

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

通勤交通車路線問題之研究

Commuter Bus Routing Problem



研究生：張淑詩

指導教授：韓復華 教授

中華民國九十五年六月

通勤交通車路線問題之研究

Commuter Bus Routing Problem

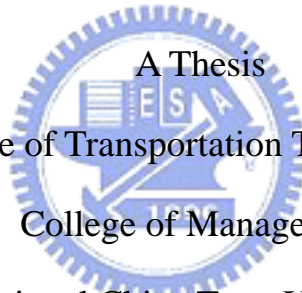
研 究 生：張淑詩

Student : Shu-Shih Chang

指導教授：韓復華

Advisors : Anthony Fu-Wha Han

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文



A Thesis

Submitted to Institute of Transportation Technology & Management

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

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十五年 六 月

通勤交通車路線問題之研究

學生：張淑詩

指導教授：韓復華 教授

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

近年來許多公司體認到通勤交通車之服務是一項不可或缺之員工福利，而交通車路線規劃為最重要之關鍵。通勤交通車路線問題屬於車輛路線問題之特殊型態，且類似於傳統之校車路線問題，但是大多校車路線問題之研究只考量單一迄點及單一車種之特性。本研究考量多對多起迄點與多車種之特性，探討通勤交通車路線設計問題，以數學規劃建構通勤交通車路線模式，並發展一啟發式解法構建通勤交通車路線，以有效率地求解大規模之實務問題。

本研究依據通勤交通車之特性，以總營運成本最小為規劃目標，利用整數規劃(IP)構建通勤交通車路線模式，並設計完全性路網走廊型(CC)、完全性路網非走廊型(CR)、非完全性路網走廊型(IC)、非完全性路網非走廊型(IR)四種路網型態之小型測試例題，以 ILOG OPL Development Studio 4.2 軟體於 Windows XP 作業系統、Pentium IV 2.8GHz CPU 及 1GHz RAM 之個人電腦求取最佳解(exact solution)來驗證 IP 模式之正確性。在啟發式解法方面，本研究利用 C++ 程式語言構建通勤交通車路線起始解模組與路線改善模組，其中起始解以搜尋種子點及最近鄰點法構建，路線改善則考量路線之剩餘車容量與剩餘時間，進行路線間之節點移轉。為了評估啟發式解法之成效，本研究亦以啟發式解法求解四種路網型態之小型測試例題，將啟發式解法之結果與 IP 模式之最佳解進行比較與分析。分析結果顯示，利用啟發式解法求解小型例題皆可求解出最佳解，且執行時間皆在 1 秒內，求解效果良好。

在實務應用方面，本研究以新竹科學園區內某一公司之實際個案資料為例，挑選其中 14 條路線作為研究範圍。個案考慮三種車型，14 條路線總長度共 524.4 公里，服務人數有 244 人，年成本約 500 萬元。依本研究構建之 IP 模式，個案問題有變數 38,296,776 個，限制式 2,247,204 個，無法求得最佳解，故以本研究啟發式解法求解。求解結果顯示，求解時間約 1.5 秒，路線數減少 2 條，路線總長度減少約 113 公里，每年節省成本約 103 萬元(佔原成本 20 %)。後續研究方面，建議可考慮以服務品質為目標，如所有搭乘員工總搭乘時間最小化，亦可考量多重目標，將營運成本與服務品質同時考量。

關鍵詞：通勤交通車路線問題、校車路線問題、啟發式解法

Commuter Bus Routing Problem

Student: Shu-Shih Chang

Advisor: Anthony Fu-Wha Han

Institute of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Commuter Bus Routing Problem (CBRP) is defined as a multi-workplace and multi-vehicle routing problem commonly faced by many companies for their employee's daily commuting. CBRP can be considered as a variant of Vehicle Routing Problem (VRP), but traditional solution methods of VRP are not applicable to solve CBRP. School Bus Routing Problem (SBRP) is similar to CBRP, but most of the research on SBRP only considered single-school and single-vehicle. In this study, we presented an integer programming (IP) formulation for CBRP, and developed heuristic methods for solving large scale CBRP.

We first formulated an IP model with the objective of minimizing total operating cost, and then generated a bank of 24 small example problems for testing and validation of our IP model. We also developed heuristic methods to solve the CBRP. The heuristic methods consist of two phases. In route construction phase, we first selected seed nodes and applied nearest neighbor procedures. In route improvement phase, we considered surplus vehicle capacity and surplus route time to improve the incumbent solution. Comparing the results of IP model and the heuristic methods, we found that our heuristic methods can solve all the 24 small example problems correctly in about 0.3 seconds.

In this study, we also tested a real-world problem of a company in Hsinchu Science Park. There were 14 routes providing commuting services to 244 employees in the case problem, and the annual operating cost was about 5 million. The case problem would have 38,296,776 variables and 2,247,204 constraints in the IP model, and is difficult to obtain the exact solution. We applied our heuristic methods to successfully solve the case problem in 1.5 seconds, and the results could save about 20% total operating cost.

In this study, we only considered the objective of minimizing total operating cost. For service consideration, further research may consider the objective of minimizing total travel time or multiple objectives.

Keywords: Commuter Bus Routing Problem, School Bus Routing Problem, Heuristics

致 謝

經過一年的努力，碩士論文總算順利完成。首先感謝恩師 韓復華教授兩年來之悉心指導與教誨，及生活上之關心與照顧，使得學生在兩年的研究所生涯中獲益良多，師恩浩蕩、永銘在心！在此致上最由衷之謝忱。

論文口試期間，承蒙 中央大學 顏上堯 教授、中華大學 張靖 教授、中華大學 卓裕仁 教授不吝指教與斧正，提供諸多寶貴意見使本論文更臻完善，在此衷心感謝。論文審查期間，系上 卓訓榮 教授撥冗閱讀並給予指導，使本論文能更嚴謹充實，學生衷心感佩。此外，論文進行期間，感謝 A 公司謝經理提供個案參考資料，使得本論文能順利完成。

即將告別兩年的交大生活，雖然時間不長，但是當中的生活點滴卻是最美好的回憶。感謝系上師長們的諄諄教誨及網路實驗室的學長、同窗、學弟妹諸多的照顧。感謝二師兄威哥在論文期間所給予的指導與關心；感謝總是替大家照像的俊德、最了解實驗室設備用法的貝哥、愛說「因為愛」的小刀及值大夜班的昆諭學長在生活上與課業上提供許多意見及協助；謝謝永遠替大家尋找美食的俐諭、總是協助我電腦相關問題的育廷、常提供轎車服務的裕智及愛打嘴砲的俊吟陪我一起修課、聊是非，謝謝學弟妹 彥臻、阿春、智偉、昱傑在最後幫忙跑程式，感謝這一路上一直有著你們的陪伴，讓我在網路實驗室的二年裡充滿歡笑與樂趣。也謝謝阿界、承正學長、同窗的阿昌、輝鵬、彥宏及上海交大的陳娟，為我的交大生活增添許多色彩。

此外，也要謝謝大學一起玩社團的各位伙伴，小卉、鈞茹、啟聖、國洲、智豪、紫萱、嘉嫻、美玲、馬達、小呆，你們的支持與鼓勵讓我想起當初我們的傻勁與毅力，使我更有動力去克服求學中遇到的困難。

最後，我要將此論文獻給我最摯愛的雙親、姊姊與弟弟，感謝你們在我求學過程中持續不斷的給予支持與鼓勵，使我能克服種種困難並完成碩士學位。未來我將持續地向前邁進，希望能不辜負你們對我的期望。

碩士論文的完成，要感謝的人太多了，僅將這份榮耀，與你們分享！

張淑詩 謹誌

記于 交大網路實驗室 2006.6

通勤交通車路線問題之研究

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
致 謝	iii
目 錄	iv
表目錄	vii
圖目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究內容與範圍	1
1.3 研究方法與流程	2
第二章 文獻回顧	5
2.1 最短路徑問題	5
2.2 車輛路線問題	7
2.2.1 車輛路線問題定義	7
2.2.2 傳統啟發式解法	8
2.2.3 鄰域搜尋法	9
2.2.4 小結	12
2.3 公車路網規劃方法	13
2.3.1 公車路網規劃方法分類	13
2.3.2 公車路網規劃方法之數學法	14
2.4 校車與交通車路線設計方法探討	16
2.4.1 國外校車路線規劃與排班	16

2.4.2	國內校車與交通車路線規劃.....	17
2.4.3	小結.....	18
第三章	通勤交通車路線問題定義與數學模式構建.....	20
3.1	問題描述.....	20
3.2	模式列式.....	20
3.3	模式驗證.....	24
3.3.1	測試例題設計.....	24
3.3.2	測試例題求解.....	27
第四章	通勤交通車路線問題啟發式解法構建.....	32
4.1	啟發式解法之架構.....	32
4.2	路線起始解模組構建.....	33
4.3	路線改善.....	35
4.4	啟發式解法之測試與分析.....	39
第五章	實例應用.....	41
5.1	個案現況說明.....	41
5.2	啟發式解法執行結果.....	43
5.2.1	起始解執行結果.....	45
5.2.2	交換改善執行結果.....	45
5.3	結果比較與分析.....	49
第六章	結論與建議.....	51
6.1	結論.....	51
6.2	建議.....	51
	參考文獻.....	53
	附錄一：測試例題資料.....	57
	附錄二：測試例題結果.....	63
	附錄三：個案 A 公司路網資料.....	73

附錄四：實際車容量為限制之實例結果路線圖	82
附錄五：服務容量為限制之實例結果路線圖	88



表目錄

表 2.1	國內外校車路線之設計與規劃彙整	18
表 2.2	通勤交通車與校車服務特性比較表	19
表 3.1	通勤交通車模式之複雜度	24
表 3.2	測試例題各車型之成本結構	25
表 3.3	測試例題資料	26
表 3.4	例題 CR6 節點座標	27
表 3.5	例題 CR6 節點服務時間	27
表 3.6	例題 CR6 起迄需求量	28
表 3.7	例題 IC2 距離矩陣	29
表 3.8	例題 IC2 節點服務時間	30
表 3.9	例題 IC2 起迄需求量	30
表 3.10	測試例題求解結果	31
表 4.1	啟發式解法求解結果與最佳解之比較	39
表 5.1	A 公司 14 條路線使用之車型	42
表 5.2	A 公司 14 條路線乘載人數與乘載率	43
表 5.3	各車型成本線性模式與 t 值	43
表 5.4	各起、迄點間之需求	44
表 5.5	起始解各路線使用車輛型態	45
表 5.6	起始解結果	45
表 5.7	實際容量為限制之路線結果	46
表 5.8	服務容量為限制之路線結果	47
表 5.9	啟發式解法之執行結果	49
表 5.10	A 公司現況與本研究執行結果之路線數與車輛使用情形	49
表 5.11	A 公司現況與本研究執行結果之成本分析	50

表 5.12	A 公司現況與本研究執行結果之乘載率分析	50
--------	----------------------------	----



圖目錄

圖 1.1	研究流程圖	4
圖 2.1	K-opt 節線交換法之解題觀念	10
圖 2.2	Or-opt 節線交換法之解題觀念	11
圖 2.3	(1-0)與(1-1)節點交換法的解題觀念	12
圖 3.1	走廊型與非走廊型節點分布示意圖	25
圖 3.2	例題 CR6 節點分佈圖	27
圖 3.3	例題 CR6 測試結果路徑圖	28
圖 3.4	例題 IC2 路網圖	29
圖 3.5	例題 IC2 測試結果路徑圖	30
圖 4.1	啟發式解法執行架構	32
圖 4.2	起始路線構建執行架構	34
圖 4.3	路線剩餘容量與可移轉量示意圖	36
圖 4.4	路線間節點移轉改善流程圖	38
圖 5.1	A 公司工廠位置及分區圖	41
圖 5.2	A 公司交通車服務起、訖點分佈圖	42
圖 5.3	實際容量為限制之路線 5 結果	48
圖 5.4	服務容量為限制之路線 1 結果	48

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

近年來各產業中員工與雇主的關係，已從主僕關係躍升為互惠關係，愈來愈多公司體認到員工與企業互動的重要性，為了讓企業有更多的成長，以及提高員工的生產力，許多公司無不在勞工福利方面著手規劃各項服務，替員工塑造一個優質的工作環境；而其中交通部份對於許多通勤族而言是一項麻煩的事，塞車、找停車位往往浪費許多時間。因此，各公司提供通勤交通車之服務將會是一項不可或缺之勞工福利，尤其對於二十四小時全年無休之高科技產業更為重要，因其部分女性作業員上班型態屬於晝夜輪班制度，基於勞基法之規定必須提供適當的交通車服務，以確保員工之安全。

良好之通勤交通車服務有賴於良好的停靠站設置與交通車路線規劃，停靠站之設置不但影響員工從家裡出發至停靠站之距離，對於路線規劃亦有相當之影響。而路線之規劃為通勤交通車服務最重要之關鍵，良好之路線規劃不但可以降低成本，也可以減短員工搭乘之時間。此外，員工搭乘之需求隨著新進人員與離職人員的變動而常有改變，經常需要對通勤交通車之路線進行部份更改，傳統以人工方式規劃通勤交通車之路線費時又費力，若可利用現今電腦技術構建良好的通勤交通車路線，則可節省相當多的人力投入與時間成本。

通勤交通車路線問題雖屬於車輛路線問題之衍生性問題，但其問題特性與車輛路線問題並不完全相同，故許多車輛路線問題之方法並不適合直接用於求解通勤交通車路線問題。雖然通勤交通車路線問題與校車路線問題類似，但國內、外學者多針對多對一起迄點及單車種之校車路線問題進行研究。有鑒於此，本研究著重在多對多起迄點及多車種之通勤交通車路線設計，以整數規劃建構合理之通勤交通車路線問題數學模式，並設計小型例題確認模式之正確性。因通勤交通車路線問題屬於 NP-hard 問題，大規模之問題無法有效率求解，故本研究亦構建啟發式解法求解實務上大規模之通勤交通車路線問題。

1.2 研究內容與範圍

通勤交通車路線規劃可分為三個階段，第一個階段為決定每個停靠站之位置，第二階段為將欲搭乘之員工指派到各停靠站，第三階段則為路線之產生與車輛之指派。前二個階段的決策可經由公司對員工進行搭乘需求之調查來決定，第三階段則較為複雜，屬於車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)的衍生性問題。故本研究著重在第三階段之路線產生與車輛指派，針對公司所提供之通勤交通車進行路線設計與車輛指派，但因上班與下班之路線屬於對稱之問題，故本研究只針對上班之路線進行規劃。

本研究依據通勤交通車路線多對多起迄點與多車種之特性，以總營運成本最小為規劃目標建立符合之整數規劃模式，並設計小型測試例題以驗證模式之正確性。本研究亦以某高科技公司之通勤交通車為研究實例對象，跟據該公司已訂定好之停靠站位置及已知的乘車員工起迄需求量，利用啟發式解法構建以總營運成本最小為主要目標之通勤交通車路線組合。接著進行結果與個案現況之比較與分析，期望能提供給個案公司作為路線改善之參考依據，進而提高服務水準，增加員工滿意程度。

1.3 研究方法與流程

本研究在蒐集與了解通勤交通車之特性後，先以整數規劃建構合理之通勤交通車路線模式，並設計例題測試模式正確性。由於通勤交通車路線規劃屬於 VRP 的衍生問題，而 VRP 已被證明屬於 NP-hard 問題，無法於有效率的時間內求解出最佳解，因此本研究擬根據個案公司通勤交通車相關資訊，利用啟發式解法構建良好之通勤交通車路線組合。茲將上述二種方法分述如下：

1. 整數規劃

依據通勤交通車之特性，以整數規劃構建通勤交通車路線模式，並設計小型測試例題以整數規劃軟體 ILOG OPL Development Studio 4.2 在 PC 作業平台求解，確認模式之正確性。



2. 啟發式解法

由於通勤交通車問題屬於大規模數學規劃問題，因此無法於有效率的時間內求解出最佳解，故本研究擬利用啟發式解法，利用 C++ 程式語言構建以總營運成本最小為主要目標之通勤交通車路線規劃模組，產生良好之通勤交通車路線組合。

本研究之研究流程與執行步驟，如下頁圖 1.1 所示，分述如下：

1. 相關文獻蒐集與回顧

蒐集與回顧國、內外公車路網規劃相關文獻，以了解目前國內外對公車路網規劃的方法，並回顧國、內外校車與交通車路線問題相關文獻。另外，回顧最短路徑演算法與國、內外對於車輛路線問題之相關文獻，以了解各種啟發式解題方法。

2. 相關資料蒐集與分析

訪談與調查個案公司通勤交通車之營運狀況，了解通勤交通車之特性，並蒐集停靠站位置與乘車員工上、下車需求量之相關資料，進行各項指標之分析。

3. 模式建構

依據通勤交通車之問題特性與各種限制，以整數規劃建立通勤交通車路線之數學模式，並設計小型例題以數學規劃軟體求解，以便確認模式正確性。

4. 啟發式解法

利用 C++ 程式語言構建以總營運成本最小為主要目標之通勤交通車路線起始解模組與路線改善模組，茲將二種模組分述如下：

- (1) 起始解模組構建：先以最大車型車容量做為車容量限制構建路線，路線構建完成後則考量實際乘載人數，進行車型調整，形成路線起始解。
- (2) 路線改善模組構建：考量路線剩餘時間和剩餘車容量，利用節點移轉法將路線進行改善，以求得更好之路線組合。

啟發式解法構建完成後，利用小型例題測試啟發式解法，並將其結果與 MP 模式之最佳解進行比較與分析，以評估本研究啟發式解法之成效。

5. 實例個案應用

實務上，選擇通勤交通車服務符合多對多起迄點及多車種特性之某公司為例，利用啟發式解法求解路線組合，並針對求解出之路線組合，進行各項指標比較與分析，探討本研究啟發式解法之優劣，作為往後調整修正之依據。

6. 結論與建議

根據前述各步驟所得結果，提出具體之結論與建議，並研擬未來後續研究方向與重點項目。

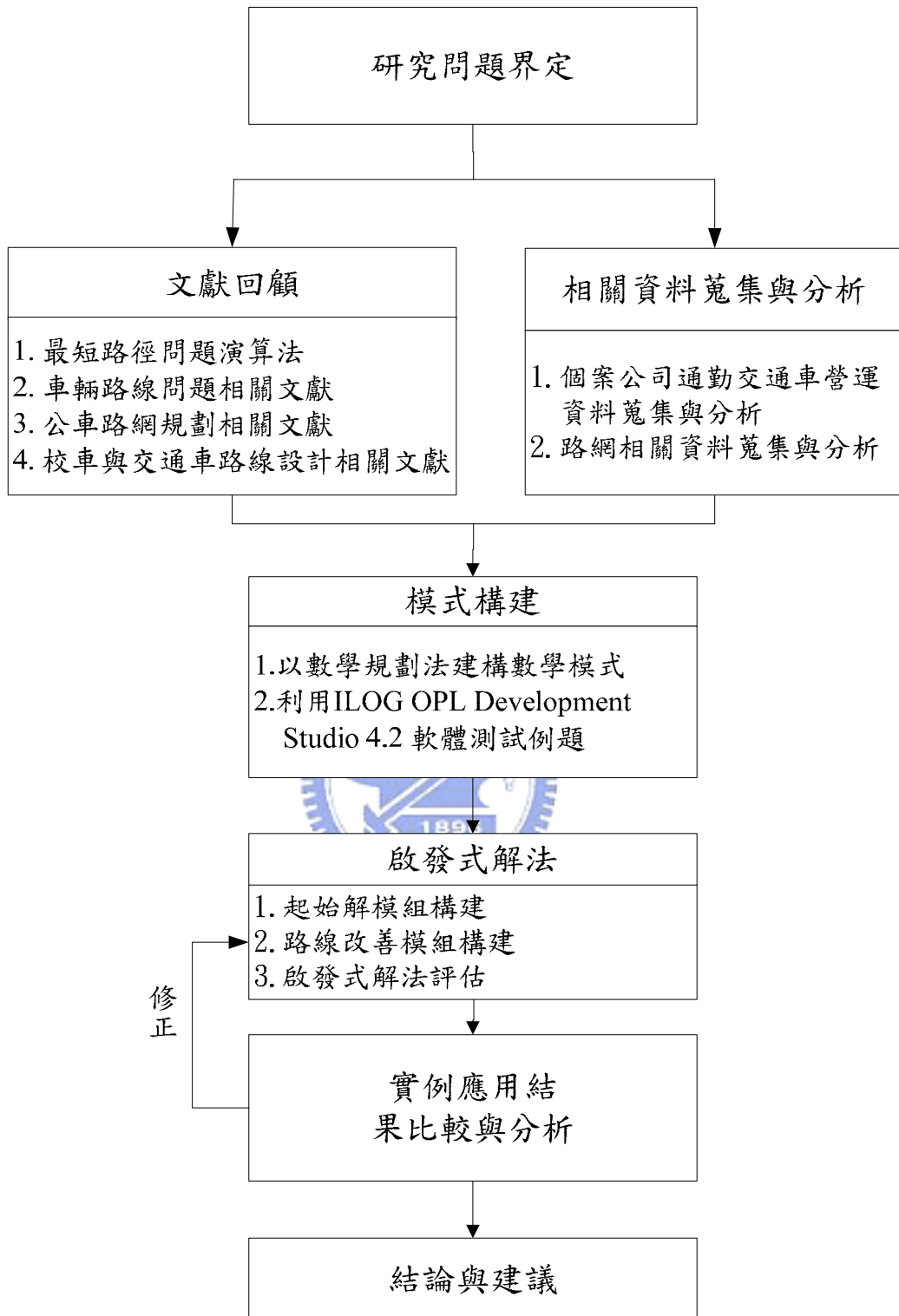


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究主要探討通勤交通車路線問題，其屬於車輛路線問題之衍生問題，且與公車路網之規劃有部分相似，故本章第一節先回顧最短路徑問題之各種演算法，以便了解最短路徑之求解方法；第二節先闡述 VRP 問題之定義，並介紹過去專家學者對 VRP 問題之解法；第三節則回顧國內外公車路網設計之相關文獻；第四節則敘述國內外校車與交通車之相關文獻。

2.1 最短路徑問題(Shortest Path Problem)

最短路徑問題(Shortest Path Problem)為路網研究中極重要的一部份，在一個路網當中，給定一起點和迄點，並考慮所有可能影響之因素，求得最低之成本或是最快之時間到達目的。應用於交通運輸方面，如物流運輸和旅客的運輸，另外在緊急救難時是更需要運用最短路徑，提供人員疏散或緊急救難之決策方案[28]。

最短路徑問題根據起迄點及問題特性可分為以下三類：

1. 一對一(one-to-one)：由特定起點至特定迄點之最短路徑。
2. 一對多(one-to-all)：由一個點至其他各點之最短路徑。
3. 多對多(all-to-all)：路網上任意兩點之最短路徑。

前兩類最短路徑問題，主要求解方式為 Label Setting Algorithm 以及 Label Correcting Algorithm。Label Setting Algorithm 只能用來求解節線成本為非負的路網，而 Label Correcting Algorithm 除了可以在非負的節線成本使用外，也可以用於節線成本為負的路網，但不能在有負循環(negative cycle)的路網中使用。至於第三類多對多的最短路徑問題，則可以透過一對一最短路徑的求解方式，將其擴大為每一個節點都是終點來計算。以下將常見的演算法整理介紹如下[18]。

1. 標記設定法(Label Setting Algorithm)

Label Setting Algorithm 中較具代表性的為 1959 年被提出之 Dijkstra's Algorithm，這個方法的基本概念是給節點暫時性標號，表示由起點 S 到此節點路徑之長度上限，這些標號將隨著重複之演算步驟而增大，而且每個循環將會比較所有暫時性標號的距離標籤，選擇最小的距離標籤並將之轉換成永久性標號。而永久性標號代表起點 S 到該節點之最短路徑。以下則是 Dijkstra's Algorithm 的演算步驟：

首先，先針對下面出現之符號進行說明： $L(X_i)$ 為節點 X_i 的成本標號值， $\Gamma(P)$ 為與點 P 相連之所有點集合， P 為固定為永久標籤之點， $C(i, j)$ 表示為 i 至 j 之成本。

步驟一：令起點S為永久標號，且所有不等於S之 X_i 設為暫時標號，即 $L(S)=0$ ，

$$L(X_i)=\infty, P=S。$$

步驟二：對所有屬於 $\Gamma(P)$ 且為暫時標號之 X_i ，更新標號值：

$$L(X_i)=\min[L(X_i), L(P)+C(P, X_i)]$$

步驟三：於所有暫時性標號中找出成本標號值最小的節點 X_i' ，並更新該點之成本標

$$\text{號值，即 } L(X_i')=\min\{L(X_i)\}。$$

步驟四：設定 X_i' 的標號為永久性，即 $P=X_i'$ 。

步驟五：(1) 若只找起點S到終點T之最短路徑，則可慮以下二點：

i 如果 $P=T$ ，即停止演算。

ii 如果 $P \neq T$ ，則重複步驟二。

(2) 若係找起點S到所有點之最短路徑，則到步驟六。

步驟六：當所有點皆為永久標號，則該標號即為該點之最短路徑，停止演算。

若標號仍為暫時標號，則重複步驟二。

2. 標記修正法(Label Correcting Algorithm)

Label Correcting Algorithm 的計算方式跟 Label Setting Algorithm 有點類似，不同的是其係將所有節點視為暫時標籤，直到最後才同時將所有節點的距離標籤變成永久標籤。以下為 Label Correcting Algorithm 的演算步驟：

首先，先針對下面出現之符號進行說明： $l^k(i)$ 為從起點 s 經 k 階到達 i 的距離， $L^{(k)}$ 為在 k 階時 $l^k(i)$ 的集合， $S^{(k)}$ 為從起點 s 開始，恰 k 階 SP 到達的(終)點集合， $P^{(k)}$ 為 k 階時所有點的前置點集合， $\Gamma(S)$ 為 S 集合內所有點的下游點的集合，而 $\Gamma^{-1}(S)$ 則為 S 集合內所有點的上游點的集合。

起始條件：當 $i \neq s$ 時， $k=0$ ， $l(s)=0$ ， $l(i)=\infty$ ，且 $S=\{s\}$ ， $k=k+1$ ，進行步驟一。

步驟一：更新所有屬於 $\Gamma(S)$ 的點 j 之 $l(j)$ ，而 $l(j)=\min\left[l(j), \min_{k \in T_j}(l(k)+c_{kj})\right]$ ，其中

T_j 即 S 點集合中可以直接連到 j 點的子集合。

步驟二：更新第 k 階 SP 到達的點集合。

$$S=\{j \mid \text{在第一步驟更新過的 } l(j)\}。$$

步驟三：(1) 若 $k \leq (n-1)$ 且 $S \neq \Phi$ ， $k=k+1$ ，則回到步驟一。

(2) 若 $k \leq (n-1)$ 且 $S=\Phi$ ，則停止演算。

(3) 若 $k=n$ 且 $S \neq \Phi$ ，則則停止演算。

3. Floyd-Warshall Algorithm

於1962年被提出的Floyd-Warshall Algorithm 是利用矩陣運算計算出 all-to-all 最短路徑演算法。其演算步驟如下：

起始條件：若節線(i,j)存在，則 $d_0(i, j) = \ell(i, j)$ ；若 $i = j$ ，則 $d_0(i, j) = 0$ ；
若節線(i,j)不存在，則 $d_0(i, j) = \infty$ 。

對所有 $i \neq j$ 時，則前置點矩陣 $p_0(i, j) = i$ ；當 $i = j$ 時，不必追蹤前置點矩陣。

步驟一：令 $k = 1$ 。

步驟二：根據下列式子計算距離矩陣 $D^{(k)}$ ：

$$d_k(i, j) = \min[d_{k-1}(i, j), d_{k-1}(i, k) + d_{k-1}(k, j)]$$

步驟三：以下列的式子計算前置點矩陣 $P^{(k)}$ ：

$$P_k(i, j) = \begin{cases} P_{k-1}(k, j), & \text{若 } d_k(i, j) \neq d_{k-1}(i, j) \\ P_{k-1}(i, j), & \text{otherwise} \end{cases}$$

步驟四：當 $k = n$ ，則停止，否則令 $k = k + 1$ ，然後回到步驟二。

2.2 車輛路線問題

2.2.1 車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)定義

Dantzig 和 Ramser 二位學者首先於1959年提出VRP問題，VRP問題主要是有效率地派遣車輛，使車輛依序到許多個服務地點做收貨和(或)送貨的服務，結束時並回到出發點；其目標是找到一組車輛路線組合可以滿足各種限制並且最小化所有車子之運輸成本[5]。

VRP問題之定義整理如下：「給定一路網 $G(N, L)$ ， N 代表節點 (Nodes) 集合， L 代表節線 (Links) 的集合，設有一場站 (depot) 以節點 0 表示，此場站擁有 m 輛車，每輛車之容量皆為 q ；給定有 n 位顧客需要服務，每位顧客有 d_i ($i=1 \sim N$) 之需求量，車輛從顧客 i 到顧客 j 的成本(含場站)為 c_{ij} ；其中，每位顧客僅能被一輛車服務一次，且每輛車不可服務相同之顧客。在不違反車輛容量限制之條件下，希望在此路網上找到一組路線組合，使得 k 輛車自場站出發服務完所有顧客並回到場站之成本最小。」一般而言，網路之問題可用數學規劃模式表示，茲將VRP之數學規劃表示如下[5]:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M c_{ij} \cdot x_{ij}^k \quad (2-1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (2-2)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2-3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pi}^k = 0 \quad (k = 1, \dots, m; p = 0, \dots, n) \quad (2-4)$$

$$\sum_{i=0}^n d_i \left(\sum_{j=0}^n x_{ij}^k \right) \leq q \quad (k = 1, \dots, m) \quad (2-5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k \leq 1 \quad (k = 1, \dots, m) \quad (2-6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0}^k \leq 1 \quad (k = 1, \dots, m) \quad (2-7)$$

$$y_i - y_j + n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k \leq n - 1 \quad (2 \leq i \neq j \leq n; y_i \text{ 為實數}) \quad (2-8)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } i, j, k \quad (2-9)$$

c_{ij} : 代表顧客i到顧客j的行駛成本

x_{ij}^k : 0-1變數；若車輛k從顧客i到顧客j則為1，否則為0

d_i : 顧客i之需求量

q : 車輛之容量

n : 節點之數量, 也就是顧客數

m : 車輛數

其中，(2-1)式為路線本最小之目標式；(2-2)式與(2-3)式係確保每一位客戶只被一輛車服務；(2-4)表示到達顧客i與離開顧客i的車輛為同一輛車；(2-5)表示車輛所服務之顧客需求量不得超過車輛容量之限制；(2-6)式與(2-7)式表示並非所有車輛皆要使用；(2-8)為避免產生子迴路之限制式；(2-9)式為雙元整數限制式，若決策變數 $x_{ij}^k = 1$ 表示從顧客i到顧客j使用車輛k服務，否則 $x_{ij}^k = 0$ 。

2.2.2 傳統啟發式解法

VRP 問題求解之方式可分為最佳解解法(Exact Solution)和近似解(Approximation)二大類；最佳解解法大多是以數學規劃為基礎，以雙元整數規劃(Binary Integer Programming)的形式來求解最佳解，例如：分枝定限法(Branch and Bound)、變數產生法

(Column Generation)等，而近似解法大多屬於啟發式解法。因 VRP 屬於 NP-hard 問題，在求解大規模問題時往往無法於有效的時間內求出最佳解，故對於 VRP 問題大多以啟發式解法求解。Bodin 和 Golden[5]等人將 VRP 的啟發式解法分為四類[5][36]：

1. 先分群再設計路線(Cluster-first route-second)：此法分為二階段，第一階段先將需求點分群，第二階段再對各群組進行路線設計。
2. 先設計路線再分群(Route-first cluster-second)：先針對所有的需求點，構建一包含所有點之路線，其次再根據問題之限制條件將此路線分割為數條較小且可行的路線。
3. 節省法或插入法(Savings/insertion)：建構路線時以節省值的大小作為插入之依據，將節省值最大的需求插入路線中，直到所有的需求點都插入路線上，且不能再節省為止。
4. 改善與交換法(Improvement/exchange)：針對起始路徑進行交換改善，以減少路線總成本，直到無法改善為止。

此外，傳統之啟發式解法又可依上述四類再歸納分成以下三種[32][34]：

1. 路線構建型(Tour Construction)：係根據路網距離或成本矩陣直接產生較佳的可行解，常見的方法包括鄰點法(Neighbor procedure)、插入法(Insertion Method)、節省法(Saving Method)等。
2. 路線改善型(Tour Improvement)：係針對任意一個起始可行解，以鄰域搜尋法(Local Search)改善路線成本，以求得更好的解，例如：K-Opt、Or-Opt 等。
3. 綜合型(Composite)：係將路線構建和路線改善合併執行，或一面建構路線一面改善路線，如「路線構建起始解+2-Opt」、「路線構建起始解+2-Opt+3-Opt」等。

上述三種 VRP 傳統啟發式解題架構的績效，以綜合型架構為最佳。而許多績效良好的綜合型架構係以交換型啟發式解法為其主幹，可見交換型啟發式解法確實具有實務應用上之潛力。但是交換型啟發式解法因為只在目標值有改善時才進行交換，加上受起始解組合型態之影響，所以在求解過程中易陷入局部最佳解而無法繼續尋找較佳的解。

2.2.3 鄰域搜尋法

針對任一起始解利用鄰域搜尋法可進行路線改善，以求得較佳之結果，茲將 k-opt、Or-opt 與 Lin & Kernighan 等交換法進行回顧。

1. K-opt 節線交換法[15][35]

此法於 1965 年由 Lin [15]提出，其中 K 表示每次進行交換的節線數，一般最常使用的為 2-opt 及 3-opt。其解題架構之觀念：針對任一起始解，交換同路線上任 K 條不相鄰的節線，然後檢查交換後的解是否優於交換前的解。若是，則更新路線；否則維持原解，

繼續交換其他 K 條節線，直到所有可交換的節線都檢查完畢為止。如圖 2.1 所示：2-opt 換掉 (1,2) 與 (3,4) 二條節線後，可連接 (1,3) 與 (2,4) 兩條節線形成另一可行的路線，然後檢查其結果是否優於原先的解。

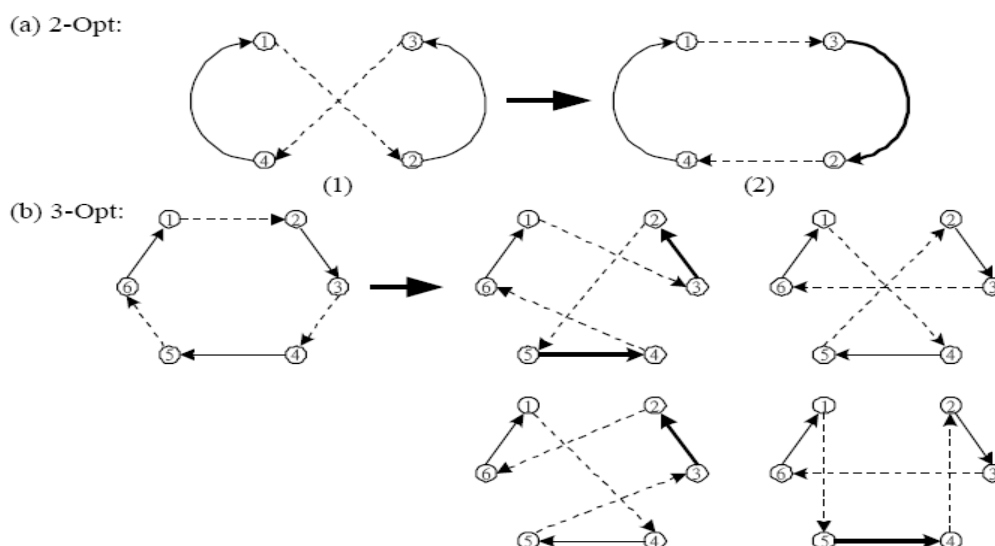


圖 2.1 K-opt 節線交換法之解題觀念

資料來源：[35]

2. Or-opt 節線交換法[23][32][35]

Or [23]學者於 1976 年提出一種簡化 3-opt 節線交換法的方法，稱為 Or-opt 節線交換法。此法在每次的鄰域搜尋中，陸續將二段節線 ($p=3$)、一段節線 ($p=2$) 及一個節點 ($p=1$) 從路線中抽出，再將其插入該路線的其他節線之間，然後檢查交換後的解是否優於交換前的解。若是，則更新路線；否則維持原解，繼續交換其他 K 條節線，直到所有可交換的節線都檢查完畢為止。如圖 2.2 (a) 為例：若換掉圖 2.2 (a-1) 的 (1,2)、(2,3) 及 (6,7) 三條節線，然後連接 (1,3)、(6,2) 及 (2,7) 三條節線而變成圖 2.2 (a-2) 的路線，將可能改善起始解。值得注意的是，Or-opt 節線交換法在進行交換時，只需要將小部份節線反轉，因而提高程式執行的效率。

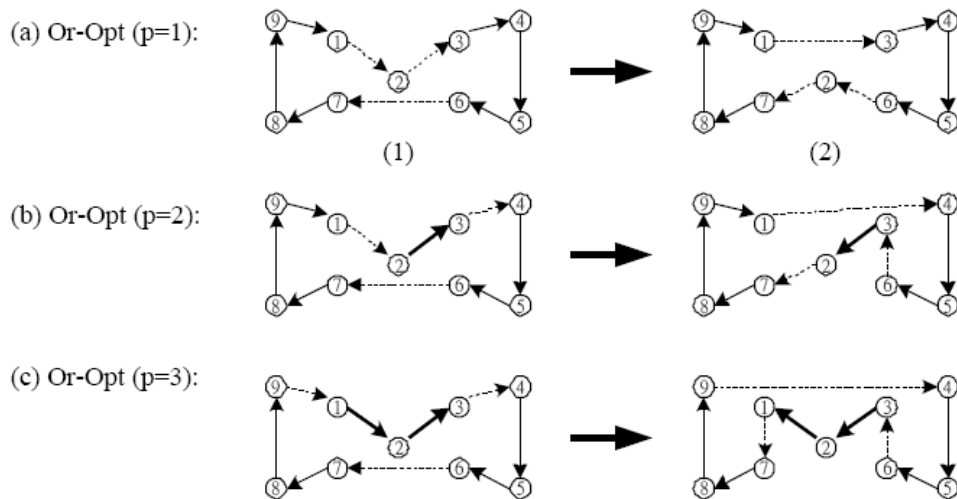


圖 2.2 Or-opt 節線交換法之解題觀念
資料來源：[35]

3. Lin & Kernighan 交換法[17][32][35]

Lin 和 Kernighan [17]於 1973 年提出一種稱為「變動深度(variable depth)」的節線交換法，每次移動時所交換的節線數並非固定值，使得其產生鄰解的機制更為複雜。Reinelt 曾指出，Lin & Kernighan 交換法的解題精確度明顯優於 K-opt 節線交換法及當時期大多數的啟發式解法（例如：插入法、節省法、掃描法、最小擴張樹等等）。

4. 節點交換法[8][32]

當路線有多條時，可應用路線間的節點交換法來改善路線成本。此法最早由 Christofides 和 Eilon [8]於 1969 年提出，係對任二條路線相互交換其部份節點，然後檢查交換後的結果是否可行且獲得改善，然後決定某種交換形式以獲得較佳的路線。節點交換的形式眾多，例如：1 點對 0 點、1 點對 1 點、1 點對 2 點等等。圖 2.3 顯示 1 點對 0 點與 1 點對 1 點交換型態之示意圖。

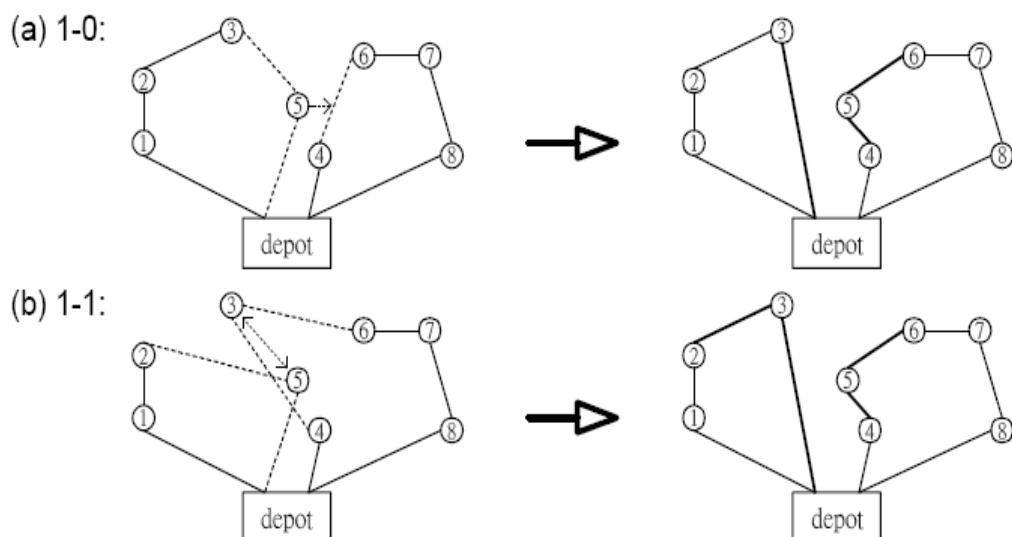


圖 2.3 (1-0)與(1-1)節點交換法的解題觀念

資料來源：[32]

2.2.4 小結

根據上述 VRP 問題之特性與定義，發現 VRP 問題與本研究所探討之通勤交通車路線問題之特性略有不同，本節將針對此二問題進行比較，討論二問題相似處與相異處。

首先，考量單一個場站或單一個工作廠區，二問題之起、迄點型態皆屬於多對一之型態，即多個起點、一個迄點。限制部份二問題皆有車容量限制及路線長度或時間限制，且需求皆不允許分割。而相異之處主要在於每一車輛之路線型態，VRP 問題之路線因從場站出發，最後又回到場站，故屬於一個迴路(cycle)；而通勤交通車路線問題之路線屬於單向之路徑(Hamiltonian path)。

對於只有單一個工作廠區時，可以利用成本函數將通勤交通車路線問題轉換成 VRP 問題，轉換方式係將從工作廠區至其他任何一個點之距離成本設定為 0 即可。若 i 、 j 代表節點，工作廠區為節點 1，其距離成本之數學列式如下：

$$\begin{cases} d'_{ij} = d_{ij} & \text{if } i \neq 1 \\ d'_{ij} = 0 & \text{if } i = 1 \end{cases} \quad (2-10)$$

然而，若考量多個場站或多個工作廠區時，二問題之特性則有較多之差別，對於多場站 VRP 問題而言，每一個場站所提供之服務皆為相同，每個節點上之需求可以由任何一個場站之車輛服務，但對多工作廠區之通勤交通車問題而言，不同工作廠區之上班員工不同，每個起點上之需求有其對應之迄點，不能將其隨意指派。

此外，多場站 VRP 問題其各場站位置通常較為分散，以便可以涵蓋整個服務範圍；

也因各場站位置較為分散，故可以將整個問題劃分成單一場站之子問題，每個場站只需服務其所屬之服務區域即可。而多工作廠區之通勤交通車問題其廠區位置非常相近，如每個工作廠區皆位於科學園區內，若將多工作廠區之通勤交通車問題劃分成單一個工作廠區之子問題時，可能會造成成本之浪費，故對於多工作廠區之通勤交通車問題本研究建議不要將其劃分成單一個工作廠區之子問題，應同時考量多個工作廠區。

2.3 公車路網規劃方法

有關交通車路網之規劃方法並沒有專門的文獻探討，但國內外有關公車路網規劃方法分類的相關文獻甚多，由於交通車之特性與公車具有某些程度之相似性，因此可參考公車路網規劃的方法，加以研究。此節將先說明公車路網規劃方法的分類，以了解目前學者針對公車路網規劃有哪些方法。

2.3.1 公車路網規劃方法分類

公車路網規劃方法的分類以 Chua 與 Silcock[9]的分類最具代表性，他們依據公車路網的規劃程序觀念，將公車路網的規劃方法歸納為規劃手冊法(Manual)、系統分析法(System Analysis)、市場分析計畫法(Market Analysis Project, MAP)、交談式電腦繪圖輔助法(System Analysis with Interactive Graphics, SAIG)、數學尋優法(Mathematical Optimization)和啟發式解法(Heuristic Method)六類，而後 Chua[10] 於 1984 年又將數學尋優法和合理求解法合併為數學法(Mathematical Approach)。茲將各類規劃方法簡述如下[9][10][31]：

1. 規劃手冊法

規劃者依據公車路網之特性及路網設計原則，憑其個人之「專業知識」與「主觀認知」來規劃公車路線。此法之優點為操作簡便、費用低廉，缺點則為較易產生無效率的公車路網型態。

2. 系統分析法

依照一套程序步驟建立公車路網，利用大眾運輸指派模式預估各公車路線之運量，並建立評估模式以做為分析公車路網之依據。此法著重於評估模式之建立，而對於路網設計較缺乏明確之方法。

3. 市場分析計畫法

市場分析計畫法類似於系統分析法的系統化程序。此法僅在乘客起迄及家戶資料之分析應用電腦程式處理，而在公車路網的產生與路線率次運量的預測仍採人工處理，因此對於大部分複雜的都市地區顯得較不符合實際之狀況。

4. 交談式電腦繪圖輔助法

所謂交談式電腦繪圖輔助法係指設計者可經由電腦連線的映像管，利用「對話方式」直接進行公車路網的測試工作，可用於改進傳統的指派與評估模式。其缺點為執行太慢且所產生可測試之路網方案太少。

5. 數學尋優法

係利用數學規劃的方法求得最佳公車路網之解答。此法將問題公式化時，難免有過多的假設使得與實際狀況脫節，而且在實際應用時受到電腦容量之限制。

6. 啟發式解法

係利用符合邏輯、有條理的程序來產生和改進路網，並藉著改變路網設計變數，以增加求得「最佳解」之機會。規劃者可視實際的環境背景，以數學化的方式求解，為都市實際網路設計較為理想可行的方法。

2.3.2 公車路網規劃方法之數學法

數學法乃最常用來探討路網設計的規劃方法，其如上節所述分成數學尋優法與啟發式解法，茲將此二法簡述如下：

數學尋優法有較多之假設，較適用於簡單路網，因此，此類方法之研究對象大都侷限於平行公車路線或棋盤型路網[30]。Holroyd [13]學者於 1967 年推導旅次分布均勻之棋盤路網的最佳路線間距及班次，研究結果顯示有效步行時間成本、公車營運成本與等待時間成本皆相等時，可使系統總成本最小，並得最適之路線間距。Byrne 和 Vuchic [3]於 1972 年推導棋盤路網之平行路線的最佳間距及班次，結果顯示公車路線兩側之旅次需求相等時，可得最適之路線位置。Byrne [4]於 1976 年同樣針對平行路線進行探討，主要為推導速率不同之平行路線的最適位置、長度及班次，以使得系統總成本最小。然而，因公車營運具有目標多元化的特性，所以多年來一直無所謂的最佳公車路網設計方法。

啟發式解法利用符合邏輯、有條理的程序來產生和改進路網，雖無法保證產生最佳解，但較接近公車路網之實務應用，且可用合理之運算時間獲得良好解。Lampkin 與 Saalmans 認為良好的公車路網應具備以下幾點特性：(1)大多數的公車乘客皆不需轉車；(2)公車路線應儘量直捷，避免過度彎繞；(3)路線之設計應善於配合環境之改變；(4)路線總數不宜過多，並根據上述之目標提出一種公車路線設計方法，亦即先產生一條包含四個節點且路線二端皆有場站可用的基本路線，然後再依增點準則將點插入路線中，直至無法插入為止，即產生一條新路線。若待服務旅次仍很大時，則重複上述動作，產生另一新路線[16][30]。

Rea 學者於 1972 年提出樣板網路(Template Network)的觀念，將公車可能行駛之道

路構築為基本路網，然後依下列步驟進行路徑之取捨[25] [30]：

1. 對於樣板路網的各路段皆給予最高的公車服務水準(如最高之班次密度)。
2. 決定樣板路網上任意二旅次起訖點間之最短路徑(以候車時間與行車時間之和表示)。
3. 以容量限制指派法進行公車旅次量指派。
4. 檢視各路段之供給與需求(旅次指派結果)是否一致。
5. 若某路段之供需平衡，則維持原服務水準，否則降低其班次密度至剛好滿足現有需求者，然後回到步驟 2。當所有路段皆達供需平衡時，路線設計工作即停止。

Rea 學者的方法較適用於簡單的大眾運輸系統，對於複雜的公車路線問題，此種方法可能無法適用。

Hsu 和 Surti 於 1977 年建立一個路線選擇的架構，先將公車路網中的節點區分為活動型節點、社區型節點與轉運點；然後，將路網設計的程序分為數個發展階段，每一個階段皆包含擴線、運量預測及路網評估三個部份，且每階段僅發展一類公車路線，依序為活動路線、社區路線、走廊路線與運轉路線等[14] [30]。

藍武王與施嫩嫩[40]以路線所經地區須服務最多旅客為原則，並以旅次發生量最大之交通分區作為起點向鄰近各區作連續性之樹狀發展，提出掃描法、簡捷法與直接法三種方法分別針對二種循環與非循環路線進行探討。然而，此種方法以服務最多旅客數為原則設計路線，並未考量路線之直捷與否，易產生路線彎繞現象。

Marwah 等人於 1984 年針對 Ahmedabad 之公車路網設計方法，結合了啟發式解法和數學規劃模式，以預估之旅客期望行駛路線取代最短路徑為選線原則，透過最小營運成本與旅行時間成本之目標式，先尋找符合之公車路線，然後再藉由啟發式求解之方法，透過系統最大轉車次數節省數量之目標式，同時選出公車路線與班次數[21][39]。

周義華與林祥生於 1985 年利用啟發式解法發展出三類公車路線設計方法，其以基本路線設計法與直捷路線設計法來設計直線型公車路線，以環狀路線設計法發展環狀公車路線。此研究雖已將公車營運與路網特性納入考量，但對於轉車旅次之處理與到路容量之限制並未列入考慮，故實際應用上仍受限制[30][31]。

近幾年來，隨著巨集啟發式解法之發展，有許多學者都採用基因演算法來設計公車路網。1998 年 Pattnaik、Mohan 和 Tom 三位學者[24]對市區公車路線進行設計，其設計方式分成二個階段進行，第一階段產生候選的路線組合，第二階段利用基因演算法選擇最佳的路線組合。2003 年 Tom 和 Mohan[26]二人同樣利用基因演算法針對大眾運輸路線的網路提出一個設計方法，不同的地方在於他們將路線的頻率視為一個變數納入考

量。Ngamchai 等人[22]於 2003 年考量轉運站的轉運需求，用基因演算法設計巴士的運輸網路。而 Chakroborty 和 Dwivedi[12]於 2002 年根則據基因演算法的原則發展一套程序去求解運輸系統路線的最佳解。

2.4 校車與交通車路線設計方法探討

2.4.1 國外校車路線規劃與排班

國外對於校車網路的設計大都是探討某一學區內各級學校校車行駛路線的規劃與班次之設計。問題之背景可以統整如下：在一個學區內有許多學校，每個學校上學與放學之時間是固定的，且每個學校都有一組所屬站牌。校車服務為政府提供，由政府統籌管理，政府於每個時段內指派車輛服務該時段內上學或放學之學校；因此，國外之校車路網設計主要是對每個時段整體路線進行規劃與排班，使得車輛可達到最大利用率，以減少總運送成本。

在校車網路設計中，資料之處理往往非常費時，1979 年 Bodin 與 Berman 二位學者 [2]針對這個煩人的問題提出 ministop 的觀念，將每一個學生指派到離家最近的 mini-stop 上，以便快速確定每個學校所屬的站牌與指派到每個站牌之學生數。校車路線設計上，Bodin 與 Berman 以巴士總旅行時間最小為目標，採用先設計路線再分群的方法，利用 Lin[15]學者於 1965 年提出之 3-Opt 節線交換法，針對研究區域內之學校，先找到一條經過所有站牌之路線，再將此路線依據容量及時間限制條件分割成數條可行之路線。

Bowerman 等人[6]考量多目標之市區校車路線問題，將此問題分成三個子問題：校車停靠站位置之決定、指派學生到停靠站之問題，以及路線產生問題。他們用 allocation-routing-location (ARL)策略來求解這三個子問題，這個策略主要是先將學生分派到每個群組，使得每個群組可以被一條校車路線服務；接著停靠站之位置被選定且產生經過這些停靠站的校車路線。Bowerman 等人利用多目標的 Districting 演算法將學生指派至每個群組，然後結合集合涵蓋演算法和插入法選定停靠站位置和產生路線。

Braca [7]等人發展一套電腦計算系統 CATS (Computer Assisted Transportation System)來幫助校車的路線規劃；這套系統中，主要使用 Location Based Heuristic 方法同時處理行駛路線的規劃與班次之設計，且允許一輛車搭載不同學校之學生。其以 1992~1993 紐約 Manhattan 學區的學校為例，從 838 個停靠站服務 4619 個學生至 73 個學校，結果顯示使用的車輛比原本的車輛少。

Corberan 等學者[11]著重在發展一個方法可以同時考量運輸成本與運輸時間這二個相互衝突的目標，而不是以權重之方式將多目標轉換成單一目標。其採用分散搜尋法 (Scatter Search)之架構，先以二種啟發式解法(H1 和 H2)產生起始解，第二個步驟以 SWAP 交換程序去找到每一條路線長度之局部最佳解，接著以 INSERT 交換程序去改善最大的旅行時間，最後結合上面三個步驟所產生的解集合，進而產生一條新的路線。雖然

Corberan 等人所提出的這個方法在執行上仍無法非常有效率，但這個方法可以同時考量運輸成本與運輸時間，產生不同的車輛數與最大旅行時間組合，決策者可以決定成本與服務品質如何折衷，然後再選擇最適合的路線。

Li 和 Fu 二位學者[20]建構了多目標之數學模式，其考量目標之優先順序為最小化總車輛數、最小化所有學生所花的總旅行時間、最小化車輛總旅行時間、平衡車輛間的裝載量和旅行時間。其解法結合了啟發式解法和最佳化方法，包括 Lawler 的第 K 條最短路徑演算法、Dijkstra's 最短路徑演算法、Hungarian 演算法，共分五個步驟求解，第一個步驟先找到滿足第一個目標（服務所有停靠點所需的最小車輛數）之最佳解，第二步驟是建構起始解，第三步驟改善起始解，第四步驟確認所有路線為最短路徑，最後用 Hungarian 演算法進行車輛指派，以最小化車輛空載的旅行時間。

2.4.2 國內校車與交通車路線規劃

國內的校車或交通車服務大多為各學校(機關)自行負責，有些是學校自營，有些則是委外經營。因此，國內之校車多屬於只服務單一學校，上學時只要將分散在不同地區之學生全部載往同一個目的地下車，放學時從同一個學校將學生載回上學時上車之停靠站即可，與上節所述之國外校車服務特性不同。

國內對於校車或交通車路線規劃之相關文獻甚少，陳文瑞[36]首先於 1989 年對交通車的網路設計進行研究，其以台大之交通車做為實例研究，跟據地理區位分成三群組，每個群組利用 VRP 模式以 LINDO 套裝程式求解各群組最佳路線組合。

陳建都[34]於 1996 年對校車路線指派問題進行研究，以中部某職業學校做為案例，利用修正之掃描法建構路線起始解，再以路線間節點交換來改善，且利用四個例題對掃描法和節省法進行比較，結果顯示平行掃描法與循序掃描法在執行績效上均較循序節省法佳。此外，陳建都亦探討車輛容量限制的放寬對車輛營運成本與乘客車上旅行時間成本的影響。

張靖、卓裕仁等人[38]於 2001 年將地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)應用在校車路線與班次排程上，提出一個在 GIS 環境下規劃校車路線的方法，並應用在中華大學的校車路線與班次排程上。其採用集合涵蓋及最短路徑的觀念，將分區中人數最多的點，依序加入路線中，並限制路線長度與最大服務人數，產生路線停靠站組合，再以 ArcView Avenue 程式撰寫旅行推銷員(TSP)之程式，規劃出四條較佳的路線。最後，利用路線服務人數、成本效益與行駛時間三個指標來評估四條路線之優劣。

張容瑄[37]於 2001 年利用模擬退火法規劃一個校車指派系統，其問題定義為軟性時間窗車輛路線問題(VRPSTW)，每個需求點都有其時間窗限制，提早到達或超過最晚到達時間都加上懲罰項，讓問題與實務上的情況相符，使業者在最適合的運送路線下，總運送距離最小，並達到準時的要求。

2.4.3 小結

國內外對於校車路線設計與規劃之研究所考量之目標與求解之方法各有不同，茲將國內外對於校車路線之設計與規劃彙整如表 2.1。

表 2.1 國內外校車路線之設計與規劃彙整

學者(年份)	考量目標	求解方法	敘述與結果分析
Bodin、 Berman (1979)	車輛數最少	3-opt 交換法	Ministop 的觀念對於這類問題的資料庫建立非常有效率。
陳文瑞 (1989)	路線時間最短	啟發式解法	跟據地理區位分成三群組，每個群組利用 VRP 模式以 LINDO 套裝程式求解各群組最佳路線組合。
Bowerman 等人 (1995)	(1)車輛數最少 (2)路線長度最小 (3)承載量與路線長度 平衡 (4)學生步行距離最少	Districting 演算法 集合涵蓋演算法 插入法	利用不同目標之權重產生不同的結果，結果顯示只要權重較高之目標，其最後該目標之結果較佳。
陳建都 (1996)	車輛總距離最小	掃描法、 路線間節點交換	結果顯示平行掃描法與循序掃描法在執行績效上均較循序節省法佳。
Braca 等人 (1997)	車輛數最少	Location Based Heuristic	以紐約 Manhattan 學區為例，從 838 個停靠站服務 4619 個學生至 73 個學校，結果顯示使用的車輛比原本的車輛少。
張容瑄 (2001)	車輛總距離最小	模擬退火法	問題定義為軟性時間窗車輛路線問題，每個需求點都有其時窗限制。其結果顯示模擬退火法有機會接受較劣解，使得最後結果有時會失去最佳解。
Corberan 等人 (2002)	(1)車輛數最少 (2)載客路線時間最小	分散搜尋法 (Scatter Search)	執行上仍無法非常有效率，但可以同時考量運輸成本與運輸時間二個相互衝突的目標。
Li 和 Fu (2002)	(1)車輛數最少 (2)載客路線時間最小 (3)路線時間最小 (4)承載量與旅行時間 平衡	結合啟發式解法和最佳化方法	以香港某幼稚園為例，54 個停靠站，86 個學生，結果顯示巴士總旅行時間減少 29%。

以往國、內外文獻多以學校交通車路線之研究為主，對企業員工交通車路線作研究並不多見，從文獻中得知員工交通車與學校交通車之性質雖相近，但仍有些微之不同，茲將員工通勤交通車與學校交通車之特性整理與比較如表 2.2。

表 2.2 通勤交通車與校車服務特性比較表

	通勤交通車	校車
服務對象	機關團體 / 企業員工	學生
起迄點數目	多對一 / 多對多	多對一/多對多
起迄型態	固定的起迄點	固定的起迄點
路線型態	單向（上班）	單向(上學)
發班頻率	單趟	單趟
時間限制	於上班前需抵達迄點	於學校規定時間前需抵達迄點
目標	多目標(服務/成本)	多目標(服務/成本)
需求分佈	分散	集中
車種	多車種	單車種/多車種
分割乘載 (split load)	不可	不可

通勤交通車與校車服務之起迄點數目雖皆屬多對一或多對多，但隨著我國工業區與科學園區之發展，往往在一個區域範圍內有多個工作廠區，故通勤交通車較偏向多個起點至多個迄點之情形；而文獻中國、內外校車服務之研究大多皆以一條路線經過一個學校為主(多對一起迄點)，只有 Braca [7]等人針對一條路線經過多個學校進行研究(多對多起迄點)。此外，校車服務之車種雖可為單車種或多車種，但國內、外校車服務之相關文獻大多只針對單車種校車路線進行研究。由上述可知，以往文獻中較少有研究針對多對多起迄點及多車種之特性進行研究，故本研究將針對通勤交通車多對多起迄點及多車種之特性，探討通勤交通車路線設計問題。

第三章 通勤交通車路線問題定義與數學模式構建

本章主要根據通勤交通車之特性，參考韓復華等人[40]之研究，建立一個適用於通勤交通車之數學模式。在第一節中首先描述通勤交通車路線問題，並說明此問題之假設；第二節中將說明本研究所建立之模式。第三節則設計數個小型例題並進行例題測試，以驗證模式之正確性。

3.1 問題描述

本研究主要探討公司用來接送員工上、下班的通勤交通車路線問題，而上班與下班之路線有反向對稱的性質，故可只探討員工上班的通勤交通車路線問題。在通勤交通車載運的作業流程中，每個員工於公司訂定好之停靠站上車，所屬之工作廠區下車，通勤交通車必須於上班前將員工從居住地運送至工作廠區；每條路線可以有不同容量之車種選擇，使得通勤交通車服務在考量路線時間限制下可以有較高之乘載率。此外，雖然通勤交通車路線問題為多目標之問題，但因本研究首次將多對多起迄點及多車種之特性納入考量，為簡化問題之複雜度，本研究僅以服務所有需求之車輛總營運成本為目標進行研究。

為簡化問題，本研究對此問題有以下之假設：

1. 各工作廠區之位置與各停靠站之位置為已知。
2. 搭乘的員工數量為已知且固定。
3. 不同車型有不同之容量限制。
4. 停靠站與停靠站之間的距離與行駛時間為已知。
5. 各起迄對間的需求不可分割。
6. 需先設定最大之路線數，路線數範圍建議以「總需求人數/最小車型車容量」為考量。

本問題以總營運成本最小化為目標，並滿足下列限制式：

1. 每輛車輛可以服務多個起迄對間之需求。
2. 每個起迄對間之需求只能由一輛車輛服務一次。
3. 每個起迄對間之需求都必須被滿足。
4. 每輛車之服務總員工數不能違反該車的容量限制。
5. 每輛車均有相同的最大旅行時間限制。

3.2 模式列式

在模式建立前，先將模式中各符號說明如下：

N = 所有點集合; 其中 0 為虛擬點

R = 路線集合; $R = \{1, 2, \dots, R_n\}$, R_n 表示路線數

V = 車輛型態集合; $V = \{1, 2, \dots, V_n\}$, V_n 表示車輛型態數

M = OD起迄對集合; $M = \{1, 2, \dots, M_n\}$, M_n 表示OD起迄對之數量

q_m = OD起迄對間之需求量, $m \in M$

s_m = OD起迄對之起點, $m \in M$

t_m = OD起迄對之迄點, $m \in M$

c^v = v 型態車輛之固定成本

d_{ij}^v = v 型態車輛經過節線 ij 之變動成本

k_v = v 型態車輛之車容量

t_{ij} = 節線 ij 之旅行時間 + i 點之服務時間

T_0 = 每一條路線允許之車輛最大旅行時間

$g_{i,m} = \begin{cases} 1, & \text{若 } i \text{ 點為起迄對 } m \text{ 之起點} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

$h_{i,m} = \begin{cases} 1, & \text{若 } i \text{ 點為起迄對 } m \text{ 之迄點} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

決策變數為

$y_m^k = \begin{cases} 1, & \text{若指派 } q_m \text{ 至路線 } k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ (起迄需求量指派變數)

$\delta_{kv} = \begin{cases} 1, & \text{若路線 } k \text{ 使用 } v \text{ 型態車輛} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ (車輛型態指派變數)

$z_k = \begin{cases} 1, & \text{若路線 } k \text{ 有使用} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ (路線啟動變數)

$p_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{若路線 } k \text{ 經過節線 } ij \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ (路線指派變數)

x_{ij}^{km} = 指派至路線 k 之起迄對 m 經過節線 ij 之流量 (路線流量變數)

依據上節之問題特性，以最小化總營運成本為規劃目標構建通勤交通車路線模式，列示如下：

$$\text{Min} \quad \sum_{k \in R} \sum_{v \in V} c^v \cdot \delta_{kv} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in R} \sum_{v \in V} d_{ij}^v \cdot (p_{ij}^k \cdot \delta_{kv}) \quad (3-1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N} p_{j0}^k = z_k, \quad \forall k \in R \quad (3-2)$$

$$\sum_{j \in N} p_{0j}^k = z_k, \quad \forall k \in R \quad (3-3)$$

$$\sum_{j \in N} p_{ij}^k = \sum_{j \in N} p_{ji}^k \leq z_k, \quad \forall i \in N, \forall k \in R \quad (3-4)$$

$$\sum_{k \in R} y_m^k = 1, \quad \forall m \in M \quad (3-5)$$

$$y_m^k \leq z_k, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-6)$$

$$y_m^k \leq \sum_{j \in N} p_{s_m j}^k, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-7)$$

$$y_m^k \leq \sum_{i \in N} p_{i t_m}^k, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-8)$$

$$z_k = \sum_{v \in V} \delta_{kv}, \quad \forall k \in R \quad (3-9)$$

$$\sum_{m \in M} q_m \cdot y_m^k \leq \sum_{v \in V} k_v \cdot \delta_{kv}, \quad \forall k \in R \quad (3-10)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \leq T_0, \quad \forall k \in R \quad (3-11)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ji}^{km} + g_{i,m} \cdot q_m \cdot y_m^k = \sum_{j \in N} x_{ij}^{km} + h_{i,m} \cdot q_m \cdot y_m^k, \quad \forall m \in M, \forall i \in N, \forall k \in R \quad (3-12)$$

$$\sum_{m \in M} x_{ij}^{km} \leq B \cdot p_{ij}^k, \quad \forall i, j \in N, \forall k \in R \quad (3-13)$$

$$y_m^k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-14)$$

$$\delta_{kv} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R, \forall v \in V \quad (3-15)$$

$$z_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R \quad (3-16)$$

$$p_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R, \forall i, j \in N \quad (3-17)$$

$$x_{ij}^{km} \geq 0, \text{ and integer}, \quad \forall i, j \in N, \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-18)$$

(3-1)式為總營運成本最小之目標式；(3-2)式與(3-3)式為每一路線進出虛擬點的總次數為 z_k ；(3-4)式確保每一路線上進出各點次數一致，且小於或等於 z_k ；(3-5)式表示所有 OD 起訖對之需求量只能指派給一條路線；(3-6)式表示若將起迄量 q_m 指派給路線 k 時，則路線 k 一定存在；(3-7)式表示若將 q_m 起迄量指派給路線 k 時，則起迄對 m 的起點一定指派給路線 k ；(3-8)式表示若將 q_m 起迄量指派給路線 k 時，則起迄對 m 的迄點一定指派給路線 k ；(3-9)式表示每一路線只能使用一種車輛，且路線若未啟動則無車輛指派；(3-10)式為車容量限制；(3-11)式表示路線時間限制；(3-12)表示流量守恆；(3-13)

式為邏輯限制式，即若 x_{ij}^{km} 存在，則 p_{ij}^k 一定存在，其中 B 為一個很大的數值；(3-14)、(3-15)、(3-16)、(3-17)式為 0-1 整數變數；(3-18)式為非負正數變數。

從上述之數學模式可發現其為二次指派(非線性)之數學模式，求解效率較線性之數學模式低。因此，參考 Williams[27]所述之模式建構相關邏輯可將上述之數學式轉換為一次指派之線性數學模式，轉換邏輯說明如下：若 $\delta_1\delta_2$ 為 0-1 變數，要將其改為線性時，可增加一個新的 0-1 變數 δ_3 取代 $\delta_1\delta_2$ ，當 $\delta_3=1$ 時，表示 $\delta_1=1$ 且 $\delta_2=1$ 。因此，將 $\delta_1\delta_2$ 改為線性時，必須加入下面三個限制式： $-\delta_1+\delta_3 \leq 0$ 、 $-\delta_2+\delta_3 \leq 0$ 與 $\delta_1+\delta_2-\delta_3 \leq 1$ ，以確保 δ_3 等於 1 時， δ_1 與 δ_2 皆等於 1。

根據上述之邏輯，本研究將此問題轉換為線性之模式，以減少問題之複雜度。故將目標式之「 $p_{ij}^k \cdot \delta_{kv}$ 」以 η_{ij}^{kv} 取代，並於限制式的部分增加三個邏輯限制式。轉換後的模式如下，目標式更改為(3-19)式，新增的三個邏輯限制式如下面(3-20)式至(3-22)式：

$$\text{Min } \sum_{k \in R} \sum_{v \in V} c^v \cdot \delta_{kv} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in R} \sum_{v \in V} d_{ij}^v \cdot \eta_{ij}^{kv} \quad (3-19)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N} p_{j0}^k = z_k, \quad \forall k \in R \quad (3-2)$$

$$\sum_{j \in N} p_{0j}^k = z_k, \quad \forall k \in R \quad (3-3)$$

$$\sum_{j \in N} p_{ij}^k = \sum_{j \in N} p_{ji}^k \leq z_k, \quad \forall i \in N, \forall k \in R \quad (3-4)$$

$$\sum_{k \in R} y_m^k = 1, \quad \forall m \in M \quad (3-5)$$

$$y_m^k \leq z_k, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-6)$$

$$y_m^k \leq \sum_{j \in N} p_{smj}^k, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-7)$$

$$y_m^k \leq \sum_{i \in N} p_{it_m}^k, \quad \forall k \in R, \forall m \in M \quad (3-8)$$

$$z_k = \sum_{v \in V} \delta_{kv}, \quad \forall k \in R \quad (3-9)$$

$$\sum_{m \in M} q_m \cdot y_m^k \leq \sum_{v \in V} k_v \cdot \delta_{kv}, \quad \forall k \in R \quad (3-10)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \leq T_0, \quad \forall k \in R \quad (3-11)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ji}^{km} + g_{i,m} \cdot q_m \cdot y_m^k = \sum_{j \in N} x_{ij}^{km} + h_{i,m} \cdot q_m \cdot y_m^k, \quad \forall m \in M, \forall i \in N, \forall k \in R \quad (3-12)$$



$$\sum_{m \in M} x_{ij}^{km} \leq B \cdot p_{ij}^k, \quad \forall i, j \in N, \quad \forall k \in R \quad (3-13)$$

$$y_m^k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R, \quad \forall m \in M \quad (3-14)$$

$$\delta_{kv} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R, \quad \forall v \in V \quad (3-15)$$

$$z_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R \quad (3-16)$$

$$p_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in R, \quad \forall i, j \in N \quad (3-17)$$

$$x_{ij}^{km} \geq 0, \text{ and integer}, \quad \forall i, j \in N, \quad \forall k \in R, \quad \forall m \in M \quad (3-18)$$

$$p_{ij}^k \geq \eta_{ij}^{kv} \quad \forall i \in N, \quad \forall j \in N, \quad \forall k \in R, \quad \forall v \in V \quad (3-20)$$

$$\delta_{kv} \geq \eta_{ij}^{kv} \quad \forall i \in N, \quad \forall j \in N, \quad \forall k \in R, \quad \forall v \in V \quad (3-21)$$

$$p_{ij}^k + \delta_{kv} - 1 \leq \eta_{ij}^{kv} \quad \forall i \in N, \quad \forall j \in N, \quad \forall k \in R, \quad \forall v \in V \quad (3-22)$$

根據上述之模式，以變數數目與限制式數目評估此模式之複雜度，茲將其整理如下表 3.1。

表 3.1 通勤交通車模式之複雜度

	數目
變數	$R_n(V_n N^2 + M_n N^2 + M_n + V_n + N^2 + 1)$
限制式	$3R_n V_n N^2 + R_n M_n N + 3R_n M_n + N R_n + 2R_n N^2 + 5R_n + M_n$

3.3 模式驗證

為了確認上節所述模式之正確性，故本節設計 24 題不同路網型態之小型測試例題，並利用 ILOG OPL Develpoment Studio 4.2 軟體在 Pentium IV 2.8GHz CPU 及 1GHz RAM 之個人電腦作業平台求解。3.3.1 節先進行測試例題之設計，3.3.2 則針對各測試例題進行求解，並分析測試例題求解結果。

3.3.1 測試例題設計

本研究設計之測試例題以各點之連接情形分成二大類，一為所有點對點間都有路徑相連之完全性路網，另一種為非所有點對點間都有路徑相連之非完全性路網；分成二大類主要是因為實務上路網大多屬於非完全性路網，但又考量到例題設計之非完全性路網節點相連情形可能限制路線之節點交換，而顯現不出節點交換改善之效果，故將例題分成完全性路網與非完全性路網二類，以避免因設計之路網連接情形而影響啟發式解法之成效。此外，二種路網又依據節點之分佈情況分成走廊形及非走廊形二種，走廊形之節點分布情形屬於帶狀分佈，如圖 3.1(a)所示，而非走廊形之節點分布則較為均勻，如圖 3.1(b)所示。其中菱形圖案表起點，三角形圖案表廠區(迄點)。故本研究共設計四種路網

型態之小型測試例題：完全性路網走廊形（CC）、完全性路網非走廊形（CR）、非完全性路網走廊形（IC）、非完全性路網非走廊形（IR）。其中完全性路網走廊形之測試例題有 CC1 至 CC8 共 8 題，完全性路網非走廊形之測試例題有 CR1 至 CR6 共 6 題，非完全性路網走廊形之測試例題有 IC1 至 IC7 共 7 題，非完全性路網非走廊形之測試例題有 IR1 至 IR3 共 3 題。

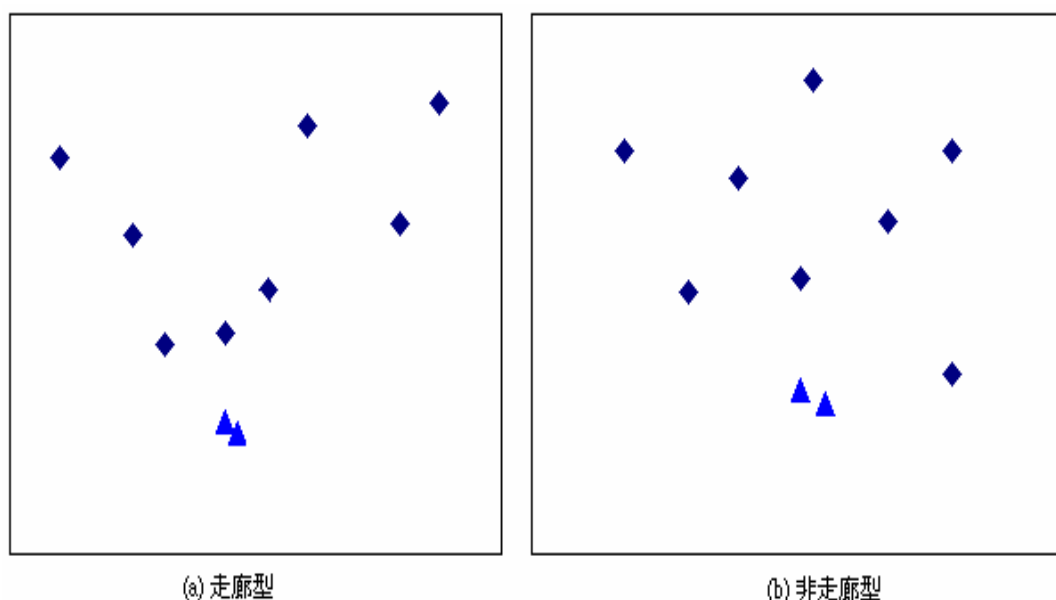


圖 3.1 走廊型與非走廊型節點分布示意圖

在本研究之問題中，路線時間限制亦為一重要參數，不同之路線時間限制可能會產生不同之結果，故設定不同路線時間限制即屬於不同之例題。本研究各例題之路線時間限制之設定根乃據下列(3-23)式求算：

$$T_0 = L_0 \cdot k \quad (3-23)$$

其中， T_0 為路線時間限制， L_0 為起點與迄點間最大之旅行時間， k 則為一放大倍數。在本研究之測試例題中， k 值之範圍介於 1.1~2。

此外，各測試例題皆有三種車型可供選擇，其中大巴有 43 個座位，中巴有 20 個座位，小巴有 9 個座位。三種車型之成本結構如表 3.2。固定成本為一定值，表示使用該車型車輛所需付出之車輛基本成本，而變動成本為車輛每行駛一單位距離所需之成本。

表 3.2 測試例題各車型之成本結構

車型	固定成本	變動成本
大巴	700	12*d
中巴	500	5*d
小巴	300	3*d

由於非完全性路網之節點並非皆相連，其求解效率應會比完全性路網快，故完全性路網以 8 個起點、2 個迄點設計不同之例題，非完全性路網則以 12 個起點、2 個迄點設計不同之例題，且每個例題之最大路線數設計為 3 條。根據上述之資料，可估算出屬於完全性路網之例題共有 6060 個變數、3985 個限制式，屬於非完全性路網之例題共有 16548 個變數、7773 個限制式。茲將各測試例題之編號、路網型態、起迄點個數、路線時間限制(T_0)匯整如下表 3.3，測試例題詳細資料參照附錄一。

表 3.3 測試例題資料

路網型態		起、迄點個數	L_0	k	T_0	例題標號
完全性路網	走廊型	8 個起點 2 個迄點	65.9	1.3	86	CC1
				1.5	99	CC2
				1.6	106	CC3
				1.7	113	CC4
		8 個起點 2 個迄點	55.2	1.2	67	CC5
				1.5	83	CC6
		8 個起點 2 個迄點	114.3	1.1	126	CC7
				1.2	138	CC8
	非走廊型	8 個起點 2 個迄點	38.9	1.7	67	CR1
				1.8	71	CR2
		8 個起點 2 個迄點	41.5	1.5	61	CR3
				1.6	65	CR4
		8 個起點 2 個迄點	37	1.5	56	CR5
				1.6	60	CR6
非完全性路網	走廊型	12 個起點 2 個迄點	31.18	1.3	41	IC1
				1.5	47	IC2
				1.8	57	IC3
				2	63	IC4
		12 個起點 2 個迄點	30.12	1.5	46	IC5
				1.8	55	IC6
				2	61	IC7
	非走廊型	12 個起點 2 個迄點	26.42	1.5	40	IR1
				1.8	48	IR2
				2	53	IR3

3.3.2 測試例題求解

根據通勤交通車路線問題之數學模式，將前一小節所設計之測試例題，利用 ILOG OPL Development Studio 4.2 軟體於 Windows XP 作業系統、Pentium IV 2.8GHz CPU 及 1GHz RAM 之個人電腦上求解。因測試例題眾多，本研究在此僅以 CR6 與 IC2 二個測試例題為例。

1. 測試例題 CR6

(1) 例題資料描述

有 1~8 共八個起點(上車點)，A 與 B 二個迄點(下車點)，節點分佈情形如圖 3.2，各點座標如表 3.4，各點間之距離為各點直線距離。每條路線最大之旅行時間為 60 分鐘。車輛行駛速率為 40 km/hr。各點服務時間(表 3.5)與起迄需求量(表 3.6)表示如下：

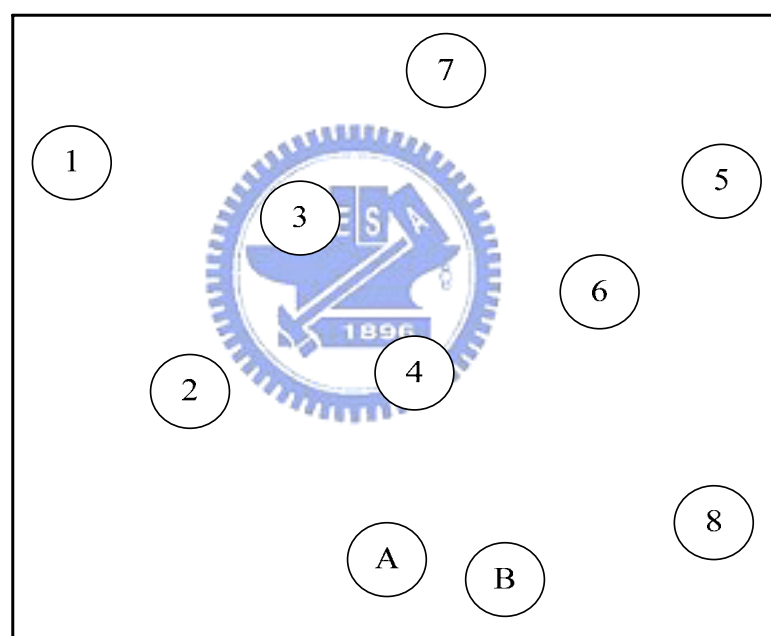


圖 3.2 例題 CR6 節點分佈圖

表 3.4 例題 CR6 節點座標

	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B
X 座標	16	21	25	30	42	37	31	42	30	32
Y 座標	57	47	55	48	57	52	62	41	40	39

表 3.5 例題 CR6 節點服務時間

	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B
服務時間	2.5	1.5	1.5	3	1	2	3	2	3	3

表 3.6 例題 CR6 起迄需求量

	1→A	1→B	2→A	2→B	3→A	3→B	4→A	4→B
起迄需求量	4	1	2	1	3	0	4	2
	5→A	5→B	6→A	6→B	7→A	7→B	8→A	8→B
起迄需求量	1	1	3	1	2	4	1	3

(2) 例題 CR6 測試結果

例題 CR6 利用 ILOG OPL Development Studio 4.2 軟體測試求解，其最佳解結果如下：最小總營運成本為 1772.4 元，共產生 3 條路線，路線 1 使用中巴，共乘載 10 人；路線 2 使用小巴，共乘載 8 人；路線 3 使用中巴，共乘載 15 人。各路線路徑如圖 3.3。

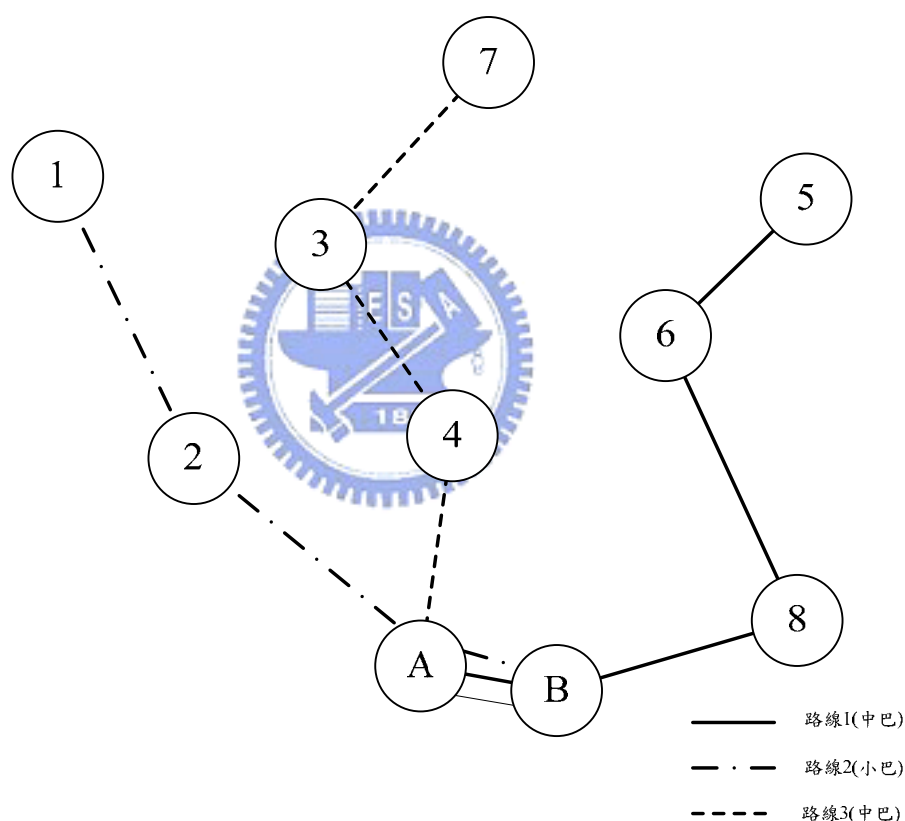


圖 3.3 例題 CR6 測試結果路徑圖

2. 測試例題 IC2

(1) 例題資料描述

有 1~12 共十二個起點(上車點)，A 與 B 二個迄點(下車點)，路網如圖 3.4。每條路線最大之旅行時間為 47 分鐘。車輛行駛速率為 30 km/hr，各點間距離矩陣(表 3.7)、各點服務時間(表 3.8)與起迄需求量(表 3.9)表示如下：

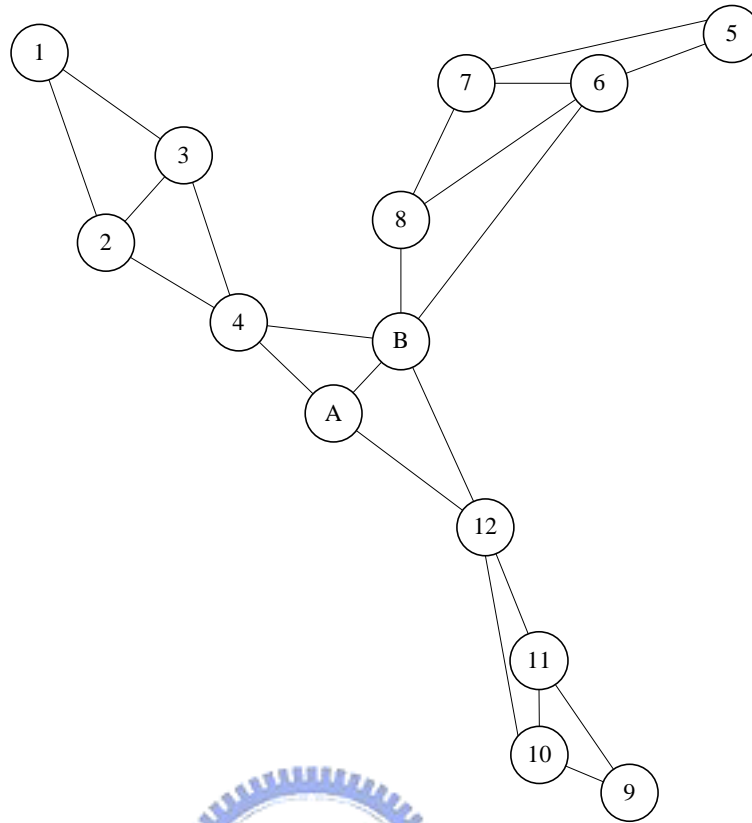


圖 3.4 例題 IC2 路網圖

表 3.7 例題 IC2 距離矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B
1	0	4.12	3.61	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	4.12	0	1.41	2.83	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3	3.61	1.41	0	3.16	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
4	---	2.83	3.16	0	---	---	---	---	---	---	---	---	2.83	3.16
5	---	---	---	---	0	2.24	4.12	---	---	---	---	---	---	---
6	---	---	---	---	2.24	0	2	4.24	---	---	---	---	---	6.71
7	---	---	---	---	4.12	2	0	3.16	---	---	---	---	---	---
8	---	---	---	---	---	4.24	3.16	0	---	---	---	---	---	3
9	---	---	---	---	---	---	---	---	0	1.41	3.16	---	---	---
10	---	---	---	---	---	---	---	---	1.41	0	2	5.1	---	---
11	---	---	---	---	---	---	---	---	3.16	2	0	3.16	---	---
12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	5.1	3.16	0	3.61	4.12
A	---	---	---	2.83	---	---	---	---	---	---	---	3.61	0	1.41
B	---	---	---	3.16	---	6.71	---	3	---	---	---	4.12	1.41	0

表 3.8 例題 IC2 節點服務時間

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B
服務時間	2.5	1.5	1.5	3	1	2	3	2	1.5	1.5	1.5	2.5	3	3

表 3.9 例題 IC2 起迄需求量

	1→A	1→B	2→A	2→B	3→A	3→B	4→A	4→B
起迄需求量	4	1	2	1	3	0	4	2
	5→A	5→B	6→A	6→B	7→A	7→B	8→A	8→B
起迄需求量	1	1	3	1	2	4	1	3
	9→A	9→B	10→A	10→B	11→A	11→B	12→A	12→B
起迄需求量	0	3	1	2	2	1	3	2

(2) 例題 IC2 測試結果

例題 IC2 利用 ILOG OPL Development Studio 4.2 軟體測試求解，其最佳解結果如下：最小總營運成本為 1677.45 元，共產生 3 條路線，路線 1 使用中巴，共乘載 14 人；路線 2 使用中巴，共乘載 16 人；路線 3 使用中巴，共乘載 17 人。各路線路徑如圖 3.5。

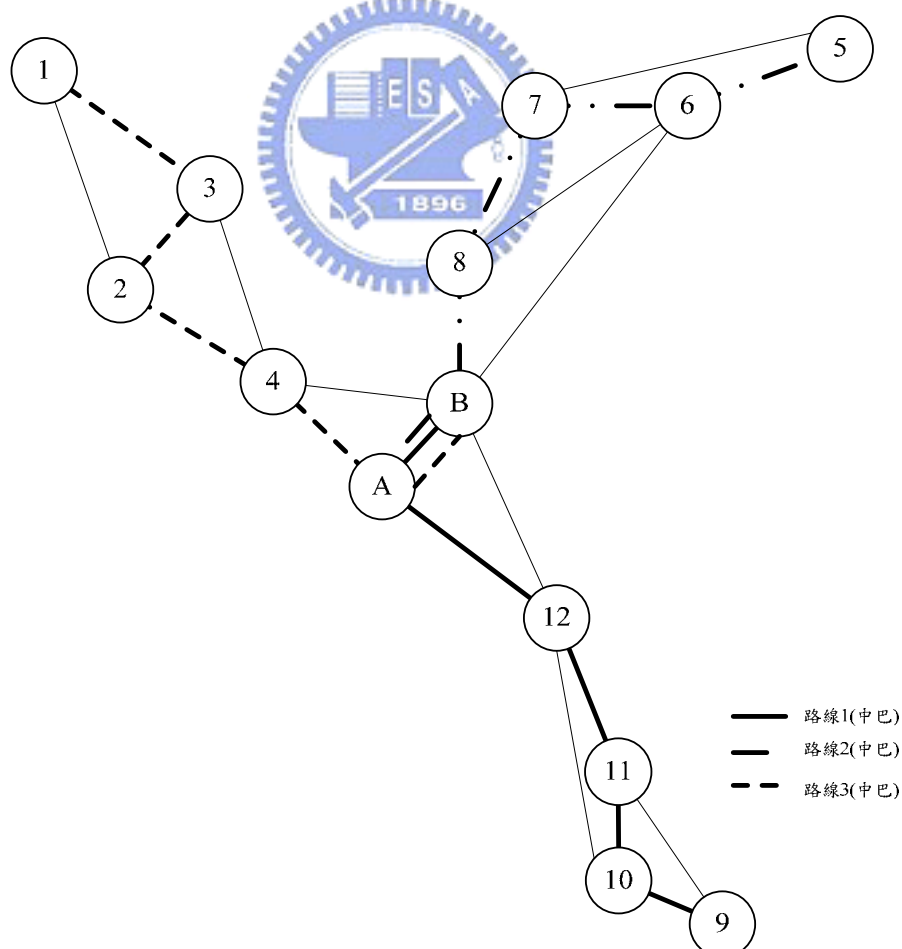


圖 3.5 例題 IC2 測試結果路徑圖

上述僅簡單以二個測試例題為例，所有測試例題共有 24 題，茲將各測試例題求解結果整理如表 3.10，詳細結果參照付錄二。

表 3.10 測試例題求解結果

路網型態		例題標號	目標值	求解時間
完全性 路網	走廊型	CC1	1752.7	1 小時 14 分 15 秒
		CC2	1752.7	2 小時 23 分 16 秒
		CC3	1524.5	6 分 26 秒
		CC4	1524.5	7 分 49 秒
		CC5	1705.4	3 分 1 秒
		CC6	1705.4	6 小時 3 分 59 秒
		CC7	2328.2	2 天 18 小時 6 分 25 秒
		CC8	1791	21 分 53 秒
	非走廊型	CR1	1683.7	2 小時 15 分 39 秒
		CR2	1683.7	6 小時 13 分 6 秒
		CR3	1599.8	21 小時 28 分 33 秒
		CR4	1355	44 分 09 秒
		CR5	1772.4	19 分 54 秒
		CR6	1772.4	10 小時 28 分 08 秒
非完全 性路網	走廊型	IC1	1677.45	15 分
		IC2	1677.45	6 分 26 秒
		IC3	1617.47	11 分 57 秒
		IC4	1617.47	16 分 38 秒
		IC5	1959.32	17 分 19 秒
		IC6	1870.33	18 分 14 秒
		IC7	1870.33	29 分 37 秒
	非走廊型	IR1	1682.05	10 分 5 秒
		IR2	1586.19	1 小時 11 分 42 秒
		IR3	1586.19	41 分 27 秒

例題測試除了驗證本研究通勤交通車路線問題模式之正確性外，從表 3.10 中可發現非完全性路網之測試例題求解時間較完全性路網之測試例題短，而走廊形路網之測試例題求解時間普遍較非走廊形之測試例題短。另外，亦可從表 3.10 之結果驗證路線時間限制(T_0)實為一重要參數，不同之路線時間限制可能會產生不同的結果。

第四章 通勤交通車路線問題啟發式解法構建

由於通勤交通車問題屬於大規模數學規劃問題，求解小型問題尚可於有效時間內求解，但對於大規模之問題則無法於有效率的時間內求解出最佳解，故本章將根據通勤交通車之特性，以總營運成本最小為目標構建一啟發式解法求解大規模之問題，以便實務上之應用。第一節中將說明啟發式解法之架構，第二節說明路線起始解之建構方法，第三節則說明路線改善之方法，第四節則進行啟發式解法成效之評估。

4.1 啟發式解法之架構

本研究探討之問題屬於多對多起迄點之路線問題，同一起點至不同迄點之需求視為不同之需求，與多場站車輛路線問題之性質不同，故不屬於多場站車輛路線問題。因此，本研究針對多對多起迄點及多車種之通勤交通車路線問題提出一啟發式解法，期能有效率地求解。本研究首先建構路線起始解，接著進行路線改善，以求得較佳之結果。整個啟發式解法執行架構如圖 4.1。

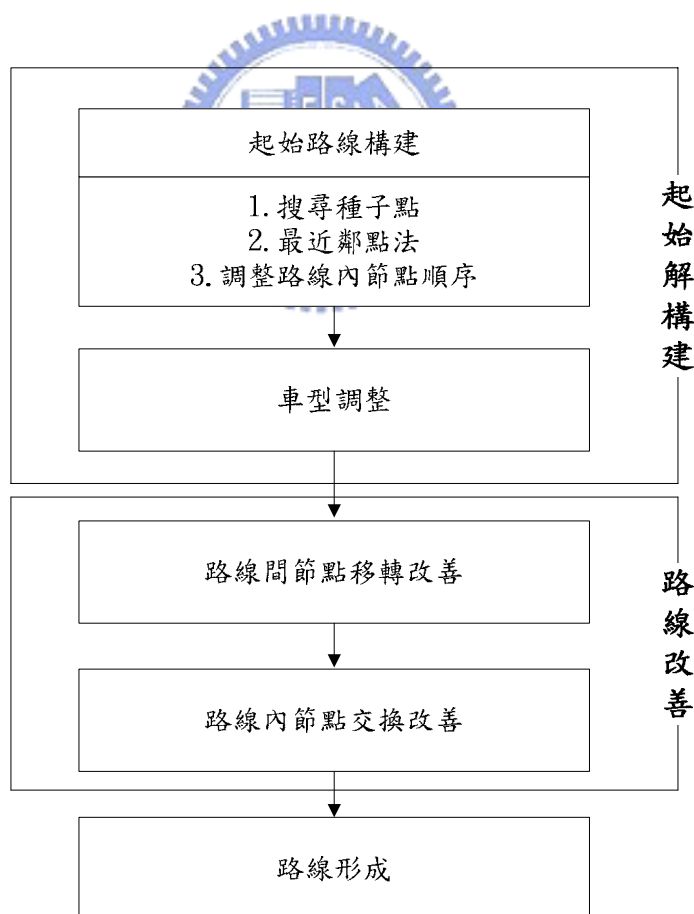


圖 4.1 啟發式解法執行架構

1. 起始解構建

起始解之構建分為二個部分，第一個部份進行起始路線構建，先搜尋種子點，並以最近鄰點法為基礎將各節點插入路線中；第二個部份則針對各路線實際乘載人數進行車型調整(縮小)，使得各路線都能利用最適合其乘載人數之車種型態進行服務，避免成本之浪費。

2. 路線改善

起始解構建完成後，進行路線改善。首先，考量起始解之各路線剩餘時間與剩餘容量，對起始解進行路線間節點移轉，以改善路線，降低成本。路線間節點移轉改善後，必須再次確認路線內節點順序，以確保經過路線內各節點所需之距離最短，故進行路線內節點交換改善。

4.2 路線起始解模組構建

本研究以總營運成本最小為目標規劃啟發式解法，而影響營運成本最重要之關鍵為車輛之固定成本，每增加使用一輛車，營運成本就必須增加一固定成本，因此，在滿足車容量限制與路線時間限制下，若使用愈少之車輛，則總營運成本會愈小。故本研究先以最大車型之車容量作為車容量限制，儘量降低車輛數，然後再進行車輛型態之調整。而路線構建方式則以搜尋種子點及最近鄰點法來執行。

1. 路線構建

本研究所探討之問題雖屬於多對多起迄點之路線問題，但因以最小成本為目標，路線數愈少則固定成本愈少，且路線無重疊則可減少路線之變動成本，故在起始解之路線構建時，先考量每個節點經過一次，將同一起點至不同迄點之需求指派至同一路線上。其執行架構如圖 4.2，執行步驟說明如下：

步驟一：選擇起點與迄點間路徑距離最長之迄點 D_1 當作搜尋種子點之迄點。

步驟二：搜尋離迄點最遠之未指派節點為種子點，並以種子點當作路線 k 之起點。

步驟三：搜尋離種子點最近之節點 i ，檢查節點 i 插入路線 k 是否滿足路線時間限制與最大車型之車容量限制。若是，則將節點 i 插入路線 k ，並將種子點更新為 i ；若否，則回到步驟一。

步驟四：檢查是否有未指派之節點。若有，則回到步驟二；若無，則進行下一步驟。

步驟五：將其他迄點選擇距離增加最小之位置加入至各路線中。

步驟六：分別檢查各路線之距離是否為最短，若是，則路線構建完成；若否，則須先調整路線中節點順序，路線才算路線構建完成。

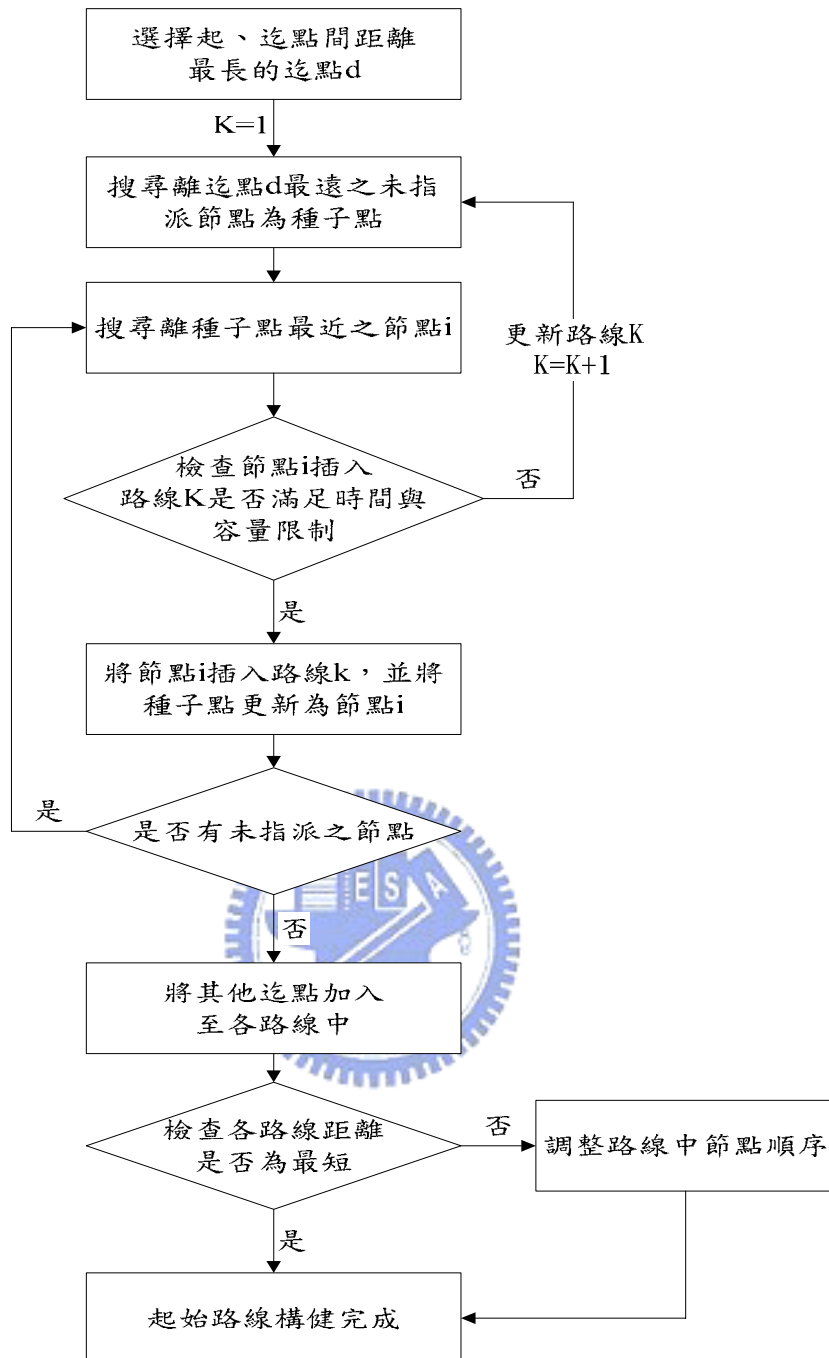


圖 4.2 起始路線構建執行架構

因本研究有多個迄點，故本研究在搜尋種子點前，須先決定以哪一個迄點為主進行種子點搜尋。本研究是以起點與迄點間路徑距離最長之迄點當作搜尋種子點之迄點。而路線一開始之種子點則是以距離該迄點最遠之未指派起點當作種子點，再以此種子點當作路線之起點，並搜尋離種子點最近之節點插入路線中，直至路線時間超過限制或乘載人數超過最大車型之車容量為止。不斷反覆搜尋種子點及最近鄰點插入，直至所有節點皆指派至路線上後，則將其他迄點選擇距離增加最小之位置插入。

因起始路線構建開始時只以搜尋種子點之迄點為考量，直至最後才將其他迄點加入

路線中，故在進行最近鄰點插入時，需將路線時間限制作調整，以預留時間讓其他迄點加入。路線時間限制之調整值為搜尋種子點之迄點行經其他所有迄點所需之最短時間。例如：原本之路線時間限制為 60 分鐘，搜尋種子點之迄點為 a，其他仍有二個迄點 b 與 c，迄點 a 行經迄點 b 與 c 之最短路徑為 $a \rightarrow c \rightarrow b$ ，所需之旅行時間為 10 分鐘，故路線時間限制則減少 10 分鐘，調整為 50 分鐘，亦即若最近鄰點插入某一路線會超過 50 分鐘的話，則該節點不能插入該路線中。

在其他迄點皆加入各路線後，需要針對每條路線進行檢查，進而調整路線內之節點順序，以確保經過該路線內之節點所需之距離為最短。因為通勤交通車之路線屬於起點至迄點單方向之路徑(path)型態，且先前路線構建之方法係從最遠點尋找其最近鄰點插入，故本研究按照路線節點順序，從路線起點開始，將此節點與其下一節點交換，檢查交換後的路線距離是否小於交換前的路線距離，若是，則更新路線；否則路線維持原解。持續進行節點之交換，直至所有節點與其下一節點都交換檢查完畢為止。

2. 車型調整(縮小)

先前路線構建時，各路線車容量限制皆以最大車型之車容量作為限制依據，故所有路線皆使用最大車容量之車輛型態，而此階段最主要之目的是考量不同車型有不同之車容量，依據各路線之乘載人數，選擇最適合之車型，以增加各路線之車輛乘載率，避免成本浪費。



4.3 路線改善

由於本研究係探討多車種之通勤交通車路線問題，不同之車型有不同之固定成本及不同之變動成本係數，故路線使用之車種型態對於總營運成本最小之目標影響甚大，若能在路線數固定之情況下，使各路線儘量使用較小型之車輛型態，則能有效降低營運成本。有鑑於此，本節路線改善最主要之目的是在不改變其他路線使用之車種型態下，透過路線間節點移轉之動作，將部分需求移轉至其他路線，一方面使該路線可使用較小之車輛型態，而減少車輛之固定成本；另一方面亦可增加其他路線之乘載率，避免座位之閒置。

1. 路線間節點移轉改善

本階段主要針對路線之剩餘車容量來考量可否進行節點之移轉，而使部分路線可以從大型車種改變成小型車種，以減少成本。其主要概念說明如下，並以圖 4.3 說明剩餘容量與可移轉量之定義：

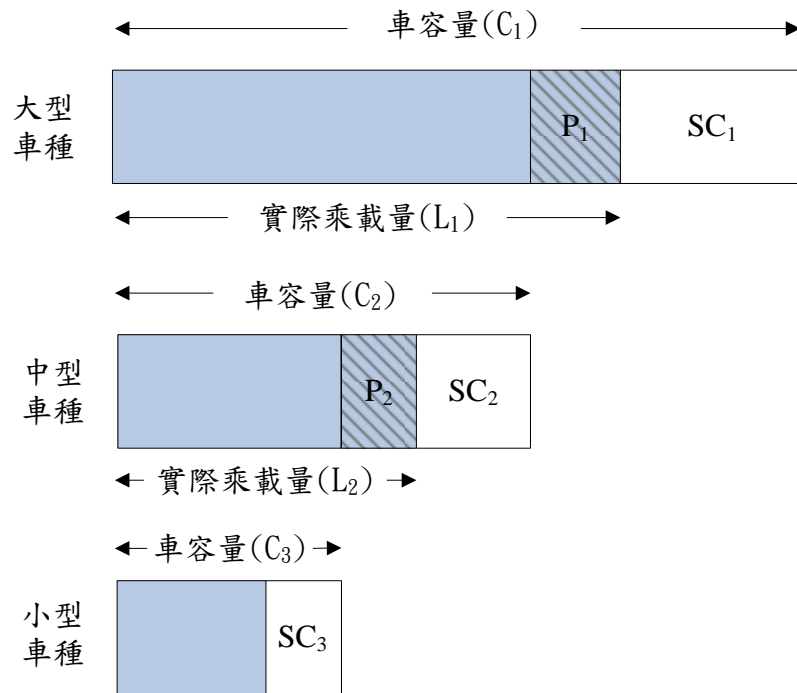


圖 4.3 路線剩餘容量與可移轉量示意圖

在圖 4.3 中，三個長方形代表三種車種型態，有顏色的部份代表車輛乘載人數，白色的部份代表車輛剩下之容量 SC ，有顏色之斜線部份代表較大車種若要換成較小車種需要移轉之人數 P 。在起始解構建完成後，每條路線即可計算出該路線之 SC ，使用大型車種之路線可將實際乘載量減去中型車種之車容量計算出該路線之 P ，即 $P_1 = L_1 - C_2$ ，使用中型車種之路線亦可將實際乘載量減去小型車種之車容量計算出該路線之 P ，即 $P_2 = L_2 - C_3$ ；接著根據各路線 SC 與 P 進行節點移轉之檢查與移轉。例如：假定大型車輛之車容量有 40 人，中型車輛之車容量有 25 人，路線 1 使用大型車輛，乘載人數共有 30 人，則路線 1 之剩餘容量 SC 有 10 個座位，可移轉量 P 則有 5 人，故若路線 1 可將 5 人移轉至其他路線，則可將路線 1 使用之車輛型態更改為中型車輛。路線間節點移轉改善之流程圖如圖 4.4，執行步驟說明如下：

步驟一：計算起始解中每條路線之剩餘車容量 SC 、剩餘路線時間 ST 與可移轉量 P 。

步驟二：計算各路線將其 P 移轉至其他路線所能減少之車輛固定成本 Δf ，選擇 $\Delta f/P$ 最大之路線 k 開始。

步驟三：檢查路線 k 可移轉量 P 是否小於其他路線之剩餘車容量總和。若是，則進行下一步驟；若否，則跳至步驟九。

步驟四：選擇路線 k 離迄點最近之起點 j 進行下列步驟。

步驟五：檢查路線 k 以外之路線是否皆檢查完畢。若是，則 $j=j+1$ ，並回到步驟四；

若否，則選擇最靠近 j 之路線 l 。

步驟六：檢查路線 l 之剩餘車容量 SC 是否大於 0。若是，則進行下一步驟；若否，則回到步驟五。

步驟七：檢查將 j 點插入路線 l 是否滿足路線 l 之剩餘車容量 SC 與剩餘路線時間 ST 。若是，則將 j 點選擇距離增加最少之位置插入，並更新路線 l 之 SC 、 ST 與 P ，以及路線 kl 之 SC 、 ST 與 P ；若否，則回到步驟五。

步驟八：檢查路線 k 之可移轉量 P 是否小於或等於 0。若是，則將路線 k 之使用車輛變更為較小車型之車輛；若否，則 $j=j+1$ ，並回到步驟四。

步驟九：檢查所有路線是否皆檢查完畢。若是，路線間節點移轉完成；若否，則回到步驟二。

因本研究係研究多對多起迄點之通勤交通車路線問題，每一個起、迄對間之需求是獨立的，故本研究對於路線間節點交換之程序執行二次，第一次先將同一起點至不同迄點之需求同時考量，亦即節點移轉時之移轉人數為該節點至所有迄點之需求總和；第二次進行路線間節點交換時，則將同一起點至不同迄點之需求分開考量，亦即先檢查至某一迄點之需求可否移轉，若是，則進行節點移轉；若否則檢查至另一迄點之需求可否移轉。

2. 路線內節點交換改善

節點移轉改善完成後，需要再針對每條路線進行檢查，進而調整路線內之節點順序，以確保該路線內經過之節點所需距離為最短。因為通勤交通車之路線屬於起點至迄點單方向之路徑(path)型態，故本研究按照路線節點順序，從路線起點開始，將此節點與其下一節點交換，檢查交換後的路線距離是否小於交換前的路線距離，若是，則更新路線；否則路線維持原解。持續進行節點之交換，直至所有節點與其下一節點都交換檢查完畢為止。

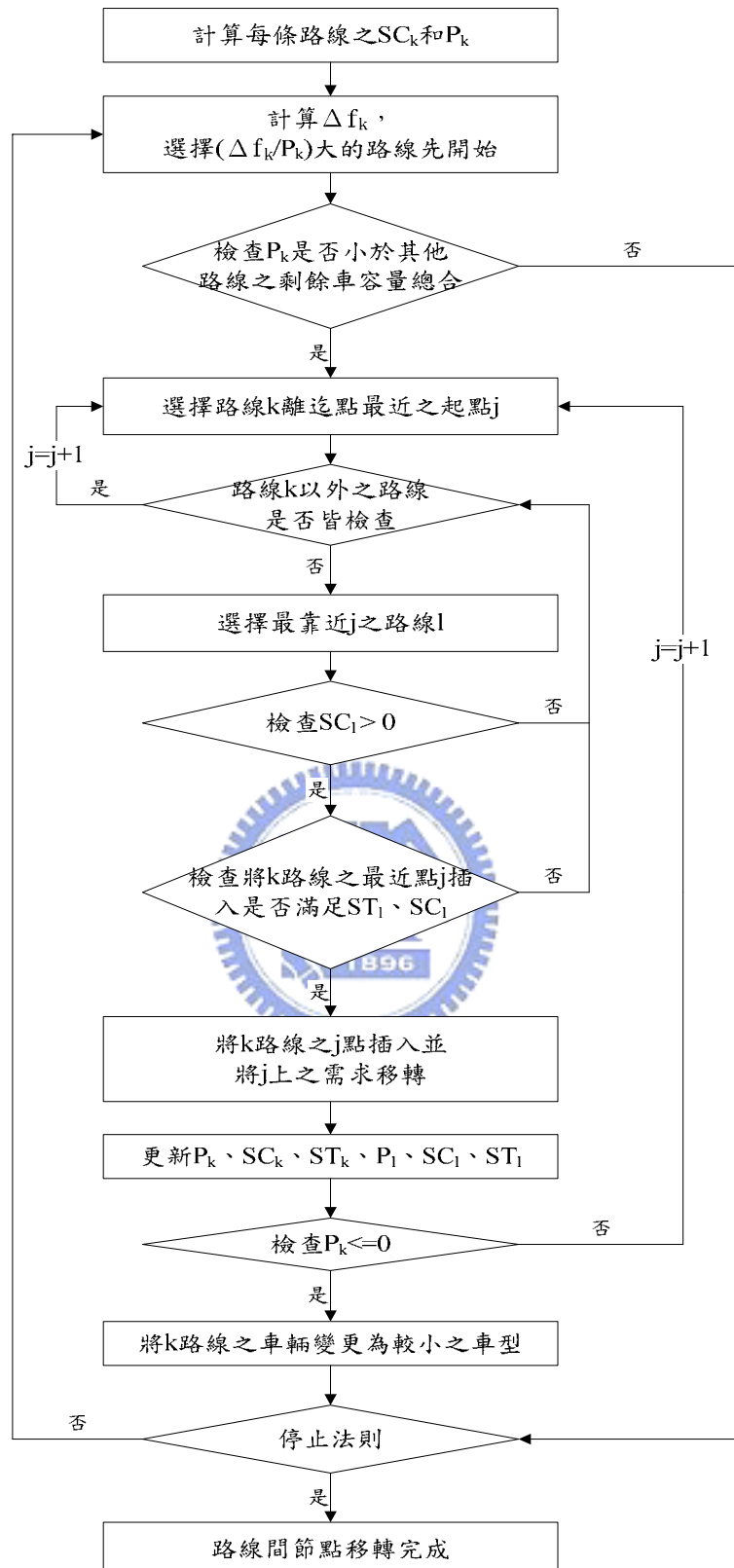


圖 4.4 路線間節點移轉改善流程圖

4.4 啟發式解發之測試與分析

由於國、內外較少有學者進行類似研究，本研究所提出之啟發式解法之成效不易評估，故本研究針對第三章設計之小型例題，分別利用第三章之數學模式及本章之啟發式解法求解並比較二方法求解結果，以作為評估啟發式解法優劣之依據。二者分別利用 ILOG OPL Development Studio 4.2 軟體及撰寫 C++ 程式於 Windows XP 作業系統、Pentium IV 2.8GHz CPU 及 1GHz RAM 之個人電腦求解。茲將二種方法求解結果整理如表 4.1，詳細結果參照附錄二。

表 4.1 啟發式解法求解結果與最佳解之比較

例題標號	目標值		求解時間	
	最佳解	啟發式求解	最佳解	啟發式求解
CC1	1752.7	1752.7	1 小時 14 分 15 秒	0.16 秒
CC2	1752.7	1752.7	2 小時 23 分 16 秒	0.14 秒
CC3	1524.5	1524.5	6 分 26 秒	0.14 秒
CC4	1524.5	1524.5	7 分 49 秒	0.14 秒
CC5	1705.4	1705.4	3 分 1 秒	0.1 秒
CC6	1705.4	1705.4	6 小時 3 分 59 秒	0.15 秒
CC7	2328.2	2328.2	2 天 18 小時 6 分 25 秒	0.15 秒
CC8	1791	1791	21 分 53 秒	0.17 秒
CR1	1683.7	1683.7	2 小時 15 分 39 秒	0.15 秒
CR2	1683.7	1683.7	6 小時 13 分 6 秒	0.17 秒
CR3	1599.8	1599.8	21 小時 28 分 33 秒	0.11 秒
CR4	1355	1355	44 分 09 秒	0.12 秒
CR5	1772.4	1772.4	19 分 54 秒	0.1 秒
CR6	1772.4	1772.4	10 小時 28 分 08 秒	0.12 秒
IC1	1677.45	1677.45	15 分	0.21 秒
IC2	1677.45	1677.45	6 分 26 秒	0.29 秒
IC3	1617.47	1617.47	11 分 57 秒	0.29 秒
IC4	1617.47	1617.47	16 分 38 秒	0.21 秒
IC5	1959.32	1959.32	17 分 19 秒	0.37 秒
IC6	1870.33	1870.33	18 分 14 秒	0.33 秒
IC7	1870.33	1870.33	29 分 37 秒	0.31 秒
IR1	1682.05	1682.05	10 分 5 秒	0.21 秒
IR2	1586.19	1586.19	1 小時 11 分 42 秒	0.23 秒
IR3	1586.19	1586.19	41 分 27 秒	0.31 秒

從表 4.2 中可以看出本研究之啟發式解法求解小型例題時，皆可以求解出最佳解，且求解時間皆在 1 秒內；反觀整數規劃之求解效率則低許多，例題 CC7 之求解時間甚至超過 2 天。上述之求解結果顯示本研究提出之啟發式解法對於通勤交通車問題可以有效率地求解，且對於小型問題皆可求解出最佳解，故此啟發式解法之成效良好。



第五章 實例應用

5.1 個案現況說明

本研究將以新竹科學園區內某公司(以下簡稱 A 公司)為研究對象，進行實例研究。A 公司之工廠共有五處，皆位於新竹科學園區內，且五工廠集中於二區域，故本研究將五個工廠依據分佈之位置劃分成二個部份，並將每一個部份內之工廠視為一個迄點。圖 5.1 左邊圓圈內之三個工廠視為廠區 1，即為第 1 個迄點；右邊圓圈內之二個工廠視為廠區 2，即為第 2 個迄點。

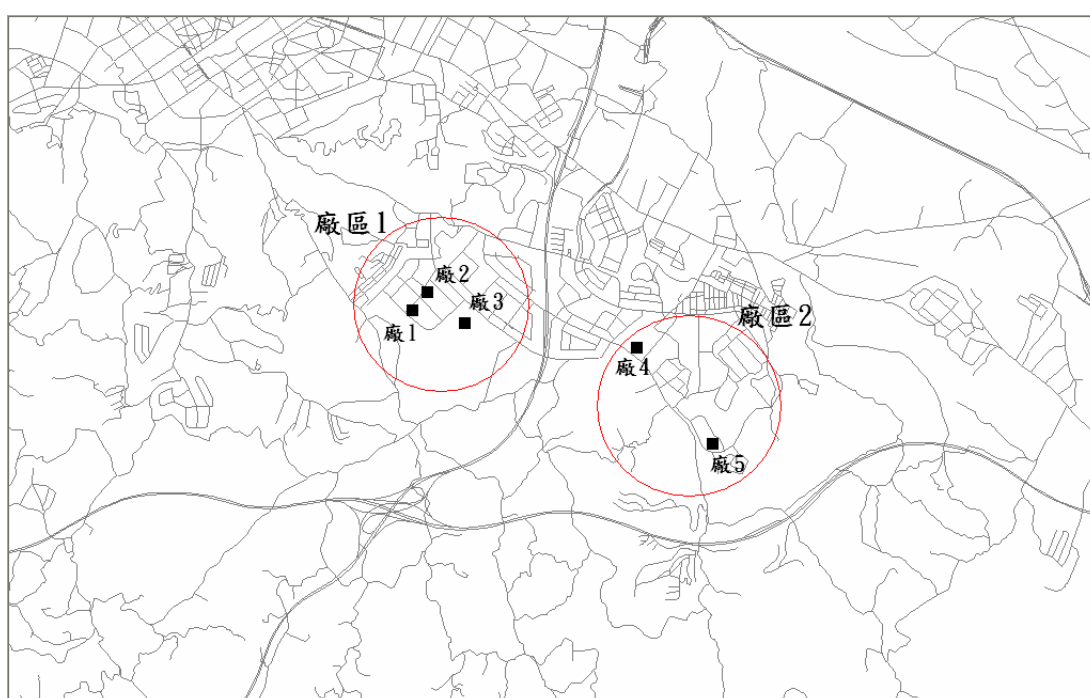


圖 5.1 A 公司工廠位置及分區圖

A 公司通勤交通車之服務範圍涵蓋了桃園、新竹、苗栗三個地區，而本研究選擇桃園與新竹部分地區作為研究範圍；此外，A 公司通勤交通車服務之員工上班方式屬於四班二輪制，共分成四個班別：DA、DB、NA、NB，A 與 B 表示每兩天換一次的班別，D 與 N 表示早班跟晚班，而本研究選擇 DB 之班別作為研究對象。

根據上述界定之研究對象，本研究所進行之實例分析共包含了 14 條路線，109 個停靠站(起點)與二個工作廠區(迄點)，其分布之情況如圖 5.2，方形圖案表示停靠站，圓形圖案表示工作廠區。

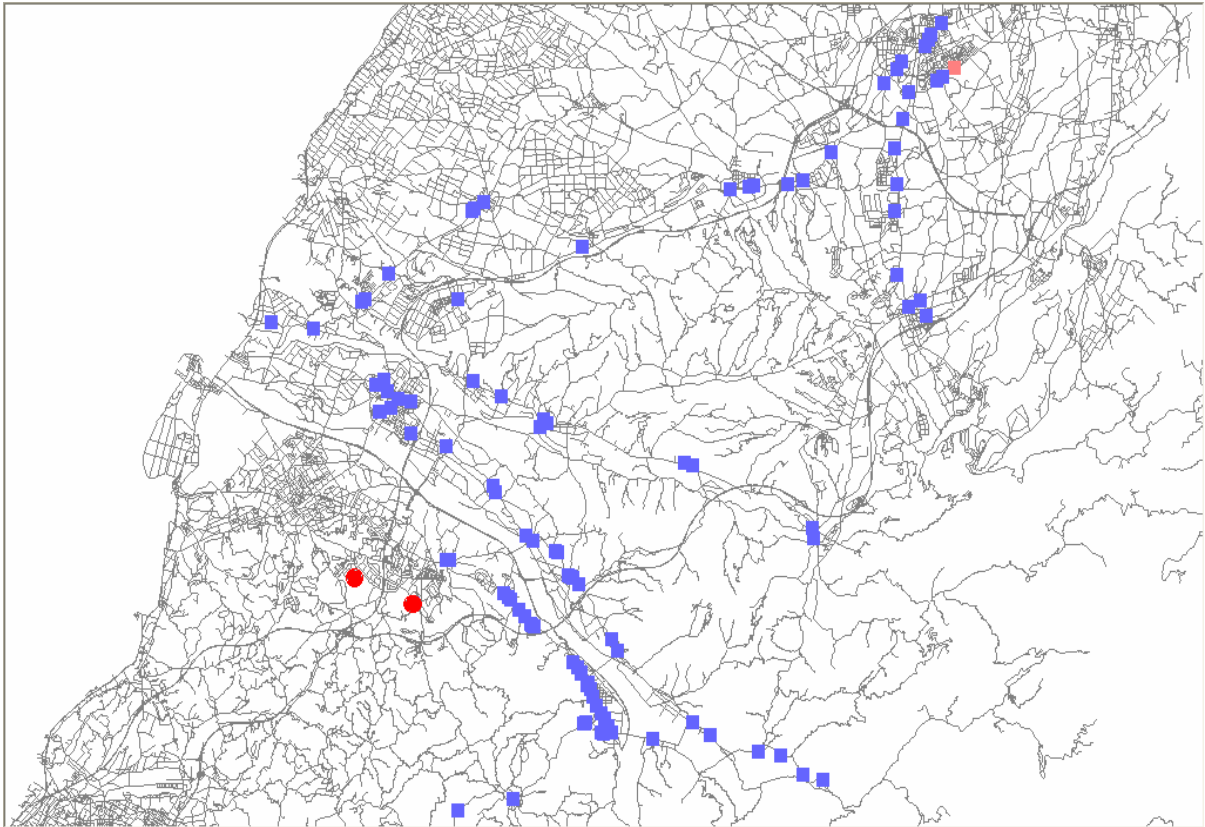


圖 5.2 A 公司交通車服務起、訖點分佈圖

A 公司目前以三種不同座位之車輛型態進行通勤交通車服務，大巴之座位數為 43 個，中巴之座位數為 20 個，小巴之座位數為 9 個。14 條路線中使用大巴的路線有 8 條、中巴的路線有 5 條、小巴的路線有 1 條，詳細資料如表 5.1。此外，A 公司目前 14 條路線所服務之人數共有 244 人，茲將其搭乘人數與乘載率整理如表 5.2。

表 5.1 A 公司 14 條路線使用之車型

序號	路線別	車型	序號	路線別	車型
1	中壢楊梅	大	8	中壢楊梅	大
2	內灣芎林	中	9	芎林內灣	中
3	平鎮龍潭	大	10	平鎮龍潭	大
4	湖口新豐	中	11	北埔竹東	大
5	鳳岡六家	中	12	關西新埔	小
6	關西竹北	大	13	湖口竹北	中
7	北埔竹東	大	14	北埔橫山竹東	大

表 5.2 A 公司 14 條路線乘載人數與乘載率

序號	路線別	乘載人數	乘載率	序號	路線別	乘載人數	乘載率
1	中壢楊梅	22	51.2%	8	中壢楊梅	31	72.1%
2	內灣芎林	11	75%	9	芎林內灣	13	65%
3	平鎮龍潭	28	65.1%	10	平鎮龍潭	14	32.6%
4	湖口新豐	12	60%	11	北埔竹東	24	55.8%
5	鳳岡六家	9	45%	12	關西新埔	4	44.4%
6	關西竹北	16	45.7%	13	湖口竹北	11	55%
7	北埔竹東	25	58.1%	14	北埔橫山竹東	24	55.8%

由於本研究以總成本最小為目標，故各車型之成本結構更顯重要，因此透過實際之訪查，將 A 公司所有通勤交通車路線之車型、里程與單價利用迴歸分析找出路線之成本結構，茲將迴歸分析之結果整理如表 5.3。y 表示路線成本，x 表示路線行駛距離；等號右邊之前項為路線之變動成本，後項為路線之固定成本。

表 5.3 各車型成本線性模式與 t 值

	線性模式	t 統計
大巴	$y = 12.871x + 706.97$	截距：16.4222
		X 係數：12.7375
中巴	$y = 10.855x + 551.23$	截距：12.2515
		X 係數：6.9414
小巴	$y = 5.7402x + 507.85$	截距：18.6146
		X 係數：6.0943

從表 5.3 中可觀察出大巴之固定成本與變動成本之係數皆最高，小巴則最低；但若以每個座位之邊際成本(成本/座位數)來看，大巴反而最低，小巴則最高。故以本研究所考量之最小總成本目標而言，使用愈大車型則愈符合經濟效益。

此外，A 公司無自營之通勤交通車車隊，其將規劃好之各通勤交通車路線分別委外給數家交通車公司，故 A 公司在進行通勤交通車路線規劃時不需考量車輛數之限制。

5.2 啟發式解法執行結果

根據上述界定之個案研究範圍，本研究個案之變數共有 38,296,776 個，限制式共有 2,247,204 個，屬於大規模之問題，無法於有效時間內求解出最佳解，故本研究以啟發式解法進行求解，期能有效率地求解出滿足限制之路線組合。此外，考量 A 公司之搭乘員工可能會有加班之情況，避免加班員工無座位之情況發生，故本研究除了以各車型實際車容量為容量限制進行求解外，並將各車型之實際車容量乘上 0.8（本研究稱之為服務

容量)，亦即大巴之車容量為 35 個座位、中巴之車容量為 16 個座位、小巴之車容量為 8 個座位，利用調整後之服務容量為限制進行求解，以便預留一些座位給加班之員工。其他參數方面，每個節點之服務時間皆為 10 秒，各路段車輛行駛速度皆為每小時 50 公里，路線時間限制為 65 分鐘，各起、迄點間之需求如表 5.4。路網資料參照附錄三。

表 5.4 各起、迄點間之需求

節點 編號	至迄點 1 需求	至迄點 2 需求	節點 編號	至迄點 1 需求	至迄點 2 需求	節點 編號	至迄點 1 需求	至迄點 2 需求	節點 編號	至迄點 1 需求	至迄點 2 需求
1	4	1	29	2	0	57	1	0	85	1	0
2	5	2	30	0	1	58	1	0	86	1	0
3	0	5	31	0	1	59	1	1	87	3	0
4	1	0	32	4	0	60	4	1	88	1	0
5	2	3	33	4	0	61	2	0	89	0	1
6	3	2	34	2	1	62	2	0	90	0	1
7	2	0	35	1	0	63	3	4	91	0	1
8	2	2	36	1	0	64	0	2	92	1	1
9	4	3	37	1	0	65	2	0	93	1	0
10	2	0	38	0	1	66	2	3	94	0	1
11	0	2	39	0	4	67	1	0	95	1	0
12	0	6	40	3	0	68	1	0	96	2	1
13	2	3	41	0	1	69	1	0	97	0	3
14	1	0	42	2	0	70	2	0	98	3	0
15	1	0	43	0	1	71	1	0	99	1	0
16	1	0	44	1	0	72	1	1	100	1	0
17	1	0	45	1	0	73	0	1	101	1	0
18	11	1	46	2	0	74	1	0	102	1	0
19	2	2	47	1	0	75	0	1	103	1	0
20	0	1	48	1	0	76	1	0	104	0	1
21	0	1	49	0	1	77	0	1	105	0	1
22	0	3	50	0	1	78	0	2	106	0	1
23	0	3	51	0	1	79	3	1	107	0	1
24	1	0	52	1	0	80	1	2	108	0	1
25	3	4	53	1	0	81	1	0	109	0	2
26	2	3	54	3	0	82	9	0			
27	1	0	55	1	0	83	0	1			
28	1	0	56	1	0	84	2	0			

5.2.1 起始解執行結果

本研究啟發式解法主要分成二大階段：起始解構建與交換改善，起始解之建構主要以降低車輛數為考量，故起始解建構完成後，即可得知需要多少車輛進行通勤交通車服務。起始解構建完成後之路線結果整理如表 5.5、5.6。

表 5.5 起始解各路線使用車輛型態

實際容量		服務容量	
路線編號	使用車型	路線編號	使用車型
1	小巴	1	小巴
2	中巴	2	大巴
3	大巴	3	大巴
4	中巴	4	大巴
5	中巴	5	中巴
6	大巴	6	大巴
7	中巴	7	中巴
8	大巴	8	大巴
9	大巴	9	大巴
10	大巴	10	大巴
11	小巴	11	中巴
12	大巴	12	大巴

表 5.6 起始解結果

車容量限制參數	成本(元/趟)	路線數	大巴	中巴	小巴
實際容量	11912	12	6	4	2
服務容量	12557	12	8	3	1

起始解建構完成後，以各車型實際容量作為容量限制之求解結果共有 12 條路線，其中 6 條路線使用大巴，4 條路線使用中巴，2 條路線使用小巴。而以服務容量作為容量限制之求解結果也有 12 條路線，但 8 條路線使用大巴，3 條路線使用中巴，1 條路線使用小巴。

從表 5.6 可看出，各種車輛之車容量限制值縮小後，對於總路線數之影響並不大，但因預留一些座位使乘載率降低，大型車輛之使用數增加，小型車輛之使用數減少，導致成本也增加。

5.2.2 交換改善執行結果

啟發式解法之第二階段為交換改善，主要根據起始解之結果，考量各路線之剩餘時間與剩餘車容量進行節點交換改善，期能在符合路線時間限制及車容量限制條件下，充

分利用車輛座位，以增加各路線車輛之承載率，進而降低成本。茲將路線交換改善後之結果整理如表 5.7、5.8、5.9；實際容量為限制與服務容量為限制之結果中路線距離最長之路線圖如圖 5.3、5.4。

表 5.7 實際容量為限制之路線結果

路線編號	使用車型	路線距離(公里)	路線時間(分鐘)	路線節點順序
1	小巴	41.954	63.382	3、110、111
2	中巴	41.734	63.912	1、2、20、13、110、111
3	大巴	41.238	64.81	4、5、12、6、7、8、9、110、111
4	中巴	42.103	60.514	17、18、22、19、111、110
5	小巴	41.954	63.502	16、15、14、21、10、11、110、111
6	中巴	35.758	56.422	23、24、25、30、26、31、27、28、110、111
7	中巴	33.447	58.12	49、42、43、44、51、50、45、46、47、37、41、110、111
8	大巴	26.551	59.664	92、104、93、94、96、82、83、84、85、90、86、87、88、59、61、60、111、110
9	中巴	26.706	50.69	95、105、97、106、98、99、100、107、101、108、102、109、57、56、55、110、111
10	大巴	19.124	53.328	76、77、78、79、80、81、62、63、64、66、65、67、68、91、69、70、71、72、73、74、103、58、111、110
11	小巴	24.419	38.144	89、75、111、110
12	大巴	36.167	64.306	53、52、33、32、29、38、39、34、36、35、40、54、48、111、110

表 5.8 服務容量為限制之路線結果

路線 編號	使用 車型	路線距離 (公里)	路線時間 (分鐘)	路線節點順序
1	小巴	43.377	63.714	3、20、21、110、111
2	大巴	42.368	64.9538	1、2、13、11、23、24、25、110、111
3	大巴	41.238	64.644	4、5、12、6、7、8、110、111
4	大巴	42.103	60.514	17、18、22、19、111、110
5	中巴	40.313	60.368	16、15、14、9、10、110、111
6	中巴	36.668	57.365	30、26、31、27、29、28、32、52、110、111
7	中巴	33.203	55.5	49、42、43、44、51、50、45、46、36、110、111
8	大巴	17.589	43.696	96、82、83、84、85、90、86、87、88、59、61、 64、66、65、111、110
9	大巴	32.632	62.47	92、104、93、94、95、105、97、106、98、99、 100、107、101、108、102、109、57、56、55、 110、111
10	大巴	17.243	40.388	76、77、78、79、80、81、60、62、63、111、110
11	中巴	26.328	59.274	89、75、67、68、91、69、70、71、72、73、74、 103、58、111、110
12	大巴	32.052	57.6936	53、33、38、39、34、37、41、48、47、35、 40、54、110、111

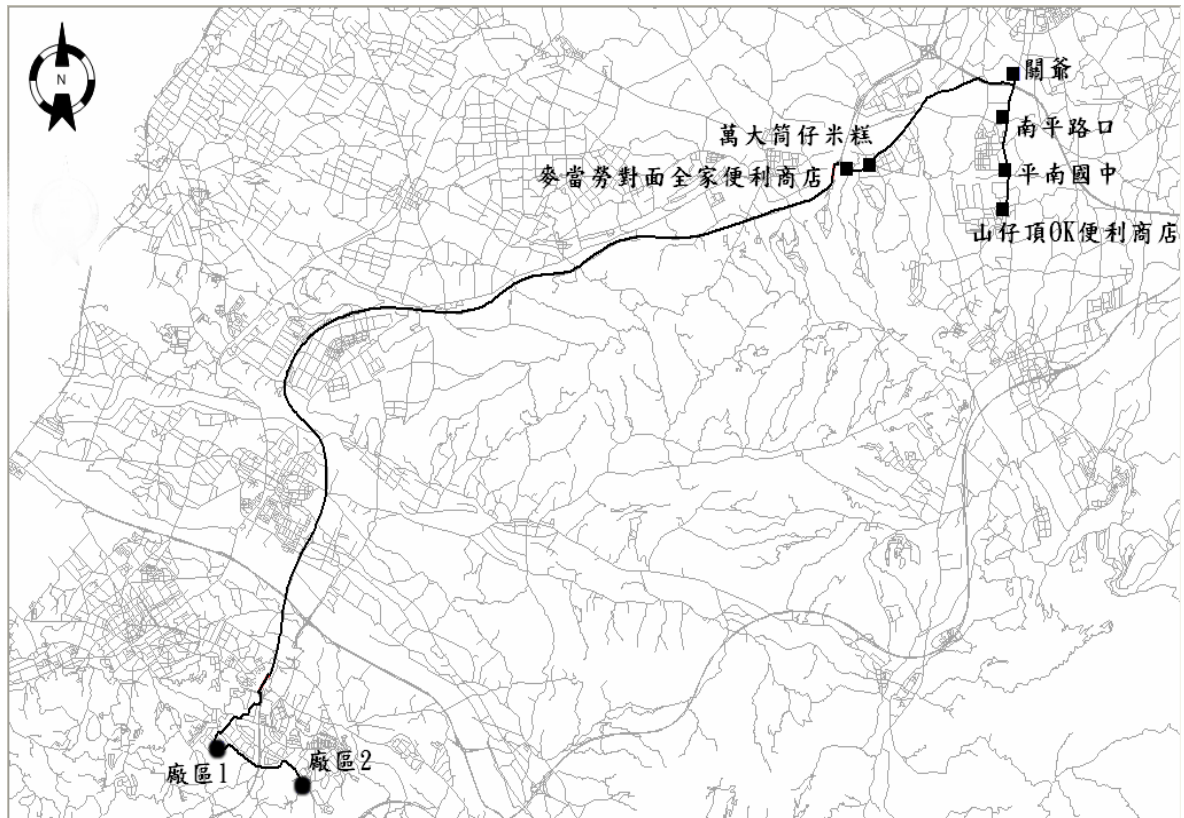


圖 5.3 實際容量為限制之路線 5 結果



圖 5.4 服務容量為限制之路線 1 結果

表 5.9 啟發式解法之執行結果

車容量限制參數	成本(元/趟)	路線數	大巴	中巴	小巴	求解時間(秒)
實際容量	11276	12	4	5	3	1.101
服務容量	12292	12	7	4	1	1.071

交換改善執行後，以各車型實際容量作為容量限制之求解結果仍有 12 條路線，其中 4 條路線使用大巴，5 條路線使用中巴，3 條路線使用小巴。而以服務容量作為容量限制之求解結果也仍有 12 條路線，但 7 條路線使用大巴，4 條路線使用中巴，1 條路線使用小巴。

節點交換改善之執行結果，不論是以各車型實際容量為限制或以服務容量為限制，成本皆比起始解之結果小幅下降，主要是因為節點之移轉使得某些車輛可由大型車變成小型車，其中以各車型實際容量為限制時，二條路線由大巴改為中巴，一條路線由中巴改為小巴；以服務容量為限制時，則有一條路線由大巴改為中巴。此外，本研究之啟發式解法之執行效率相當迅速，求解此個案只需 1 秒多之時間，若以整數規劃之方式求解此個案問題，則需要非常長之求解時間。

5.3 結果比較與分析

為了評估本研究啟發式解法之成效，此節針對上述之啟發式解法執行結果，利用成本、路線數、乘載率各項指標，與 A 公司現況進行比較與分析，以便提供 A 公司客觀之參考依據。

在路線數方面，A 公司通勤交通車服務之現況共有 14 條路線，即共需 14 輛車輛進行通勤交通車服務，而本研究之結果只需 12 條路線，減少使用 2 輛車。表 5.10 彙整 A 公司現況與本研究執行結果之路線數與車輛使用情形。

表 5.10 A 公司現況與本研究執行結果之路線數與車輛使用情形

	路線數	大巴	中巴	小巴
A 公司	14	8	5	1
實際容量	12	4	5	3
服務容量	12	7	4	1

本研究以最小化總營運成本為目標進行通勤交通車路線之規劃，故成本為一最重要之評估指標。A 公司通勤交通車服務之員工上班方式屬於四班二輪制，故本研究對象 DB 班別每四天有二天需要通勤交通車服務，一個月中有 15 天需要通勤交通車服務。而雖然本研究只針對上班之路線進行規劃，但因下班與上班屬於對稱之問題，下班之路線即將上班之路線節點順序反轉，故下班時通勤交通車服務之營運成本與上班時相同。因

此，以 DB 班別而言，一個月中有 15 天需要通勤交通車服務，而每天上班與下班時各服務一次，即一個月需要通勤交通車服務 30 趟。茲將目前 A 公司通勤交通車服務之營運成本與本研究之結果整理如表 5.11。

表 5.11 A 公司現況與本研究執行結果之成本分析

	成本 (元/趟)	節省成本 (元/趟)	節省成本 (元/月)	節省成本 (元/年)	節省成本 百分比
A 公司現況	14,130	—	—	—	—
實際容量	11,265	2,865	85,950	1,031,400	20.28%
服務容量	12,292	1,838	55,140	661,680	13.01%

從表 5.11 可發現，本研究所執行之結果雖然單趟所減少之成本並不多，但不論是以各車型實際容量為限制或以服務容量為限制，一年所節省之成本則非常可觀。

在乘載率方面，A 公司現況之平均乘載率為 53.27%，乘載率偏低使得成本之浪費，而本研究之執行結果，不論是以實際容量為限制或以服務容量為限制，平均乘載率皆比 A 公司現況高，以各車型實際車容量為限制之結果，甚至有 4 條路線之乘載率高達 100%。

表 5.12 A 公司現況與本研究執行結果之乘載率分析

	A 公司現況		實際容量		服務容量	
	搭乘人數	乘載率	搭乘人數	乘載率	搭乘人數	乘載率
路線 1	22	51.16%	5	55.56%	7	77.78%
路線 2	11	55%	18	90%	30	69.77%
路線 3	28	65.12%	30	69.77%	23	53.49%
路線 4	12	60%	20	100%	20	46.51%
路線 5	9	45%	8	88.89%	12	60%
路線 6	16	37%	20	100%	16	80%
路線 7	25	58.14%	13	65%	11	55%
路線 8	31	72.09%	36	83.72%	35	81.4%
路線 9	13	65%	20	100%	25	58.14%
路線 10	14	32.56%	43	100%	26	60.47%
路線 11	24	55.81%	2	22.22%	15	75%
路線 12	4	44.44%	29	67.44%	24	55.81%
路線 13	11	55%	—	—	—	—
路線 14	24	55.81%	—	—	—	—
平均乘載率	53.72%		78.55%		64.45%	

第六章 結論與建議

6.1 結論

國內已經愈來愈多企業提供員工通勤交通車之服務，而通勤交通車服務之品質有賴於良好的交通車路線規劃，但國、內外對於員工通勤交通車路線問題之研究甚少，大多是針對校車路線問題進行研究。然而，大多數研究校車路線問題之文獻都針對單一個學校(多對一起迄點)、單一車種型態進行研究，但許多企業在一個小區域範圍內往往不只一個工作廠區，多對一起迄點之研究已不符合實務之狀況，故本研究首次將通勤交通車多對多起迄點及多車種型態之特性同時納入考量，完成之重要結果與具體貢獻分述如下：

1. 本研究針對通勤交通車問題以整數規劃構建出一個明確之數學模式，其為一個通用之模式，不管單、多迄點或單、多車種皆適用，可供後續研究之參考。但因其複雜度相當高，利用整數規劃求解大型問題需要相當長之時間，故此模式對於小規模之問題較為適用。
2. 本研究之啟發式解法乃針對多對多起迄點、多車種之通勤交通車路線問題構建，其求解效率相當快，可供實務上之應用，解決傳統以人工方式規劃通勤交通車之路線費時又費力之缺點。
3. 本研究設計 24 題小型測試例題，並分別以整數規劃及啟發式解法求解，可做為通勤交通車路線問題之測試題庫，以供後續研究參考比較。
4. 因考量到員工搭乘通勤交通車之品質，路線之旅行時間不能過長，故通勤交通車路線問題有路線時間之限制。而在路線時間限制下，若路線有多種車輛型態可供選擇，則每條路線可選擇適合之車種型態，使車輛都能充分利用，不至於有太多之座位閒置，以避免成本之浪費，。
5. 當以最小化總營運成本為目標時，若在一个小區域範圍內不只一個工作廠區，同時將多個工作廠區(迄點)一起考量，較不會產生路線重疊之情況，不但可以增加車輛之乘載率，亦可有效降低成本。

6.2 建議

本研究針對未來通勤交通車路線問題之研究，提出下列幾點建議：

1. 本研究係站在企業之立場以總營運成本最小化為目標，服務品質方面只以路線時間限制來確保員工搭乘之旅行時間不會過長，建議未來研究可考慮站在員工之立場，以服務品質為目標，例如：以所有搭乘員工總搭乘時間最小化或各路線時間公平為

目標，進行路線之規劃。或者可考量多重目標，將營運成本與服務品質同時納入目標式一併考量。

2. 本研究之啟發式解法乃根據問題之特性設計，只進行簡單之節點交換改善，後續研究可嘗試利用巨集啟發式解法求解，比較是否有更好之結果。
3. 本研究進行通勤交通車路線規劃時，各停靠站之位置皆為已知，但實務上停靠站之位置常因離職或新進人員而有所更改且會影響員工從住所至停靠站之距離，故後續研究可嘗試將停靠站位置之設計與運輸路線同時納入考量。
4. 本研究進行個案分析時，未考慮道路等級之因素，所有路段皆以時速 50 公里來換算路線時間，未來可考慮將道路等級之因素納入，考量不同路段有不同之行駛速度。此外，本研究亦未考量路況之因素，建議若要運用在實務上，各種參數應更符合實際之狀況。



參考文獻

1. Angel, R. D., W. L. Caudle, R. Noonan, A. Whinston (1972), "Computer-Assisted School Bus Scheduling," *Management Science*, Vol. 18, No. 6, pp. 279-288.
2. Bodin, L. D. and L. Berman (1979), "Routing and Scheduling of School Buses by Computer," *Transportation Science*, Vol. 13, No. 2, pp. 113-129.
3. Byren, B. F. and V. R. Vuchic (1972), "Public Transportation Line Positions and Headways for Minimum Cost," *Traffic Flow and Transportation*, pp. 347-360.
4. Byrne, B. F. (1976), "Cost Minimizing Positions, Lengths and Headways for Parallel Public Transit Lines Having Different Speeds," *Transportation Research*, Vol. 10, pp. 209-214.
5. Bodin, L., B. L. Golden, A. Assad and M. Ball (1983), "Routing and Schedule of Vehicle and Crew: The State of Art," *Special Issue of Computers and Operations Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 63-211.
6. Bowerman, R., B. Hall and P. Calamai (1995), "A Multi-objective Optimization Approach to Urban School Bus Routing : Formulation and Solution Method," *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, Vol. 29A, No. 2, pp. 107-123.
7. Braca, J., J. Bramel, B. Posner and D. Simchi-Levi (1997), "A Computerized Approach to the New York City School Bus Routing Problem," *IIE Transactions*, Vol. 29, pp. 693-702.
8. Christofides, N. and S. Eilon (1969), "An Algorithm for Vehicle Dispatching Problem," *Operational Research Quarterly*, Vol. 20, pp. 309-318.
9. Chua, T. A., D. T. Silcodk (1982), "The Practice of British Bus Operations in Planning Urban Bus Service," *Traffic Engineering and control*, Vol. 23, pp. 66-70.
10. Chua, T. A. (1984), "The Planning of Urban Bus Routes and Frequencies: A survey," *Transportation*, Vol. 12, pp. 147-172.
11. Corberan, A., E. Fernandez, M. Laguna and R. Marti (2002), "Heuristic Solutions to the Problem of Routing School Buses with Multiple Objectives," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, No. 4, pp. 427-435.
12. Chakroborty, P. and T. Dwivedi (2002), "Optimal Route Network Design for Transit System Using Genetic Algorithms," *Engineering Optimization*, Vol. 34, No. 1, pp. 83-100.

13. Holroyd, E. M. (1967), "The Optimum Bus Service: A Theoretical Model for a Large Uniform Urban Area," *Vehicular Traffic Science*, pp. 308-328.
14. Hsu, J. and V. H. Surti (1977), "Decomposition Approach to Bus Network Design," *Transportation Engineering Journal of A.S.C.E.*, Vol. 103, No. TE4, pp. 447-459.
15. Lin, S. (1965), "Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem," *The Bell System Technical Journal*, pp. 2245-2269.
16. Lampkin, W. and P. D. Saalmans (1967), "The Design of Routes, Service Frequencies, and Schedules for a Municipal Bus Under taking: A Case Study," *Operation Research Quarterly*, Vol. 18, pp. 375-397.
17. Lin, S. and B. W. Kernighan (1973), "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem," *Operations Research*, Vol. 21, pp. 498-516.
18. Larson, R and A. Odoni (1981), *Urban Operations Research*, Prentice Hall.
19. Laporte, G. (1992), "The Vehicle Routing Problem : An Overview of Exact and Approximate Algorithms," *European Journal of Operational Research*, Vol. 59, pp. 345-358.
20. Li, LYO and Z Fu (2002), "The School Bus Routing Problem : A Case Study," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, No. 5, pp. 552-558.
21. Marwah, B. R., F. S. Umerigar, S. B. Patnaik (1984), "Optimal Design of Bus Routes and Frequencies for Ahmedabad," *Transportation Research Record*, Vol. 994, pp. 41-47.
22. Ngamchai, S., D. J. Lovell, (2003), "Optimal Time Transfer in Bus Transit Route Network Design Using a Genetic Algorithm," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, pp. 510-521.
23. Or, I. (1976), *Traveling Salesman-type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking*, Ph.D. Dissertation, Northwestern University, Evanston, IL.
24. Pattnaik, S. B., S. Mohan, V. M. Tom(1998), "Urban Bus Transit Route Network Design Using Genetic Algorithm," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 124, pp. 368-375.
25. Rea, J. C. (1972), "Designing Urban Transit Systems: An Approach to the Route-Technology Selection Problem," *Highway Research Record*, Vol.417, pp. 48-59.

26. Tom, V. M. and S. Mohan (2003), "Transit Route Network Design Using Frequency Coded Genetic Algorithm," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, pp. 186-195.
27. Williams, H. P. (1999) , *Model Building in Mathematical Programming*, 4th ed. , John Wiley & Sons, New York.
28. 林蔚明(2004)，(指導教授：胡大瀛)，「路口延滯下路徑演算法之研究」，逢甲大學交通工程與管理學系碩士論文。
29. 吳志仁(2003)，(指導教授：韓復華)，「一般化卡車拖車路線問題」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
30. 周義華、林祥生(1985)，「都市公車路網設計方法之研究」，運輸計劃季刊，第十四卷，第四期，495-529 頁。
31. 周義華、邱榮川(1987)，「配合捷運系統公車路網設計方法之研究」，運輸計劃季刊，第十六卷，第二期，319-344 頁。
32. 卓裕仁(2001)，(指導教授：韓復華)，「以巨集啟發式解法求解多車種與週期性車輛路線問題之研究」，國立交通大學運輸工程與管理學系博士論文。
33. 夏文慶(1998)，(指導教授：王晉元)，「公車路線設計決策支援系統建立之研究-以新竹客運為例」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
34. 陳建都(1996) ，(指導教授：邴傑民、楊明璧)，「校車路線指派問題之研究」，大葉工學院事業經營研究所碩士論文。
35. 陳建緯(2001)，(指導教授：韓復華)，「大規模旅行推銷員問題之研究：鄰域搜尋法與巨集啟發式解法之應用」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文。
36. 陳文瑞(1989) ，(指導教授：曹壽民)，「交通車之網路設計」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
37. 張容瑄(2001)，(指導教授：紀美秀)，「模擬退火法在校車路線問題上的應用」，國立中正大學數學研究所碩士論文。
38. 張靖、卓裕仁、莊子駿、王寶治、許惠淑(2001)，「地理資訊系統在校車路線與班次排程上之應用：以中華大學為例」，中華民國運輸學會第十六屆論文研討會論文集，台北， 123-132 頁。
39. 黃勵君(2000)，(指導教授：周義華)，「捷運系統最適營運路線設計之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。

40. 韓復華、朱政威、張淑詩(2005)，「員工通勤車交通路線改善及規劃」，（個人研究資料）。
41. 藍武王、施嫩嫩(1983)，「公車路線規劃與定線方法之研究」，運輸計劃季刊，第十二卷，第四期，411-432 頁。



附錄一：測試例題資料

例題 CC1、CC2、CC3、CC4 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	63	69	2.5	4	1
2	57	58	1.5	2	1
3	43	67	1.5	3	0
4	37	52	3	4	2
5	5	64	1	1	1
6	21	47	2	3	1
7	16	57	3	2	4
8	30	48	2	1	3
A (迄點)	30	40	3	—	—
B (迄點)	32	39	3	—	—

PS：距離矩陣以點對點直線距離計算(單位：公里)

PS：時間矩陣以速度 40 km/ hr 換算

例題 CC5、CC6 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	12	38	0.2	1	1
2	21	45	0.3	2	1
3	43	26	1	2	3
4	45	35	1	2	6
5	51	42	0.8	3	2
6	55	45	0.7	3	1
7	62	57	0.5	1	2
8	66	14	0.4	1	2
A (迄點)	40	37	2	—	—
B (迄點)	40	40	2.4	—	—

PS：距離矩陣以點對點直線距離計算(單位：公里)

PS：時間矩陣以速度 40 km/ hr 換算

例題 CC7、CC8 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	55	20	1	3	3
2	44	13	0.5	0	2
3	17	64	0.5	2	1
4	15	14	1	3	2
5	51	42	1	3	1
6	6	25	0.5	2	0
7	30	20	1	3	3
8	35	60	1	2	4
A(迄點)	66	8	1.5	—	—
B(迄點)	64	4	1.5	—	—

PS：距離矩陣以點對點直線距離計算(單位：公里)

PS：時間矩陣以速度 40 km/ hr 換算

例題 CR1、CR2 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	47	66	1.5	2	1
2	40	66	3	3	2
3	35	60	2.5	4	0
4	30	50	3	2	3
5	29	39	1.5	1	2
6	33	34	3	2	3
7	43	26	1	1	1
8	48	21	1	0	2
A(迄點)	41	46	2	—	—
B(迄點)	45	42	2	—	—

PS：距離矩陣以點對點直線距離計算(單位：公里)

PS：時間矩陣以速度 40 km/ hr 換算

例題 CR3、CR4 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	67	41	1	3	3
2	62	35	0.5	0	2
3	55	34	0.5	2	1
4	65	27	1	3	2
5	52	26	1	3	1
6	62	24	0.5	2	0
7	55	20	1	3	3
8	50	15	1	2	4
A(迄點)	51	42	1.5	—	—
B(迄點)	50	40	1.5	—	—

PS：距離矩陣以點對點直線距離計算(單位：公里)

PS：時間矩陣以速度 40 km/ hr 換算

例題 CR5、CR6 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	16	57	2.5	4	1
2	21	47	1.5	2	1
3	25	55	1.5	3	0
4	30	48	3	4	2
5	42	57	1	1	1
6	37	52	2	3	1
7	31	62	3	2	4
8	42	41	2	1	3
A(迄點)	30	40	3	—	—
B(迄點)	32	39	3	—	—

PS：距離矩陣以點對點直線距離計算(單位：公里)

PS：時間矩陣以速度 40 km/ hr 換算

例題 IC1、IC2、IC3、IC4 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	5	18	2.5	4	1
2	6	14	1.5	2	1
3	7	15	1.5	3	0
4	8	12	3	4	2
5	16	18	1	1	1
6	14	17	2	3	1
7	12	17	3	2	4
8	11	14	2	1	3
9	14	1	1.5	0	3
10	13	2	1.5	1	2
11	13	4	1.5	2	1
12	12	7	2.5	3	2
A (迄點)	10	10	3	—	—
B (迄點)	11	11	3	—	—

距離矩陣(單位：公里)：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B
1	0	4.12	3.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	4.12	0	1.41	2.83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	3.61	1.41	0	3.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	2.83	3.16	0	—	—	—	—	—	—	—	—	2.83	3.16
5	—	—	—	—	0	2.24	4.12	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	2.24	0	2	4.24	—	—	—	—	—	6.71
7	—	—	—	—	4.12	2	0	3.16	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	4.24	3.16	0	—	—	—	—	—	3
9	—	—	—	—	—	—	—	—	0	1.41	3.16	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	1.41	0	2	5.1	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	3.16	2	0	3.16	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.1	3.16	0	3.61	4.12
A	—	—	—	2.83	—	—	—	—	—	—	—	3.61	0	1.41
B	—	—	—	3.16	—	6.71	—	3	—	—	—	4.12	1.41	0

PS：時間矩陣以速度 30 km/ hr 換算

例題 IC5、IC6、IC7 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	16	7	2.5	4	1
2	12	7	1.5	2	1
3	13	9	1.5	3	0
4	15	17	3	4	2
5	14	18	1	1	1
6	15	15	2	3	1
7	13	15	3	2	4
8	12	12	2	1	3
9	3	15	1.5	0	3
10	5	14	1.5	1	2
11	5	13	1.5	2	1
12	7	11	2.5	3	2
A (迄點)	10	10	3	—	—
B (迄點)	9	9	3	—	—

距離矩陣(單位：公里)：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B
1	0	4	3.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	4	0	2.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.61
3	3.61	2.24	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.16	—
4	—	—	—	0	1.41	2	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	1.41	0	—	3.16	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	2	—	0	2	4.24	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	3.16	2	0	3.16	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	4.24	3.16	0	—	—	—	—	2.83	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	0	2.24	2.83	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	2.24	0	1	3.61	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	2.83	1	0	2.83	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.61	2.83	0	3.16	2.83
A	—	—	3.16	—	—	—	—	2.83	—	—	—	3.16	0	1.41
B	—	3.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.83	1.41	0

PS：時間矩陣以速度 30 km/ hr 換算

例題 IR1、IR2、IR3 基本資料

節點編號	X 座標	Y 座標	服務時間	至 A 之需求	至 B 之需求
1	18	17	2.5	4	1
2	17	14	1.5	2	1
3	16	13	1.5	3	0
4	13	10	3	4	2
5	11	11	1	1	1
6	11	1	2	3	1
7	13	4	3	2	4
8	12	6	2	1	3
9	5	18	1.5	0	3
10	6	14	1.5	1	2
11	7	15	1.5	2	1
12	9	12	2.5	3	2
A (迄點)	9	10	3	—	—
B (迄點)	10	10	3	—	—

距離矩陣(單位：公里)：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B
1	0	3.16	4.47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	3.16	0	1.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	4.47	1.41	0	4.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	4.24	0	2.24	—	—	4.12	—	—	—	—	—	3
5	—	—	—	2.24	0	—	—	—	—	—	—	2.24	—	1.41
6	—	—	—	—	—	0	3.61	5.1	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	3.61	0	2.24	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	4.12	—	5.1	2.24	0	—	—	—	—	5	4.47
9	—	—	—	—	—	—	—	—	0	4.12	3.61	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	4.12	0	1.41	3.61	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	3.61	1.41	0	3.61	—	—
12	—	—	—	—	2.24	—	—	—	—	3.61	3.61	0	2	2.24
A	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	2	0	1
B	—	—	—	3	1.41	—	—	4.47	—	—	—	2.24	1	0

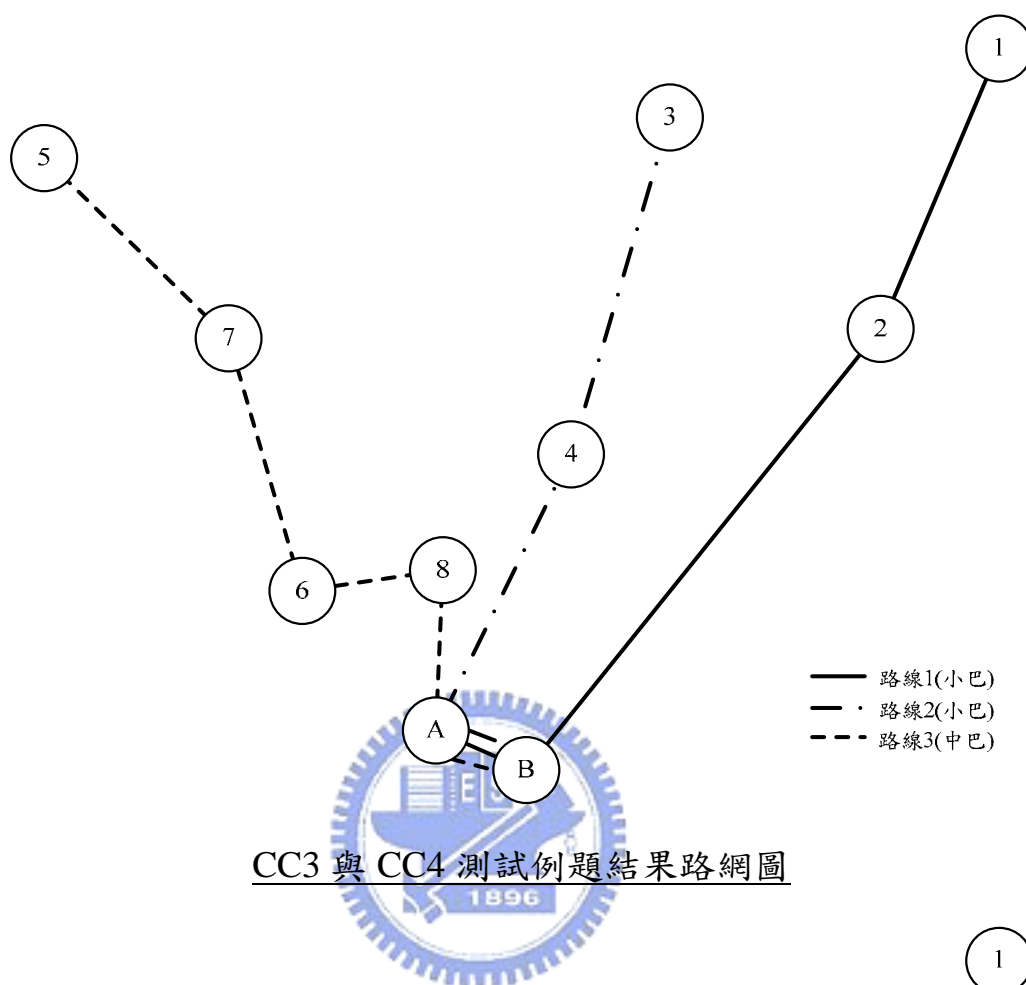
PS：時間矩陣以速度 30 km/ hr 換算

附錄二：測試例題結果

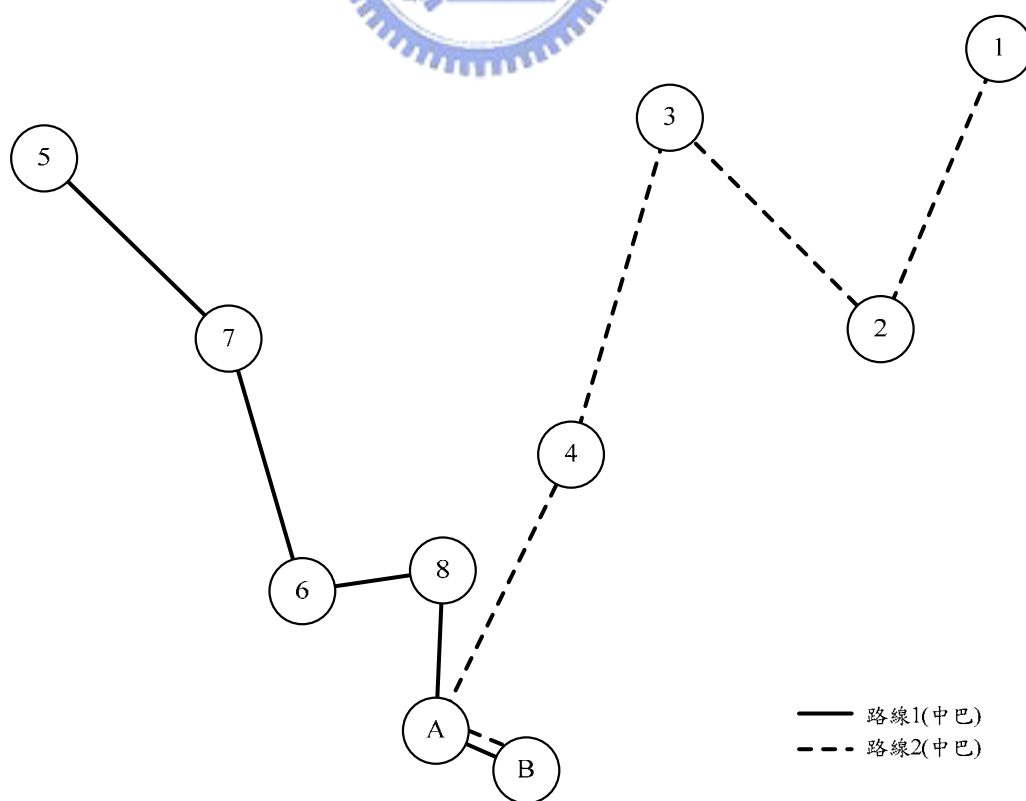
例題編號	目標值	路線節點順序	使用車型	路線距離	路線時間
CC1	1752.7	1、2、B、A	小巴	46.1	76.3
		3、4、A、B	小巴	32.3	55.9
		5、7、6、8、A、B	中巴	43.5	76.4
CC2	1752.7	1、2、B、A	小巴	46.1	76.3
		3、4、A、B	小巴	32.3	55.9
		5、7、6、8、A、B	中巴	43.5	76.4
CC3	1524.5	5、7、6、8、A、B	中巴	43.5	76.4
		1、2、3、4、A、B	中巴	61.4	103.7
CC4	1524.5	5、7、6、8、A、B	中巴	43.5	76.4
		1、2、3、4、A、B	中巴	61.4	103.7
CC5	1705.4	1、2、B、A	小巴	34	53.9
		8、3、A、B	小巴	40.3	63.85
		7、6、5、4、A、B	中巴	36.5	59.75
CC6	1705.4	1、2、B、A	小巴	34	53.9
		8、3、A、B	小巴	40.3	63.85
		7、6、5、4、A、B	中巴	36.5	59.75
CC7	2328.2	8、5、A、B	中巴	65.8	102
		3、1、A、B	小巴	78.9	121.3
		6、4、7、2、B、A	中巴	72.5	113.1
CC8	1791	6、4、7、2、B、A	中巴	72.5	113.1
		3、8、5、1、A、B	中巴	85.7	133.4
CR1	1683.7	5、4、A、B	小巴	28.4	49.2
		8、7、6、A、B	小巴	40	66.9
		1、2、3、A、B	中巴	35.7	62.5
CR2	1683.7	5、4、A、B	小巴	28.4	49.2
		8、7、6、A、B	小巴	40	66.9
		1、2、3、A、B	中巴	35.7	62.5
CR3	1599.8	1、A、B	小巴	18.2	29.9
		6、4、2、B、A	小巴	27.9	45.6
		8、7、5、3、B、A	中巴	32.3	53.6
CR4	1355	6、4、2、1、A、B	中巴	38.7	62.8
		8、7、5、3、B、A	中巴	32.3	53.6

例題編號	目標值	路線節點順序	使用車型	路線距離	路線時間
CR5	1772.4	5、6、8、B、A	中巴	31.6	55.4
		1、2、A、B	小巴	24.8	44.3
		7、3、4、A、B	中巴	28	52.6
CR6	1772.4	5、6、8、B、A	中巴	31.6	55.4
		1、2、A、B	小巴	24.8	44.3
		7、3、4、A、B	中巴	28	52.6
IC1	1677.45	9、10、11、12、A、B	中巴	11.59	33.18
		5、6、7、8、B、A	中巴	11.81	34.62
		1、3、2、4、A、B	中巴	12.09	35.68
IC2	1677.45	9、10、11、12、A、B	中巴	11.59	33.18
		5、6、7、8、B、A	中巴	11.81	34.62
		1、3、2、4、A、B	中巴	12.09	35.68
IC3	1617.47	9、10、11、12、A、B	小巴	11.59	33.18
		5、6、7、8、B、12、A	中巴	18.13	49.76
		1、3、2、4、A、12、B	中巴	18.41	50.82
IC4	1617.47	9、10、11、12、A、B	小巴	11.59	33.18
		5、6、7、8、B、12、A	中巴	18.13	49.76
		1、3、2、4、A、12、B	中巴	18.41	50.82
IC5	1959.32	5、4、6、7、8、A、B	大巴	12.81	39.62
		1、2、3、A、B	中巴	10.81	30.12
		9、10、11、12、B、A	中巴	10.31	30.62
IC6	1870.33	5、4、6、7、8、A、B	大巴	12.81	39.62
		1、2、B、A	小巴	9.02	25.04
		9、10、11、12、B、3、A	中巴	17.91	47.32
IC7	1870.33	5、4、6、7、8、A、B	大巴	12.81	39.62
		1、2、B、A	小巴	9.02	25.04
		9、10、11、12、B、3、A	中巴	17.91	47.32
IR1	1682.05	6、7、8、B、A	中巴	11.32	32.64
		9、11、10、12、A、B	中巴	11.63	33.26
		1、2、3、4、5、B、A	中巴	13.46	39.42
IR2	1586.19	9、11、10、A、B	小巴	11.63	30.76
		1、2、3、5、12、A、B	中巴	16.29	44.58
		6、7、8、4、B、A	中巴	13.97	40.94
IR3	1586.19	9、11、10、A、B	小巴	11.63	30.76
		1、2、3、5、12、A、B	中巴	16.29	44.58
		6、7、8、4、B、A	中巴	13.97	40.94

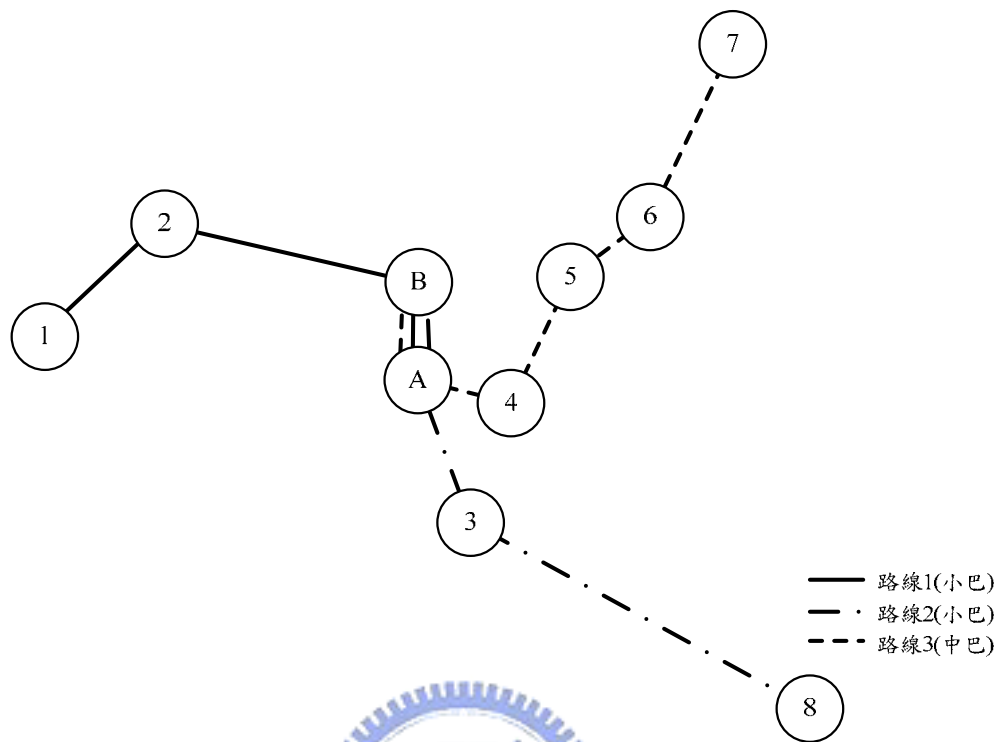
CC1 與 CC2 測試例題結果路網圖



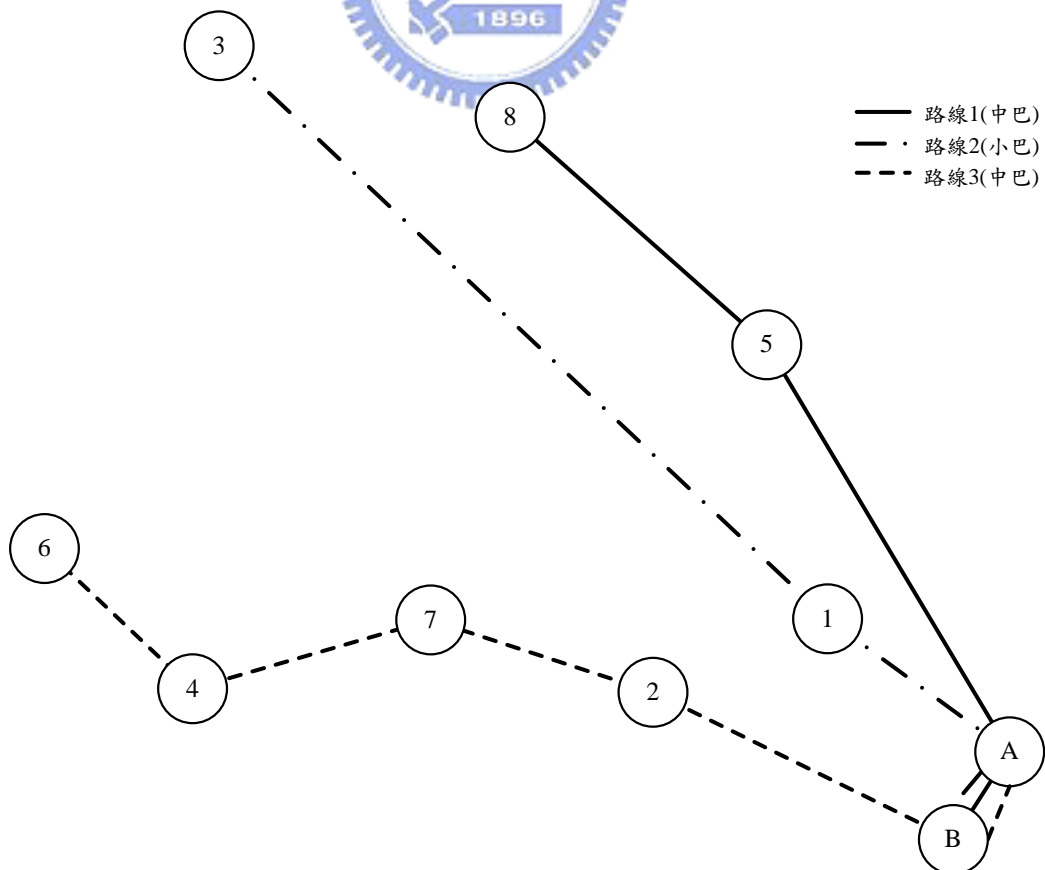
CC3 與 CC4 測試例題結果路網圖



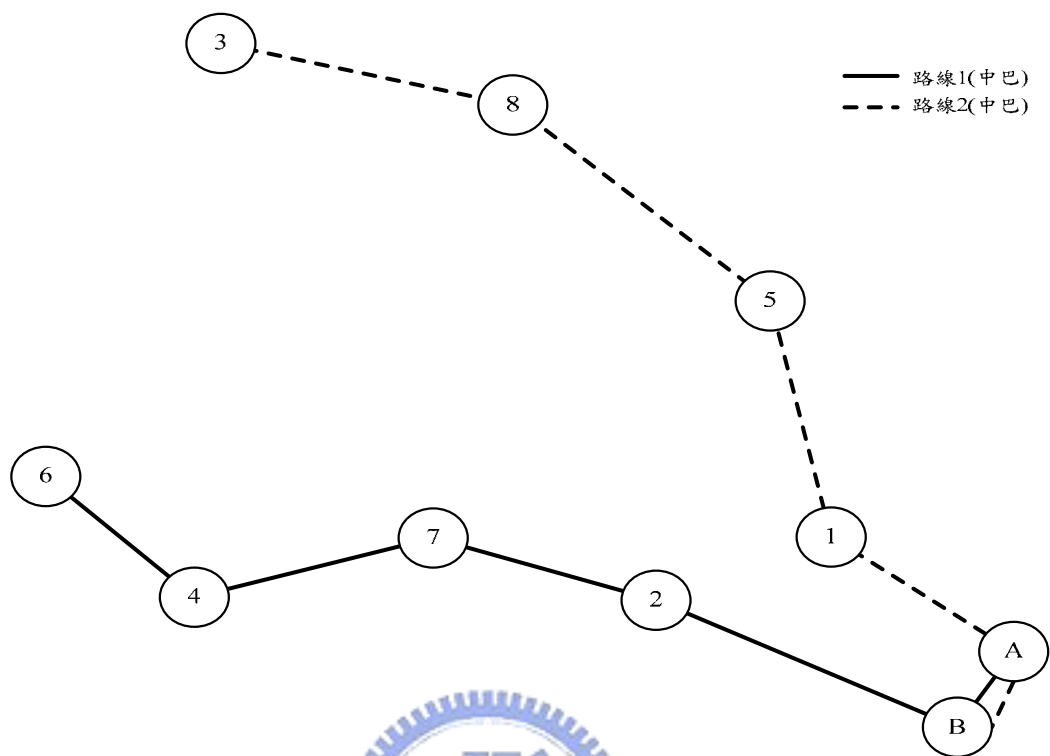
CC5 與 CC6 測試例題結果路網圖



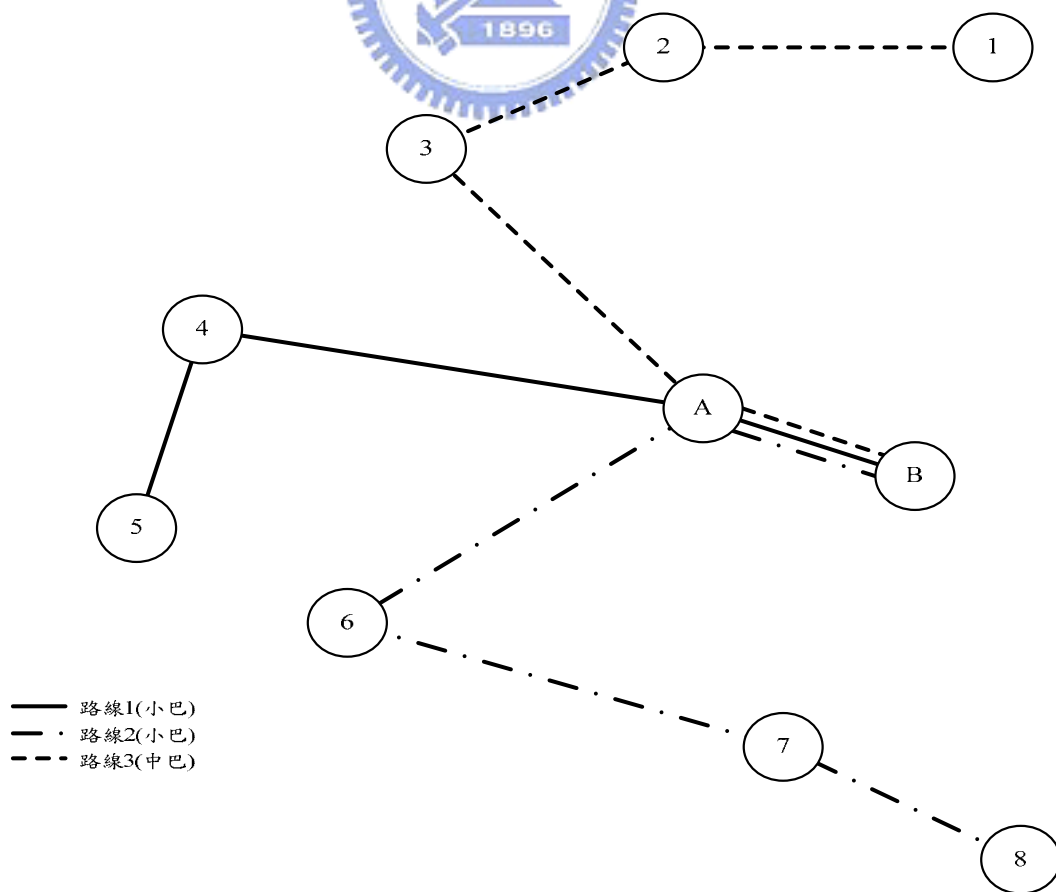
CC7 測試例題結果路網圖



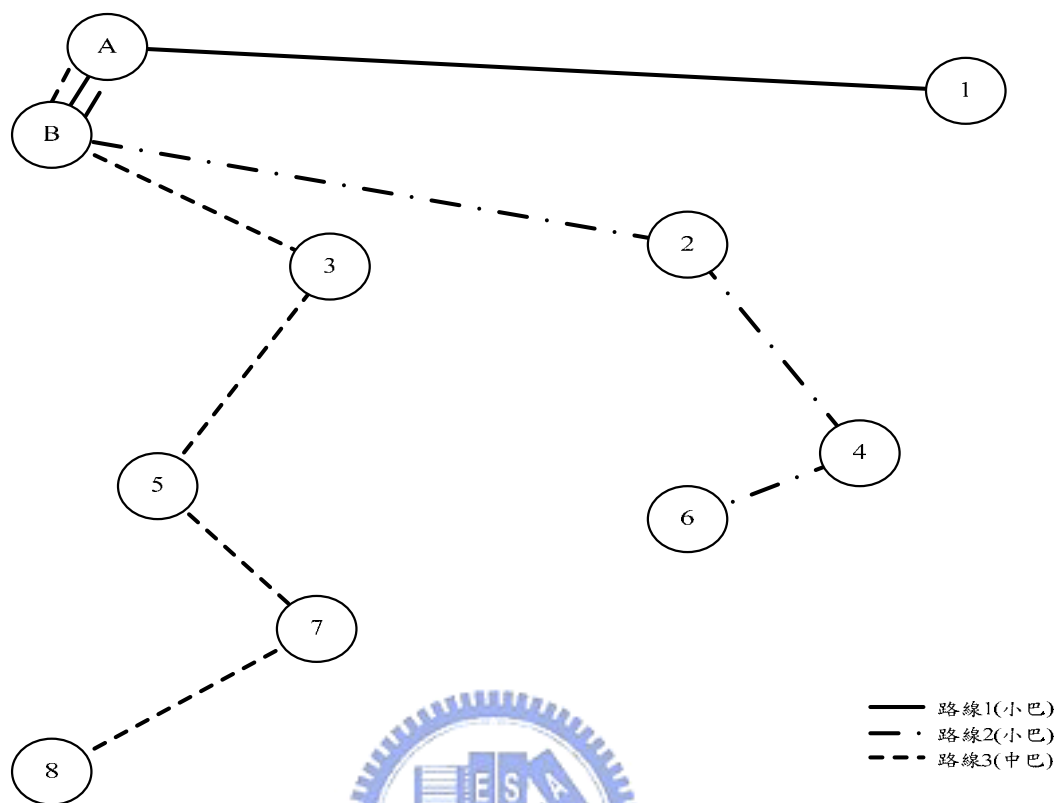
CC8 測試例題結果路網圖



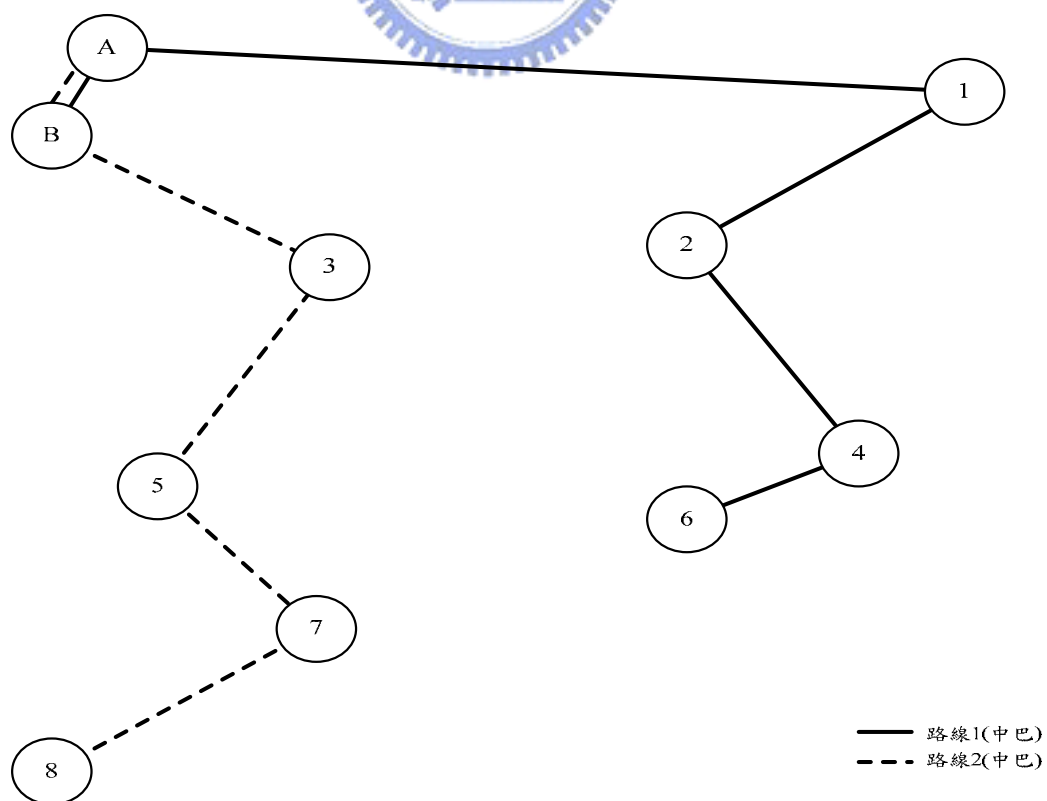
CR1 與 CR2 測試例題結果路網圖



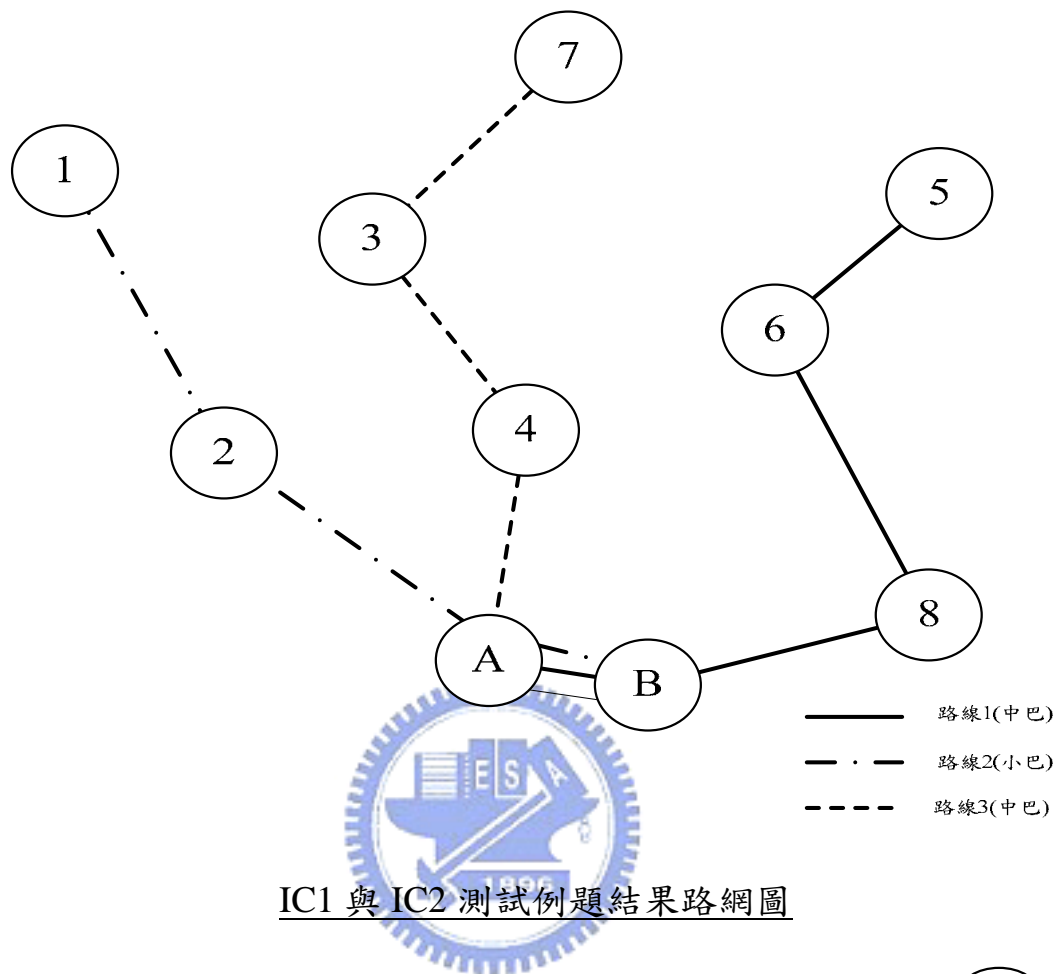
CR3 測試例題結果路網圖



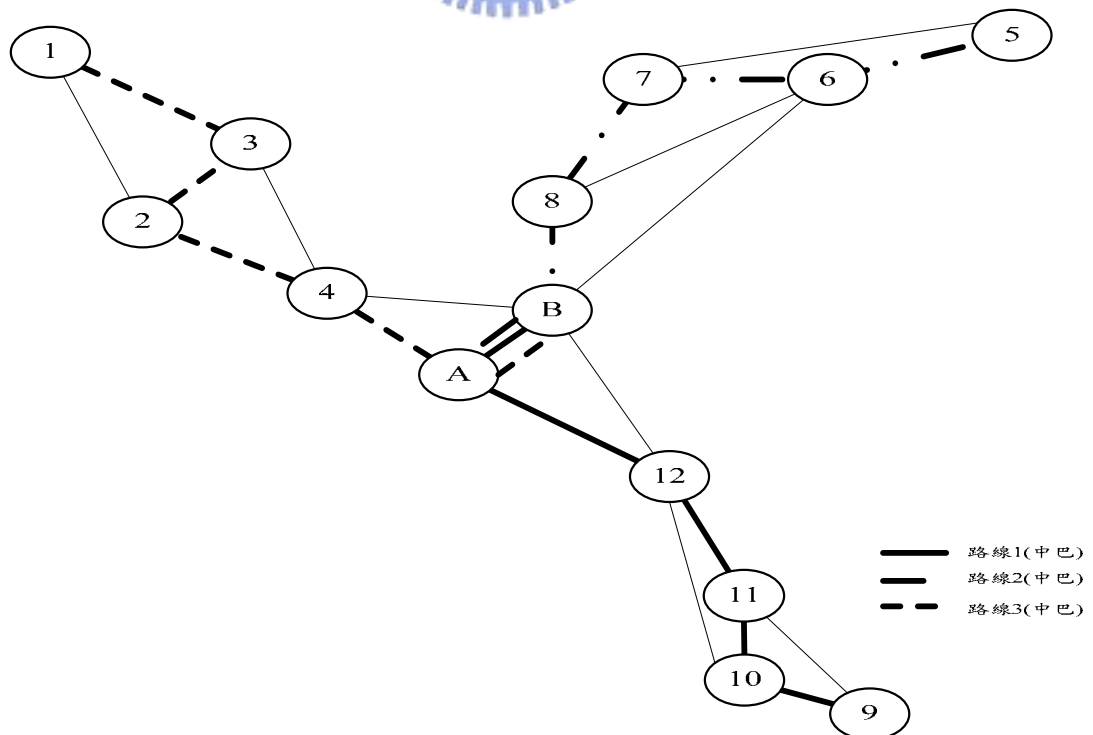
CR4 測試例題結果路網圖



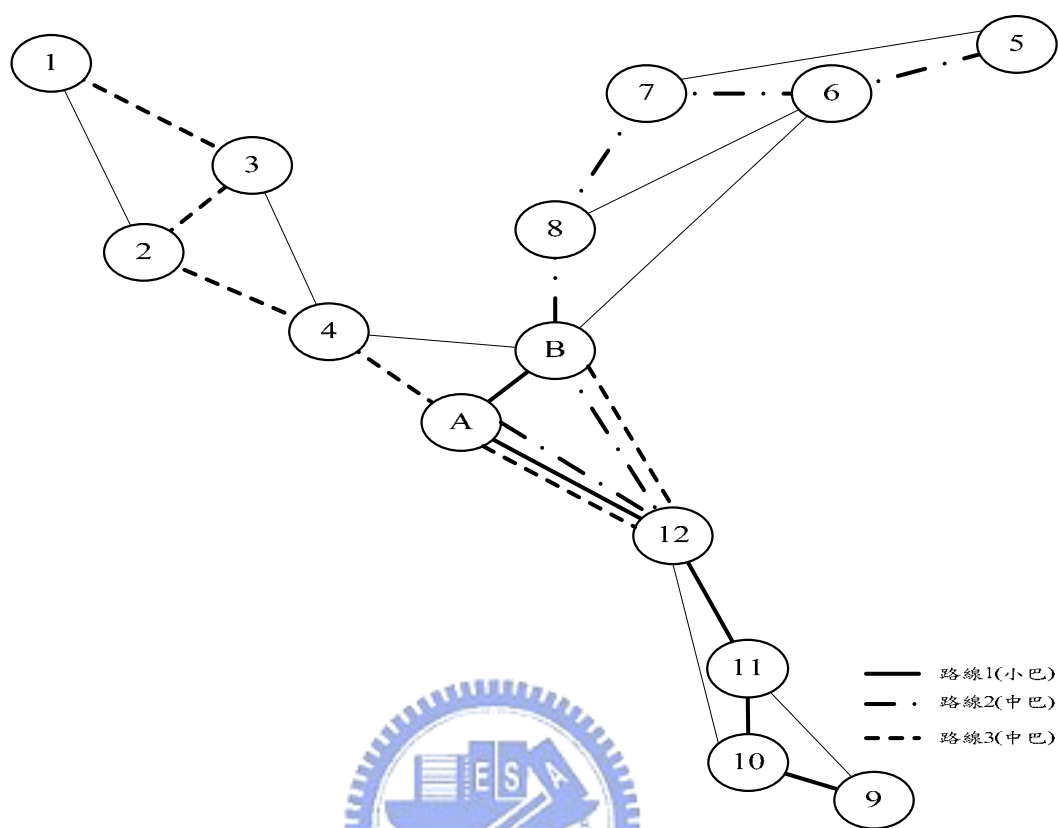
CR5 與 CR6 測試例題結果路網圖



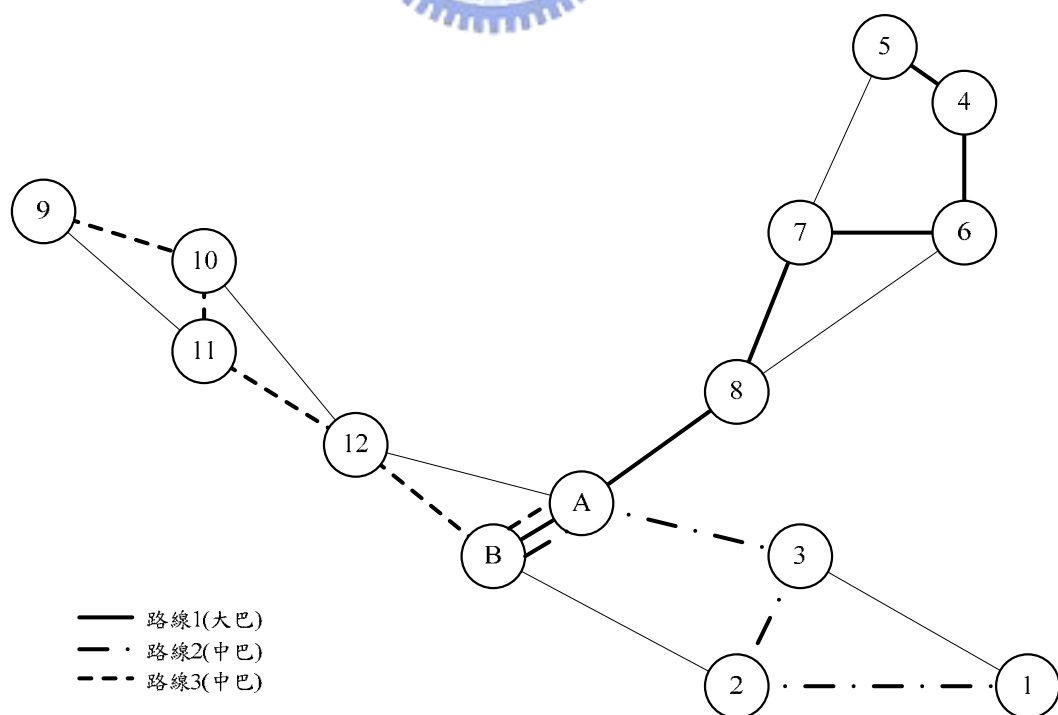
IC1 與 IC2 測試例題結果路網圖



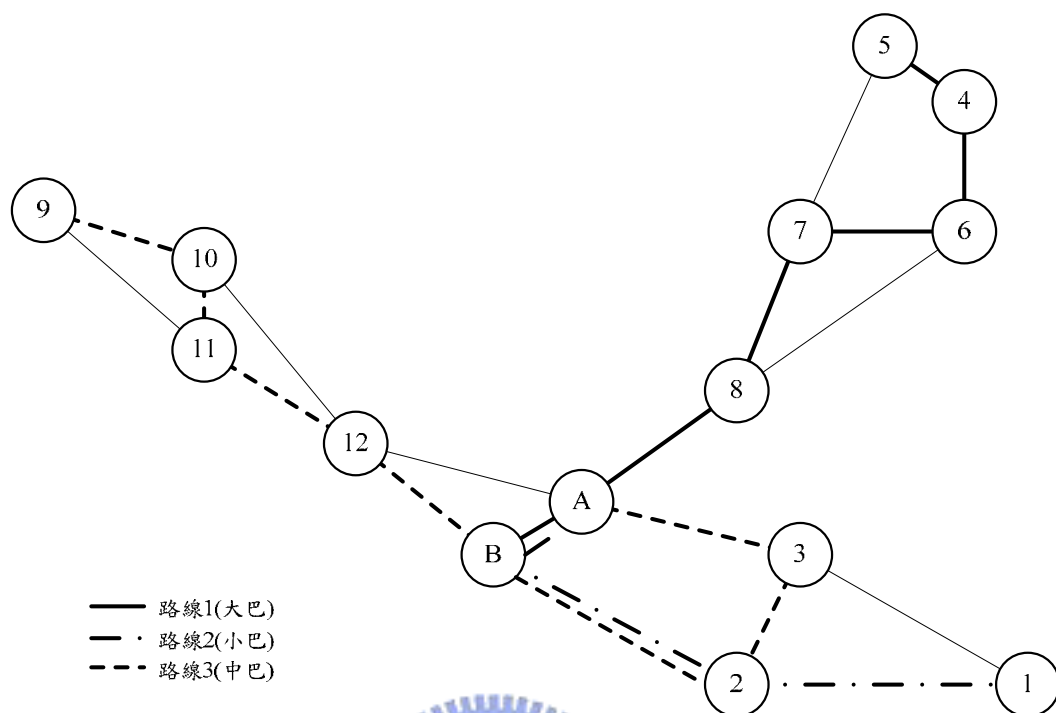
IC3 與 IC4 測試例題結果路網圖



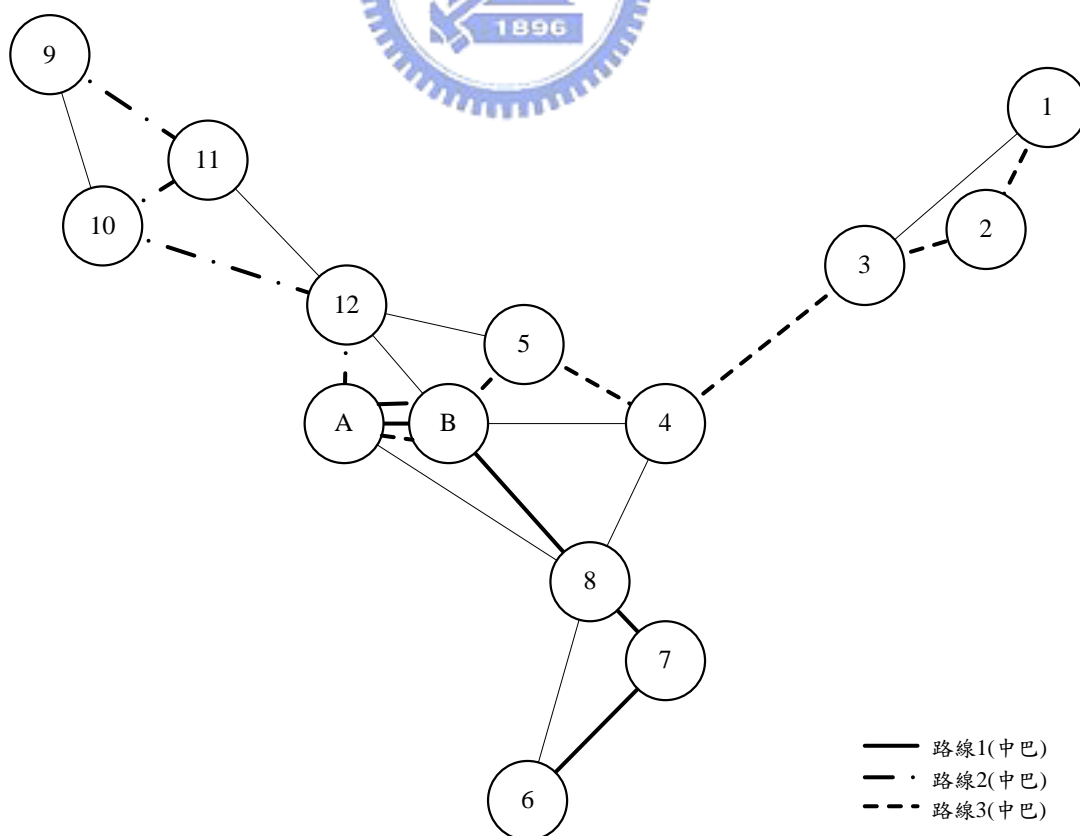
IC5 測試例題結果路網圖



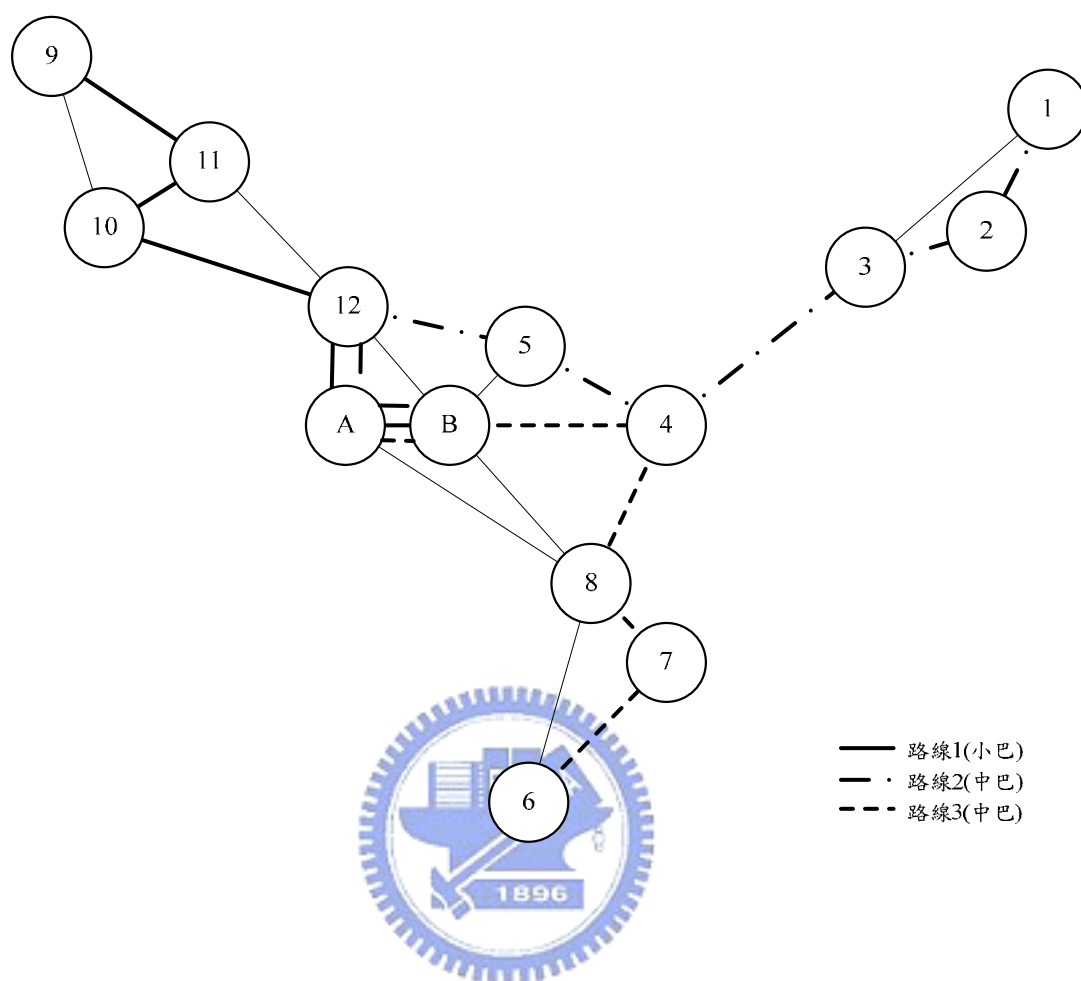
IC6 與 IC7 測試例題結果路網圖



IR1 測試例題結果路網圖



IR2 與 IR3 測試例題結果路網圖



附錄三：個案 A 公司路網資料

節點編號與站名：

節點編號	站名	節點編號	站名	節點編號	站名
1	福州路	17	百年大鎮	33	OK 便利商店
2	環中東路	18	龍潭桃園客運站	34	竹北口站牌
3	中壢漁市場對面	19	台灣傢俱	35	文化中心後方
4	中壢監理站	20	全聯福利中心	36	21 世紀不動產
5	中國信託(公賣局對面)	21	關爺	37	光明路口 7-11
6	陽明綜合醫院	22	飛狗巴士	38	竹北國盛街
7	長江加油站對面萊爾富	23	楊梅天慈醫院	39	竹北國中
8	宋屋派出所	24	嘟嘟好鵝肉店	40	天后宮
9	埔心火車站前	25	楊梅分局斜對面全家便利商店	41	竹北交流道
10	萬大筒仔米糕	26	湖口火車站	42	溫哥華隱形眼鏡行
11	麥當勞對面全家便利商店	27	信勢國小	43	石光農會
12	台灣銀行	28	工業區入口對面 7-11	44	小時候勿柑仔店
13	第一製藥廠站牌	29	營區土地公	45	新埔公賣局
14	南平路口	30	長安	46	枋寮新竹縣攝影協會
15	平南國中	31	福特汽車	47	土牛溝
16	山仔頂 OK 便利商店	32	新豐火車站對面 7-11	48	千姿內衣

節點編號	站名	節點編號	站名	節點編號	站名
49	伍聯社	70	弘陽商店	91	新苗汽車對面
50	新埔國中	71	二重埔洗車廠對面	92	內灣郵局
51	新埔大橋橋頭	72	中央路口	93	南河停車場
52	九州氣密窗	73	二重五聯社對面	94	十分寮福勝樓餐廳
53	斌昌家具	74	中興建材行	95	中日超商
54	中正東路十字路口 7-11	75	北埔天主堂(對面)	96	橫山火車站
55	興樺沙發	76	大鄉里萊爾富	97	竹林別莊
56	阿根檳榔	77	和江街口	98	文昌廟
57	佳昇修理廠	78	弘光藥房	99	芎林消防隊對面
58	竹中路口	79	中豐路、幸福路口	100	國王宮
59	竹東車站	80	中豐路、光武街口	101	芎林車站前
60	何醫院對面阿胖豆漿	81	中豐路、惠安街口	102	上山集會所
61	黃醫院	82	下公館	103	同榮號商店
62	百事達對面	83	石油探勘處	104	九芎坪
63	瓊園烤鴨對面	84	幸福路口	105	香員窩口
64	新光大樓對面	85	南寧路口	106	福昌街
65	豐田汽車	86	中正路口	107	芎林客運站
66	新鮮購物中心	87	東光燈飾對面	108	中國時報
67	狀元科學城	88	竹東國小天橋下	109	日清加油站對面
68	三重埔鴻祥修理對面	89	中興庄(中盛社區站牌)	110	廠區 1
69	三重埔碧瑤花園	90	台泥大門口	111	廠區 2

路網資料：

說明：

1. P_j 為 P_i 可以直接相連之點
2. 點 110 與點 111 表示為工作廠區(迄點)

節點 編號 (P_i)	X 座標	Y 座標	連接點(P_j)	距離(d_{ij})
1	273685.20	2760043.75	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12	0.589, 2.108, 2.003, 1.849, 2.812, 2.745, 3.746, 1.969
2	273206.34	2759701.71	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 20	0.589, 2.108, 2.003, 1.849, 2.812, 2.745, 3.746, 1.969, 0.335
3	273177.83	2761685.59	1, 2, 4, 20	2.108, 2.393, 0.716, 2.609
4	272721.77	2761269.43	1,2,3,5	2.003, 1.934, 0.716, 0.299
5	272619.15	2761069.90	1, 2, 4, 12	1.849, 1.73, 0.299, 0.265
6	271530.30	2760254.68	1, 2, 7, 12, 13, 20	2.812, 2.297, 0.502, 1.207, 1.74, 2.176
7	271313.67	2759969.64	1, 2, 6, 8, 13, 20	2.745, 2.229, 0.502, 0.742, 1.4, 1.961
8	270823.40	2759450.87	1, 2, 7, 9, 13, 14, 15	3.746, 3.23, 0.742, 3.378, 1.399, 3.125, 4.232
9	268675.92	2756879.06	8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 42, 43, 49	3.378, 1.601, 3.101, 4.011, 4.709, 6.657, 7.575, 8.409, 3.607, 16.113, 19.891, 16.249
10	267506.18	2755792.34	9, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 42, 43, 49	1.601, 0.653, 5.067, 5.437, 7.072, 7.965, 8.799, 16.504, 20.282, 16.64
11	266883.60	2755685.01	10, 17, 18, 19, 23, 42, 44, 49, 56, 101, 102, 110	0.653, 7.633, 8.526, 9.36, 1.42, 17.064, 20.087, 17.2, 21.72, 22.592, 22.415, 29.461
12	272470.93	2760847.57	1, 2, 5, 6, 13, 19, 20, 22	1.969, 1.656, 0.265, 1.207, 1.919, 10.912, 1.535, 10.448
13	271809.64	2759131.63	6, 7, 8, 12, 20, 21	1.74, 1.4, 1.399, 1.919, 1.284, 1.074
14	271264.19	2756997.52	8, 9, 15, 21	3.125, 3.101, 1.341, 1.135

節點 編號 (P _i)	X 座標	Y 座標	連接點(P _j)	距離(d _{ij})
15	271328.77	2755662.05	8, 9, 10, 14, 16	4.232, 4.011, 5.067, 1.341, 1.026
16	271259.10	2754668.09	9, 10, 15, 17	4.709, 5.437, 1.026, 2.39
17	271342.71	2752280.72	9, 10, 11, 16, 18, 22	6.657, 7.072, 7.633, 2.39, 1.394, 1.875
18	271802.53	2751087.04	9, 10, 11, 17, 19, 20, 22, 25	7.575, 7.965, 8.526, 1.394, 0.98, 9.578, 0.593, 10.806
19	272513.36	2750727.32	9, 10, 11, 12, 18, 20, 22, 25, 94, 110, 111	8.409, 8.799, 9.36, 10.912, 0.98, 9.682, 0.607, 11.64, 20.407, 36.496, 36.379
20	272978.30	2759536.38	2, 3, 6, 7, 12, 13, 18, 19, 21, 22	0.335, 2.609, 2.176, 1.961, 1.535, 1.284, 9.578, 9.682, 2.316, 9.217
21	271570.21	2758094.08	9, 13, 14, 20	3.607, 1.074, 1.135, 2.316
22	272299.51	2751291.41	12, 17, 18, 19, 20	10.448, 1.875, 0.593, 0.607, 9.217
23	265476.58	2755605.34	11, 24	1.42, 0.201
24	265314.06	2755585.99	23, 25	0.201, 0.801
25	264528.57	2755458.30	18, 19, 24, 26, 30, 31, 44, 46, 50, 56, 101	10.806, 11.64, 0.801, 10.912, 6.566, 11.557, 17.89, 16.229, 14.895, 19.523, 20.395
26	254490.96	2755007.32	25, 29, 30, 31	10.912, 4.448, 4.941, 0.68
27	254024.61	2754685.88	28, 31	4.299, 0.079
28	250603.95	2752320.33	27, 29, 30, 32, 48	4.299, 3.618, 8.631, 1.363, 8.975
29	253445.95	2751336.18	26, 28, 30, 31, 35, 36, 38, 40, 53, 54, 110, 111	4.448, 3.618, 5.751, 4.2, 7.466, 7.976, 7.39, 7.099, 7.367, 7.17, 15.356, 16.063
30	258492.51	2753312.28	25, 26, 28, 29, 31, 35, 36, 38, 40, 50, 54, 101, 102	6.566, 4.941, 8.631, 5.751, 5.586, 13.03, 13.54, 12.954, 12.663, 11.393, 12.734, 17.889, 17.711

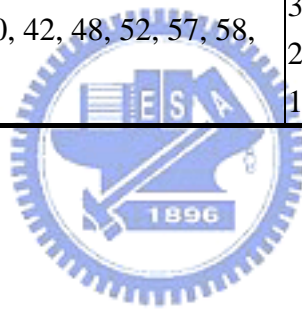
節點 編號 (P _i)	X 座標	Y 座標	連接點(P _j)	距離(d _{ij})
31	254088.47	2754735.27	25, 26, 27, 29, 30, 110, 111	11.557, 0.68, 0.079, 4.2, 5.586, 18.524, 19.231
32	249634.99	2751370.00	28, 33	1.363, 0.179
33	249499.99	2751251.89	32, 34, 38, 53	0.179, 4.279, 3.948, 2.665
34	250546.45	2747923.82	33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 47, 53	4.279, 0.917, 0.866, 0.524, 0.512, 0.597, 2.318, 4.66, 4.644
35	250728.60	2747300.65	29, 30, 34, 36, 40, 41, 47, 48, 49, 51, 54, 111	7.466, 13.03, 0.917, 0.666, 0.665, 1.559, 4.462, 2.963, 19.468, 6.708, 1.158, 9.188
36	250276.00	2747129.40	29, 30, 34, 35, 37, 40, 41, 47, 111	7.976, 13.54, 0.866, 0.666, 0.122, 1.175, 1.514, 4.971, 9.143
37	250207.07	2747128.06	36, 58, 110, 111	0.122, 7.86, 8.558, 9.265
38	250425.07	2748347.60	29, 30, 33, 34, 39, 47, 53	7.39, 12.954, 3.948, 0.524, 0.545, 4.386, 4.312
39	250078.48	2748135.17	34, 38, 47, 58, 110, 111	0.512, 0.545, 4.874, 9.059, 9.752, 10.459
40	251013.89	2747620.88	29, 30, 34, 35, 36, 41, 47, 48, 54, 111	7.099, 12.663, 0.597, 0.665, 1.175, 1.846, 4.095, 2.972, 0.505, 9.475
41	251543.09	2746320.24	34, 35, 36, 40, 48, 54, 57, 102	2.318, 1.559, 1.514, 1.846, 1.155, 1.602, 6.328, 7.787
42	267898.17	2742793.38	9, 10, 11, 43, 49, 110, 111	16.113, 16.504, 17.064, 5.769, 0.519, 26.446, 26.355
43	262999.37	2745158.74	9, 10, 42, 44, 49	19.891, 20.282, 5.769, 0.315, 6.24
44	262687.66	2745248.85	11, 25, 43, 50, 51	20.087, 17.89, 0.315, 5.946, 6.247
45	256911.55	2746841.80	46, 50	1.952, 0.202
46	255228.49	2747706.08	25, 45, 47	16.229, 1.952, 1.344
47	254076.12	2748289.84	34, 35, 36, 38, 39, 40, 46, 48, 54	4.66, 4.462, 4.971, 4.386, 4.874, 4.095, 1.344, 3.317, 4.069
48	252972.49	2745832.08	28, 35, 40, 41, 47, 54, 110, 111	8.975, 2.963, 2.972, 1.155, 3.317, 2.614, 7.919, 7.685

節點 編號 (P _i)	X 座標	Y 座標	連接點(P _j)	距離(d _{ij})
49	267956.81	2742397.35	9, 10, 11, 35, 42, 43, 54, 59, 60, 61, 62, 63	16.249, 16.64, 17.2, 19.468, 0.519, 6.24, 18.351, 16.396, 16.117, 16.146, 16.089, 16.029
50	257068.04	2746713.55	25, 30, 44, 45, 51	14.895, 11.393, 5.946, 0.202, 0.318
51	256780.80	2746577.49	35, 44, 50, 54	6.708, 6.247, 0.318, 5.591
52	245832.03	2750499.06	53, 58, 110, 111	1.882, 14.275, 13.852, 14.973
53	247550.73	2750244.14	29, 33, 34, 38, 52	7.367, 2.665, 4.644, 4.312, 1.882
54	251501.45	2747530.84	29, 30, 35, 40, 41, 47, 48, 49, 51	7.17, 12.734, 1.158, 0.505, 1.602, 4.069, 2.614, 18.351, 5.591
55	254863.37	2744359.04	56, 110	0.256, 10.032
56	254979.96	2744131.63	11, 25, 55, 57, 102	21.72, 19.523, 0.256, 2.062, 3.521
57	256226.96	2742492.59	41, 56, 109, 110, 111	6.328, 2.062, 0.315, 12.109, 11.875
58	252949.82	2741597.53	37, 39, 52, 103, 110, 111	7.86, 9.059, 14.275, 0.56, 4.33, 2.474
59	258851.87	2736756.88	49, 60, 61, 88	16.396, 0.3, 0.242, 0.299
60	258766.53	2736983.83	49, 59, 61, 62, 88, 105	16.117, 0.3, 0.109, 0.467, 0.644, 5.945
61	258713.40	2736929.44	49, 59, 60, 62, 105	16.146, 0.242, 0.109, 0.496, 5.974
62	258480.48	2737352.47	49, 60, 61, 63	16.089, 0.467, 0.496, 0.055
63	258446.40	2737396.26	49, 62, 64	16.029, 0.055, 0.23
64	258308.44	2737580.20	63, 66	0.23, 0.235
65	258149.26	2737774.76	66, 67, 103	0.017, 2.126, 7.657
66	258146.08	2737751.33	64, 65	0.235, 0.017
67	256565.51	2739110.07	65, 68	2.126, 0.104

節點 編號 (P _i)	X 座標	Y 座標	連接點(P _j)	距離(d _{ij})
68	256469.83	2739152.87	67, 91	0.104, 0.076
69	256145.00	2739492.81	70, 91	0.327, 0.437
70	255938.52	2739747.13	69, 71	0.327, 0.019
71	255908.30	2739744.61	70, 72, 103, 111	0.019, 0.468, 4.816, 6.236
72	255605.89	2740098.81	71, 73, 89, 103, 111	0.468, 0.187, 13.273, 4.43, 6.073
73	255478.55	2740219.08	72, 74, 103	0.187, 0.212, 4.325
74	255326.44	2740332.27	73, 103, 110, 111	0.212, 4.244, 7.597, 5.741
75	255663.78	2732636.44	76, 89	4.52, 2.684
76	258546.96	2735471.00	75, 77, 89	4.52, 0.056, 7.08
77	258592.65	2735483.43	76, 78	0.056, 0.119
78	258675.55	2735527.64	77, 79	0.119, 0.747
79	259261.43	2735157.33	78, 80	0.747, 0.065
80	259314.45	2735120.48	79, 81	0.065, 0.057
81	259360.92	2735085.47	80, 82	0.057, 0.558
82	259698.07	2735151.80	81, 83	0.558, 0.24
83	259570.95	2735356.30	82, 84	0.24, 0.024
84	259560.22	2735378.33	83, 85	0.024, 0.279
85	259421.22	2735620.06	84, 90	0.279, 0.039
86	259283.54	2735831.64	87, 90	0.366, 0.213
87	259061.94	2736119.05	86, 88	0.366, 0.422

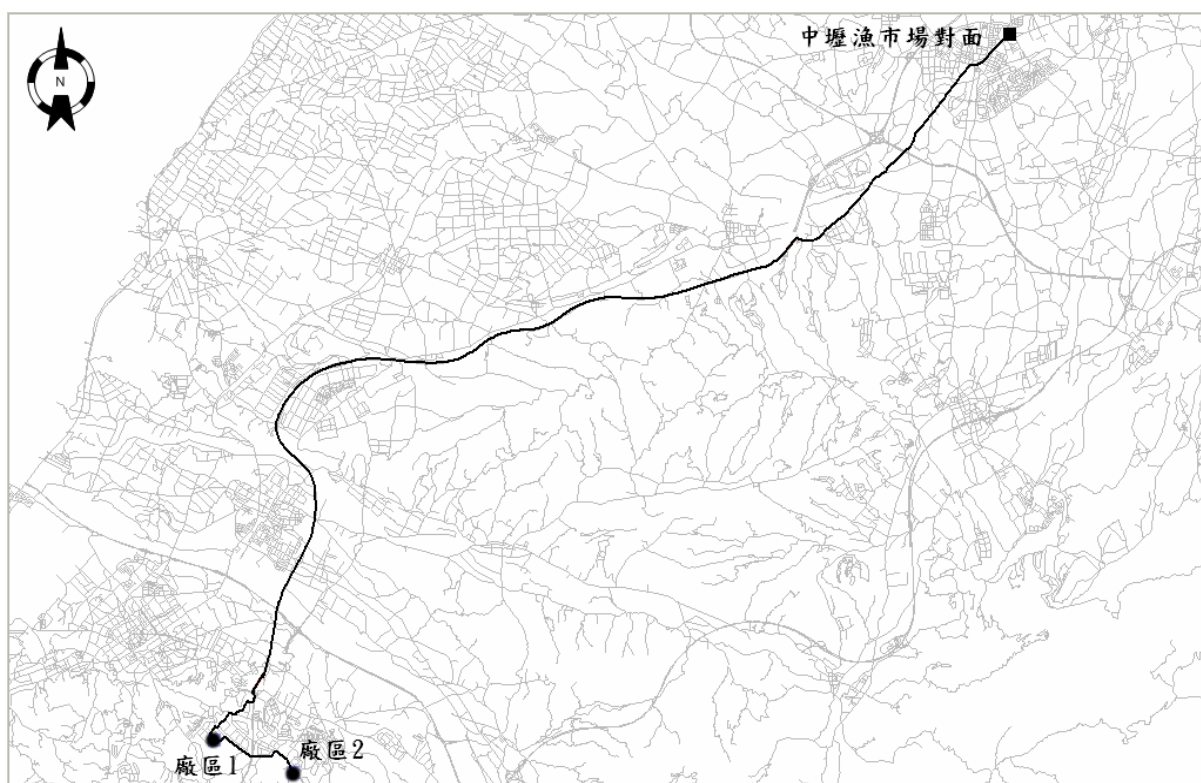
節點 編號 (P _i)	X 座標	Y 座標	連接點(P _j)	距離(d _{ij})
88	258962.41	2736491.58	59, 60, 87	0.299, 0.644, 0.422
89	253457.94	2732216.89	72, 75, 76, 110, 111	13.273, 2.684, 7.08, 18.823, 18.706
90	259404.10	2735654.77	85, 86	0.039, 0.213
91	256401.80	2739186.17	68, 69	0.076, 0.437
92	268303.34	2733366.98	104	1.063
93	266605.51	2734279.29	94, 104	1.19, 1.349
94	265678.17	2734410.13	19, 93, 95	20.407, 1.19, 2.324
95	263729.82	2735045.96	94, 105	2.324, 0.855
96	261397.38	2734882.78	82, 105	1.976, 2.101
97	259944.22	2738181.52	105, 106	4.172, 0.52
98	258355.57	2740666.01	99, 106	0.373, 2.497
99	258126.79	2740928.48	98, 100	0.373, 0.119
100	258026.56	2740997.05	99, 107	0.119, 0.077
101	257934.79	2741040.33	11, 25, 30, 107, 108, 109	22.592, 20.395, 17.889, 0.028, 0.962, 2.029
102	257398.92	2741951.44	11, 30, 41, 56, 108, 109	22.415, 17.711, 7.787, 3.521, 0.161, 1.147
103	253110.39	2741617.01	58, 65, 71, 72, 73, 74, 110, 111	0.56, 7.657, 4.816, 4.43, 4.325, 4.244, 4.89, 3.034
104	267519.57	2733558.92	92, 93	1.063, 1.349
105	263015.53	2735509.76	60, 61, 95, 96, 97	5.945, 5.974, 0.855, 2.101, 4.172
106	259690.59	2738636.66	97, 98, 109, 110	0.52, 2.497, 5, 15.817
107	257956.90	2741030.48	100, 101	0.077, 0.028

節點 編號 (P _i)	X 座標	Y 座標	連接點(P _j)	距離(d _{ij})
108	257526.08	2741864.32	101, 102	0.962, 0.161
109	256490.73	2742319.46	57, 101, 102, 106	0.315, 2.029, 1.147, 5
110	249214.10	2740916.52	11, 19, 29, 31, 37, 39, 42, 48, 52, 55, 57, 58, 74, 89, 103, 106, 111	29.461, 36.496, 15.356, 18.524, 8.558, 9.752, 26.446, 7.919, 13.852, 10.032, 12.109, 4.33, 7.597, 18.823, 4.89, 15.817, 3.13
111	251609.07	2739971.16	19, 29, 31, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 48, 52, 57, 58, 71, 72, 74, 89, 103, 110	36.379, 16.063, 19.231, 9.188, 9.143, 9.265, 10.459, 9.475, 26.355, 7.685, 14.973, 11.875, 2.474, 6.236, 6.073, 5.741, 18.706, 3.034, 3.13



附錄四：實際車容量為限制之實例結果路線圖

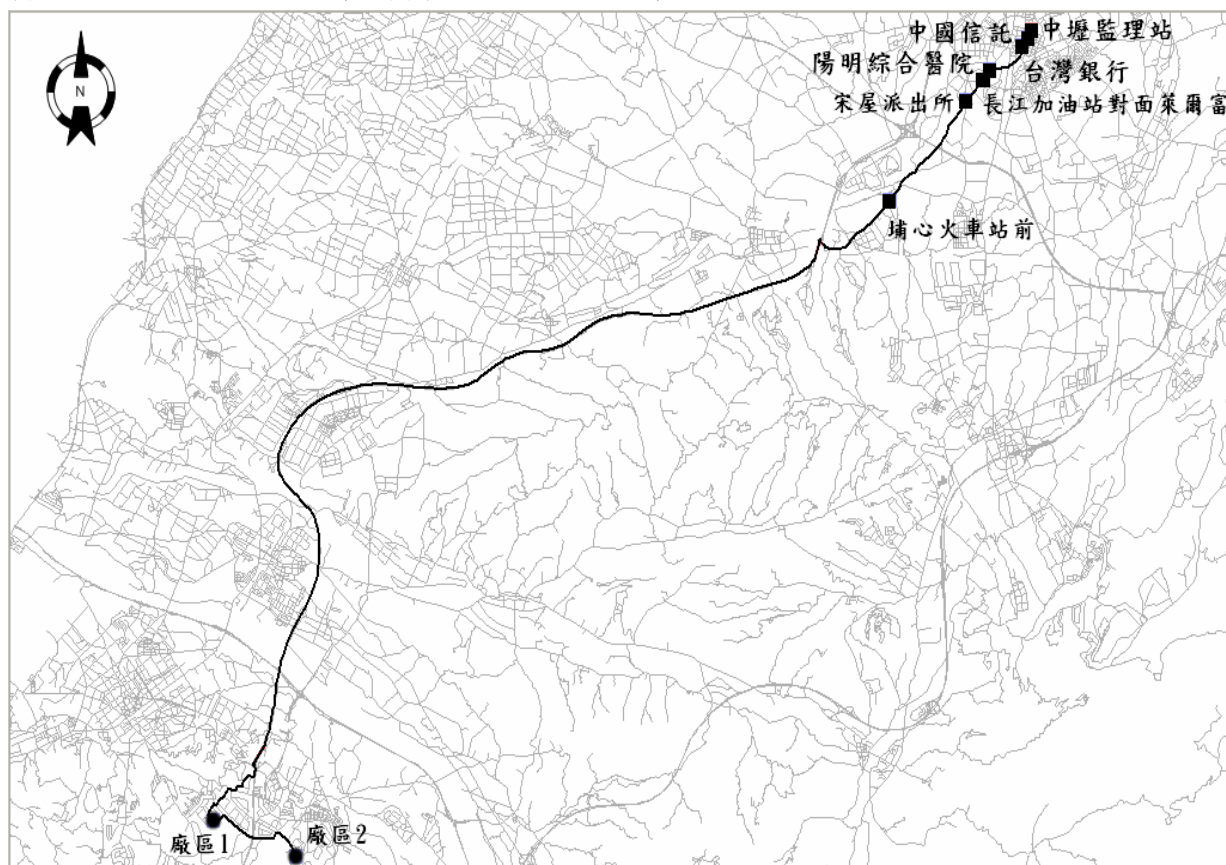
實例結果路線 1：小巴（乘載率=5/9=55.56%）



實例結果路線 2：中巴（乘載率=18/20=90%）



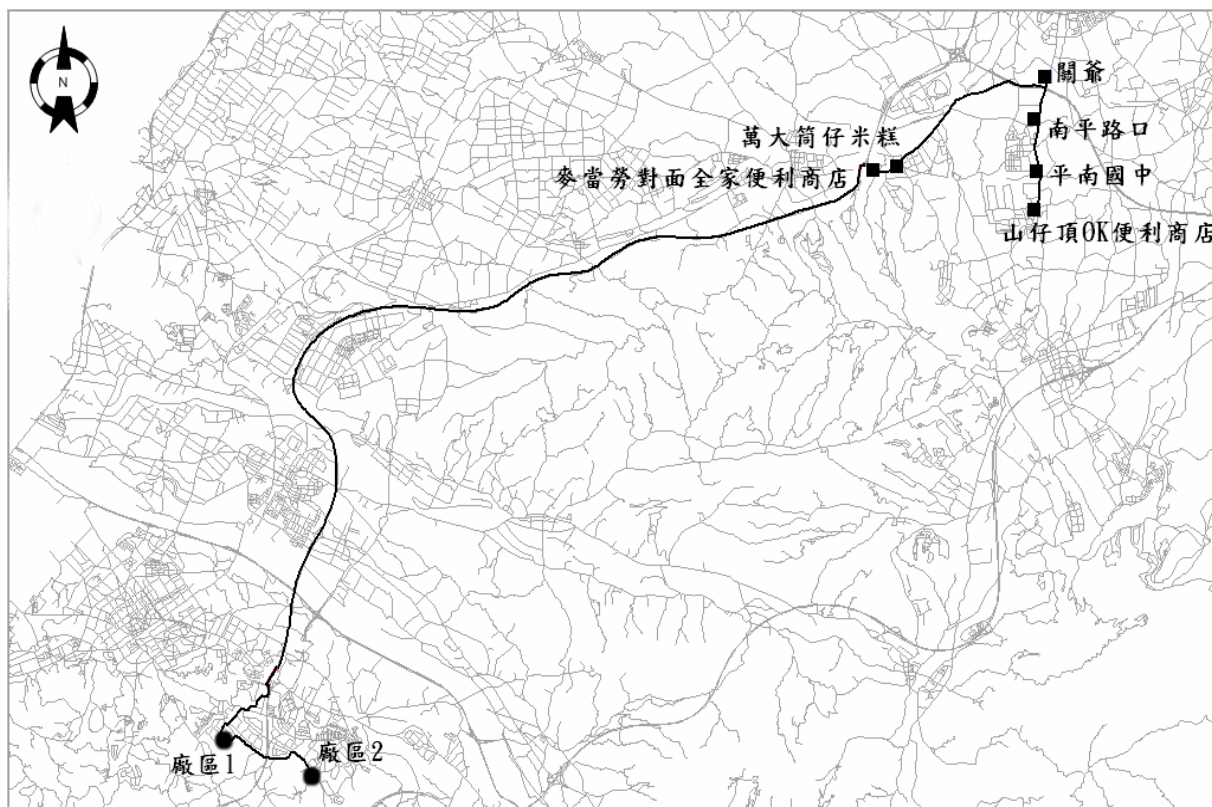
實例結果路線 3：大巴 (乘載率=30/43=69.77%)



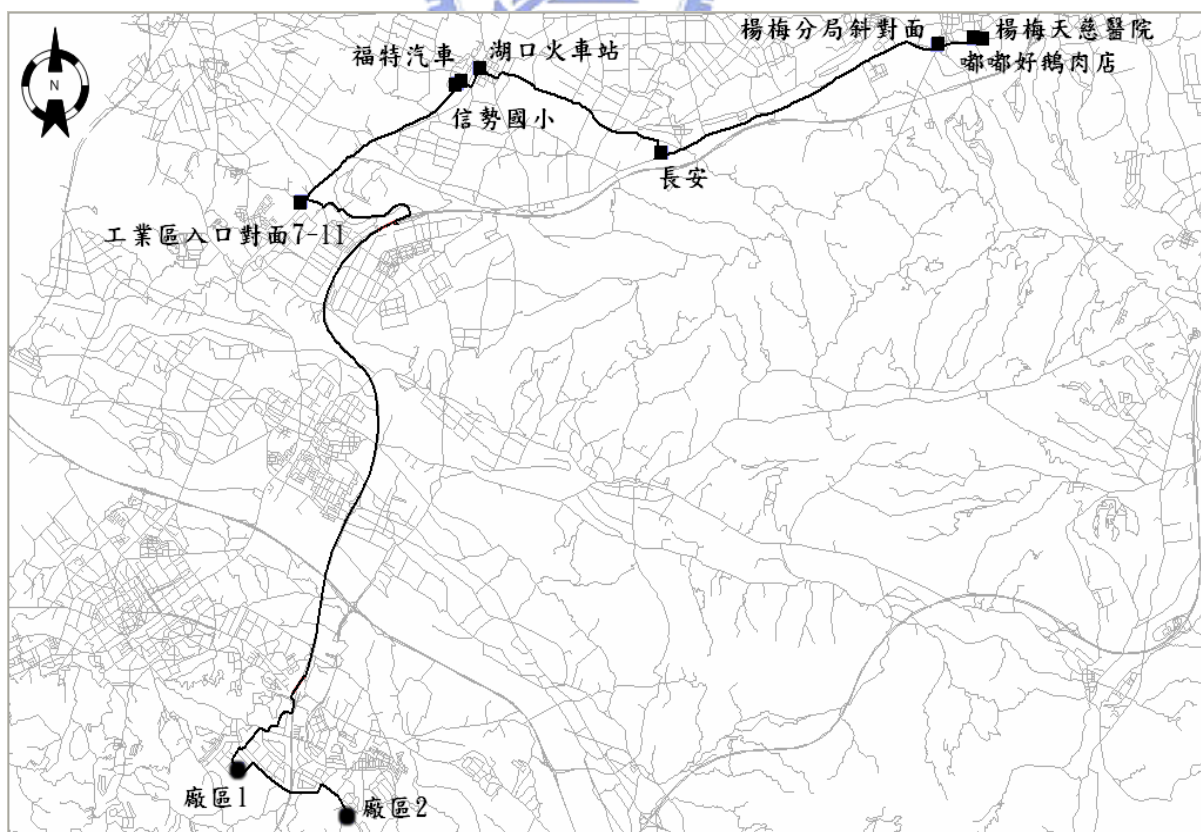
實例結果路線 4：中巴 (乘載率=20/20=100%)



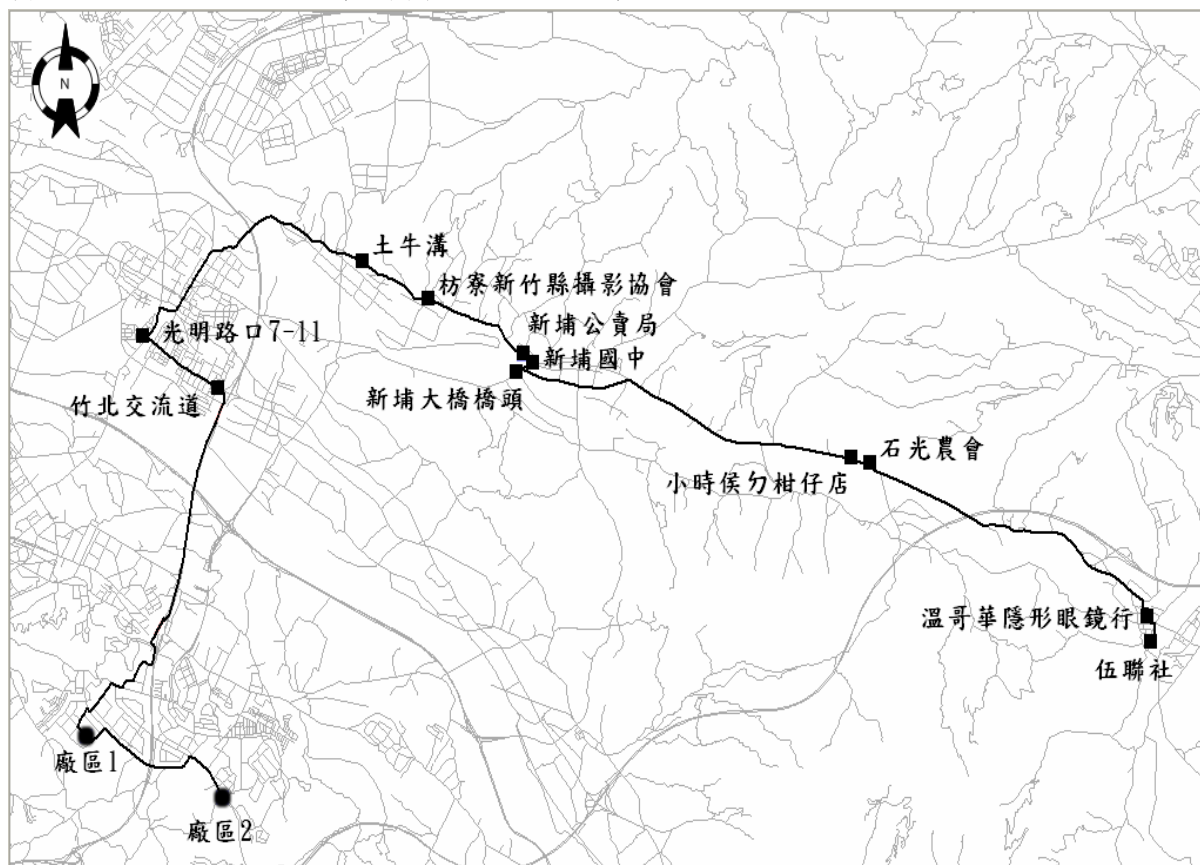
實例結果路線 5：小巴（乘載率=8/9=88.89%）



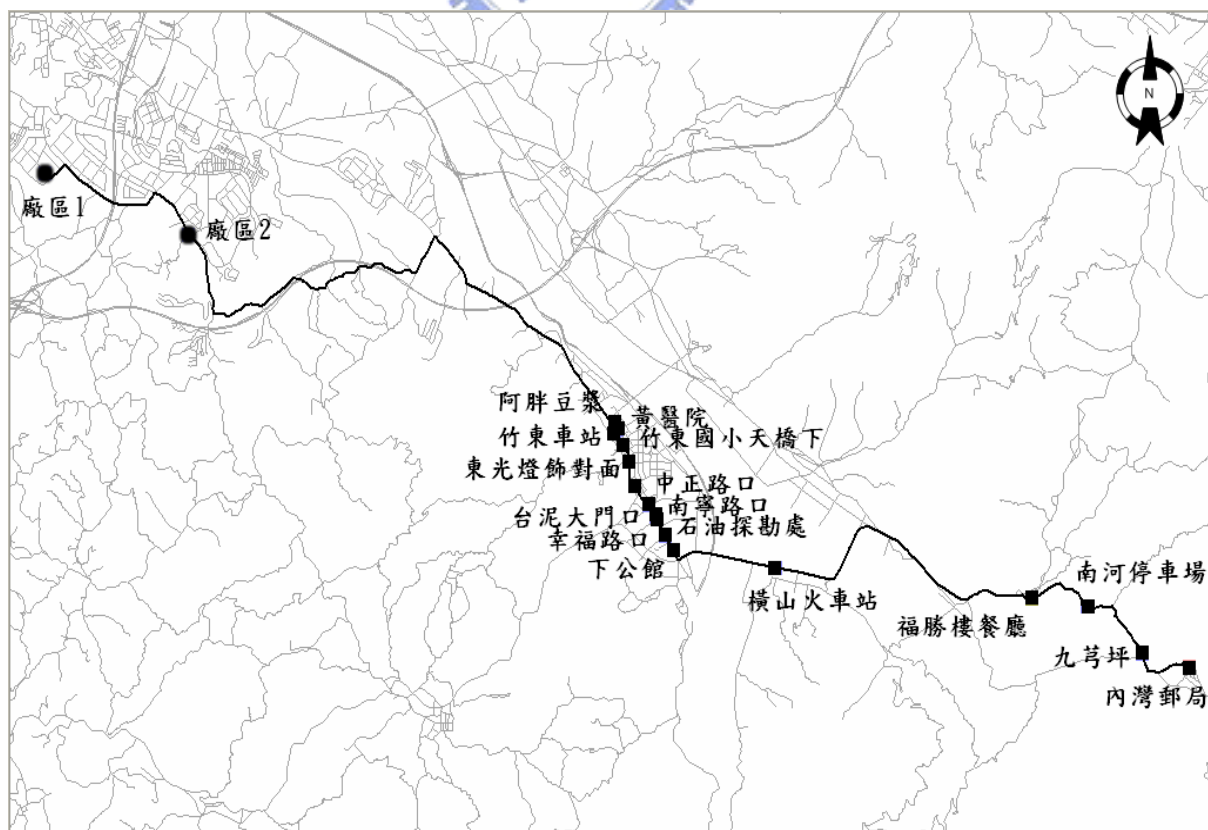
實例結果路線 6：中巴（乘載率=20/20=100%）



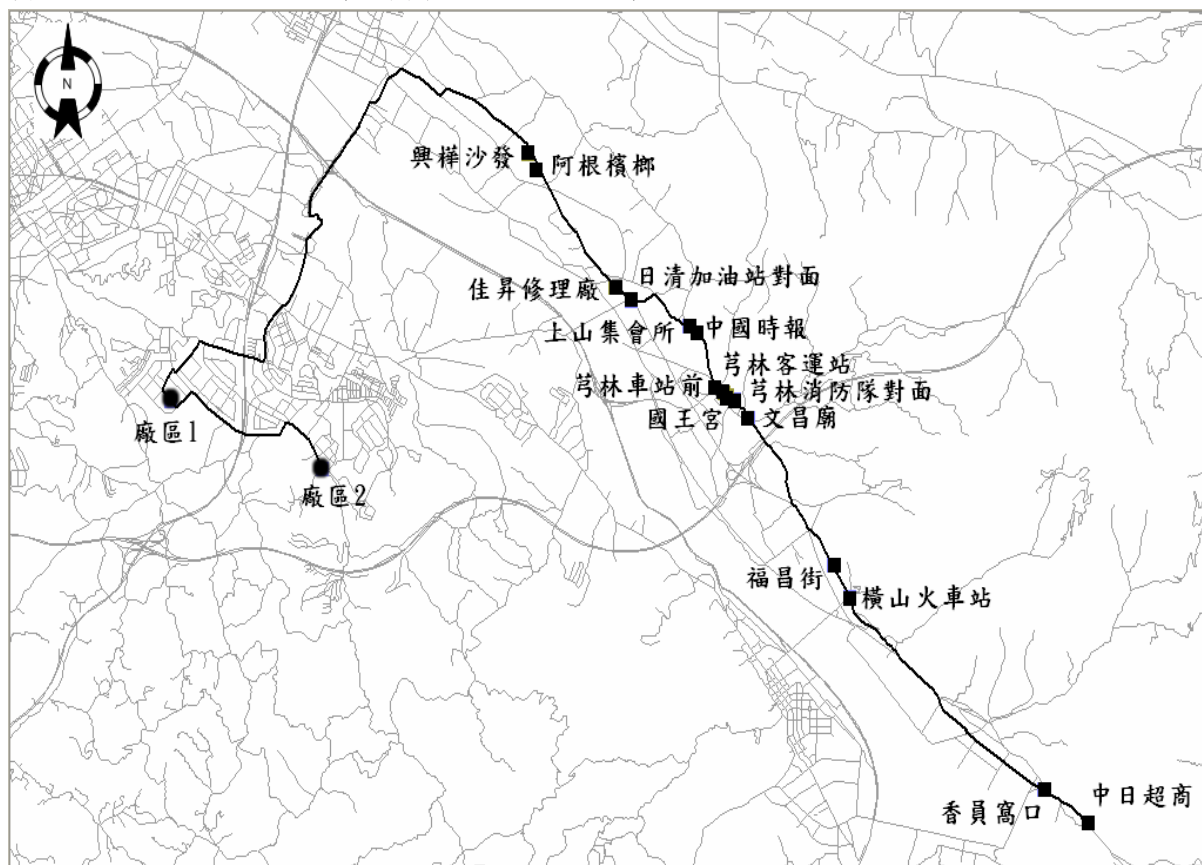
實例結果路線 7：中巴（乘載率=13/20=65%）



實例結果路線 8：大巴（乘載率=36/43=83.72%）



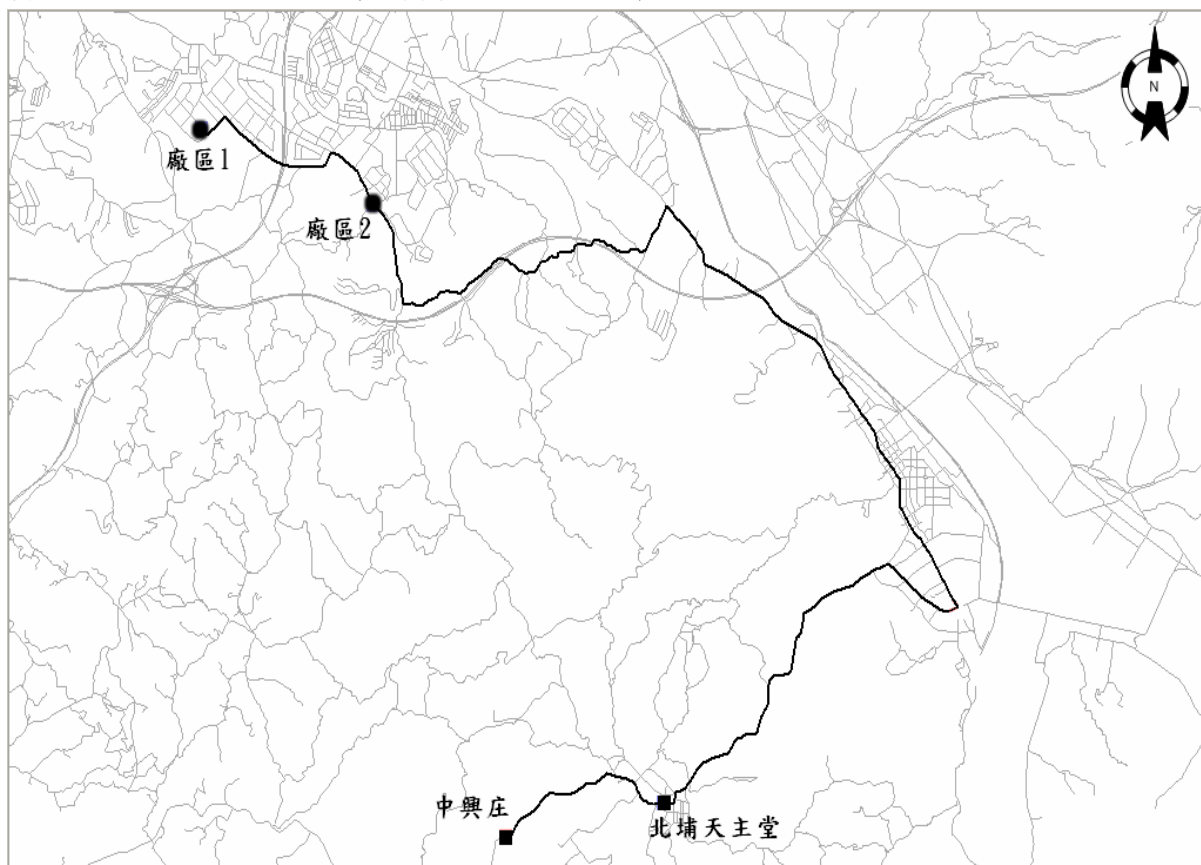
實例結果路線 9：中巴（乘載率=20/20=100%）



實例結果路線 10：大巴（乘載率=43/43=100%）



實例結果路線 11：小巴 (乘載率=2/9=22.22%)

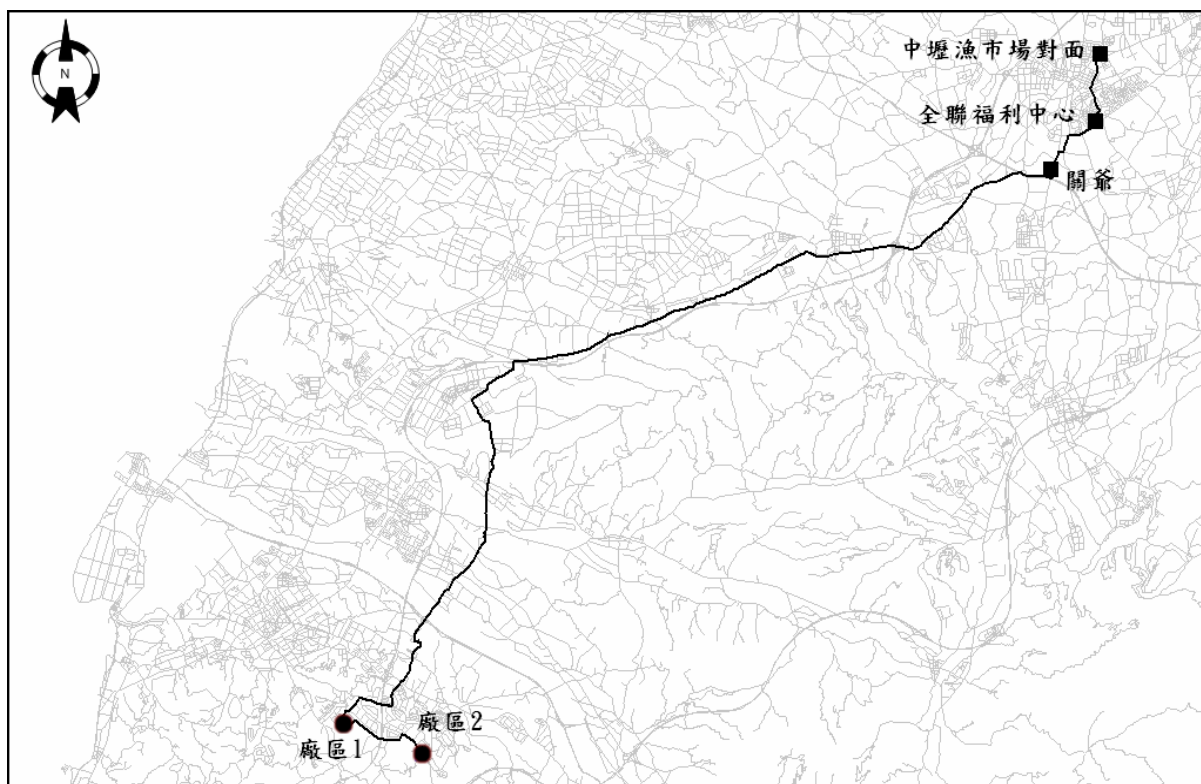


實例結果路線 12：大巴 (乘載率=29/43=67.44%)



附錄五：服務容量為限制之實例結果路線圖

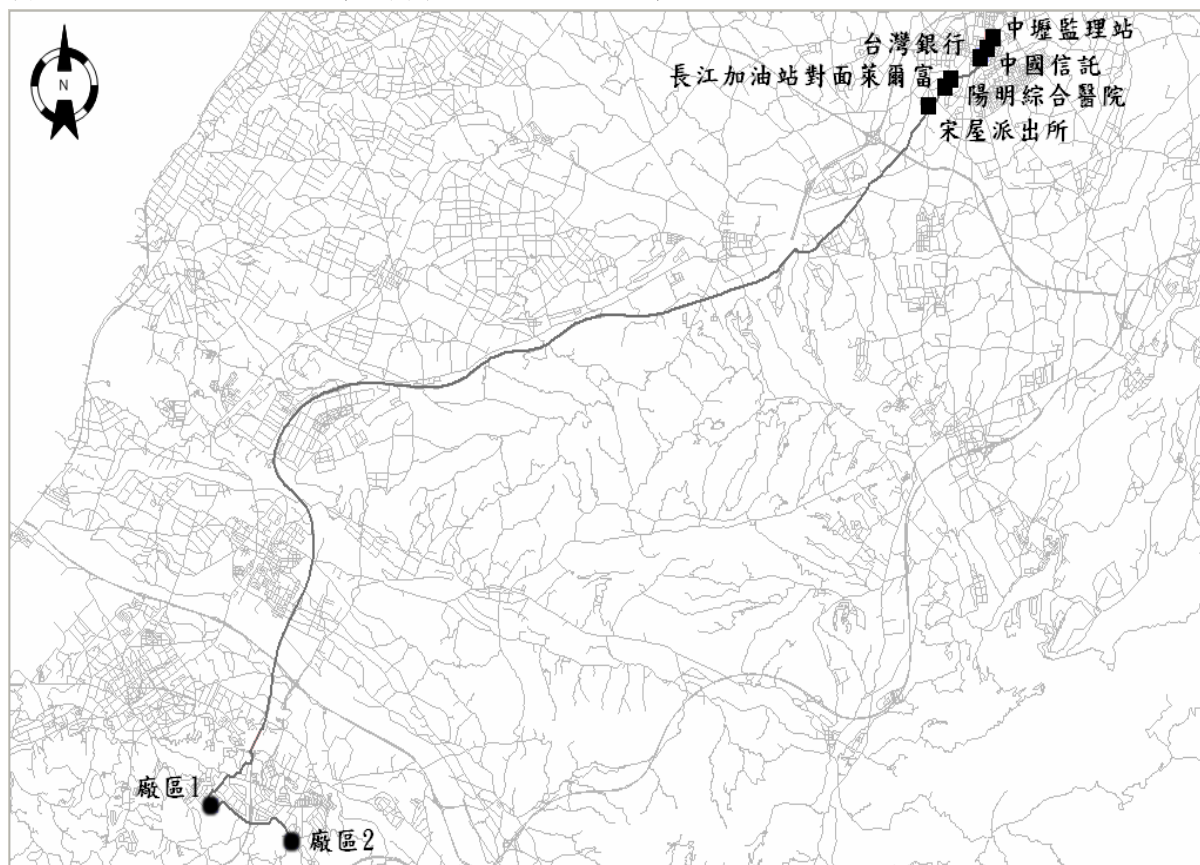
實例結果路線 1：小巴 (乘載率=7/9=77.78%)



實例結果路線 2：大巴 (乘載率=30/43=69.77%)



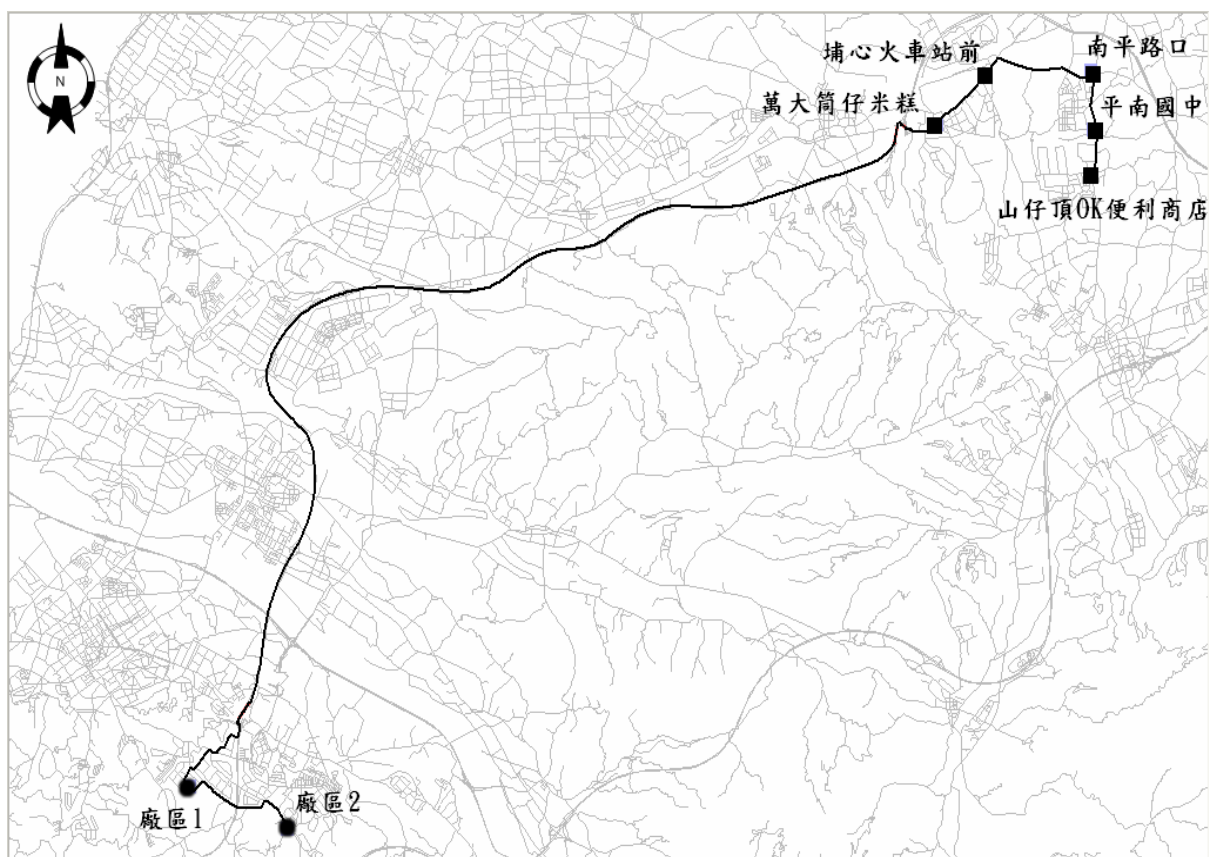
實例結果路線 3：大巴（乘載率=23/43=53.49%）



實例結果路線 4：大巴（乘載率=20/43=46.51%）



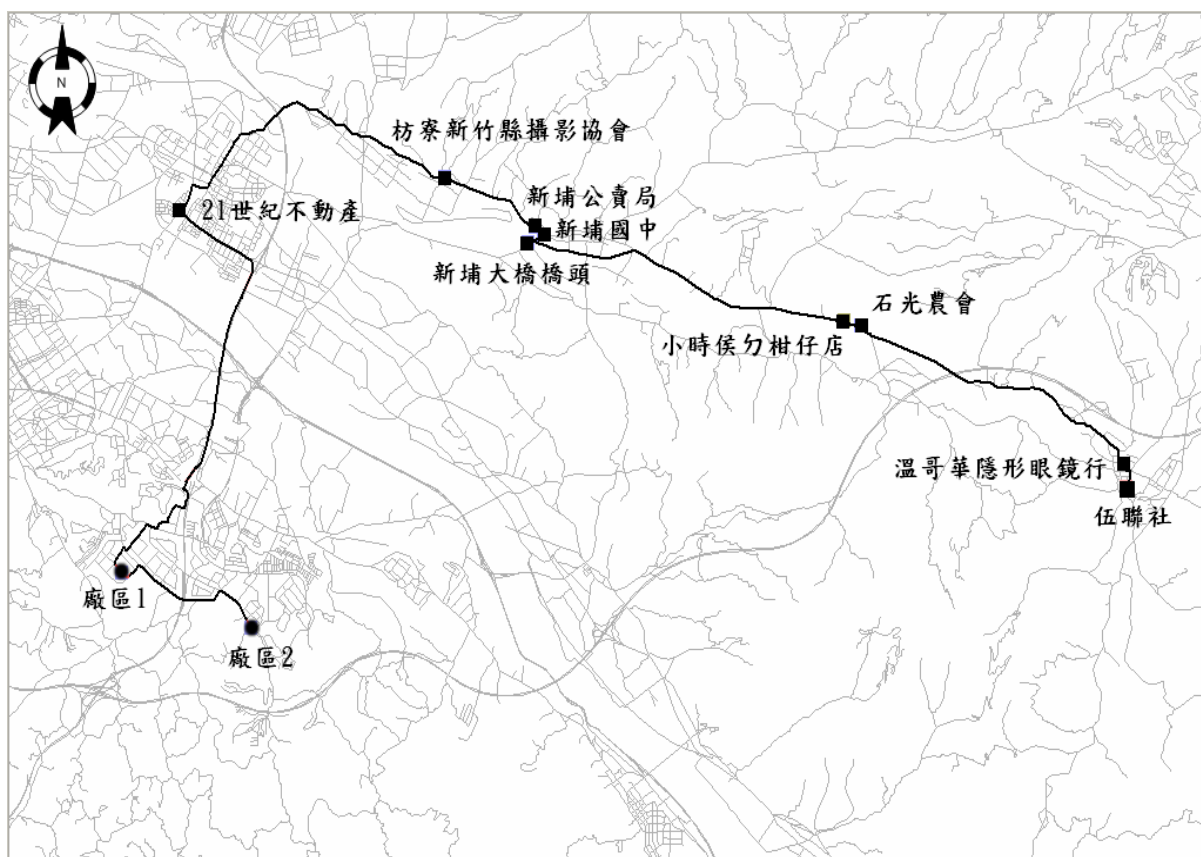
實例結果路線 5：中巴（乘載率=12/20=60%）



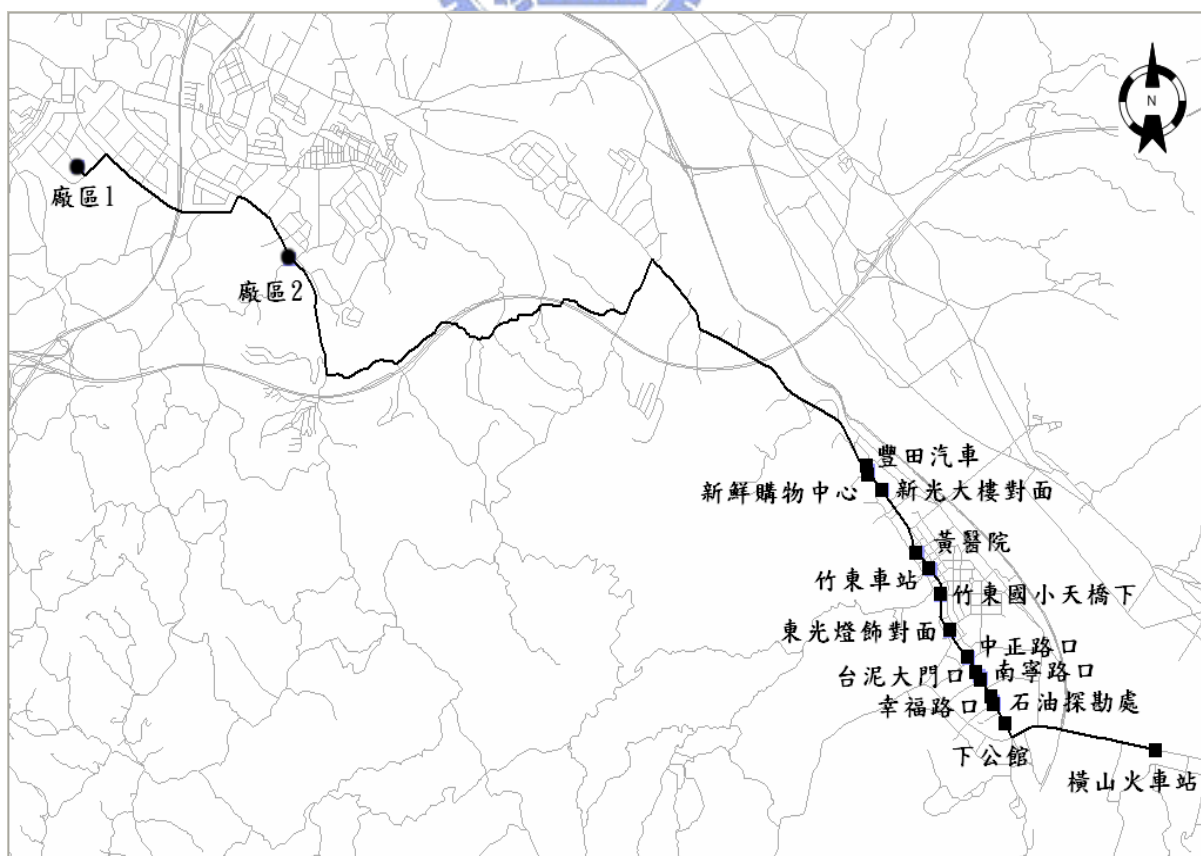
實例結果路線 6：中巴（乘載率=16/20=80%）



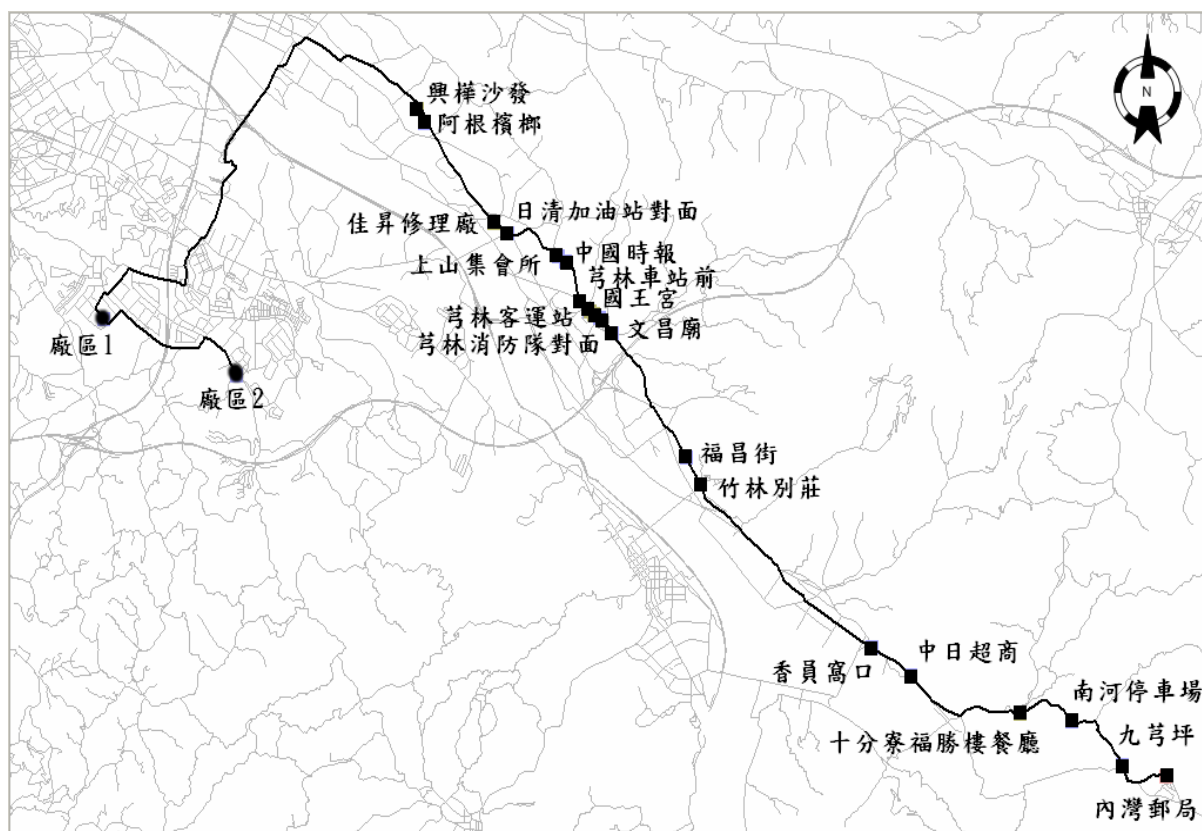
實例結果路線 7：中巴（乘載率=11/20=55%）



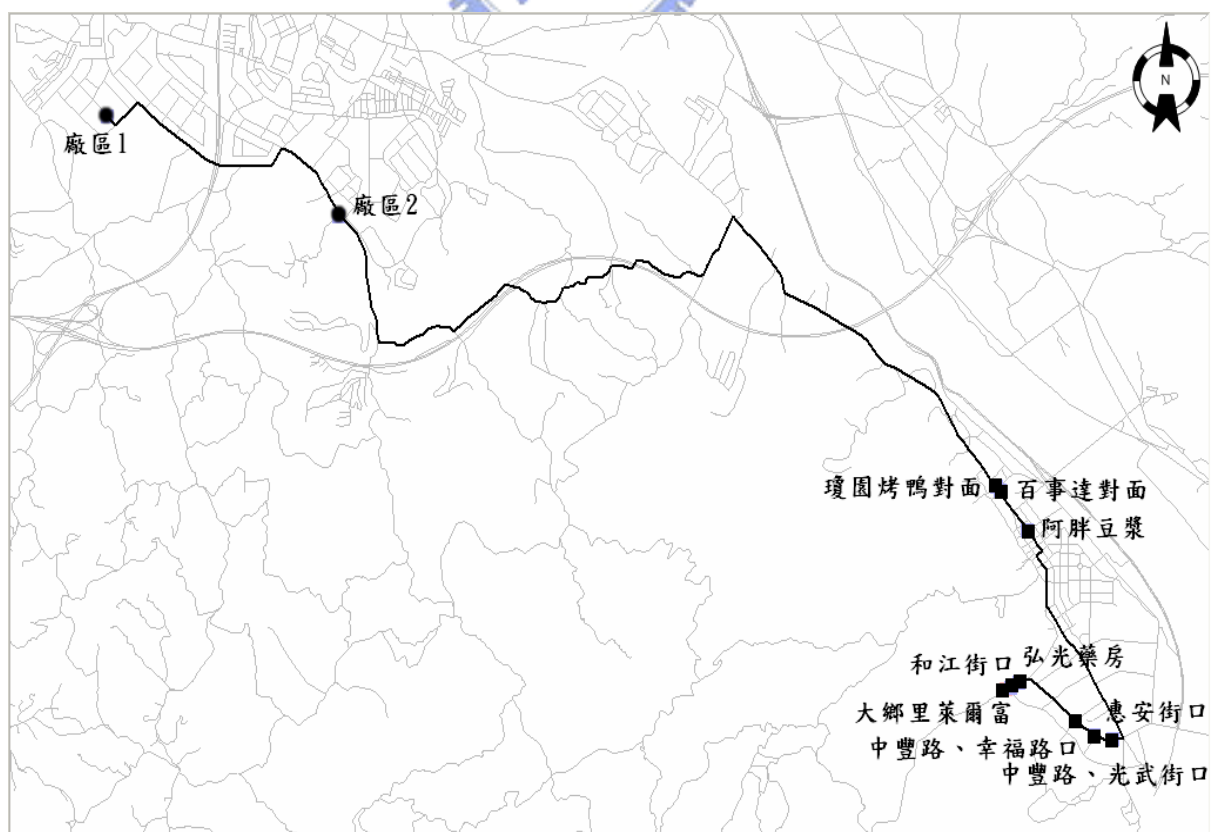
實例結果路線 8：大巴（乘載率=35/43=81.4%）



實例結果路線 9：大巴（乘載率=25/43=58.14%）



實例結果路線 10：大巴（乘載率=26/43=60.47%）



實例結果路線 11：中巴 (乘載率=15/20=75%)



實例結果路線 12：大巴 (乘載率=24/43=55.81%)

