學工業工程研究所碩士論文，民國 90 年。

14. 柯景文，「禁制搜尋法於動態車輛巡迴路線問題之研究」，私立逢甲大學交通工程與管理所碩士論文，民國 91 年。
15. 張世峰，「即時定貨資訊下物流配送作業規劃之研究」，私立淡江大學運輸管理學系碩士論文，民國 91 年。
16. 歐信宏，「國道客運轉運系統車輛排班模式之研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 91 年。
17. 林翊翔，「應用商用車營運技術建立快速回應物流配送系統之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 92 年。
18. 吳靜薇，「台南市大眾運輸工具排班之研究—以台南客運 1 號路線為例」，私立立德管理學院資源環境研究所碩士論文，民國 92 年。
19. 台北捷運公司民國 92 年年報。
20. 台北市聯營公車營運成本檢討暨票價調整報告，民國 93 年。
21. 台北都會區整體運輸規劃基本資料之調查與驗校(二)，亞聯工程顧問股份有限公司。
22. 台北都會區捷運系統南港線工程總報告(工程規劃)。
23. 台北捷運公司網站，<http://www.trtc.com.tw>。

(二) 英文部分

24. Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets," Information and Control, Vol. 8, No. 3, pp 338-353, 1965.
25. Newell, G. F., "Dispatching Policies for a Transportation Route," Transportation Science, Vol. 5, No. 1, pp. 91-105, 1971.
26. Salzbom, F. J. M., "Optimum Bus Scheduling," Transportation Science, Vol. 6, No. 2, pp. 137-148, 1972.
27. Hurdle, V. F., "Minimum Cost Schedule for a Public Transportation Route," Transportation Science, No.7, PP.109-137, 1973.

28. Friedman, M., "A Mathematical Programming Model for Optimal Scheduling for Buses Departure under Deterministic Condition," *Transportation Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 83-90, 1976.
29. Vuchic, V. R., *Transit Operating Manual*, Pennsylvania Department of Transportation, 1976.
30. Zimmermann, H.-J., "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 45-55, 1978.
31. Sakawa, M. and Yano, H. \An interactive fuzzy sating method using augmented mini-max problems and its application to environmental system," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-15, pp. 720-729, 1985.
32. Warren B. Powell, 1997, Dynamic control of multi-commodity fleet management problems, *European Journal of Operation Research*.
33. Michel Gendreau, Francois Guertin, Jean-Yves Potvin, and Eric Taillard, 1999, Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching, *Transportation Science*, Vol.33, No.4.
34. Kenny Qili Zhu and Kar-Long Ong,2000, A reactive method for real time dynamic vehicle routing problem, 2000 IEEE.
35. Taguchi, K; Suzuki, T; Aoki, K; Doi, T; Aso, M; Shida, M; Ochihata, M, "A New Transit Led to a Practical Use Using Fully Automated Platooning Buses", *Toyota Motor Coporation,Japan,2002*.
36. Aso, Makoto; Suzuki, Toshihiko" Automated Steering Control the Intelligent Multimode Transit System" ,*Toyota Motor Coporation,Japan,2002*.
37. Sheu Jiuh-Biing, 2003, A Demand-Responsive Logistical Distribution Approach for Time-Based Logistical Control and Management, *Transportation Research Part E*.

附錄 A IMTS 營運計劃模式之完整 LINGO 求解程式碼

目標一：每日長期營運總成本最小化

Min TCo=Co+Ca+Ch+Cb

TCo=6376.48*F1M1+1192.31*F1A1+1277.58*F1B1+1402.64*F1C1+
1268.46*F1D1+1448.24*F1E1+1413.52*F1F1+1500.22*F1G1+1262.75*F1H1+
1364.06*F1I1+6376.48*F1M2+1192.31*F1A2+1277.58*F1B2+1402.64*F1C2+
1268.46*F1D2+1448.24*F1E2+1413.52*F1F2+1500.22*F1G2+1262.75*F1H2+
1364.06*F1I2+14878.45*F2M1+2782.05*F2A1+2981.02*F2B1+3272.82*F2C1+
2959.74*F2D1+3379.23*F2E1+3298.20*F2F1+3500.51*F2G1+2946.41*F2H1+
3182.82*F2I1+14878.45*F2M2+2782.05*F2A2+2981.02*F2B2+3272.82*F2C2+
2959.74*F2D2+3379.23*F2E2+3298.20*F2F2+3500.51*F2G2+2946.41*F2H2+
3182.82*F2I2+6376.48*F3M1+1192.31*F3A1+1277.58*F3B1+1402.64*F3C1+
1268.46*F3D1+1448.24*F3E1+1413.52*F3F1+1500.22*F3G1+1262.75*F3H1+
1364.06*F3I1+6376.48*F3M2+1192.31*F3A2+1277.58*F3B2+1402.64*F3C2+
1268.46*F3D2+1448.24*F3E2+1413.52*F3F2+1500.22*F3G2+1262.75*F3H2+
1364.06*F3I2+10627.46*F4M1+1987.18*F4A1+2129.30*F4B1+2337.73*F4C1+
2114.10*F4D1+2413.73*F4E1+2355.86*F4F1+2500.36*F4G1+2104.58*F4H1+
2273.44*F4I1+10627.46*F4M2+1987.18*F4A2+2129.30*F4B2+2337.73*F4C2+
2114.10*F4D2+2413.73*F4E2+2355.86*F4F2+2500.36*F4G2+2104.58*F4H2+
2273.44*F4I2+ 453.19*N+1355*N+204*N;

目標二：每日旅客總旅行時間成本最小化

Min TCu=Ck+Cw+Cv+Cl

TCu=19.845*(SM1*29491+SA1*7901+SB1*8396+SC1*2205+SD1*3133+
SE1*3428+SF1*3552+SG1*2078+SH1*7178+SII*7642+SM2*31935+SA2*6422+
SB2*9124+SC2*2797+SD2*3425+SE2*3345+SF2*3348+SG2*1930+SH2*7323+
SII*8275)+2427916.68+79.38*(9830/F1M1+2634/F1A1+2799/F1B1+735/F1C1+
1044/F1D1+1143/F1E1+1184/F1F1+693/F1G1+2393/F1H1+2547/F1I1+
10645/F1M2+2141/F1A2+3041/F1B2+932/F1C2+1142/F1D2+1115/F1E2+
1116/F1F2+643/F1G2+2441/F1H2+2758/F1I2+4915/F2M1+1317/F2A1+1399/F2B1
+368/F2C1+522/F2D1+571/F2E1+592/F2F1+346/F2G1+1196/F2H1+1274/F2I1+
5323/F2M2+1070/F2A2+1521/F2B2+466/F2C2+571/F2D2+558/F2E2+558/F2F2+
322/F2G2+1220/F2H2+1379/F2I2+9830/F3M1+2634/F3A1+2799/F3B1+735/F3C1+
1044/F3D1+1143/F3E1+1184/F3F1+693/F3G1+2393/F3H1+2547/F3I1+

10645/F3M2+2141/F3A2+3041/F3B2+932/F3C2+1142/F3D2+1115/F3E2+
 1116/F3F2+643/F3G2+2441/F3H2+2758/F3I2+4915/F4M1+1317/F4A1+1399/F4B1
 +368/F4C1+522/F4D1+571/F4E1+592/F4F1+346/F4G1+1196/F4H1+1274/F4I1+
 5323/F4M2+1070/F4A2+1521/F4B2+466/F4C2+571/F4D2+558/F4E2+558/F4F2+
 322/F4G2+1220/F4H2+1379/F4I2)+4490417+1.1869*(29491/SM1+7901/SA1+
 8396/SB1+2205/SC1+3133/SD1+3428/SE1+3552/SF1+2078/SG1+7178/SH1+
 7642/SI1+31935/SM2+6422/SA2+9124/SB2+2797/SC2+3425/SD2+3345/SE2+
 3348/SF2+1930/SG2+7323/SH2+8275/SI2);

限制式

1.系統所需車輛限制條件

$$N1M1=(0.2763+0.0135/SM1)*F1M1*6;$$

$$N1A1=(0.4399+0.0152/SA1)*F1A1;$$

$$N1B1=(0.4615+0.0163/SB1)*F1B1;$$

$$N1C1=(0.5420+0.0179/SC1)*F1C1;$$

$$N1D1=(0.4638+0.0162/SD1)*F1D1;$$

$$N1E1=(0.5498+0.0185/SE1)*F1E1;$$

$$N1F1=(0.5338+0.0180/SF1)*F1F1;$$

$$N1G1=(0.6090+0.0191/SG1)*F1G1;$$

$$N1H1=(0.4825+0.0161/SH1)*F1H1;$$

$$N1I1=(0.5325+0.0174/SI1)*F1I1;$$

$$N1M2=(0.2763+0.0135/SM2)*F1M2*6;$$

$$N1A2=(0.4399+0.0152/SA2)*F1A2;$$

$$N1B2=(0.4615+0.0163/SB2)*F1B2;$$

$$N1C2=(0.5420+0.0179/SC2)*F1C2;$$

$$N1D2=(0.4638+0.0162/SD2)*F1D2;$$

$$N1E2=(0.5498+0.0185/SE2)*F1E2;$$

$$N1F2=(0.5338+0.0180/SF2)*F1F2;$$

$$N1G2=(0.6090+0.0191/SG2)*F1G2;$$

$$N1H2=(0.4825+0.0161/SH2)*F1H2;$$

$$N1I2=(0.5325+0.0174/SI2)*F1I2;$$

$$N2M1=(0.2763+0.0135/SM1)*F2M1*6;$$

$$N2A1=(0.3593+0.0152/SA1)*F2A1;$$

$$N2B1=(0.3782+0.0163/SB1)*F2B1;$$

$$N2C1=(0.4250+0.0179/SC1)*F2C1;$$

$$N2D1=(0.3778+0.0162/SD1)*F2D1;$$

$$N2E1=(0.4370+0.0185/SE1)*F2E1;$$



$N2F1=(0.4249+0.0180/SF1)*F2F1;$
 $N2G1=(0.4688+0.0191/SG1)*F2G1;$
 $N2H1=(0.3882+0.0161/SH1)*F2H1;$
 $N2I1=(0.4184+0.0174/SI1)*F2I1;$
 $N2M2=(0.2763+0.0135/SM2)*F2M2*6;$
 $N2A2=(0.3593+0.0152/SA2)*F2A2;$
 $N2B2=(0.3782+0.0163/SB2)*F2B2;$
 $N2C2=(0.4250+0.0179/SC2)*F2C2;$
 $N2D2=(0.3778+0.0162/SD2)*F2D2;$
 $N2E2=(0.4370+0.0185/SE2)*F2E2;$
 $N2F2=(0.4249+0.0180/SF2)*F2F2;$
 $N2G2=(0.4688+0.0191/SG2)*F2G2;$
 $N2H2=(0.3882+0.0161/SH2)*F2H2;$
 $N2I2=(0.4184+0.0174/SI2)*F2I2;$
 $N3M1=(0.2763+0.0135/SM1)*F3M1*6;$
 $N3A1=(0.4399+0.0152/SA1)*F3A1;$
 $N3B1=(0.4615+0.0163/SB1)*F3B1;$
 $N3C1=(0.5420+0.0179/SC1)*F3C1;$
 $N3D1=(0.4638+0.0162/SD1)*F3D1;$
 $N3E1=(0.5498+0.0185/SE1)*F3E1;$
 $N3F1=(0.5338+0.0180/SF1)*F3F1;$
 $N3G1=(0.6090+0.0191/SG1)*F3G1;$
 $N3H1=(0.4825+0.0161/SH1)*F3H1;$
 $N3I1=(0.5325+0.0174/SI1)*F3I1;$
 $N3M2=(0.2763+0.0135/SM2)*F3M2*6;$
 $N3A2=(0.4399+0.0152/SA2)*F3A2;$
 $N3B2=(0.4615+0.0163/SB2)*F3B2;$
 $N3C2=(0.5420+0.0179/SC2)*F3C2;$
 $N3D2=(0.4638+0.0162/SD2)*F3D2;$
 $N3E2=(0.5498+0.0185/SE2)*F3E2;$
 $N3F2=(0.5338+0.0180/SF2)*F3F2;$
 $N3G2=(0.6090+0.0191/SG2)*F3G2;$
 $N3H2=(0.4825+0.0161/SH2)*F3H2;$
 $N3I2=(0.5325+0.0174/SI2)*F3I2;$
 $N4M1=(0.2763+0.0135/SM1)*F4M1*6;$
 $N4A1=(0.3593+0.0152/SA1)*F4A1;$
 $N4B1=(0.3782+0.0163/SB1)*F4B1;$
 $N4C1=(0.4250+0.0179/SC1)*F4C1;$



$$\begin{aligned}
N4D1 &= (0.3778 + 0.0162/SD1) * F4D1; \\
N4E1 &= (0.4370 + 0.0185/SE1) * F4E1; \\
N4F1 &= (0.4249 + 0.0180/SF1) * F4F1; \\
N4G1 &= (0.4688 + 0.0191/SG1) * F4G1; \\
N4H1 &= (0.3882 + 0.0161/SH1) * F4H1; \\
N4I1 &= (0.4184 + 0.0174/SI1) * F4I1; \\
N4M2 &= (0.2763 + 0.0135/SM2) * F4M2 * 6; \\
N4A2 &= (0.3593 + 0.0152/SA2) * F4A2; \\
N4B2 &= (0.3782 + 0.0163/SB2) * F4B2; \\
N4C2 &= (0.4250 + 0.0179/SC2) * F4C2; \\
N4D2 &= (0.3778 + 0.0162/SD2) * F4D2; \\
N4E2 &= (0.4370 + 0.0185/SE2) * F4E2; \\
N4F2 &= (0.4249 + 0.0180/SF2) * F4F2; \\
N4G2 &= (0.4688 + 0.0191/SG2) * F4G2; \\
N4H2 &= (0.3882 + 0.0161/SH2) * F4H2; \\
N4I2 &= (0.4184 + 0.0174/SI2) * F4I2; \\
N1 &\geq N1M1 + N1A1 + N1B1 + N1C1 + N1D1 + N1E1 + N1F1 + N1G1 + N1H1 + N1I1 + N1M2 \\
&+ N1A2 + N1B2 + N1C2 + N1D2 + N1E2 + N1F2 + N1G2 + N1H2 + N1I2; \\
N1 &\geq N2M1 + N2A1 + N2B1 + N2C1 + N2D1 + N2E1 + N2F1 + N2G1 + N2H1 + N2I1 + N2M2 \\
&+ N2A2 + N2B2 + N2C2 + N2D2 + N2E2 + N2F2 + N2G2 + N2H2 + N2I2; \\
N1 &\geq N3M1 + N3A1 + N3B1 + N3C1 + N3D1 + N3E1 + N3F1 + N3G1 + N3H1 + N3I1 + N3M2 \\
&+ N3A2 + N3B2 + N3C2 + N3D2 + N3E2 + N3F2 + N3G2 + N3H2 + N3I2; \\
N1 &\geq N4M1 + N4A1 + N4B1 + N4C1 + N4D1 + N4E1 + N4F1 + N4G1 + N4H1 + N4I1 + N4M2 \\
&+ N4A2 + N4B2 + N4C2 + N4D2 + N4E2 + N4F2 + N4G2 + N4H2 + N4I2; \\
N &= 1.2 * N1;
\end{aligned}$$

2. 旅客運量需求限制條件

$$\begin{aligned}
300 * (F1M1 + F1M2) &\geq 2730; \\
50 * (F1A1 + F1A2) &\geq 637; \\
50 * (F1B1 + F1B2) &\geq 779; \\
50 * (F1C1 + F1C2) &\geq 222; \\
50 * (F1D1 + F1D2) &\geq 291; \\
50 * (F1E1 + F1E2) &\geq 301; \\
50 * (F1F1 + F1F2) &\geq 307; \\
50 * (F1G1 + F1G2) &\geq 178; \\
50 * (F1H1 + F1H2) &\geq 644; \\
50 * (F1I1 + F1I2) &\geq 707;
\end{aligned}$$

$300*(F2M1+F2M2) \geq 585;$
 $50*(F2A1+F2A2) \geq 136;$
 $50*(F2B1+F2B2) \geq 167;$
 $50*(F2C1+F2C2) \geq 48;$
 $50*(F2D1+F2D2) \geq 62;$
 $50*(F2E1+F2E2) \geq 65;$
 $50*(F2F1+F2F2) \geq 66;$
 $50*(F2G1+F2G2) \geq 38;$
 $50*(F2H1+F2H2) \geq 138;$
 $50*(F2I1+F2I2) \geq 152;$
 $300*(F3M1+F3M2) \geq 2730;$
 $50*(F3A1+F3A2) \geq 637;$
 $50*(F3B1+F3B2) \geq 779;$
 $50*(F3C1+F3C2) \geq 222;$
 $50*(F3D1+F3D2) \geq 291;$
 $50*(F3E1+F3E2) \geq 301;$
 $50*(F3F1+F3F2) \geq 307;$
 $50*(F3G1+F3G2) \geq 178;$
 $50*(F3H1+F3H2) \geq 644;$
 $50*(F3I1+F3I2) \geq 707;$
 $300*(F4M1+F4M2) \geq 819;$
 $50*(F4A1+F4A2) \geq 191;$
 $50*(F4B1+F4B2) \geq 234;$
 $50*(F4C1+F4C2) \geq 67;$
 $50*(F4D1+F4D2) \geq 87;$
 $50*(F4E1+F4E2) \geq 90;$
 $50*(F4F1+F4F2) \geq 92;$
 $50*(F4G1+F4G2) \geq 53;$
 $50*(F4H1+F4H2) \geq 193;$
 $50*(F4I1+F4I2) \geq 212;$



3. 政策班距的限制條件

$F1M1 \geq 1;$
 $F1A1 \geq 1;$
 $F1B1 \geq 1;$
 $F1C1 \geq 1;$
 $F1D1 \geq 1;$

F1E1>=1;
F1F1>=1;
F1G1>=1;
F1H1>=1;
F1I1>=1;
F1M2>=1;
F1A2>=1;
F1B2>=1;
F1C2>=1;
F1D2>=1;
F1E2>=1;
F1F2>=1;
F1G2>=1;
F1H2>=1;
F1I2>=1;
F2M1>=1;
F2A1>=1;
F2B1>=1;
F2C1>=1;
F2D1>=1;
F2E1>=1;
F2F1>=1;
F2G1>=1;
F2H1>=1;
F2I1>=1;
F2M2>=1;
F2A2>=1;
F2B2>=1;
F2C2>=1;
F2D2>=1;
F2E2>=1;
F2F2>=1;
F2G2>=1;
F2H2>=1;
F2I2>=1;
F3M1>=1;
F3A1>=1;
F3B1>=1;



F3C1>=1;
F3D1>=1;
F3E1>=1;
F3F1>=1;
F3G1>=1;
F3H1>=1;
F3I1>=1;
F3M2>=1;
F3A2>=1;
F3B2>=1;
F3C2>=1;
F3D2>=1;
F3E2>=1;
F3F2>=1;
F3G2>=1;
F3H2>=1;
F3I2>=1;
F4M1>=1;
F4A1>=1;
F4B1>=1;
F4C1>=1;
F4D1>=1;
F4E1>=1;
F4F1>=1;
F4G1>=1;
F4H1>=1;
F4I1>=1;
F4M2>=1;
F4A2>=1;
F4B2>=1;
F4C2>=1;
F4D2>=1;
F4E2>=1;
F4F2>=1;
F4G2>=1;
F4H2>=1;
F4I2>=1;



4.班次上限限制條件

F1M1<=20;
F1A1<=12;
F1B1<=12;
F1C1<=12;
F1D1<=12;
F1E1<=12;
F1F1<=12;
F1G1<=12;
F1H1<=12;
F1I1<=12;
F1M2<=20;
F1A2<=12;
F1B2<=12;
F1C2<=12;
F1D2<=12;
F1E2<=12;
F1F2<=12;
F1G2<=12;
F1H2<=12;
F1I2<=12;
F2M1<=12;
F2A1<=4;
F2B1<=4;
F2C1<=4;
F2D1<=4;
F2E1<=4;
F2F1<=4;
F2G1<=4;
F2H1<=4;
F2I1<=4;
F2M2<=12;
F2A2<=4;
F2B2<=4;
F2C2<=4;
F2D2<=4;
F2E2<=4;



F2F2<=4;
F2G2<=4;
F2H2<=4;
F2I2<=4;
F3M1<=20;
F3A1<=12;
F3B1<=12;
F3C1<=12;
F3D1<=12;
F3E1<=12;
F3F1<=12;
F3G1<=12;
F3H1<=12;
F3I1<=12;
F3M2<=20;
F3A2<=12;
F3B2<=12;
F3C2<=12;
F3D2<=12;
F3E2<=12;
F3F2<=12;
F3G2<=12;
F3H2<=12;
F3I2<=12;
F4M1<=12;
F4A1<=4;
F4B1<=4;
F4C1<=4;
F4D1<=4;
F4E1<=4;
F4F1<=4;
F4G1<=4;
F4H1<=4;
F4I1<=4;
F4M2<=12;
F4A2<=4;
F4B2<=4;
F4C2<=4;



$F4D2 \leq 4;$
 $F4E2 \leq 4;$
 $F4F2 \leq 4;$
 $F4G2 \leq 4;$
 $F4H2 \leq 4;$
 $F4I2 \leq 4;$

5.旅客等車時間限制式

$0.5*(1-0.10)/F1M1 \leq 0.10*((0.8+SM1)/8+0.2286+0.011/SM1);$
 $0.5*(1-0.15)/F1A1 \leq 0.15*((0.8+SA1)/8+0.3244+0.011/SA1);$
 $0.5*(1-0.20)/F1B1 \leq 0.20*((0.8+SB1)/8+0.3176+0.011/SB1);$
 $0.5*(1-0.25)/F1C1 \leq 0.25*((0.8+SC1)/8+0.3397+0.011/SC1);$
 $0.5*(1-0.15)/F1D1 \leq 0.15*((0.8+SD1)/8+0.3214+0.011/SD1);$
 $0.5*(1-0.25)/F1E1 \leq 0.25*((0.8+SE1)/8+0.3337+0.011/SE1);$
 $0.5*(1-0.15)/F1F1 \leq 0.15*((0.8+SF1)/8+0.3320+0.011/SF1);$
 $0.5*(1-0.30)/F1G1 \leq 0.30*((0.8+SG1)/8+0.3569+0.011/SG1);$
 $0.5*(1-0.20)/F1H1 \leq 0.20*((0.8+SH1)/8+0.3359+0.011/SH1);$
 $0.5*(1-0.30)/F1I1 \leq 0.30*((0.8+SI1)/8+0.3432+0.011/SI1);$
 $0.5*(1-0.10)/F1M2 \leq 0.10*((0.8+SM2)/8+0.2286+0.011/SM2);$
 $0.5*(1-0.15)/F1A2 \leq 0.15*((0.8+SA2)/8+0.3244+0.011/SA2);$
 $0.5*(1-0.20)/F1B2 \leq 0.20*((0.8+SB2)/8+0.3176+0.011/SB2);$
 $0.5*(1-0.25)/F1C2 \leq 0.25*((0.8+SC2)/8+0.3397+0.011/SC2);$
 $0.5*(1-0.15)/F1D2 \leq 0.15*((0.8+SD2)/8+0.3214+0.011/SD2);$
 $0.5*(1-0.25)/F1E2 \leq 0.25*((0.8+SE2)/8+0.3337+0.011/SE2);$
 $0.5*(1-0.15)/F1F2 \leq 0.15*((0.8+SF2)/8+0.3320+0.011/SF2);$
 $0.5*(1-0.30)/F1G2 \leq 0.30*((0.8+SG2)/8+0.3569+0.011/SG2);$
 $0.5*(1-0.20)/F1H2 \leq 0.20*((0.8+SH2)/8+0.3359+0.011/SH2);$
 $0.5*(1-0.30)/F1I2 \leq 0.30*((0.8+SI2)/8+0.3432+0.011/SI2);$
 $0.5*(1-0.20)/F2M1 \leq 0.20*((0.8+SM1)/8+0.2286+0.011/SM1);$
 $0.5*(1-0.25)/F2A1 \leq 0.25*((0.8+SA1)/8+0.2650+0.011/SA1);$
 $0.5*(1-0.30)/F2B1 \leq 0.30*((0.8+SB1)/8+0.2603+0.011/SB1);$
 $0.5*(1-0.30)/F2C1 \leq 0.30*((0.8+SC1)/8+0.2663+0.011/SC1);$
 $0.5*(1-0.25)/F2D1 \leq 0.25*((0.8+SD1)/8+0.2619+0.011/SD1);$
 $0.5*(1-0.30)/F2E1 \leq 0.30*((0.8+SE1)/8+0.2653+0.011/SE1);$
 $0.5*(1-0.25)/F2F1 \leq 0.25*((0.8+SF1)/8+0.2643+0.011/SF1);$
 $0.5*(1-0.35)/F2G1 \leq 0.35*((0.8+SG1)/8+0.2747+0.011/SG1);$
 $0.5*(1-0.30)/F2H1 \leq 0.30*((0.8+SH1)/8+0.2703+0.011/SH1);$

$0.5*(1-0.35)/F2I1 \leq 0.35*((0.8+SI1)/8+0.2697+0.011/SI1);$
 $0.5*(1-0.20)/F2M2 \leq 0.20*((0.8+SM2)/8+0.2286+0.011/SM2);$
 $0.5*(1-0.25)/F2A2 \leq 0.25*((0.8+SA2)/8+0.2650+0.011/SA2);$
 $0.5*(1-0.30)/F2B2 \leq 0.30*((0.8+SB2)/8+0.2603+0.011/SB2);$
 $0.5*(1-0.30)/F2C2 \leq 0.30*((0.8+SC2)/8+0.2663+0.011/SC2);$
 $0.5*(1-0.25)/F2D2 \leq 0.25*((0.8+SD2)/8+0.2619+0.011/SD2);$
 $0.5*(1-0.30)/F2E2 \leq 0.30*((0.8+SE2)/8+0.2653+0.011/SE2);$
 $0.5*(1-0.25)/F2F2 \leq 0.25*((0.8+SF2)/8+0.2643+0.011/SF2);$
 $0.5*(1-0.35)/F2G2 \leq 0.35*((0.8+SG2)/8+0.2747+0.011/SG2);$
 $0.5*(1-0.30)/F2H2 \leq 0.30*((0.8+SH2)/8+0.2703+0.011/SH2);$
 $0.5*(1-0.35)/F2I2 \leq 0.35*((0.8+SI2)/8+0.2697+0.011/SI2);$
 $0.5*(1-0.10)/F3M1 \leq 0.10*((0.8+SM1)/8+0.2286+0.011/SM1);$
 $0.5*(1-0.15)/F3A1 \leq 0.15*((0.8+SA1)/8+0.3244+0.011/SA1);$
 $0.5*(1-0.20)/F3B1 \leq 0.20*((0.8+SB1)/8+0.3176+0.011/SB1);$
 $0.5*(1-0.25)/F3C1 \leq 0.25*((0.8+SC1)/8+0.3397+0.011/SC1);$
 $0.5*(1-0.15)/F3D1 \leq 0.15*((0.8+SD1)/8+0.3214+0.011/SD1);$
 $0.5*(1-0.25)/F3E1 \leq 0.25*((0.8+SE1)/8+0.3337+0.011/SE1);$
 $0.5*(1-0.15)/F3F1 \leq 0.15*((0.8+SF1)/8+0.3320+0.011/SF1);$
 $0.5*(1-0.30)/F3G1 \leq 0.30*((0.8+SG1)/8+0.3569+0.011/SG1);$
 $0.5*(1-0.20)/F3H1 \leq 0.20*((0.8+SH1)/8+0.3359+0.011/SH1);$
 $0.5*(1-0.30)/F3I1 \leq 0.30*((0.8+SI1)/8+0.3432+0.011/SI1);$
 $0.5*(1-0.10)/F3M2 \leq 0.10*((0.8+SM2)/8+0.2286+0.011/SM2);$
 $0.5*(1-0.15)/F3A2 \leq 0.15*((0.8+SA2)/8+0.3244+0.011/SA2);$
 $0.5*(1-0.20)/F3B2 \leq 0.20*((0.8+SB2)/8+0.3176+0.011/SB2);$
 $0.5*(1-0.25)/F3C2 \leq 0.25*((0.8+SC2)/8+0.3397+0.011/SC2);$
 $0.5*(1-0.15)/F3D2 \leq 0.15*((0.8+SD2)/8+0.3214+0.011/SD2);$
 $0.5*(1-0.25)/F3E2 \leq 0.25*((0.8+SE2)/8+0.3337+0.011/SE2);$
 $0.5*(1-0.15)/F3F2 \leq 0.15*((0.8+SF2)/8+0.3320+0.011/SF2);$
 $0.5*(1-0.30)/F3G2 \leq 0.30*((0.8+SG2)/8+0.3569+0.011/SG2);$
 $0.5*(1-0.20)/F3H2 \leq 0.20*((0.8+SH2)/8+0.3359+0.011/SH2);$
 $0.5*(1-0.30)/F3I2 \leq 0.30*((0.8+SI2)/8+0.3432+0.011/SI2);$
 $0.5*(1-0.20)/F4M1 \leq 0.20*((0.8+SM1)/8+0.2286+0.011/SM1);$
 $0.5*(1-0.25)/F4A1 \leq 0.25*((0.8+SA1)/8+0.2650+0.011/SA1);$
 $0.5*(1-0.30)/F4B1 \leq 0.30*((0.8+SB1)/8+0.2603+0.011/SB1);$
 $0.5*(1-0.30)/F4C1 \leq 0.30*((0.8+SC1)/8+0.2663+0.011/SC1);$
 $0.5*(1-0.25)/F4D1 \leq 0.25*((0.8+SD1)/8+0.2619+0.011/SD1);$
 $0.5*(1-0.30)/F4E1 \leq 0.30*((0.8+SE1)/8+0.2653+0.011/SE1);$
 $0.5*(1-0.25)/F4F1 \leq 0.25*((0.8+SF1)/8+0.2643+0.011/SF1);$

$0.5*(1-0.35)/F4G1 \leq 0.35*((0.8+SG1)/8+0.2747+0.011/SG1);$
 $0.5*(1-0.30)/F4H1 \leq 0.30*((0.8+SH1)/8+0.2703+0.011/SH1);$
 $0.5*(1-0.35)/F4I1 \leq 0.35*((0.8+SI1)/8+0.2697+0.011/SI1);$
 $0.5*(1-0.20)/F4M2 \leq 0.20*((0.8+SM2)/8+0.2286+0.011/SM2);$
 $0.5*(1-0.25)/F4A2 \leq 0.25*((0.8+SA2)/8+0.2650+0.011/SA2);$
 $0.5*(1-0.30)/F4B2 \leq 0.30*((0.8+SB2)/8+0.2603+0.011/SB2);$
 $0.5*(1-0.30)/F4C2 \leq 0.30*((0.8+SC2)/8+0.2663+0.011/SC2);$
 $0.5*(1-0.25)/F4D2 \leq 0.25*((0.8+SD2)/8+0.2619+0.011/SD2);$
 $0.5*(1-0.30)/F4E2 \leq 0.30*((0.8+SE2)/8+0.2653+0.011/SE2);$
 $0.5*(1-0.25)/F4F2 \leq 0.25*((0.8+SF2)/8+0.2643+0.011/SF2);$
 $0.5*(1-0.35)/F4G2 \leq 0.35*((0.8+SG2)/8+0.2747+0.011/SG2);$
 $0.5*(1-0.30)/F4H2 \leq 0.30*((0.8+SH2)/8+0.2703+0.011/SH2);$
 $0.5*(1-0.35)/F4I2 \leq 0.35*((0.8+SI2)/8+0.2697+0.011/SI2);$

6. 路線站距限制式

$(SM1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SA1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SB1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SC1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SD1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SE1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SF1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SG1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SH1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SI1+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SM2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SA2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SB2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SC2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SD2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SE2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SF2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SG2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SH2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $(SI2+0.8)/4 \leq 0.375;$
 $SM1 \geq 0.375;$
 $SA1 \geq 0.375;$



SB1>=0.375;
SC1>=0.375;
SD1>=0.375;
SE1>=0.375;
SF1>=0.375;
SG1>=0.375;
SH1>=0.375;
SI1>=0.375;
SM2>=0.375;
SA2>=0.375;
SB2>=0.375;
SC2>=0.375;
SD2>=0.375;
SE2>=0.375;
SF2>=0.375;
SG2>=0.375;
SH2>=0.375;
SI2>=0.375;



簡歷



姓名：吳政儒

籍貫：臺中縣

生日：民國 70 年 9 月 23 日

學歷：民國 95 年 6 月國立交通大學交通運輸研究所畢業

民國 93 年 6 月國立交通大學運輸科技與管理學系畢業

民國 89 年 6 月國立臺中第一高級中學畢業

民國 86 年 6 月臺中縣立清水國中畢業

民國 80 年 6 月臺中縣立清水國小畢業

電郵：jrwu.tt93g@nctu.edu.tw