

行政院國家科學委員會補助
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* ***** *
* 計 畫 : 運用地理資訊系統分析新竹市旅遊導引指示標誌設置 *
* 名 稱 : 位置之研究 *
* ***** *

執行計畫學生： 彭瑞寶
學生計畫編號： NSC 98-2815-C-216-013-E
研究期間： 98年07月01日至99年02月28日止，計8個月
指導教授： 蘇昭銘

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中華大學運輸科技與物流管理學系

中華民國 99年03月25日

行政院國家科學委員會補助

大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* 計畫 *
* :運用地理資訊系統分析新竹市旅遊導引指示標誌設置位置之研究 *
* 名稱 *

執行計畫學生：彭瑞寶

學生計畫編號：NSC 98-2815-C-216-013-E

研究期間：98年7月1日至99年2月28日，計8個月

指導教授：蘇昭銘

處理方式(請勾選)：立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開
查詢

執行單位：中華大學運輸科技與物流管理學系

中華民國 98 年 3 月 23 日

摘要

臺灣地區民眾在旅遊時使用汽機車私人運具之比例達 70% 以上，而民眾使用汽機車進行旅遊時，除運用導航設備進行路線導引外，亦必須透過路側上充分且有效之導引指示標誌進行路徑之引導。一般旅遊導引指示標誌研究領域可區分為標誌設置地點(路口)選取、各路口確切設置位置之決定及標誌設計內容等三階段，然在相關設置規範與文獻中可發現過去之研究大都著重在後面兩階段之研究，對於標誌設置地點之選取較無探討。而在實務運作上，就從人因工程角度而言，單一位置設置牌面數不宜過多，以免對駕駛人造成混淆；但從資訊充分提供的角度，卻須提供充分之指示標誌，工程人員在面臨此項難題時，均是依經驗決定設置地點，導致民眾常會有認為導引標誌不明確，無法達到真正導引功能之抱怨。本研究旨在建立一套指示標誌地點設置分析方法，並運用地理資訊系統中之路網分析等空間分析功能，建立合理化且客觀化之旅遊指示標誌設置邏輯，做為旅遊導引指示標誌設置地點建置之依據。最後並以新竹市景點進行實例測試，測試結果顯示該系統可做為未來工程人員進行旅遊指示標誌設置決策之良好參考依據。

關鍵詞：旅遊指示標誌、空間分析、地理資訊系統

目次

壹、緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究問題	1
1.3 研究目的	2
1.4 研究流程	3
貳、文獻回顧	5
2.1 指示標誌設置準則.....	5
2.2 標誌設置分析方法.....	6
2.3 綜合檢討.....	7
參、設置地點分析方法	8
3.1 導引標誌設置地點問題分析.....	8
3.2 分析邏輯.....	8
肆、系統測試	17
情境一：GIS 模擬設置與調整分析.....	17
情境二：新竹市實際設置與調整分析	19
綜合討論	27
伍、結論與建議	28
陸、參考文獻	29
附錄 A	30
附錄 B	31
附錄 C	32
附錄 D	33
附錄 E	34
附錄 F	36

表次

表 1 旅遊時主要利用交通工具	2
表 2 標誌設置確切位置範圍	6
表 3 文獻彙整表.....	7
表 4 設置位置調整之最短路徑及轉彎次數彙整表.....	18
表 5 光復路上欲調整路口至各景點之最短路徑及轉彎次數彙整表(上游 1 公里)	21
表 6 光復路上欲調整路口至各景點之最短路徑與轉彎次數彙整表(上游 2 公里)	24

圖次

圖 1 研究流程	3
圖 2 觀光遊樂地區標誌示意圖.....	5
圖 3 道路層級標誌設置點	5
圖 4 景點導引指示標誌設置位置分析流程.....	9
圖 5 區域路網	10
圖 6 聯外道路至景點之最短路徑.....	11
圖 7 導引標誌設置位置.....	12
圖 8 路口導引指示標誌過多之調整流程.....	13
圖 9 調整路口之路網.....	14
圖 10 上游路口搜尋示意圖	15
圖 11 地理資訊系統呈現的導引指示標誌之設置地點	17
圖 12 東大路轉經國路之交叉路口(大於 6 面).....	18
圖 13 東大路與經國路交叉路口之導引標誌調整結果	19
圖 14 東大路橋入口處之導引指示標誌牌.....	20
圖 15 東大路橋入口處之導引指示標誌牌(測試一：上游一公里).....	22
圖 16 調整後各景點導引標誌之設置.....	23
圖 17 東大路橋入口處之導引指示標誌牌(測試二：上游二公里).....	25
圖 18 調整後各景點導引標誌之設置.....	26

壹、緒論

1.1 研究動機

由於國人越來越重視休閒娛樂，使得國人旅遊比例大幅增加，依據表 1 之交通部觀光局國人旅遊狀況統計資料顯示，國人使用私人運具的比例最高，所占比例大約 75%。

私人運具對於指示標誌之導引有很高的需求，而指示標誌功能在於以指示地名、方向、里程、公共設施及景點等，以提供用路人到達目的地之資訊。然而，過去往往在旅遊過程中發現，同一地點牌面資訊過多且設置凌亂，導致用路人未能在反應時間內接收所有資訊，降低指示標誌訊息之易讀性；指示標誌設置地點不佳，相同牌面距離太近造成資源重複浪費，太遠造成資訊中斷且不連續。本研究曾實地由茄苳交流道出發，經景觀大道至新竹市著名景點城隍廟，發現此段道路並無任何城隍廟的指示標誌。而透過實地訪談發現目前道路指示標誌設置地點都倚賴施工人員之經驗判斷，缺乏整體性、客觀性及統一性的分析方法；且國內對於指示標誌之研究，其大部分都在探討指示標誌牌面內容資料之設計，較少有針對指示標誌的設置地點做深入研討。

1.2 研究問題

國內現階段指示標誌設置地點之規劃多倚賴工程人員自身之實務經驗，但隨著國內各級公路路網之日益複雜，必須要有統一且客觀之分析方法協助相關單位人員進行規劃工作。

導引指示標誌設置時，必須面臨三個階段問題，首先面臨問題為導引指示標誌應設置於哪一個路口，當設置路口確定後，即需進一步確認指示標誌於該路口之預告點、行動點及確認點之確切位置(如設置於路口上游 300 公尺處)；最後則需考量所設置標誌牌面之文字大小、顏色、里程及方向等問題。本研究主要探討問題為旅遊導引指示標誌應於哪一路口設置，使用路人透過路側之導引指示標誌牌，到達景點之目的地達到導引之目的。

表 1 旅遊時主要利用交通工具


單位：%

交通工具	97 年	96 年	95 年
自用汽車	63.9	66.6	68.6
遊覽車	11.8	10.5	11.7
火車	臺鐵	7.0	6.0
	高鐵	3.5	2.1
機車	9.0	9.6	8.4
公民營客運	8.5	7.2	7.2
捷運	7.6	4.7	3.9
計程車	1.8	1.6	1.4
船	1.5	1.5	1.5
腳踏車	1.4	0.9	1.3
飛機	1.0	1.1	0.6
旅遊專車	0.7	0.7	0.7
出租汽車	0.6	0.2	0.2
纜車	0.5	—	—
其他	0.2	0.3	0.3
私人運具比例	74.3	77.1	78.3

料來源：本研究彙整

註：1. 旅遊時主要利用交通工具為複選

2. 94. 95 年調查時期高鐵尚未營運，因此以“—”表示。

3.  為私人運具。

1.3 研究目的

本研究參考相關文獻資料及道路指示標誌設置法規，擬定新的導引指示標誌設置準則，並利用地理資訊系統(GIS)作為空間分析之依據，建立出一套合理且客觀的導引指示標誌地點之分析方法，達到導引指示標誌之設置有一致性、整體性之目的；並加入限制條件模擬出現有導引指示標誌牌之狀況，規劃出最佳導引指示標誌設置之地點，使用路人可在反應時間內讀取所需資訊，清楚了解導引指示標誌所導引之資訊，將導引指示標誌發揮至最大效用，提供協助工程人員於設置導引指示標誌之決策參考依據。

1.4 研究流程

本計畫之研究流程如圖 1 所示，其相關重要步驟如下：

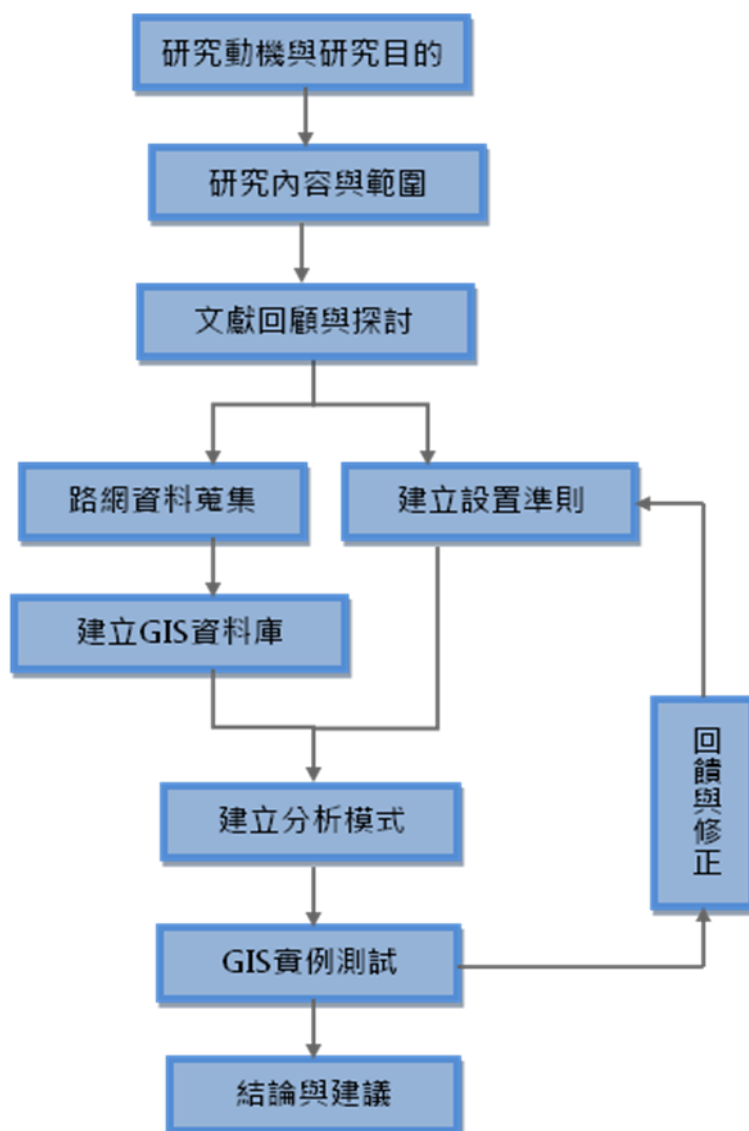


圖 1 研究流程

1. 研究動機與研究目的：

主要針對本研究議題的動機和問題加以闡述，說明相關文獻尚未深入研究指示標誌設置地點之問題所在，藉此說明問題如果解決將有何益處，用以強調動機的重要性。

2. 研究內容與範圍：

針對新竹市觀光景點設置導引指示標誌地點之探討。

3. 文獻回顧與探討：

針對本研究相關之文獻進行彙整與分析，內容包括道路交通標誌標線號誌設

置規則、運用地理資訊系統於道路指示標誌設置之研究及相關文獻探討。

4. 路網資料蒐集：

蒐集新竹市之路網資料包括新竹市道路圖、道路層級、道路結構與資料、景點資料以及實地勘查並紀錄道路現有指示標誌資料與景點導引指示標誌牌現況，以建立完整的資料庫。

5. 建立地理資訊系統的資料庫：

將所蒐集之資料匯入 GIS，建立完整資料庫並匯出新竹市路網圖層、標誌圖層及景點圖層。

6. 建立指示標誌之準則：

參考文獻回顧及蒐集國內外相關法規進而訂定準則，此準則可視需要而變動。

7. 建立分析邏輯：

以最短路徑為佈設路線，其路線發生轉向時，該路口即可設置導引指示標誌，倘若其結果不符本研究所擬定之設置準則，則透過數學模式找出最佳設置地點。

8. GIS 實例測試：

以新竹市觀光景點實際測試。

9. 回饋與修正：

地理資訊系統呈現出的應設標誌路口是否與現況有所出入，並找出修正方案。

10. 結論建議：

提出研究心得及對未來研究方向之建議。

貳、文獻回顧

本研究文獻回顧之內容主要包括兩部份，一為國內外有關指示標誌設置準則之規範或相關研究，以作為後續探討設置位置分析方法之依據；另一部分為針對本研究所探討之指示標誌設置之相關分析方法進行回顧，以作為後續發展分析方法之基礎。

2.1 指示標誌設置準則

目前國內對於旅遊景點導引指示標誌之規定，僅在「道路交通標誌標線號誌設置規則」第八十七條之一中提到：「觀光遊樂地區標誌，用以指示通往觀光遊樂地區之方向、里程或所在地點；景點導引指示標誌為棕底白字白色邊線，如圖 2。」之規定，其餘並無相關之規範。而在相關文獻中，李宗隆(2007)曾提出預告點，交叉點、確認點之觀念，並以道路層級作為標準來設立預告點，交叉(行動)點、確認點，如圖 3；謝敏郎(2003)則提及指示標誌設置確切位置應能提供駕駛人有足夠安全距離辨識，並且必須符合用路人期待，適時提供導引資訊，如表 2。



圖 2 觀光遊樂地區標誌示意圖

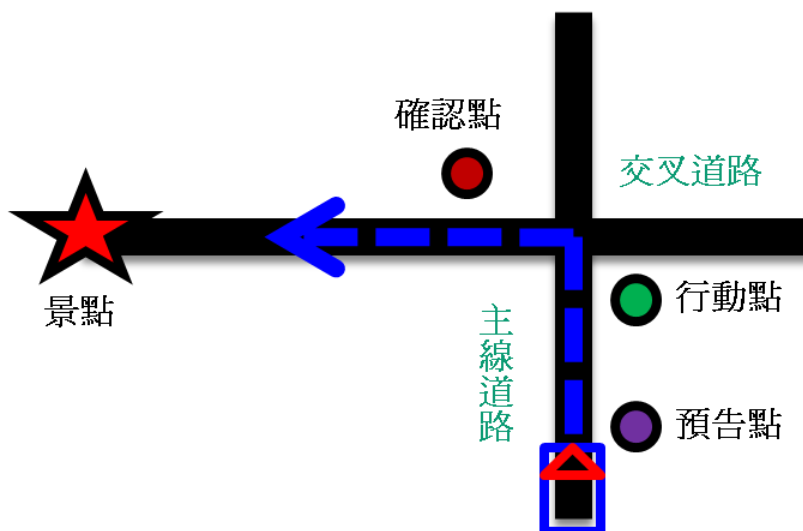


圖 3 道路層級標誌設置點

表 2 標誌設置確切位置範圍

預告標誌	行動標誌	確認標誌
路口前 100~130m	路口前 0~20m	路口後 60~100m
平面交叉路口後方 未設預告標誌	路口前 30~50m	
立體交叉路口後方 未設預告標誌	路口前 40~60m	

資料來源：本研究彙整

導引指示標誌設置規範可區分為牌面數限制、設置範圍、人因工程等三方面，其多以人因工程為基礎；李克聰等人(2004)提及同一道路同一景點導引牌以 6 面為限；而陳文富等人(2008)提到景點導引範圍內指示標誌牌以 5 面為限且同一地點(門架式)總資訊數至多 6 個為上限，該報告中亦提出旅遊類導引標誌的導引範圍為半徑一公里之限制。而美國交通管制設施標準手冊 (Manual on Uniform Traffic Control Devices, MUTCD)則是以景點半徑 8 公里為設置範圍。

2.2 標誌設置分析方法

李友欽(1997)提及導引佈設範圍為城市影響圈，於其範圍內且具有引導鄉鎮地名以上之引導道路，透過路網分析中之最短路徑方法做為找尋佈設路線之方法，導引標誌設置之決定於兩相交道路之路口等級，並須考量道路設計行車速率、駕駛者視界、道路側面距離、標誌辨讀時間及標誌之明視距離等；對路線中有過多導引資訊，可透過合併的方式將其調整在同一面標誌牌，利用統計學之變異數的離散程度觀點，求得各城鎮指示標誌訊息間距離變異數最小，以調整合併各城市指示標誌之訊息，並參考國外佈設原則以做為佈設基礎，而在佈設過程提出區段劃分法，以作為資訊間劃分調整之依據，最後再以容忍距離將路線之各個城市訊息予以合併。

黃敏(2006)提及景點導引設置範圍與景點等級成正比之影響，以欲設導引標誌之景點各入口設為導引路線之起始點，以鄰近節點搜尋法，由內而外尋找導引標誌設置之路徑，其導引路徑必須為低等級道路指向同級或高等級道路。

李克聰等人(2004)以重要地標搜尋法於指定搜尋路口之主要道路與目標道路，搜尋其道路一定長度及寬度為設置範圍。並由重要地標搜尋法所得之範圍內之地標為設置中心，並透過交叉道路搜尋法及鄰近邊界搜尋法為設置導引標誌點。

2.3 綜合檢討

經由前述之探討，本研究將相關文獻彙整如表 3 所示，在設置準則方面，大都著重於人因工程考量，陳文富等人(2008)及 MUTCD 提及設置範圍，李克聰等人(2004)提及以空間分析之重要地標搜尋、交叉道路搜尋、鄰近邊界方式搜尋導引標誌設置路徑，且同一道路同一景點導引牌以 6 個為限，陳文富等人(2008)提到導引範圍內指示標誌牌以 5 面為限且同一設置地點(同門架)總資訊數以 6 個為限。且提及各路口確切設置位置之決定都應考量預告點、行動點、確認點，該報告亦對行動點、確認點、預告點之牌面進行設計，然該報告中偏重在設置標誌牌面的設計，缺乏針對導引標誌應設置之最佳地點之研究。綜合上述分析可知旅遊景點導引指示標誌設置地點的選取亦為導引標誌設置規劃中之重要課題，但是目前之相關研究大都著重在標誌牌面內容與各路口行動點、確認點、預告點等確切位置之研究，對於旅遊景點導引指示標誌設置地點之分析較為缺乏，因此本研究將參酌相關設置準則建立完整之分析方法，讓導引指示標誌之研究能更臻完備。

表 3 文獻彙整表

文獻	研究課題			設置限制		
	標誌牌面內容	各路口確切設置路口之決定	設置地點(路口)選取	牌面數限制	設置範圍	人因工程
交通部(2008)	*					*
李克聰等人(2004)	*	*	*	*		*
陳文富等人(2008)	*	◎		*	*	
李宗榮(2007)	*	*				*
謝敏郎(2003)	*	*	*			*
李友欽(1997)	*	*				*
MUTCD	*	*			*	
黃敏(2006)			*		*	

參、設置地點分析方法

3.1 導引標誌設置地點問題分析

導引標誌主要目的為導引用路人至目的地。國內導引標誌設置尚未有統一設置標準，大多以工程人員實務經驗為設置依據，使得導引標誌設置缺乏客觀標準；路口導引指示標誌數量設置過多，造成用路人在反應時間內無法立即取得所需資訊，易讀性差，且過多的導引標誌會造成成本的浪費；但為了減少成本，使得導引標誌設置不足，用路人無法依導引標誌至目的地使導引標誌失去其效果。

本研究針對上述問題加以探討，其所需達成之目的包括下列兩方面：

1. 用路人面：(1)增加易讀性：駕駛人必須在有限反應時間內吸收所需資訊，使得同一位置之標誌牌面不宜過多。(2)提供充分導引資訊：對於不熟悉該區域之用路人，可透過導引標誌清楚知道如何前往目的地。
2. 工程面：提供用路人充分導引資訊狀況下，使用較少的導引牌面數，以減少設置成本。

基於上述目的，本研究對於景點導引指示標誌之設置原則如下：

1. 同一位置之導引資訊數不宜超過 6 個：考量人因工程層面，駕駛人在導引指示標誌中搜尋所需資訊必須花費時間，再加上行車速率，故駕駛人之反應時間有限，其導引資訊不宜過多，參考文獻提及同一位置導引資訊總數以 6 個為限，未來可隨需求不同給予不同資訊數限制。
2. 導引指示標誌之設置宜盡可能詳盡：導引指示標誌功能在於提供用路人之導引資訊，其導引標誌須設置於最短路徑之轉向處，使用路人清楚知道如何前往其景點；導引指示標誌須連續性，以避免用路人產生迷路之情形。
3. 導引指示標誌須考量設置成本：在以提供用路人之充分導引資訊下，其設置導引指示標誌成本達最小化。
4. 導引路線以最短路徑為佈設方式：為提供用路者以最短的時間抵達目的地，故導引路線以最短路徑為佈設方式，使時間成本達最小。
5. 導引指示標誌之設置範圍：避免指示標誌過多的問題，以景點為中心向外設定一範圍，在其範圍內設置欲導引景點之導引指示標誌；範圍外則設置區域性導引指示標誌；其中設置範圍依欲設置區域大小做彈性調整。

3.2 分析邏輯

本研究在前述原則前提下，以地理資訊系統之空間分析功能為基礎，設計出景點導引指示標誌設置位置之分析流程如圖 4 所示，茲就其重要步驟詳細說明如下：

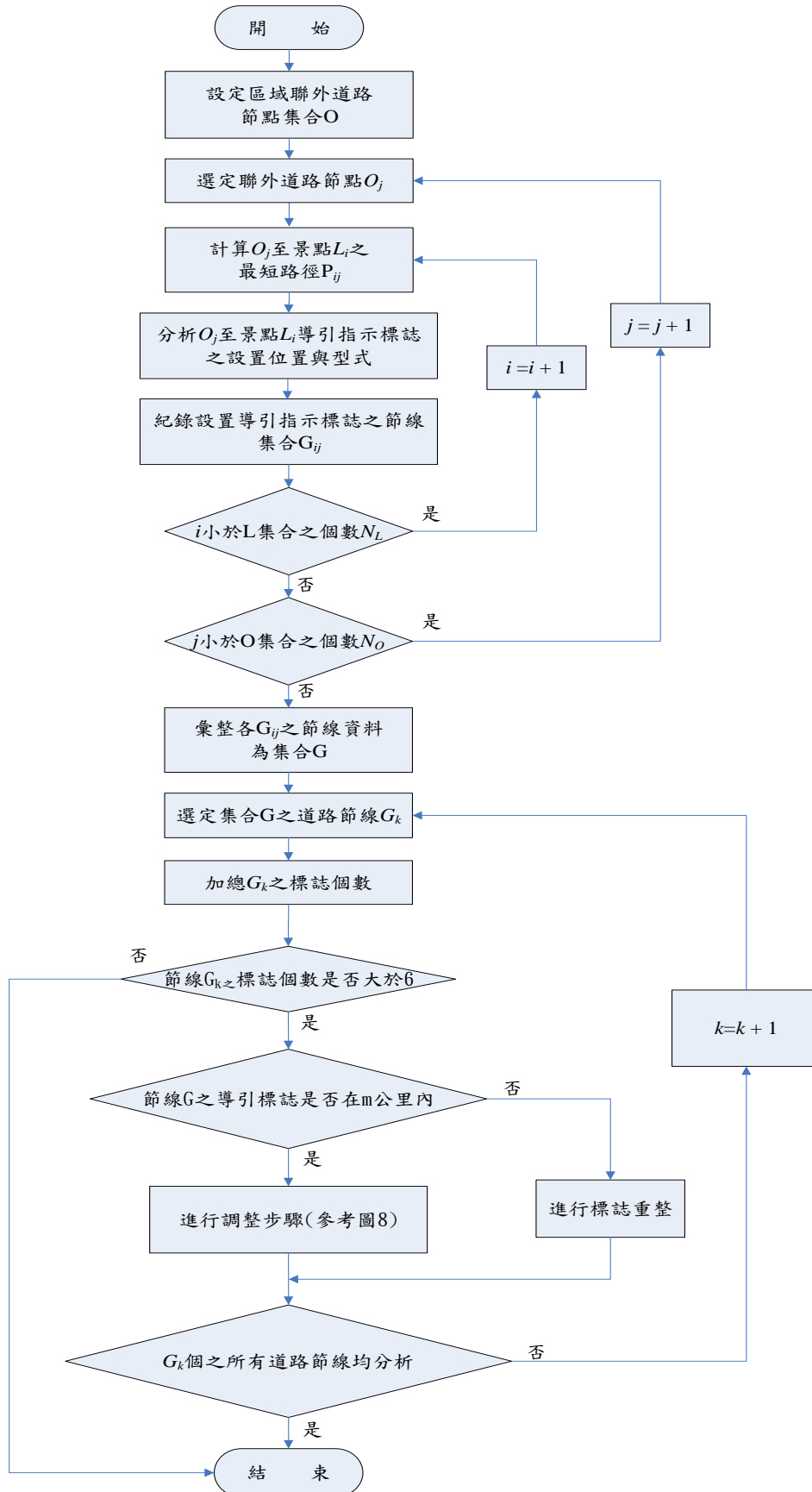


圖 4 景點導引指示標誌設置位置分析流程

- 由於本研究所針對之對象為區域外至該區域之用路人，故選取聯外道路為設置基礎，設定區域聯外道路節點集合為 O ，其聯外道路有 j 個，欲導引景點集合為 L ，其景點有 i 個。茲舉圖 5 所示，期盤式網格代表區域路網，實心圓圈符號為該區聯外道路之起點，星星符號為欲導引之景點。

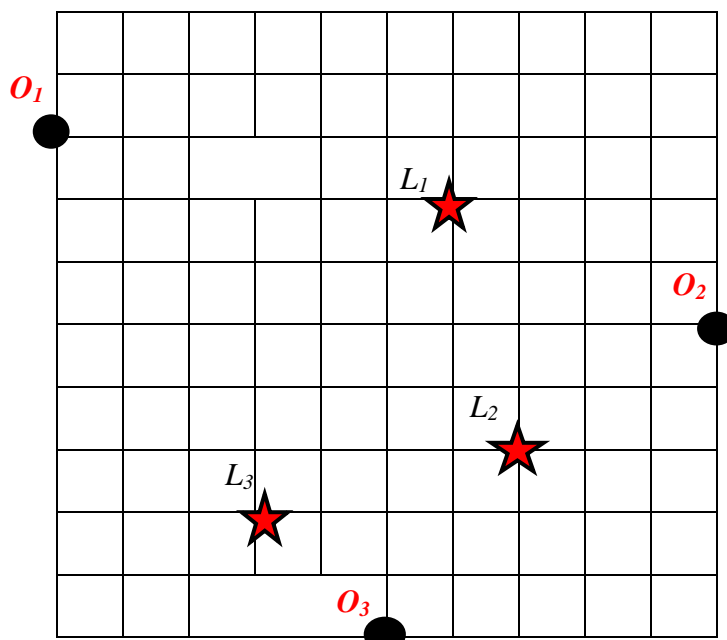


圖 5 區域路網

- 計算各聯外道路節點 O_j 至該區各景點 L_i 之個別最短路徑 P_{ij} ，茲舉圖 6 說明，假設該區有三個聯外道路節點分別以 O_1 、 O_2 、 O_3 表示，其該區景點有 L_1 、 L_2 、 L_3 3 個，其分別計算如圖(a)所式， O_1 至 L_1 之最短路徑 P_{11} ； O_1 至 L_2 之最短路徑 P_{12} ； O_1 至 L_3 之最短路徑 P_{13} ；如圖(b)所式， O_2 至 L_1 之最短路徑 P_{21} ； O_2 至 L_2 之最短路徑 P_{22} ； O_2 至 L_3 之最短路徑 P_{23} ；如圖(c)所式， O_3 至 L_1 之最短路徑 P_{31} ； O_3 至 L_2 之最短路徑 P_{32} ； O_3 至 L_3 之最短路徑 P_{33} 。

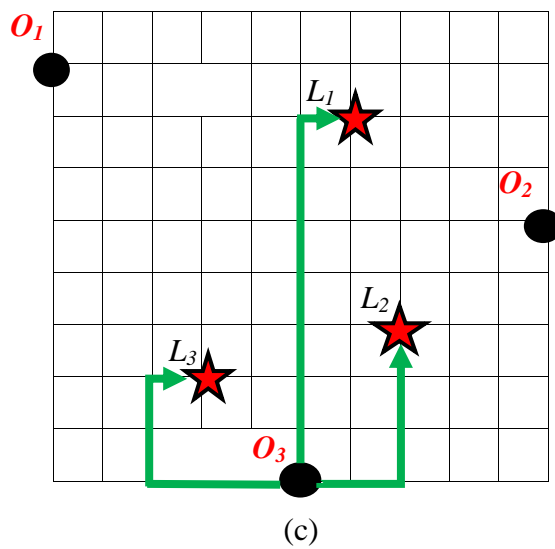
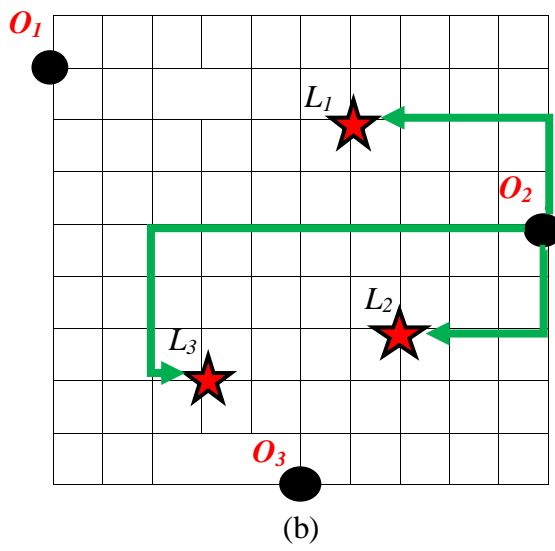
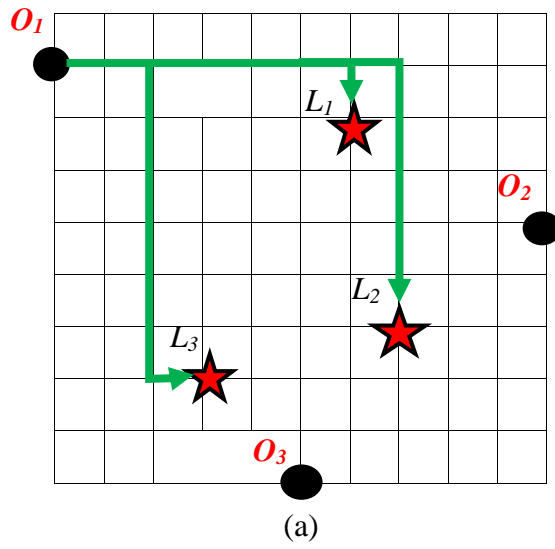


圖 6 聯外道路至景點之最短路徑

- 分析上述所得之 P_{ij} 最短路徑，於 P_{ij} 最短路徑產生轉向之節線處設置景點導引指示標誌，並分析其景點導引指示標誌之資訊導引方向，將可設置景點導引指示標誌之節線以集合 G_{ij} 形式紀錄下來。茲舉圖 7 說明，於聯外道路 O_1 至景點 L_3 之最短路徑 P_{13} 上可設置景點 L_3 導引指示標誌之節線集合為 $G_{13}=\{G_1、G_2\}$ 。
- 彙整各 G_{ij} 之節線資料，將其所有可設置景點導引指示標誌之節線集合設為 G ；其 G 為可設置景點導引指示標誌之節線 G_k 集合。茲舉圖 7 說明，其 $G_{11}=\{G_7\}$ ； $G_{12}=\{G_8\}$ ； $G_{13}=\{G_1、G_2\}$ ； $G_{21}=\{G_9\}$ ； $G_{22}=\{G_{10}\}$ ； $G_{23}=\{G_5、G_2\}$ ； $G_{31}=\{G_6\}$ ； $G_{32}=\{G_{11}\}$ ； $G_{33}=\{G_4、G_3\}$ ；可設置景點導引指示標誌之節線集合 $G=\{G_1、G_2、G_3、G_4、G_5、G_6、G_7、G_8、G_9、G_{10}、G_{11}\}$ ，其 G_1 至 G_{11} 之子集合為 G_k ，表示導引標誌設置位置。

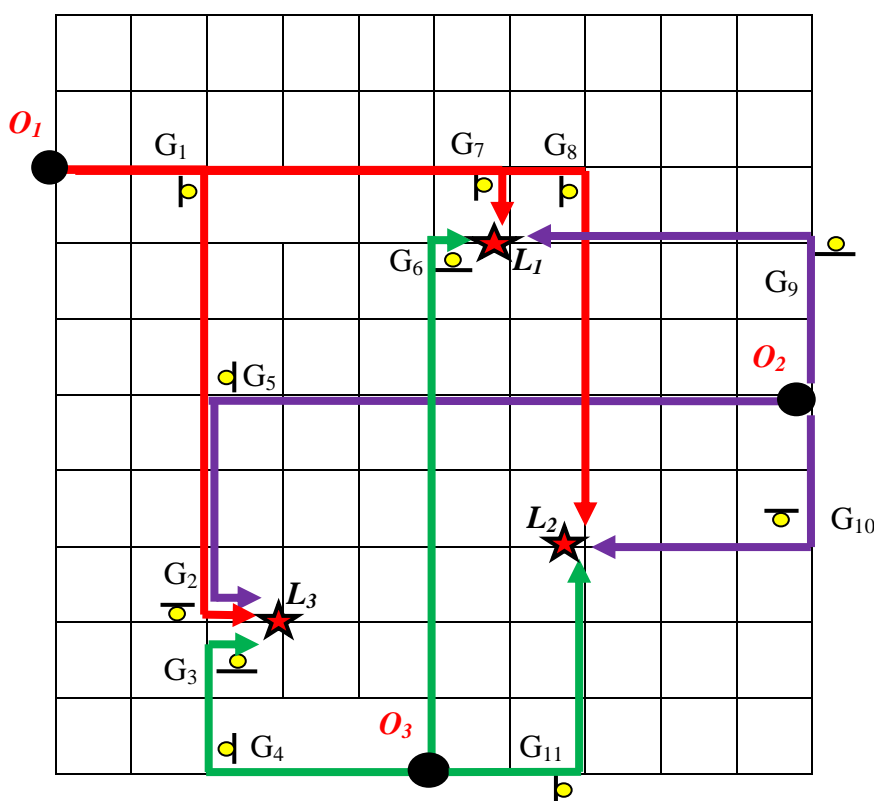


圖 7 導引標誌設置位置

- 於所有可設置景點導引標誌之節線 G_k ，加總各節線 G_k 所有導引指示資訊之個數，並判斷其節線 G_k 之導引指示資訊是否有大於 6 之狀況，若導引指示標誌無大於 6 個，則於該節點設置導引指示標誌；反之，若導引指示標誌超過 6 個，則須考量該節線 G_k 欲設導引標誌之景點是否於欲設置導引標誌之景點 m 公里內範圍，若為 m 公里範圍內，其大於 6 個導引資訊之節線，須做導引指示標誌之位置調整，若為 m 公里範圍外，且導引標誌大於 6 個之節線，則須做標誌牌之重整，如市區景點、濱海區景點。

依據前述步驟之疊圖分析，將可確定各景點所需設置導引指示標誌位置，在導引指示標誌之設計原則中曾提及基於使用者辨識之易讀性，在陳文富等人 (2008) 中曾提及同一地點總導引標誌資訊數不宜超過 6 個，由於在前述分析中並未納入此一限制原則，因此可能產生同一地點導引指示資訊過多之現象，本研究

針對此一現象研擬調整流程如圖 8 所示，由於導引指示標誌行動位置通常設置於路口，故可能產生導引資訊過多之地點多發生在路口，故在流程中將以調整路口(J_o)表示之，茲將流程中之重要步驟說明如下：

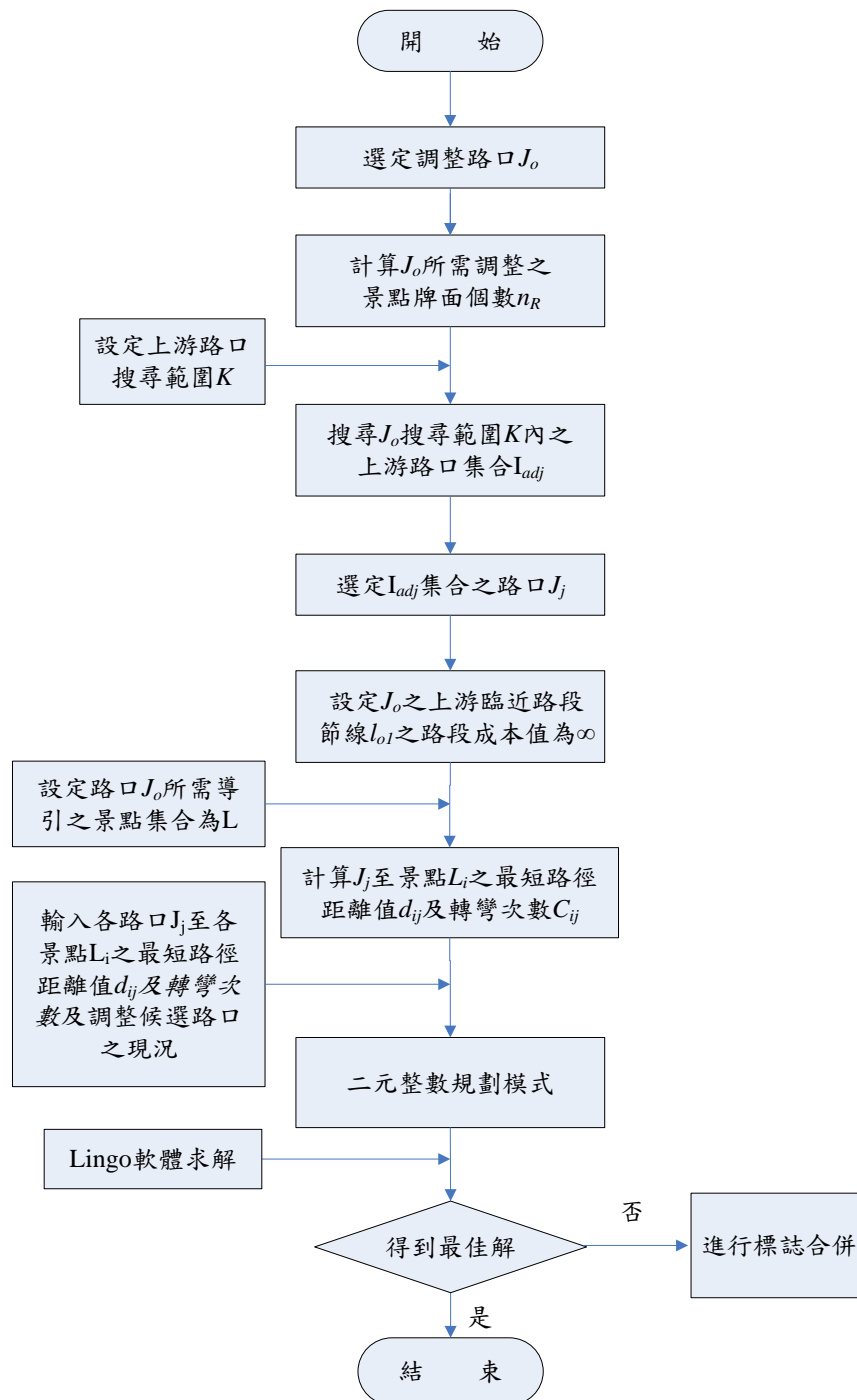


圖 8 路口導引指示標誌過多之調整流程

1. 選定調整路口 J_0 。
2. 依據疊圖分析後設置在路口之導引指示資訊景點個數 S ，計算該路口所需調整之景點資訊個數 nR ，其中所需導引景點之集合設為 L ，則 $nR = S - 6$ 。茲舉圖 9 中之情境說明如下，假設原先規劃路徑(如圖中之粗線箭頭所示)經過疊圖分析後，路口 J_0 上需設置景點 L_1 至景點 L_8 之導引指示標誌，同一地點導引資訊不宜超過 6 個之限制，因此所需調整之景點導引資訊個數 nR 即為 2。

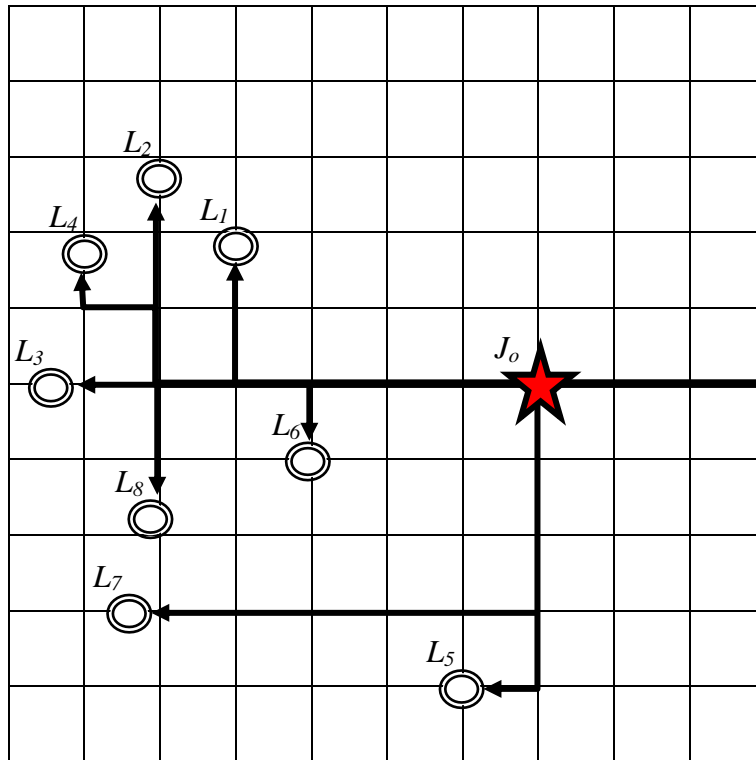


圖 9 調整路口之路網

3. 依據規劃者所設定之上游路口搜尋範圍 K ，依序搜尋距離 J_0 範圍 K 內之原先規劃使用路徑之上游路口 J_j ，其中 $j=1,2,\dots,r$ ，並將其設為集合 J_{adj} ，前述上游路口必須為可導引至欲導引景點之路口。茲舉圖 10 中之情境說明如下，在規劃者所設定之搜尋範圍 K 內，在原先經過 J_0 規劃路徑之上游路口即有 J_1 與 J_2 ，搜尋路口之集合 $J_{adj} = \{J_1, J_2\}$ 。

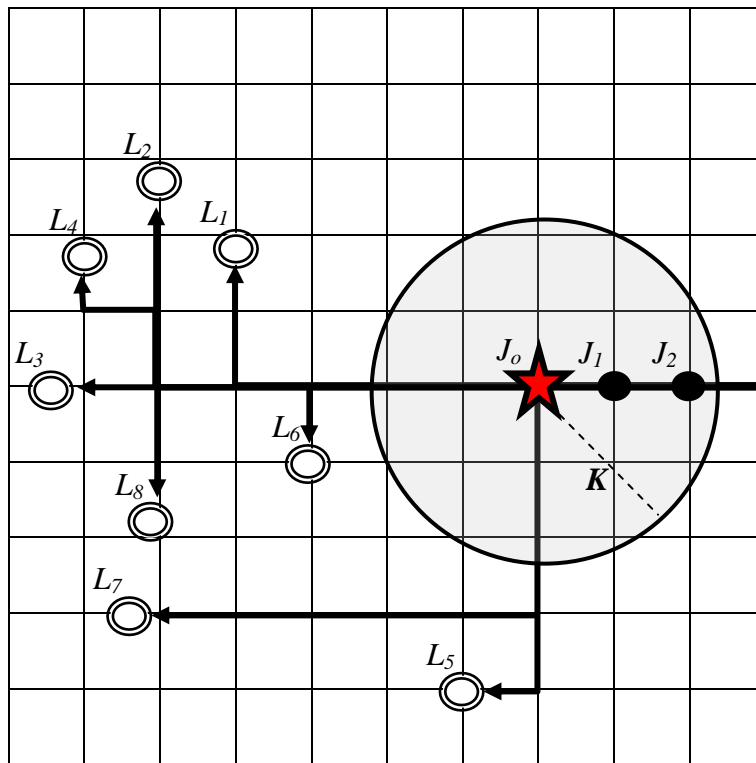


圖 10 上游路口搜尋示意圖

4. 設定原先經過 J_0 規劃路徑上游路口節線 l_{o1} 上節線成本為 ∞ ：此步驟主要在分析將景點指示標誌之設置位置調整到原本規劃路線之上游路口 J_j 之可行性，為避免所規劃最短路徑再經過調整路口 J_0 ，故將節線 l_{o1} 之節線成本為 ∞ 。
5. 針對所搜尋之上游路口集合 J_{adj} 中之每一路口 J_j ，重新計算至景點集合 L 中各景點 L_i 之最短路徑距離 d_{ij} 。
6. 從上述最短路徑中，透過 0-1 二元整數規劃模式，求解其總成本最小，由於原路口 J_0 至各景點 L_i 為最短路徑，但是受限於同一個路口導引資訊數不可超過 6 個之限制，此狀況下，透過整數規劃數學模式求出可行解，其數學式如下：

$$\text{目標式： } Z = \sum_{i=1}^s \sum_{j=0}^r [(D_{ij} - D_{io})X_{ij} + (C_{ij} - C_{io})W_{ij}X_{ij}] \quad (1)$$

$$\text{限制式： } \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^r X_{ij} = S \quad (2)$$

$$0 \leq \sum_{j=0}^r X_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in s \quad (3)$$

$$0 < \sum_{i=1}^s X_{ij} \leq 6 - M_j \quad ; \forall j \in r \quad (4)$$

$$0 < \sum_{i=1}^s X_{io} \leq 6 \quad (5)$$

D_{ij} ：調整候選路口 j 至景點 i 之最短距離

D_{io} ：應調整路口 o 至景點 i 之最短距離

C_{ij} ：調整候選路口 j 至景點 i 最短路徑之轉彎次數

C_{io} ：應調整路口 o 至景點 i 之最短路徑之轉彎次數

W ：權重

X_{ij} ：二元決策變數，是否設置導引指示標誌之資訊

S ：應調整路口之資訊數總和

M_j ：調整後選路口 j 現有之資訊數

導引指示標誌之設置成本主要為導引標誌桿之成本，當導引路徑產生轉向時，該轉向路口須設置該景點之導引指示標誌，以告知用路人，因此設置成本須考量導引路徑之轉彎次數及導引路徑之距離，該調整模式之目標式如式(1)所示，其主係以指示標誌調整後其導引路徑距離增加之成本與調整後其導引路徑之增加轉彎成本之總和最小為目標。其模式中之 i 表示景點， j 表示路口， X_{ij} 為模式之二元決策變數，若 X_{ij} 為 1 則表示路口 j 應設置景點 i 之導引指示標誌；若 X_{ij} 為 0 則表示景點 i 之導引標誌不適合設置於路口 j 。調整路口 J_o 之導引資訊數為 S ，意味著調整候選路口 J_j 及原路口 J_o 有 S 個導引資訊要設置，如式(2)之限制式；式(3)則為每一個景點只能從候選路口中挑選一個路口設置其景點標誌資訊；式(4)為調整後選路口 j 可再添加之資訊數量，由於 1 個標誌桿可設 6 個資訊數，且一個路口資訊數以 6 個為設置限制，因此將 6 扣除現有資訊數，即為可再添加資訊數量，由於標誌桿之成本很高，考量成本問題，則將現用標誌桿發揮最大效用；式(5)為原路口 J_o 之資訊數要調整至小於 6 之情況。

肆、系統測試

為驗證本研究所提出標誌設置方法與標誌調整數學模式之可行性，本研究利用新竹市實際路網狀況做情境測試，結合 GIS 軟體做空間分析，並透過 LINGO 軟體求出數學模式解，將其結果判斷此模式是否合理。

情境一：GIS 模擬設置與調整分析

本研究所構建之旅遊景點指示標誌設置地點分析方法，透過新竹市 24 個景點做為上述分析方法之模擬測試，首先在加入景點資料後，即運用地理資訊系統之空間分析功能，篩選出新竹市東大路、中華路、光復路、寶山路、景觀大道、縣 117 等六處主要聯外道路節點，並由該些節點分別分析到新竹市 24 個景點之最短路徑，並依據前述之分析方法產生如圖 11 所示之導引指示標誌設置位置，其圖中記號表示欲設置導引指示標誌之位置。

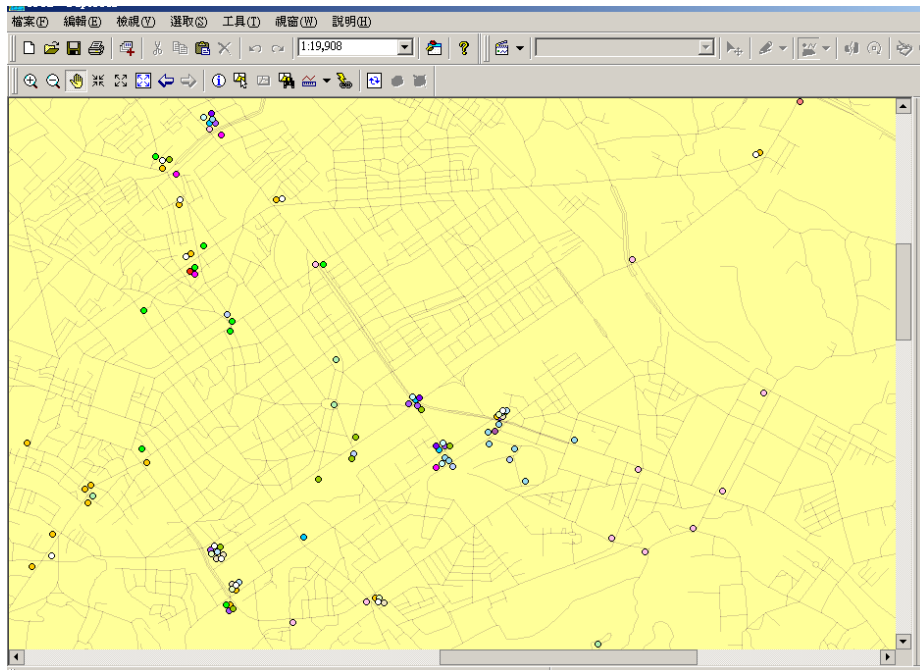


圖 11 地理資訊系統呈現的導引指示標誌之設置地點

其中東大路轉向經國路之交叉路口有導引資訊大於 6 個之情況產生(如圖 12 所示)，本研究係以所構建之分析方法整合 SuperGIS 地理資訊系統軟體，進行設置調整分析。SuperGIS 地理資訊系統軟體產製之結果如下：東大路轉經國路之交叉路口有 7 面導引指示標誌(火車站、東門城、親水公園、長和宮、城隍廟、天公壇、景觀大道)，須調整 1 個景點之導引路徑；本研究設定搜尋該路口上游 1 公里範圍之主要交叉路口(東大路-水田街、東大路-武陵路)做調整，並計算出水田街及武陵路分別至該路口所導引 7 個景點之最短路徑，如圖 12 所示。

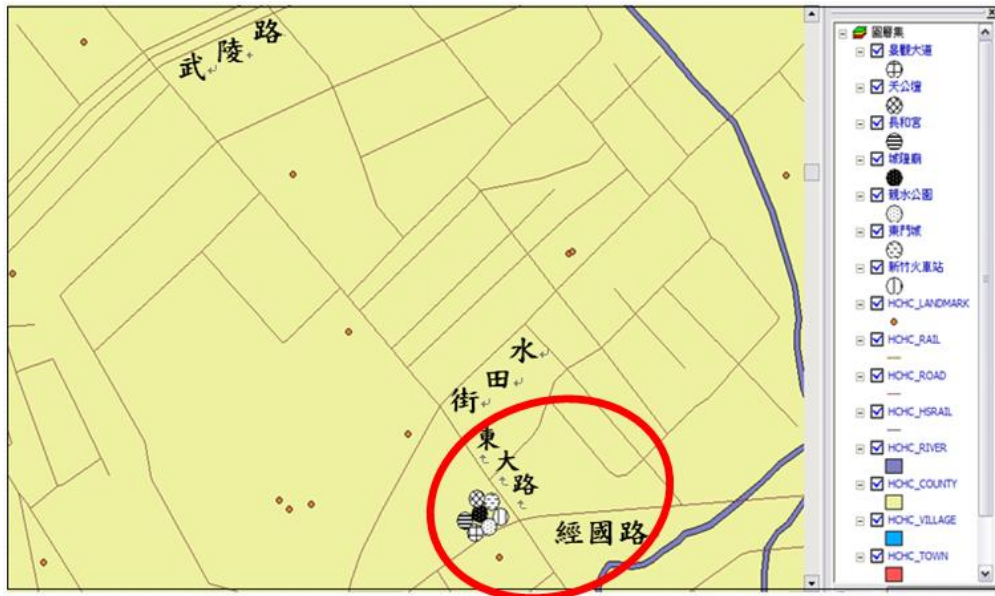


圖 12 東大路轉經國路之交叉路口(大於 6 面)

表 4 設置位置調整之最短路徑及轉彎次數彙整表 單位：公尺

景點	路口	原路口(O)	調整路口(a)	調整路口(b)
		東大路- 經國路	東大路- 水田街	東大路- 武陵路
1	火車站	1830 ③	1850 ④	2240 ③
2	東門城	1490 ②	1610 ③	2200 ④
3	親水公園	976 ⑤	1400 ④	1690 ④
4	長和宮	752 ③	781 ②	1200 ③
5	城隍廟	1120 ⑤	1240 ④	1660 ⑥
6	天公壇	2080 ⑤	2130 ④	2550 ⑥
7	景觀大道	4130 ④	4160 ⑤	4360 ⑧

註：1.③為轉彎次數(3次)

將 SuperGIS 地理資訊系統軟體求出之最短路徑(D_{ij})、轉彎次數(C_{ij})、導引之景點(I_i)、原路口(J_o)以及調整路口(J_j)設為參數，其中 i 為景點， j 為路口，將調整寫成二元整數規劃之數學模式，其數學模式如附錄 A 所式。

調整導引標誌問題透過數學模式呈現，並使用 LINGO 軟體將其數學模式求解，其結果如附錄 B 所示，其中 Value 為 1 則代表要設立景點導引資訊，由結果得知總成本為負值，其原因為調整後所設路徑之轉彎次數比原先最短路徑所設之轉彎次數較少，並得知親水公園之導引標誌應調整至東大路-水田街路口，如圖 13 所示。

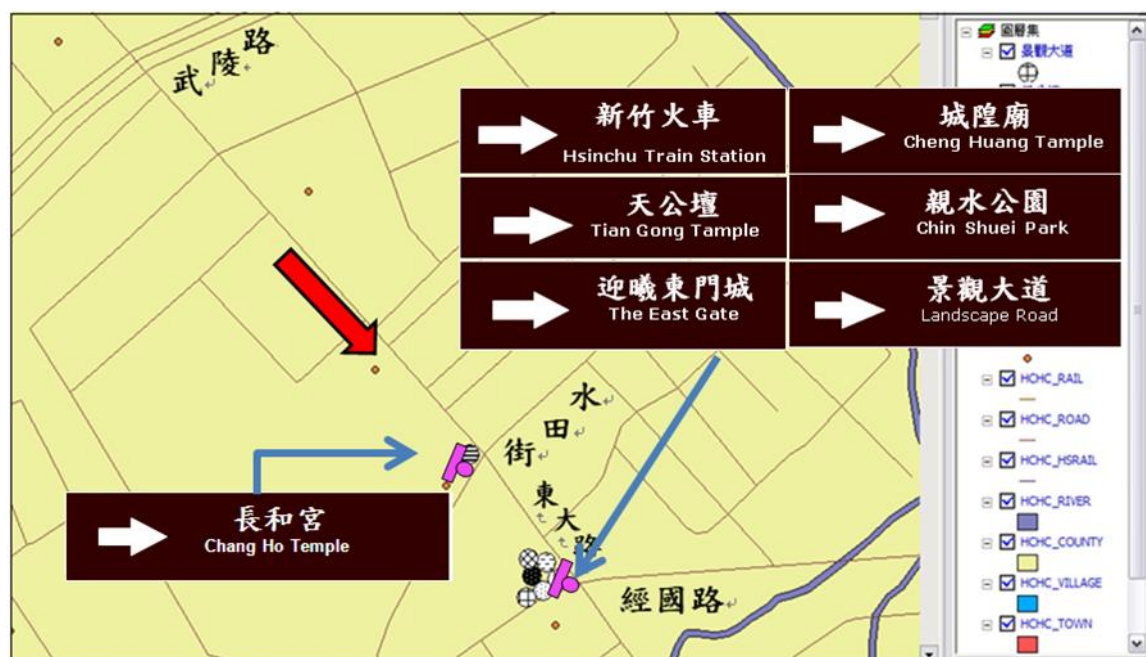


圖 13 東大路與經國路交叉路口之導引標誌調整結果

情境二：新竹市實際設置與調整分析

為了解本研究所構建調整分析方法之實用性，茲以新竹市光復路之標誌設置現況與調整分析結果進行比較。

光復路之東大路橋入口處設立門架式導引指示標誌，如圖 14 所示，其提供之導引資訊過多，違背同一位置導引標誌以 6 個為限之限制條件，使用路人無法在反應時間內取得所需資訊，須調整該路口之導引資訊數，以下有 2 個該路口之調整測試。



圖 14 東大路橋入口處之導引指示標誌牌

案例測試(一)

此測試以調整路口上游一公里內為調整候選路口之搜尋範圍；並將景點五公里外之景點標誌設置為區域景點標誌，例如濱海風景區、市區景點、古蹟景點區等。

依圖 14 所示，此門架式之景點導引資訊有十八尖山、新竹公園、玻璃工藝博物館、動物園、迎曦東門城、新竹火車站、新竹漁港、港南濱海風景區、新竹市立圖書館、新竹市立演藝廳、影像博物館。

透過 GIS 搜尋該路口上游一公里範圍內之上游路口，如東光路、忠孝路、建中路 3 個路口，並測量此 3 個路口及東園街原路口至上述各景點之最短距離及轉彎次數，如表 5 所示，其中新竹漁港及港南濱海風景區與東園街原路口距離超過 5 公里，本研究將兩者導引資訊合併為區域景點—濱海風景區；其餘景點至東園街原路口之最短距離皆小於 5 公里，應設置各景點之導引指示標誌；其中景點一十八尖山僅於調整路口中之東光路口做導引，其餘調整路口皆不可導引至十八尖山，因此上游路口忠孝路、建中路皆不設置該景點導引指示標誌。

表 5 光復路上欲調整路口至各景點之最短路徑及轉彎次數彙整表(上游 1 公里)

單位：公尺

路口 景點		原路口(o)	候選路口(a)	候選路口(b)	候選路口(c)
		光復路-東園街	光復路-東光路	光復路-忠孝路	光復路-建中路
1	火車站	1640 ②	1960(R) ⑧	2920(R) ⑦	3220(R) ⑪
2	東門城	1670 ③	1920(R) ⑨	2440(R) ⑧	3270(R) ⑫
3	玻璃工館	980 ②	1450(R) ⑧	1980(R) ⑦	2790(R) ⑪
4	動物園	814 ⑤	1150(L) ⑦	1880(R) ⑤	2560(R) ⑨
5	十八尖山	4980 ⑥	4390(L) ③	X	X
6	濱海風景區	8570 ②	8920(R) ⑨	9110(R) ③	9950(R) ⑤
7	市立圖書館	2450 ③	2830(R) ⑧	3790(R) ⑤	4020(R) ⑨
8	市立演藝廳	2240 ①	2700(L) ⑤	3380(R) ③	3860(R) ⑦
9	新竹公園	736 ④	1030(L) ③	1800(R) ④	2380(R) ⑧
10	影像博物館	1740 ④	2110(R) ⑩	2930(R) ⑨	3340(R) ⑬

註：1. (R)：轉彎方向(右轉)

2. ⑧：轉彎次數(8次)

將表 5 所得資訊以數學模式表示之，模式如附錄 C，其中現實情境中，調整候選路口之現有導引資訊數為：東光路現有導引資訊數有 1 個、忠孝路有 0 個、建中路有 0 個。

將此調整數學模式透過 LINGO 軟體求解，其結果如附錄 D 與圖 15 所示，須將景點導引資訊中之動物園移至東光路口；十八尖山移至東光路口；濱海移至忠孝路口；新竹公園移至東光路口，其調整後各景點之導引標誌設置如圖 16 所示。



圖 15 東大路橋入口處之導引指示標誌牌(測試一：上游一公里)

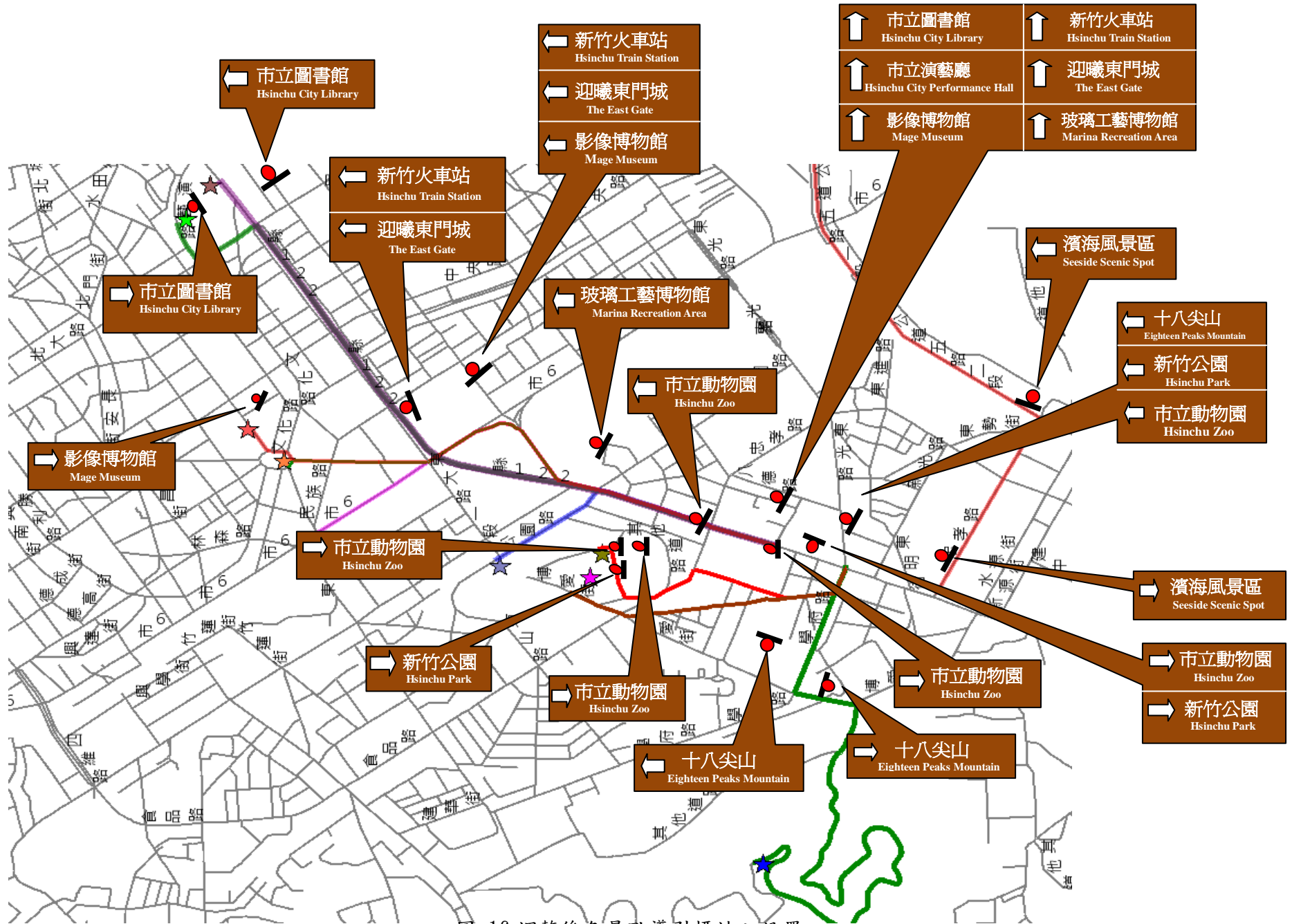


圖 16 調整後各景點導引標誌之設置

案例測試(二)

此測試以調整路口上游兩公里內為調整候選路口之搜尋範圍；並將景點五公里外之景點標誌設置為區域景點標誌，例如濱海風景區、市區景點、古蹟景點區等。

透過 GIS 搜尋該路口上游公里範圍內之大路口，如東光路、忠孝路、建中路、建功二路及慈雲路 5 個路口，並測量此 5 個路口及東園街原路口至上述各景點之最短距離及轉彎次數，如表 6 所示，其中新竹漁港及港南濱海風景區與東園街原路口距離超過 5 公里，本研究將兩者導引資訊合併為區域景點—濱海風景區；其餘景點至東園街原路口之最短距離皆小於五公里，應須設置各景點之導引指示資訊，其中景點—十八尖山僅於調整路口中之東光路口做導引，其餘調整路口皆不可導引至十八尖山，因此上游路口忠孝路、建中路、建功二路、慈雲路皆不設置該景點導引指示標誌。

表 6 光復路上欲調整路口至各景點之最短路徑與轉彎次數彙整表(上游 2 公里)

單位：公尺

路口 景點		原路口 (o)	候選路 口(a)	候選路 口(b)	候選路 口(c)	候選路 口(d)	候選路口 (e)
		光復路- 東園街	光復路- 東光路	光復路- 忠孝路	光復路- 建中路	光復路- 建功二路	光復路- 慈雲路
1	火車站	1640 ②	1960(R) ⑧	2920(R) ⑦	3220(R) ⑪	4660(R) ⑪	5550(R) ⑩
2	東門城	1670 ③	1920(R) ⑨	2440(R) ⑧	3270(R) ⑫	4400(R) ⑩	5890(R) ⑪
3	玻璃工館	980 ②	1450(R) ⑧	1980(R) ⑦	2790(R) ⑪	3930(R) ⑨	5190(R) ⑩
4	動物園	814 ⑤	1150(L) ⑦	1880(R) ⑤	2560(R) ⑨	3720(R) ⑦	5110(R) ⑧
5	十八尖山	4980 ⑥	4390(L) ③	X	X	X	X
6	濱海風景區	8570 ②	8920(R) ⑨	9110(R) ③	9950(R) ⑤	10860(R) ④	12190(R) ③
7	市立圖書館	2450 ③	2830(R) ⑧	3790(R) ⑤	4020(R) ⑨	5200(R) ⑦	6570(R) ⑧
8	市立演藝廳	2240 ①	2700(L) ⑤	3380(R) ③	3860(R) ⑦	4900(R) ⑤	6390(R) ⑥
9	新竹公園	736 ④	1030(L) ③	1800(R) ④	2380(R) ⑧	3640(R) ⑥	5020(R) ⑦
10	影像博物館	1740 ④	2110(R) ⑩	2930(R) ⑨	3340(R) ⑬	4590(R) ⑪	5950(R) ⑫

將表 6 所得資訊以數學模式表示之，模式如附錄 E，其中現實情境中，調整候選路口之現有導引資訊數為：東光路現有導引資訊數有 1 個、忠孝路有 0 個、建中路有 0 個、建功二路有 0 個、慈雲路有 0 個。

將此調整數學模式透過 LINGO 軟體求解，其結果如附錄 D 及圖 17 所示，須將景點導引資訊中之動物園移至忠孝路口；十八尖山移至東光路口；濱海風景區移至忠孝路口；新竹公園移至東光路口，其調整路口後各景點之導引標誌之設置如圖 18 所示。



圖 17 東大路橋入口處之導引指示標誌牌(測試二：上游二公里)

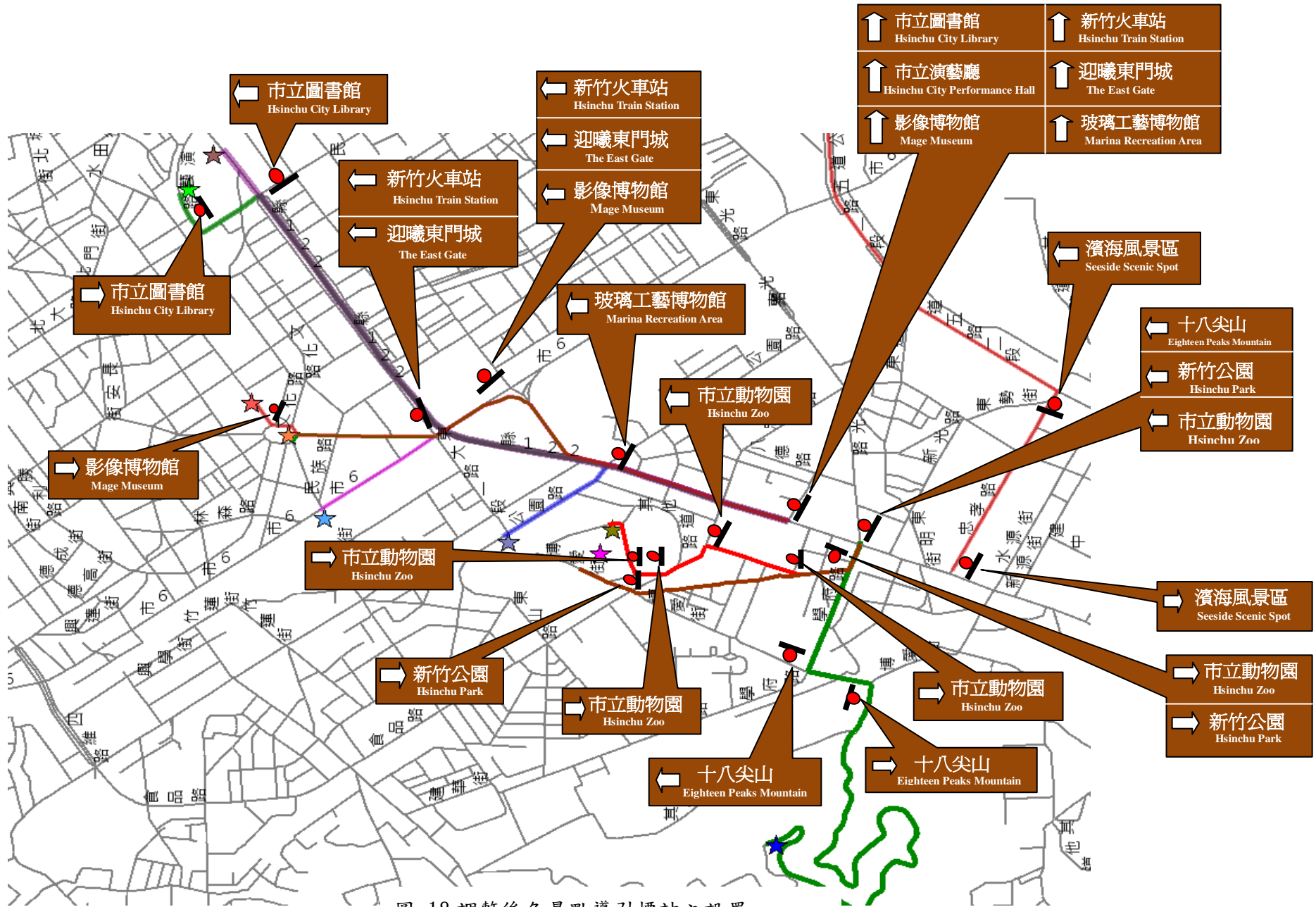


圖 18 調整後各景點導引標誌之設置

綜合討論

由 4.2 節測試發現，將上游調整候選路口之搜尋範圍分別設為一公里及兩公里做測試，其調整結果皆相同，因此，路口調整之搜尋範圍可用一公里為調整範圍之參考值，使調整步驟達一致性及統一性，日後方便工程人員之使用操作。而針對新竹市兩個實例之測試結果，初步確認本研究所發展標誌設置地點分析方法之可行性，不論是新標誌之設置或是既有標誌之調整均可適用。若進一步跟黃敏(2006)之研究加以比較，可發現由於景點之導引主要是由遠而近，而該研究首先設定景點導引指示標誌之範圍，再透過鄰近節點搜索法由景點向外搜索，並只從低等級道路向同級或高級道路選擇最短路徑之方式，可能會受道路行車方向性，如單行道之影響。且本研究所提之標誌設置地點調整模式，亦可有效解決單一地點標誌設置過多之不合理現象。

然由於道路路網非常複雜，可能產生非基本假設所面臨之情況，就實際而言仍存在下列課題值得研究：

1. 本研究只考量聯外道路上之調整路口面臨資訊數大於 6 之調整，尚未考量調整後該路線上之路口是否有資訊數大於 6 之情況發生，且未考量整體區域路網之狀況。
2. 調整模式分析法是將欲調整路口資訊數調至小於 6 之狀況，將欲調整景點導引指示資訊移至上游次佳路口，但實際路網中欲調整路口之上游路口資訊數皆大於 6 或無路口可做調整之狀況。
3. 導引指示標誌於景點設置範圍外，其面臨資訊數大於 6 之合併情況，其合併規範為何？例如：新竹市景點、古蹟景點區，其如何用路人清楚明白該前往之景點歸類為何？
4. 景點間位於鄰近區域，如新竹市圖書館座落於演藝廳後方，其如何將此指示標誌做合併以節省設置成本，並減少路口資訊過多之情況。

伍、結論與建議

國內導引指示標誌之設置，均仰賴工程人員自身之實務經驗，且導引指示標誌之相關文獻，大多針對地名、牌面設置內容做探討，較少對景點及導引指示標誌之設置位置做深入研究，因此，本研究將對此課題加以做深入之探討。

首先，本研究參考相關文獻資料及道路指示標誌設置法規，且考量人因工程，以研擬出一套新的導引指示標誌設置之準則，如考量人因工程而言，將其限制導引指示標誌於同一地點以 6 個為限，使用路人可在極短反應時間內得到所需之導引資訊；依欲設置導引指示標誌之區域大小，做為旅遊導引指示標誌範圍之彈性調整；由於主要導引對象為非當地用路人，將其導引至該地區之景點，則將以聯外道路為設置之起點；為降低用路人時間成本，本研究以最短路徑為佈設路徑，其路徑之轉向處為導引指示標誌設置之依據。若有一套共同設置準則，可使得導引指示標誌之設置有統一性、整體性及易讀性之目的。利用地理資訊系統(GIS)做為空間分析，並加入實際導引指示標誌之現況，建立出客觀之旅遊導引指示標誌設置分析邏輯。

倘若同一地點之導引標誌資訊數超過 6 個，則須評估其地點是否為欲設置景點之設置範圍，若為導引設置範圍外出現同一地點資訊數超過 6 之狀況，則將導引標誌資訊重整為區域景點做導引；若同一地點之導引資訊數大於 6 之狀況為設置範圍內，則透過本研究所寫之 0-1 二元整數變數之數學模式做導引標誌之調整。

最後，將實際案例透過地理資訊系統(GIS)做最短路徑，以做為導引指示標誌之佈設路線，並配合本研究所建立之設置分析邏輯，測試其邏輯之實用性為可行之研究結果，將其邏輯提供工程人員設置景點導引指示標誌之參考依據，使得導引指示標誌達到一致性、整體性、易讀性及客觀性，且使其導引指示標誌發揮至最大導引之效用。

本研究只考量聯外道路上之調整候選路口，其資訊數不可超過 6 個之情況，尚未考量調整後，該調整路線上之路口是否有資訊數大於 6 之情況發生，後續可將此考量因素納入調整之數學模式中。也可針對整體路網之導引資訊合併做探討，在可提供用路人充分之導引指示標誌狀況下，可將零星、單一導引指示標誌移至附近次佳之導引標誌桿上，減少標誌桿之數量，使設置成本降低；更進一步的能將此方法運用於一般道路指示標誌上，並將此分析方法利用地理資訊系統附屬的 VB 建製成一界面化系統，令工程人員只須輸入道路圖層及現有的道路指示標誌地點，並輸入欲設置指標之目的地，就能匯出其指示標誌最佳化設置地點。

陸、參考文獻

1. 交通部(2008)。道路交通標誌標線號誌設置規則。台北市。
2. 李友欽(1997)。城鎮指示標誌佈設方法之研究。淡江大學土木工程學碩士班碩士論文，台北縣。
3. 李克聰等人(2004)。地理資訊系統於道路指示標誌系統之規劃設計。交通部運輸研究所。台北市。
4. 李宗隆(2007)。運用地理資訊系統於道路指示標設置之研究。逢甲大學交通工程與管理學碩士班碩士論文，台中市。
5. 陳文富等人(2008)。道路指示標誌設置參考手冊(期末報告初稿)。交通部運輸研究所。台北市。
6. 黃敏(2006)。道路交通指路標志標識系統建模的理論與方法。中山大學博士論文，中國大陸廣州市。
7. 謝敏郎(2003)。台灣地區省道公路指示標誌系統改善之研究。國立交通大學交通運輸所碩士論文，新竹縣。
8. Manual on Uniform Traffic Control Devices, 903.10.1~903.10.7, U.S.A..

附錄 A

二元整數規劃之數學模式

$$\begin{aligned} \text{Min} = & (0 * X_{1o} + 0 * 100 * X_{1o}) + ((1850 - 1830) * X_{1a} + (4 - 3) * 100 * X_{1a}) + \\ & ((2240 - 1830) * X_{1b} + (3 - 3) * 100 * X_{1b}) + (0 * X_{2o} + 0 * 100 * X_{2o}) + \\ & ((1610 - 1490) * X_{2a} + (3 - 2) * 100 * X_{2a}) + ((2200 - 1490) * X_{2b} + (3 - 3) * \\ & 100 * X_{2b}) + (0 * X_{3o} + 0 * 100 * X_{3o}) + ((1400 - 976) * X_{3a} + (4 - 5) * 100 * \\ & X_{3a}) + ((1690 - 976) * X_{3b} + (4 - 5) * 100 * X_{3b}) + (0 * X_{4o} + 0 * 100 * X_{4o}) \\ & + ((781 - 752) * X_{4a} + (2 - 3) * 100 * X_{4a}) + ((1200 - 752) * X_{4b} + (3 - 3) * \\ & 100 * X_{4b}) + (0 * X_{5o} + 0 * 100 * X_{5o}) + ((1240 - 1120) * X_{5a} + (4 - 5) * 100 * \\ & X_{5a}) + ((1660 - 1120) * X_{5b} + (6 - 5) * 100 * X_{5b}) + (0 * X_{6o} + 0 * 100 * \\ & X_{6o}) + ((2130 - 2080) * X_{6a} + (4 - 5) * 100 * X_{6a}) + ((2550 - 2080) * X_{6b} + (6 \\ & - 5) * 100 * X_{6b}) + (0 * X_{7o} + 0 * 100 * X_{7o}) + ((4160 - 4130) * X_{7a} + (5 - 4) \\ & * 100 * X_{7a}) + ((4360 - 4130) * X_{7b} + (8 - 4) * 100 * X_{7b}) \end{aligned}$$

S.t. :

$$X_{1a} + X_{1b} + X_{1o} = 1$$

$$X_{2a} + X_{2b} + X_{2o} = 1$$

$$X_{3a} + X_{3b} + X_{3o} = 1$$

$$X_{4a} + X_{4b} + X_{4o} = 1$$

$$X_{5a} + X_{5b} + X_{5o} = 1$$

$$X_{6a} + X_{6b} + X_{6o} = 1$$

$$X_{7a} + X_{7b} + X_{7o} = 1$$

$$0 < X_{1a} + X_{2a} + X_{3a} + X_{4a} + X_{5a} + X_{6a} + X_{7a} \leq 6 - 2$$

$$0 < X_{1b} + X_{2b} + X_{3b} + X_{4b} + X_{5b} + X_{6b} + X_{7b}; \leq 6 - 2$$

$$X_{1o} + X_{2o} + X_{3o} + X_{4o} + X_{5o} + X_{6o} + X_{7o} = 6$$

附錄B

二元整數規劃之數學模式結果

Global optimal solution found.

Objective value: -71.00000
Extended solver steps: 0
Total solver iterations: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X10	1.000000	-640.0000
X1A	0.000000	-520.0000
X1B	0.000000	-230.0000
X20	1.000000	-640.0000
X2A	0.000000	-420.0000
X2B	0.000000	70.00000
X30	1.000000	-640.0000
X3A	0.000000	-316.0000
X3B	0.000000	-26.00000
X40	0.000000	-640.0000
X4A	1.000000	-711.0000
X4B	0.000000	-192.0000
X50	1.000000	-640.0000
X5A	0.000000	-620.0000
X5B	0.000000	0.000000
X60	1.000000	-640.0000
X6A	0.000000	-690.0000
X6B	0.000000	-70.00000
X70	1.000000	-640.0000
X7A	0.000000	-510.0000
X7B	0.000000	-10.00000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	-71.00000	-1.000000
2	0.000000	-640.0000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	1.000000	0.000000
11	3.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	4.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000

附錄C

測試一(上游 1 公里)二元整數規劃之數學模式

$$\begin{aligned} \text{Min} = & (0 * X_{1o} + 0 * 100 * X_{1o}) + ((1960 - 1640) * X_{1a} + (8 - 2) * 100 * X_{1a}) + \\ & ((2920 - 1640) * X_{1b} + (7 - 2) * 100 * X_{1b}) + ((3220 - 1640) * X_{1c} + (11 - 2) * \\ & 100 * X_{1c}) + (0 * X_{2o} + 0 * 100 * X_{2o}) + ((1920 - 1670) * X_{2a} + (9 - 3) * 100 \\ & * X_{2a}) + ((2440 - 1670) * X_{2b} + (8 - 3) * 100 * X_{2b}) + ((3270 - 1670) * X_{2c} + \\ & (12 - 3) * 100 * X_{2c}) + (0 * X_{3o} + 0 * 100 * X_{3o}) + ((1450 - 980) * X_{3a} + (8 - \\ & 2) * 100 * X_{3a}) + ((1980 - 980) * X_{3b} + (7 - 2) * 100 * X_{3b}) + ((2790 - 980) * \\ & X_{3c} + (11 - 2) * 100 * X_{3c}) + (0 * X_{4o} + 0 * 100 * X_{4o}) + ((1150 - 814) * X_{4a} \\ & + (7 - 5) * 100 * X_{4a}) + ((1880 - 814) * X_{4b} + (5 - 5) * 100 * X_{4b}) + ((2560 - \\ & 814) * X_{4c} + (9 - 5) * 100 * X_{4c}) + (0 * X_{5o} + 0 * 100 * X_{5o}) + ((4390 - 4980) \\ & * X_{5a} + (3 - 6) * 100 * X_{5a}) + (0 * X_{6o} + 0 * 100 * X_{6o}) + ((8920 - 8570) * \\ & X_{6a} + (9 - 2) * 100 * X_{6a}) + ((9110 - 8570) * X_{6b} + (3 - 2) * 100 * X_{6b}) + \\ & ((9950 - 8570) * X_{6c} + (5 - 2) * 100 * X_{6c}) + (0 * X_{7o} + 0 * 100 * X_{7o}) + \\ & ((2830 - 2450) * X_{7a} + (8 - 3) * 100 * X_{7a}) + ((3790 - 2450) * X_{7b} + (5 - 3) * \\ & 100 * X_{7b}) + ((4020 - 2450) * X_{7c} + (9 - 3) * 100 * X_{7c}) + (0 * X_{8o} + 0 * 100 \\ & * X_{8o}) + ((2700 - 2240) * X_{8a} + (5 - 1) * 100 * X_{8a}) + ((3380 - 2240) * X_{8b} + \\ & (3 - 1) * 100 * X_{8b}) + ((3860 - 2240) * X_{8c} + (7 - 1) * 100 * X_{8c}) + (0 * X_{9o} \\ & + 0 * 100 * X_{9o}) + ((1030 - 736) * X_{9a} + (3 - 4) * 100 * X_{9a}) + ((1800 - 736) \\ & * X_{9b} + (4 - 4) * 100 * X_{9b}) + ((2380 - 736) * X_{9c} + (8 - 4) * 100 * X_{9c}) + (0 \\ & * X_{10o} + 0 * 100 * X_{10o}) + ((2110 - 1740) * X_{10a} + (10 - 4) * 100 * X_{10a}) + \\ & ((2930 - 1740) * X_{10b} + (9 - 4) * 100 * X_{10b}) + ((3340 - 1740) * X_{10c} + (13 - \\ & 4) * 100 * X_{10c}) \end{aligned}$$

s.t. :

$$\begin{aligned} X_{1a} + X_{2a} + X_{3a} + X_{4a} + X_{5a} + X_{6a} + X_{7a} + X_{8a} + X_{9a} + X_{10a} + X_{1b} + X_{2b} + X_{3b} + \\ X_{4b} + X_{6b} + X_{7b} + X_{8b} + X_{9b} + X_{10b} + X_{1c} + X_{2c} + X_{3c} + X_{4c} + X_{6c} + X_{7c} + X_{8c} \\ + X_{9c} + X_{10c} + X_{1o} + X_{2o} + X_{3o} + X_{4o} + X_{5o} + X_{6o} + X_{7o} + X_{8o} + X_{9o} + X_{10o} = \\ 10 \end{aligned}$$

$$X_{1a} + X_{1b} + X_{1o} = 1$$

$$X_{2a} + X_{2b} + X_{2c} + X_{2o} = 1$$

$$X_{3a} + X_{3b} + X_{3c} + X_{3o} = 1$$

$$X_{4a} + X_{4b} + X_{4c} + X_{4o} = 1$$

$$X_{5a} + X_{5o} = 1$$

$$X_{6a} + X_{6b} + X_{6c} + X_{6o} = 1$$

$$X_{7a} + X_{7b} + X_{7c} + X_{7o} = 1$$

$$X_{8a} + X_{8b} + X_{8c} + X_{8o} = 1$$

$$X_{9a} + X_{9b} + X_{9c} + X_{9o} = 1$$

$$X_{10a} + X_{10b} + X_{10c} + X_{10o} = 1$$

$$0 < X_{1a} + X_{2a} + X_{3a} + X_{4a} + X_{5a} + X_{6a} + X_{7a} + X_{8a} + X_{9a} + X_{10a} \leq 5$$

$$0 < X_{1b} + X_{2b} + X_{3b} + X_{4b} + X_{6b} + X_{7b} + X_{8b} + X_{9b} + X_{10b} \leq 6$$

$$0 < X_{1c} + X_{2c} + X_{3c} + X_{4c} + X_{6c} + X_{7c} + X_{8c} + X_{9c} + X_{10c} \leq 6$$

$$X_{1o} + X_{2o} + X_{3o} + X_{4o} + X_{5o} + X_{6o} + X_{7o} + X_{8o} + X_{9o} + X_{10o} = 6$$

附錄D

測試一(上游 1 公里)二元整數規劃之數學模式結果

Global optimal solution found.
Objective value: 480.0000
Extended solver steps: 0
Total solver iterations: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1O	1.000000	0.000000
X1A	0.000000	920.0000
X1B	0.000000	1780.0000
X1C	0.000000	2480.0000
X2O	1.000000	0.000000
X2A	0.000000	850.0000
X2B	0.000000	1270.0000
X2C	0.000000	2500.0000
X3O	1.000000	0.000000
X3A	0.000000	1070.0000
X3B	0.000000	1500.0000
X3C	0.000000	2710.0000
X4O	0.000000	0.000000
X4A	1.000000	536.0000
X4B	0.000000	1066.0000
X4C	0.000000	2146.0000
X5O	0.000000	0.000000
X5A	1.000000	-890.0000
X6O	0.000000	0.000000
X6A	0.000000	1050.0000
X6B	1.000000	640.0000
X6C	0.000000	1680.0000
X7O	1.000000	0.000000
X7A	0.000000	880.0000
X7B	0.000000	1540.0000
X7C	0.000000	2170.0000
X8O	1.000000	0.000000
X8A	0.000000	860.0000
X8B	0.000000	1340.0000
X8C	0.000000	2220.0000
X9O	0.000000	0.000000
X9A	1.000000	194.0000
X9B	0.000000	1064.0000
X9C	0.000000	2044.0000
X10O	1.000000	0.000000
X10A	0.000000	970.0000
X10B	0.000000	1690.0000
X10C	0.000000	2500.0000

附錄 E

測試二(上游 2 公里)二元整數規劃之數學模式

$$\begin{aligned}
 \text{Min} = & (0 * X_{1o} + 0 * 100 * X_{1o}) + ((1960 - 1640) * X_{1a} + (8 - 2) * 100 * X_{1a}) + \\
 & ((2920 - 1640) * X_{1b} + (7 - 2) * 100 * X_{1b}) + ((3220 - 1640) * X_{1c} + (11 - 2) * \\
 & 100 * X_{1c}) + ((4660 - 1640) * X_{1d} + (11 - 2) * 100 * X_{1d}) + ((5550 - 1640) * \\
 & X_{1e} + (10 - 2) * 100 * X_{1e}) + (0 * X_{2o} + 0 * 100 * X_{2o}) + ((1920 - 1670) * \\
 & X_{2a} + (9 - 3) * 100 * X_{2a}) + ((2440 - 1670) * X_{2b} + (8 - 3) * 100 * X_{2b}) + \\
 & ((3270 - 1670) * X_{2c} + (12 - 3) * 100 * X_{2c}) + ((4400 - 1670) * X_{2d} + (10 - 3) \\
 & * 100 * X_{2d}) + ((5890 - 1670) * X_{2e} + (11 - 3) * 100 * X_{2e}) + (0 * X_{3o} + 0 * \\
 & 100 * X_{3o}) + ((1450 - 980) * X_{3a} + (8 - 2) * 100 * X_{3a}) + ((1980 - 980) * X_{3b} \\
 & + (7 - 2) * 100 * X_{3b}) + ((2790 - 980) * X_{3c} + (11 - 2) * 100 * X_{3c}) + ((3930 \\
 & - 980) * X_{3d} + (9 - 2) * 100 * X_{3d}) + ((5190 - 980) * X_{3e} + (10 - 2) * 100 * \\
 & X_{3e}) + (0 * X_{4o} + 0 * 100 * X_{4o}) + ((1150 - 814) * X_{4a} + (7 - 5) * 100 * X_{4a}) \\
 & + ((1880 - 814) * X_{4b} + (5 - 5) * 100 * X_{4b}) + ((2560 - 814) * X_{4c} + (9 - 5) * \\
 & 100 * X_{4c}) + ((3720 - 814) * X_{4d} + (7 - 5) * 100 * X_{4d}) + ((5110 - 814) * X_{4e} \\
 & + (8 - 5) * 100 * X_{4e}) + (0 * X_{5o} + 0 * 100 * X_{5o}) + ((4390 - 4980) * X_{5a} + (3 \\
 & - 6) * 100 * X_{5a}) + (0 * X_{6o} + 0 * 100 * X_{6o}) + ((8920 - 8570) * X_{6a} + (9 - 2) \\
 & * 100 * X_{6a}) + ((9110 - 8570) * X_{6b} + (3 - 2) * 100 * X_{6b}) + ((9950 - 8570) * \\
 & X_{6c} + (5 - 2) * 100 * X_{6c}) + ((10860 - 8570) * X_{6d} + (4 - 2) * 100 * X_{6d}) + \\
 & ((12190 - 8570) * X_{6e} + (3 - 2) * 100 * X_{6e}) + (0 * X_{7o} + 0 * 100 * X_{7o}) + \\
 & ((2830 - 2450) * X_{7a} + (8 - 3) * 100 * X_{7a}) + ((3790 - 2450) * X_{7b} + (5 - 3) * \\
 & 100 * X_{7b}) + ((4020 - 2450) * X_{7c} + (9 - 3) * 100 * X_{7c}) + ((5200 - 2450) * \\
 & X_{7d} + (7 - 3) * 100 * X_{7d}) + ((6570 - 2450) * X_{7e} + (8 - 3) * 100 * X_{7e}) + (0 * \\
 & X_{8o} + 0 * 100 * X_{8o}) + ((2700 - 2240) * X_{8a} + (5 - 1) * 100 * X_{8a}) + ((3380 - \\
 & 2240) * X_{8b} + (3 - 1) * 100 * X_{8b}) + ((3860 - 2240) * X_{8c} + (7 - 1) * 100 * \\
 & X_{8c}) + ((4900 - 2240) * X_{8d} + (5 - 1) * 100 * X_{8d}) + ((6390 - 2240) * X_{8e} + \\
 & (6 - 1) * 100 * X_{8e}) + (0 * X_{9o} + 0 * 100 * X_{9o}) + ((1030 - 736) * X_{9a} + (3 - 4) \\
 & * 100 * X_{9a}) + ((1800 - 736) * X_{9b} + (4 - 4) * 100 * X_{9b}) + ((2380 - 736) * \\
 & X_{9c} + (8 - 4) * 100 * X_{9c}) + ((3640 - 736) * X_{9d} + (6 - 4) * 100 * X_{9d}) + \\
 & ((5020 - 736) * X_{9e} + (7 - 4) * 100 * X_{9e}) + (0 * X_{10o} + 0 * 100 * X_{10o}) + \\
 & ((2110 - 1740) * X_{10a} + (10 - 4) * 100 * X_{10a}) + ((2930 - 1740) * X_{10b} + (9 - \\
 & 4) * 100 * X_{10b}) + ((3340 - 1740) * X_{10c} + (13 - 4) * 100 * X_{10c}) + ((4590 - \\
 & 1740) * X_{10d} + (11 - 4) * 100 * X_{10d}) + ((5950 - 1740) * X_{10e} + (12 - 4) * 100 \\
 & * X_{10e})
 \end{aligned}$$

s.t. :

$$\begin{aligned} & \mathbf{X}_{1a} + \mathbf{X}_{2a} + \mathbf{X}_{3a} + \mathbf{X}_{4a} + \mathbf{X}_{5a} + \mathbf{X}_{6a} + \mathbf{X}_{7a} + \mathbf{X}_{8a} + \mathbf{X}_{9a} + \mathbf{X}_{10a} + \mathbf{X}_{1b} + \mathbf{X}_{2b} + \mathbf{X}_{3b} \\ & + \mathbf{X}_{4b} + \mathbf{X}_{6b} + \mathbf{X}_{7b} + \mathbf{X}_{8b} + \mathbf{X}_{9b} + \mathbf{X}_{10b} + \mathbf{X}_{1c} + \mathbf{X}_{2c} + \mathbf{X}_{3c} + \mathbf{X}_{4c} + \mathbf{X}_{6c} + \mathbf{X}_{7c} + \\ & \mathbf{X}_{8c} + \mathbf{X}_{9c} + \mathbf{X}_{10c} + \mathbf{X}_{1d} + \mathbf{X}_{2d} + \mathbf{X}_{3d} + \mathbf{X}_{4d} + \mathbf{X}_{6d} + \mathbf{X}_{7d} + \mathbf{X}_{8d} + \mathbf{X}_{9d} + \mathbf{X}_{10d} + \mathbf{X}_{1e} + \\ & \mathbf{X}_{2e} + \mathbf{X}_{3e} + \mathbf{X}_{4e} + \mathbf{X}_{6e} + \mathbf{X}_{7e} + \mathbf{X}_{8e} + \mathbf{X}_{9e} + \mathbf{X}_{10e} + \mathbf{X}_{1o} + \mathbf{X}_{2o} + \mathbf{X}_{3o} + \mathbf{X}_{4o} + \mathbf{X}_{5o} \\ & + \mathbf{X}_{6o} + \mathbf{X}_{7o} + \mathbf{X}_{8o} + \mathbf{X}_{9o} + \mathbf{X}_{10o} = 10 \end{aligned}$$

$$\mathbf{X}_{1a} + \mathbf{X}_{1b} + \mathbf{X}_{1c} + \mathbf{X}_{1d} + \mathbf{X}_{1e} + \mathbf{X}_{1o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{2a} + \mathbf{X}_{2b} + \mathbf{X}_{2c} + \mathbf{X}_{2d} + \mathbf{X}_{2e} + \mathbf{X}_{2o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{3a} + \mathbf{X}_{3b} + \mathbf{X}_{3c} + \mathbf{X}_{3d} + \mathbf{X}_{3e} + \mathbf{X}_{3o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{4a} + \mathbf{X}_{4b} + \mathbf{X}_{4c} + \mathbf{X}_{4d} + \mathbf{X}_{4e} + \mathbf{X}_{4o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{5a} + \mathbf{X}_{5o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{6a} + \mathbf{X}_{6b} + \mathbf{X}_{6c} + \mathbf{X}_{6d} + \mathbf{X}_{6e} + \mathbf{X}_{6o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{7a} + \mathbf{X}_{7b} + \mathbf{X}_{7c} + \mathbf{X}_{7d} + \mathbf{X}_{7e} + \mathbf{X}_{7o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{8a} + \mathbf{X}_{8b} + \mathbf{X}_{8c} + \mathbf{X}_{8d} + \mathbf{X}_{8e} + \mathbf{X}_{8o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{9a} + \mathbf{X}_{9b} + \mathbf{X}_{9c} + \mathbf{X}_{9d} + \mathbf{X}_{9e} + \mathbf{X}_{9o} = 1$$

$$\mathbf{X}_{10a} + \mathbf{X}_{10b} + \mathbf{X}_{10c} + \mathbf{X}_{10d} + \mathbf{X}_{10e} + \mathbf{X}_{10o} = 1$$

$$0 < \mathbf{X}_{1a} + \mathbf{X}_{2a} + \mathbf{X}_{3a} + \mathbf{X}_{4a} + \mathbf{X}_{5a} + \mathbf{X}_{6a} + \mathbf{X}_{7a} + \mathbf{X}_{8a} + \mathbf{X}_{9a} + \mathbf{X}_{10a} \leq 5$$

$$0 < \mathbf{X}_{1b} + \mathbf{X}_{2b} + \mathbf{X}_{3b} + \mathbf{X}_{4b} + \mathbf{X}_{6b} + \mathbf{X}_{7b} + \mathbf{X}_{8b} + \mathbf{X}_{9b} + \mathbf{X}_{10b} \leq 6$$

$$0 < \mathbf{X}_{1c} + \mathbf{X}_{2c} + \mathbf{X}_{3c} + \mathbf{X}_{4c} + \mathbf{X}_{6c} + \mathbf{X}_{7c} + \mathbf{X}_{8c} + \mathbf{X}_{9c} + \mathbf{X}_{10c} \leq 6$$

$$0 < \mathbf{X}_{1d} + \mathbf{X}_{2d} + \mathbf{X}_{3d} + \mathbf{X}_{4d} + \mathbf{X}_{6d} + \mathbf{X}_{7d} + \mathbf{X}_{8d} + \mathbf{X}_{9d} + \mathbf{X}_{10d} \leq 6$$

$$0 < \mathbf{X}_{1e} + \mathbf{X}_{2e} + \mathbf{X}_{3e} + \mathbf{X}_{4e} + \mathbf{X}_{6e} + \mathbf{X}_{7e} + \mathbf{X}_{8e} + \mathbf{X}_{9e} + \mathbf{X}_{10e} \leq 6$$

$$\mathbf{X}_{1o} + \mathbf{X}_{2o} + \mathbf{X}_{3o} + \mathbf{X}_{4o} + \mathbf{X}_{5o} + \mathbf{X}_{6o} + \mathbf{X}_{7o} + \mathbf{X}_{8o} + \mathbf{X}_{9o} + \mathbf{X}_{10o} = 6$$

附錄F

測試二(上游 2 公里)二元整數規劃之數學模式結果

Global optimal solution found.

Objective value: 480.0000
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X10	1.000000	0.000000
X1A	0.000000	920.0000
X1B	0.000000	1780.0000
X1C	0.000000	2480.0000
X1D	0.000000	3920.0000
X1E	0.000000	4710.0000
X20	1.000000	0.000000
X2A	0.000000	850.0000
X2B	0.000000	1270.0000
X2C	0.000000	2500.0000
X2D	0.000000	3430.0000
X2E	0.000000	5020.0000
X30	1.000000	0.000000
X3A	0.000000	1070.0000
X3B	0.000000	1500.0000
X3C	0.000000	2710.0000
X3D	0.000000	3650.0000
X3E	0.000000	5010.0000
X40	0.000000	0.000000
X4A	1.000000	536.0000
X4B	0.000000	1066.0000
X4C	0.000000	2146.0000
X4D	0.000000	3106.0000
X4E	0.000000	4596.0000
X50	0.000000	0.000000
X5A	1.000000	-890.0000
X60	0.000000	0.000000
X6A	0.000000	1050.0000
X6B	1.000000	640.0000
X6C	0.000000	1680.0000
X6D	0.000000	2490.0000
X6E	0.000000	3720.0000
X70	1.000000	0.000000
X7A	0.000000	880.0000
X7B	0.000000	1540.0000
X7C	0.000000	2170.0000
X7D	0.000000	3150.0000
X7E	0.000000	4620.0000
X80	1.000000	0.000000
X8A	0.000000	860.0000
X8B	0.000000	1340.0000
X8C	0.000000	2220.0000
X8D	0.000000	3060.0000
X8E	0.000000	4650.0000
X90	0.000000	0.000000
X9A	1.000000	194.0000
X9B	0.000000	1064.0000
X9C	0.000000	2044.0000
X9D	0.000000	3104.0000
X9E	0.000000	4584.0000
X100	1.000000	0.000000
X10A	0.000000	970.0000
X10B	0.000000	1690.0000
X10C	0.000000	2500.0000
X10D	0.000000	3550.0000
X10E	0.000000	5010.0000