

地理資訊系統應用於生活圈之道路路廊 初步研選分析研究

Optimization of Transportation Networks by Using the GIS Technique

郭文銓¹ 宋益明² 宋蕙茹³

Wen-Chuan Kuo¹ Yi-Ming Sung² Hui-Ju Sung³

摘要

應用地理資訊系統技術於道路路廊初步研選的主要目的在於減少過去傳統規劃時，由於資訊技術仍很貧乏，其規劃時所需使用的地理資料及相關紙圖均依賴測量蒐集並繪製，不僅曠日費時，且人力及物力花費極鉅，但所測得的資料卻很有限。

本研究乃針對全省 18 個生活圈道路系統規劃需求，整合各類地理圖資：發展限制因素（水質水量保護區、自然保護區、風景特定區、史蹟遺址、水系及水庫）、環境敏感因素（地質災害敏感圖及地震分布圖）、地形效應因素（坡度圖及高程圖）、發展潛力因素（地質圖及土地利用圖），透過各因子權重值的設定，計算及分析成本網格與累進成本網格，從而進行較佳路徑規劃、較佳路廊規劃，系統亦容許手動選線之功能。系統中的地理圖資與各類主題資料，皆可進行三維視覺模擬檢視，對於研選之選線路段亦可執行高程剖面分析及施工成本的估算，並產製最後之成果主題圖繪製。透過地理資訊系統技術與專業工程經驗的整合，以提供規劃單位一個省時、省力的初步研選分析成果，作為後續規劃及設計時之參考。

關鍵字：道路路廊初步研選、地理資訊系統、成本網格

ABSTRACT

Corridor studies are traditionally carried out based on hard-copy maps and using data contained in various publications. Such a practice is not only time-consuming, its results are questionable because of the fact that the data adopted are mostly not current and are frequently inconsistent in format and in content.

A Client-Server GIS system has been developed by the Construction and Planning Administration of the Ministry of Interior and information, including environmental, geographical, social and economical data, required for corridor studies are digitized and their formats are unified in accordance with the NGIS standards. As much as possible, data are updated based on the latest information available. Factors to be used in the studies are identified with their weights determined by using the AHP method of analysis to ensure their independency. With all the parameters available, they system will automatically determine the optimum routes based on the results of cost analyses and will therefore be a valuable supportive tool in the decision-making process.

-
1. 內政部營建署道路工程組道交隊 隊長
 2. 亞新工程顧問股份有限公司 計畫工程師
 3. 亞新工程顧問股份有限公司 工程師

一、前言

近年來由於電腦科技進步迅速，故許多傳統費時費力的工作均可研究如何來減少成本，又能達到預定的品質。傳統道路建設規劃流程（如圖 1-1）均為先在紙上定線，接著進行現地踏勘、資料蒐集及實地觀察，此階段作業由於紙上定線資料較少，故篩選的路線品質很粗略，使得現地踏勘的人力物力常須數倍之多，而帶回的資料做路線方案比較並篩選，若無合適路線則作業又得從頭開始，著實痛苦萬分。而初步路線方案評選出來後，才能進入初步測量，然後再經實地踏勘確認後定案，最後再進行細部測量及細部設計，之後才正式進入施工階段。

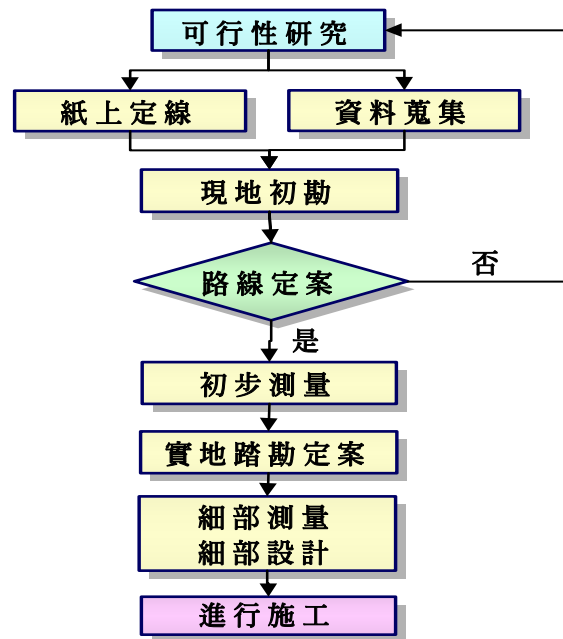


圖 1-1 傳統道路選線規劃流程

而目前電腦產品軟硬體配備更新迅速，資料處理的能力及速度是愈來愈快，從前不敢奢望的大批資料處理，如今以不再是問題，故政府亦大力推動電子化及自動化作業，以跟上時代潮流。再加上民智已開，對於自我權力的保護更是殷切。是以政府施政的考量必須多元化，任何的規劃施行更是須參酌多項資料以為佐證，否則亦生糾紛。所以傳統的道路路線規劃模式只以幾項代表性資料研判的時代已經過去。故如何善用現有科技技術的優點以解決大量研判資料的管理及運用，已成為一大課題。故本研究擬利用地理資訊系統技術並配合工程實務經驗導向，針對道路建設工程之道路路廊初步研選進行實作比較；以提供工程規劃單位於道路選線時的參考。

二、研究目的

現今道路路段的研選資料已不單是地形和地質等傳統資料，現在必須多方考量各項因素，使分析結果的可信度增加。故本研究以下述主要目的進行：

- (1) 提出道路路廊初步研選之考量因子。
- (2) 集眾人之智，藉由專業工程師及使用單位工程經驗，採用層級分析法(AHP)的觀念，以問卷方式，訂出各圖層之權重關係。
- (3) 利用成本網格觀念，計算選定區域之總成本網格最低者作為自動研選依據。
- (4) 整合相關地理圖資，應用 GIS 資料處理及空間分析的強大能力，研擬一具可信度及實用性之道路路廊初步研選模式，以降低先期規劃之經費與人力。

三、研究方法

- (1) 研究架構

本研究主要為實證研究方法，研究範圍定位在如何透過現有地理資料進行空間資訊的疊和，以提供道路路廊初步選線的成果。本研究除先進行各項影響因子整合及分類外，並採用層級分析法(AHP)的觀念，以問卷方式，訂出各圖層之權重。並以實務導向設計系統流程，以輔助使用單位在應用時的親和性。除此之外並藉由實際規劃案例進行測試比對，以提升系統的應用可信度。使用單位首先將集眾人之智，藉由專業工程師及使用單位工程經驗，而研究架構圖如圖 3-1 所示。

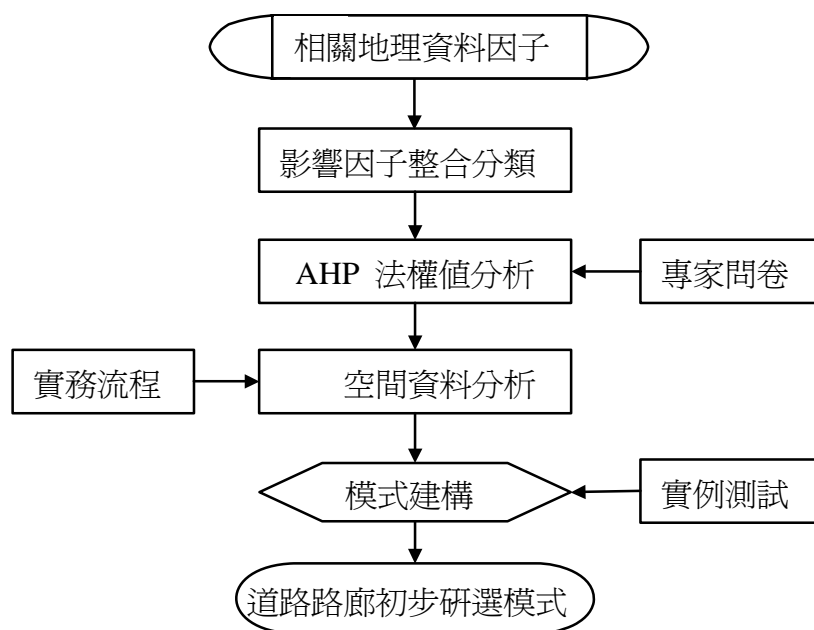


圖 3-1 研究架構圖

(2) 研究步驟

本研究依下述分類項目進行：

(a) 相關地理資料蒐集及分類：

針對目前國內可應用於道路工程選線之相關地理圖資進行蒐集，計包含基本底圖、影響因子圖及參考圖等共計 3 類 23 種圖資。茲分述如下：

- (i) 基本底圖：包含全省道路路網圖、道路系統建設圖、行政區界圖、鐵路圖、建築區圖。
- (ii) 影響因子圖：包含
 - 發展限制因素：包括水質水量保護區、自然保護區、風景特定區、古蹟遺址及水系。
 - 環境敏感因素：包括地質災害敏感圖、地震分布圖。
 - 地形效應因素：包括坡度圖、高程圖。

• 發展潛力因素：包括地質圖、土地使用分區圖。

(iii) 參考圖：包含生態敏感地、文化景觀敏感地、優良農田敏感地、洪水平原敏感地、自然景觀敏感地、地下水補注區敏感地、地表水維護區敏感。

(b) 影響因子之權重分析：

因子權重值之設定，在此作為預設值供路廊研選初步規劃評選之用，而對於圖層因子權重值設定之合理性常有爭議，在此擬集眾人之智，藉由專業工程師及使用單位之工程經驗，採用層級分析法(AHP)的觀念，以問卷方式，求出各圖層之權重關係，各圖層因子彼此兩兩比對所設定之參數值，經過 AHP 法電腦計算產生，訂定經驗權重值以求客觀。

(i) 分析之圖層因子

本研究針對初步研選所須參考採用之圖層，分為發展限制因素、環境敏感因素、地形效應因素、發展潛力因素等四大分類。其分別所包含之圖層因子詳表 3-1 所示。

表 3-1 路廊研選圖層因子分類表

發展限制因素	環境敏感因素	地形效應因素	發展潛力因素
水源水質水量保護區	地質災害敏感圖 無潛在災害 潛在災害不嚴重 地質災害次嚴重 地質災害嚴重	坡度圖 一級坡 ~5 二級坡 5~15 三級坡 15~30 四級坡 30~40 五級坡 40~55 六級坡 55~	地質圖 現代沖積岩 礫岩 砂岩 泥岩 · ·
自然保護區			
風景特定區			
史蹟遺址			
水系圖	地震分區圖 甲級 乙級	高程圖 低海拔 中海拔 高海拔	土地使用分區 農業用地 交通用地 水利用地 建築用地 · ·

針對發展限制因素，包含水源水質水量保護區、自然保護區、風景特定區、……..等等。其中具有法律位階的區域(如自然保留區)，在本系統中此權重值設為 100，賦予高阻抗之權重值，為路廊避免通過之區域。

由於此為初步研選的權重預設值，對於能以工程技術(隧道、橋樑)克服之範圍，在本系統另有後處理之步驟，故在此狀

況下不作過多之考量。如當路廊研選時無法通過河川，但可以橋樑通過，此種狀況即屬於後處理之範疇而不予考慮。僅對河川此圖層賦予高阻抗之權重值，使研選路廊儘量避開此區域。

針對環境敏感因素、地形效應因素及發展潛力因素等三大類，其圖層因子下仍有其細項次因子分類。如土地使用分區圖其下仍分農業用地、交通用地、水利用地、建築用地、工業用地、……等十項分類次因子，此種狀況即屬於多階層流程問題。在此以上述所提及之層級分析法(AHP)法，以電腦計算方式予以處理。

(ii) 層級分析法 (AHP)

本計畫採用層級分析法以進行路廊初步研選之權重因子設定，層級分析法為 Thomas L. Saaty 於 1971 年為美國國防部進行規劃問題工作時所發展出來，經由建立階層化、邏輯判斷、分解綜合化的過程，將模糊不確定之因素轉為明確可衡量之評估因子，使得評估者的思維更條理化，以解決複雜的決策問題並減少決策錯誤。應用 AHP 法於路廊研選權重值設定之處理步驟，可區分為以下四個步驟：

- 設定考量目標與影響因子：將可能影響路廊研選的圖層因子及階層次因子均納入考量，成立規劃群，根據專業工程師之經驗填寫問卷，以工程考量為目標，透過群體決策建立分析階層組織，減低權重值設定過於主觀之爭議。
- 建立階層組織：其階層建立採由上至下法進行，逐一衍生出各個層次，再由方案需求逐步上溯到目標階層，確認其合理性。每一階層的要素最好具有獨立性，若有相依性可先就獨立性與相依性各別分析後，再加以合併處理。
- 建立對偶比較矩陣：每一層級要素在其上一層級某一要素作為評估基準下，進行成對比較，建立對偶比較矩陣(Pairwise Comparison Matrix)，然後計算該矩陣的特徵向量作為該階層之優先向量，整合各階層之優先向量即可得最後方案的相對優先值。理論上，所有的配對比較評估值均符合數學遞移率，實際上，在評估時因為不曉得此值，問卷填寫者只能用估計，因此必須進行一致性之檢定。
- 層級一致性的檢定：一致性指標主要在告訴決策者在評估過程中，所作判斷的合理程度情形，是否不太一致或有矛盾現象，以便及時修正，避免作出不良決策。故對各份問卷作過濾之處理，故使其滿足遞移性(Transitivity)。不僅優劣關係

滿足遞移性 (A 優於 B , B 優於 C , 則 A 優於 C) , 同時強度關係也滿足遞移性 (A 優於 B 二倍 , B 優於 C 三倍 , 則 A 優於 C 六倍) 。

(iii) 分析流程

問卷設計對地質災害敏感圖、地震分區圖、坡度圖、高程圖、地質圖及土地使用分區圖，作兩兩比對的程序，以求得各圖層相互間的重要性，所得到的權重比，彼此即有相關連之意含。另外對於各圖層下的次因子，規定填寫 1 至 19 之權重值，以 10 為門檻值，依據工程考量的觀點，對其次因子，填寫加重或減緩的權重值。

依照層級分析法(AHP)之分析流程，將問卷資料予以處理，經由 AHP 程式運算，求其各圖層因子之彼此相關權重值，並作一致性檢定，未通過者予以刪減，或退回重填。計算所得之權重值對細項因子權重先予以正規化，再以加權處理。

針對問卷資料彙整處理，對路廊研選所需之圖層因子，將兩兩比對值彙整，作為層級分析法(AHP)分析資料，經過 AHP 程式計算，得出計算成果表如表 3-2 所示，計算內容包括彼此關聯之權重值以及一致性檢定結果。關聯之權重值作為細項因子權重加權；而一致性檢定作為問卷可靠度之指標，若 CR 值小於等於 0.1 時即通過一致性檢定，若未通過檢定，即退回問卷填寫人重新填寫或予以刪去此樣本資料，避免影響全體決策幅度過大。

表 3-2 層級分析法 (AHP) 計算成果表

問卷填寫者	徐國輝	...	游中榮	曾翰湘	蘇定義	幾何平均數
坡度圖	0.207	...	0.160	0.101	0.090	0.142
高程圖	0.168	...	0.063	0.169	0.179	0.107
地質圖	0.131	...	0.054	0.237	0.168	0.136
地質災害敏感圖	0.221	...	0.238	0.101	0.207	0.206
地震分布區	0.079	...	0.136	0.068	0.121	0.124
土地使用分區	0.074	...	0.223	0.114	0.090	0.137
特徵值	7.294802	...	7.710685	7.188093	7.405735	7.017815726
CI	0.049134	...	0.118448	0.031349	0.067623	0.002969288
CR	0.037222	...	0.089733	0.023749	0.051229	0.00224946
...	通過	...	未通過	通過	通過	通過

(iv) 分析結果

藉由層級分析法 (AHP) 之精神設計問卷，透過各專業工程師及使用單位專業人員填寫問卷，集眾人之經驗，提供全體

決策之意見，減低權重值訂定過於主觀之爭議。

在工程考量下，以層級分析法經由兩兩比對之比值，計算出各個細項之權重因子，且通過一致性比對。並得出各影響因子之權重值。

(c) 系統建置：

本研究依據使用單位需求及其業務流程，並整合前述分析成果，進行系統建置，其建置特點如下：

- (i) 採用業務系統規劃（BSP）與參與式系統設計（JAD）。
- (ii) 專業工程實務角度及使用單位應用需求進行系統分析及設計。
- (iii) 訂定各階段操作程序，以引導式流程方便使用者應用，並記錄操作程序進度。
- (iv) 二階段考量因子權重設定。
- (v) 採開放式系統設計，除提供預設參數值外，亦提供使用者可自行依工程經驗設定相關參數；並除自動選線外，亦可設定工程設施(如橋樑、隧道)來手動修正選線成果。
- (vi) 提供高程剖面分析及三維視覺模擬。
- (vii) 提供預算估價系統，並採二階段工程經費分析設定。提供使用單位編列預算時之參考。

(d) 實例測試：

本系統建置完成後並以已完成之新竹山區外環道路規劃案進行比對研究，以探討其可信度。

四、系統功能

(1) 功能架構

本模組依功能需求進行功能架構規劃及系統設計，訂定作業程序及功能架構如圖 4-1 所示。

(2) 功能成果簡述

本模組歷經多次功能修正與改進、資料的評估與更正，以及狀況模擬與成果檢核，得最終版本。特舉新竹山區外環道路規劃案為範例展示成果。茲針對系統功能模組簡述其內容，計包括七項主要功能群組：系統範例畫面如圖 4-2~4-7 所示。

- (a) 作業範圍設定：系統提供新範圍設定及開啟舊檔功能，以減少重覆設定的系統時程。

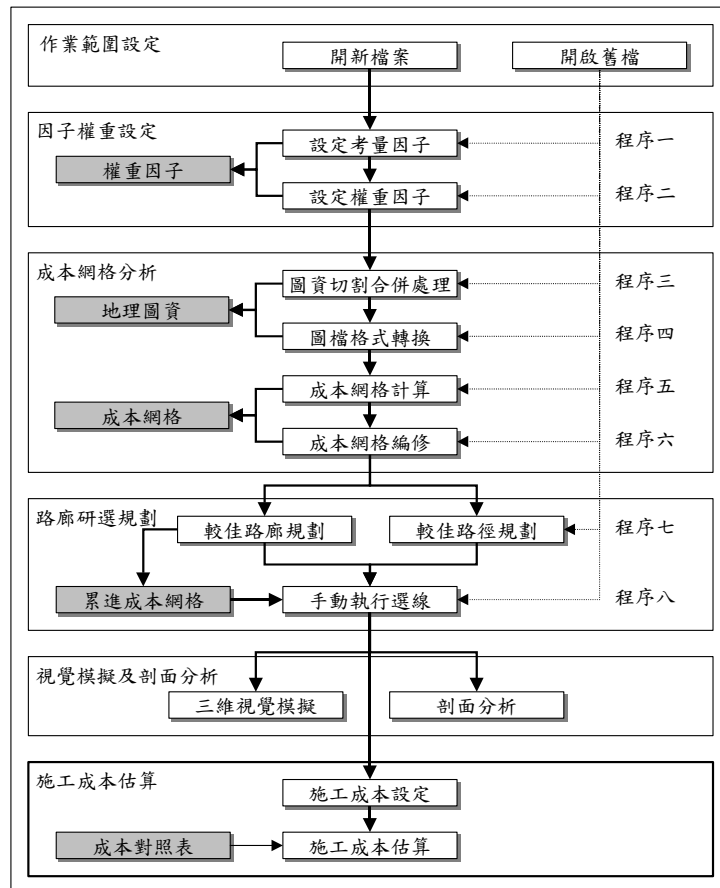


圖 4-1 道路路廊初步研選分析模組作業程序及功能架構

- (b) 因子權重設定：採兩階段之操作方式，考量因子與設定因子權重二者分開來操作及設定。系統提供預設值、使用者自訂及使用者儲存等設定環境，然後操作及修改因子權重設定值，完成設定程序。
- (c) 成本網格分析：內容包括圖資切割合併處理、圖檔格式轉換(及網格大小設定)、成本網格計算及成本網格編修等功能。為本系統之核心功能之一，內容除包括地理圖資之切割合併處理及圖檔格式轉換，並整合先前考量因子與權重設定值，實施成本網格計算，從而產生成本網格這層主題圖資，對未必符合現況及預期情形（如橋樑或隧道），開放成本網格編修功能來更正成本網格，以利作業之施行。
- (d) 路廊研選規劃：為本模組之核心，包括較佳路徑規劃、較佳路廊規劃及手動執行選線三個功能，並且各具不同之演算方式及演算成果。路廊研選規劃之演算原理主要在於產生累進成本網格，利用節點(Node)與節線(Link)來連接每個相鄰成本網格之網格點，每個節點有八個運動方向，而節線則具有不同成本或不同阻抗，阻抗計算則與節點與節點間距離有關。
- (i) 較佳路徑規劃

較佳路徑研選功能直接使用成本網格來計算及研選規劃一

條較佳路徑，其作業方式使用成本網格來產生成本網格之網線向量資料，因每一個網格具有八個運動方向，因此結成之網線資料具有水平、垂直及對角之網線分布。

(ii) 較佳路廊規劃

較佳路廊規劃功能可經由計算累進成本網格來選取較佳路廊。累進成本網格依其面積分布等化為十等份，並以等值線來區隔其分布範圍。除此之外，亦可使用該組必經之控制點及累進成本網格圖來產生一條較佳路徑。

(iii) 手動執行選線

提供使用者依工程經驗及現地特性，以人工操作方式來修正原設定之道路選線作業。

(e) 視覺模擬及剖面分析：內容包括三維視覺模擬、動態模擬及高程剖面分析等三個功能選項。在操作個別功能時，並無程序上之差別。

(f) 工程經費分析：功能採兩階段式設定，即工程路段基本設定及進階設定，前者用來設定全路段之各類工程之基本屬性，包括清除與挖掘、挖方、填方、廢方處理、路面工程、擋土牆工程、排水工程、護坡工程、油漆標線、橋樑工程及隧道工程等項；後者則用來進行各路段之進階設定，設定之工作則依道路工程、橋樑工程及隧道工程來分別設定，設定之項目則與前者相同。

(g) 主題圖製作：本功能用來產生並輸出路廊研選之各類主題圖資與背景圖資。

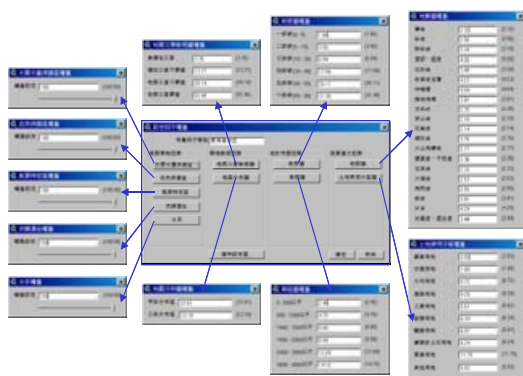


圖 4-2 設定因子權重功能之各類考量因子權重設定之對話框



圖 4-3 較佳路廊研選之操作畫面

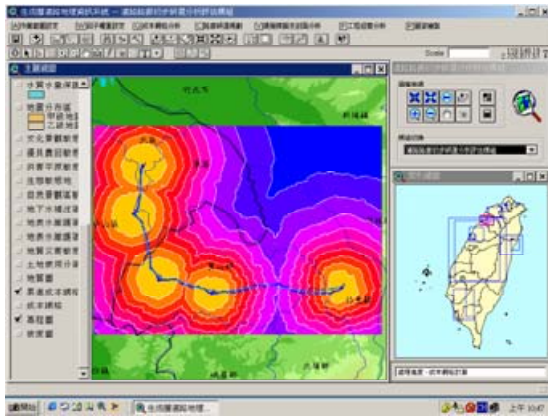


圖 4-4 較佳路徑套疊累進成本網格圖

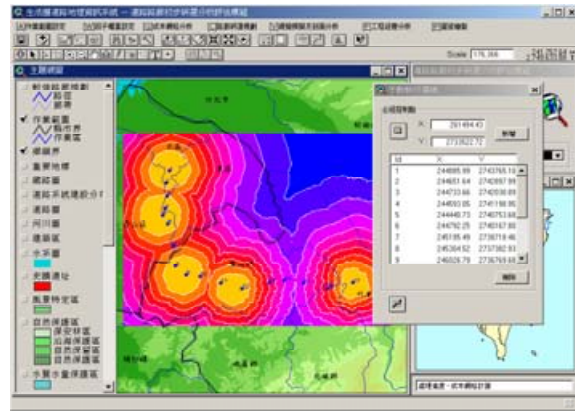


圖 4-5 手動執行選線功能操作中畫面

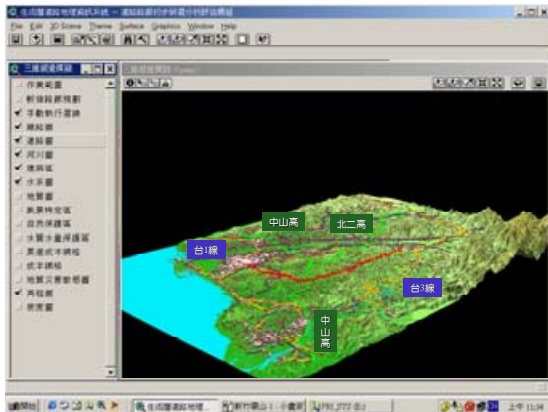


圖 4-6 手動執行選線功能操作中畫面



圖 4-7 工程經費分析之概算成果

五、結論與建議

本研究係屬內政部營建署「生活圈道路系統之地理資訊系統建立與應用」計畫之子系統，主要目標在提供使用單位對於道路工程先期規劃路廊時的選線參考；並同時可對承包路廊規劃的顧問公司所提之各項方案在系統上作初步比對，以掌握規劃方案的周詳性並作為審查討論時的依據。

承上述綜合提出下列幾點看法以提供後續研究及應用時的參考。

- (1) 本研究應用 AHP 法配合問卷調查兩兩比對法進行權值的統計分析，其調查的對象律定為具實務規劃經驗之專業技師及土木工程師等，其分析結果作為系統之預設參考權值，具有其代表性及可信度。
- (2) 系統設計採開放式，著眼於預設權值雖具代表性，然必須考量台灣各區域範圍仍具有不同特性，故系統權值開放依經驗自行設定因子及權值，即可彌補地域性之特殊考量。
- (3) 系統設計提供手動執行選線修正功能，提供工程師以實務判斷可以工程克服之路線（如橋樑、隧道），可於系統直接修正路線，使與實務規劃考量及流程相符。
- (4) 本研究於實例測試階段以一實務規劃成果進行比對測試，測試案例為新竹環

山道路路線規劃：該路線規劃成果路線全長約 21.80 KM，預估經費約 75 億元，平均 3.44 億 / KM；而本系統規劃成果路線全長 18.98 KM，預估經費約 56 億元，平均 2.95 億 / KM。故差距約 15%，經實際分析該規劃案報告內容其差距主要在於附屬工程部份（如挖填方、排水工程、擋土工程、美化工程等），系統估算為一般工程預算，並無特殊考量。致可能誤差之發生。

- (5) 研究中所採用之相關影響因子之圖層，會決定系統的可信度，目前國內之地理資料建構尚不完全，且比例尺均不一致，如 DTM 目前全省仍為 40m*40m，部份資料甚致為 1/500000 的精度，均會嚴重影響分析成果，本研究雖透過 AHP 法降低精度較差之圖層因子之影響，但仍受限於圖層的精度因素，故目前只能作為先期規劃之初步路廊選線之用。未來國土資訊系統各分組之基本圖資其精度之提升，將有助於道路工程規劃之輔助，甚致能更進一步提供設計時的參考，將可大幅度提升分析成果的精度之參考價值。

六、參考文獻

- (1) 行政院經濟建設委員會，1985，環境敏感地規劃與管理之研究。
- (2) 內政部，1994，國土資訊系統基礎環境建置推動計畫。
- (3) 鄭元振、張冠惠，1994，利用格網分析技術輔助路廊研選，第 13 屆測量學術及應用研討會論文集，pp：577~587。
- (4) 賴進貴，1996，數值等高線內插之比較研究，國立台灣大學理學院地理學系地理學報，第二十一期，台北，pp：83-94。
- (5) 周天穎、周學政，1997，Arc View 透視 3.X，松崗電腦圖書資料股份有限公司。
- (6) 內政部營建署，2000，生活圈道路系統之地理資訊系統建立與應用計畫。
- (7) 黃南輝、宋益明，2002，地理資訊系統之工程應用及推動，國土資訊系統通訊第四十一期。