

手機信令應用於捷運路網規劃

周易陵* 陳則銘** 鄭書恒***

摘要

都會區捷運建設是改善都市交通環境的手段，而非終點目標，如何正確把握都市空間佈局與都市交通間的關係乃為路網規劃的關鍵。以捷運設計畫為骨幹，形成由核心往外輻射的空間結構，引入 TOD、Station City 的發展概念，帶動都市整體發展，邁向「捷運、樂活、生態、產業、文化」五大願景之宜居城市，方為捷運整體規劃的終極目標。捷運路網規劃的本質為「帶動都市發展」，以帶動都市發展及環境改善為目標，思考可能且適合的方案，配合城市發展速度分階段推動捷運建設。環境改善是多元解，非唯一解，各地方捷運建設應因地制宜，不同抉擇造就未來不同環境品質，推動過程中將面對改變民眾行為產生的各種衝擊。因此，路網規劃的決策需由當地交通與城鄉單位共同討論，充分溝通以求得共識，才能理念一致地對外溝通，建構適合的捷運路網。

路網規劃首要工作為進行都市運輸規劃資料蒐集與調查，以往多仰賴人工問卷調查以瞭解旅次特性，作業時間長且人工依賴程度高，又無法判定所得資料之正確性，本篇說明利用現代人必備的手機所產生的信令資料，利用大數據資料分析旅次移動特性，進而規劃合宜之捷運路網。

關鍵字：捷運路網、都市發展、信令、大數據

一、前言

交通部民國 107 年 2 月 9 日修正發布「大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」，要求地方主管機關辦理捷運系統建設可行性研究前，應先提出大眾捷運系統整體路網評估計畫報告書送交通部審議，後續按審議完成後之整體路網各路線之優先程度，依序辦理後續之可行性研究及綜合規劃等階段性工作。

臺北捷運自民國 85 年開始營運以來，各地陸續著手規劃都會區捷運路網，包含新北市、桃園市、新竹市、台中市、臺南市及高雄市等。然都會區內捷運系統路網規劃，與地區發展及人口活

動有關，包含居住、就業、就學及其他等不同旅次需求，捷運路網的形成必須建立在發揮運輸效能及永續經營的基礎上。

都會區之捷運系統整體路網規劃係辦理捷運設計畫之第一步，目前除臺北市、新北市及高雄市有完整整體路網規劃外，其他縣市皆在著手進行中，中興工程顧問公司目前正參與兩縣市之路網規劃作業，皆採用手機信令資料來取代以往採人工問卷調查方式以瞭解都會區旅次特性，且信令資料可轉化為圖像模式，一目瞭然每日尖離峰熱點分布及區域間旅次流動重點方向。目前兩縣市之路網評估工作皆尚在進行中，本篇內容僅為過程中部分資料，皆尚未定案，未來仍須以經

* 中興工程顧問公司軌道工程一部計畫副經理

** 中興工程顧問公司軌道工程一部技術經理

*** 中興工程顧問公司軌道工程一部資深協理

中央審核通過之內容為準，僅以方法論方式整理相關規劃步驟及內容，供各界參考。

二、路網規劃評估流程

都會區捷運建設是改善都市交通環境的手段，如何正確把握都市空間佈局與都市交通間的關係乃為路網規劃的關鍵。捷運路網規劃的本質為「帶動都市發展」，以帶動都市發展及環境改善為目標，思考可能且適合的方案，配合城市發展速度分階段推動捷運建設。因此，規劃工作第一步為針對現況進行資料蒐集，包含國土計畫、都市發展計畫、現有交通運具使用、產業特性、在地文化、人口結構、旅次特性等等，接下來則是進行資料分析與運輸規劃分析模型的建立，最後依據都市特性擬定整體路網，再考量用地、捷運系統選擇及營運模式後，提出優先路線進行經濟效益與財務分析後，最後提出分期路網建議。

整體規劃可分為第一階段－都市發展規劃階段及第二階段－捷運整體路網評估階段。第一階段主要工作為資料蒐集及發展規劃，其中資料蒐集還可再細分為吸引點起迄與特性調查、運具使用調查、交通量與乘載率調查、旅次特性資料蒐集等，當中以旅次特性資料蒐集工作最為繁重，以往係採人工方式，在評估範圍內推測旅次較多處進行問卷調查，在天氣、民眾意願、問卷品質等變數影響下，調查結果除可能產生偏差外，亦耗費大量人力與時間，因此以現代人手一手機的特性，利用手機信令資料來進行旅次特性資料蒐集，將使得資料更具有參考性，提高資料蒐集品質。

第二階段主要工作為利用前階段建立之運輸模型、旅次資料及都市發展規劃進行捷運潛力路網的篩選，接下來考量路線用地及路線周圍活動人口門檻分別進行捷運潛力路線及捷運優先路線的篩選。

最後在考量運量、經效財務、營運規劃及系統評估四大因素後，分析出較為可行的路線後，提出整體捷運路網及分期推動建議。整體規劃流程如圖 1 所示。

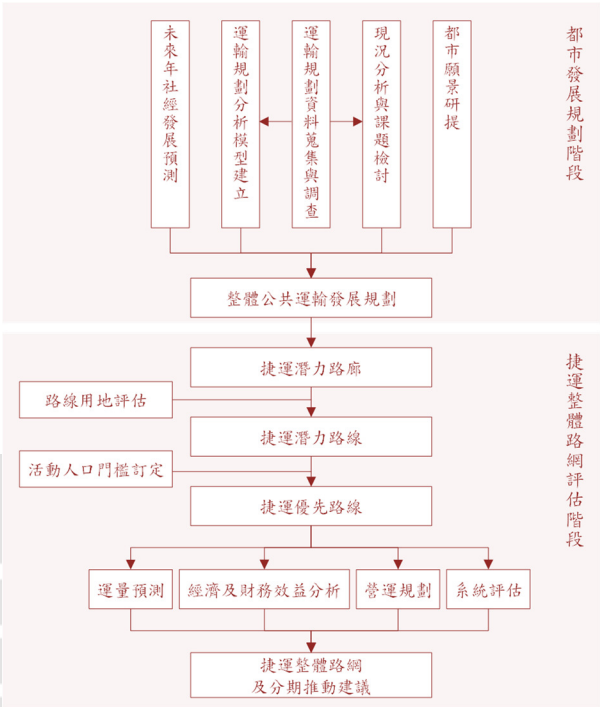


圖 1 整體路網規劃流程圖

三、以手機信令資料進行旅次特性分析

以往進行路網規劃的第一項重要步驟旅次特性資料蒐集時，多採用人工問卷方式進行，耗時且費力，得到的資料多有誤差。然而隨著時代的演進，手機與大眾的生活已經密不可分，辦公、娛樂、休閒、研究甚至戰爭皆可以手機進行，而手機衍生之副產品－信令資料，也成為電信業者收入來源之一。

以手機信令資料不僅可有效節省傳統旅次特性調查之作業時間，同時大樣本之數據資料在抽樣上亦較傳統調查更具代表性。信令資料處理分析以及分別應用信令資料進行旅次特性分析、主要產業與遊憩熱點說明如下：

(一) 信令資料處理分析

資料蒐集網格採信令資料 250 公尺*250 公尺精度為基準，計算各網格間旅次活動，如圖 2。

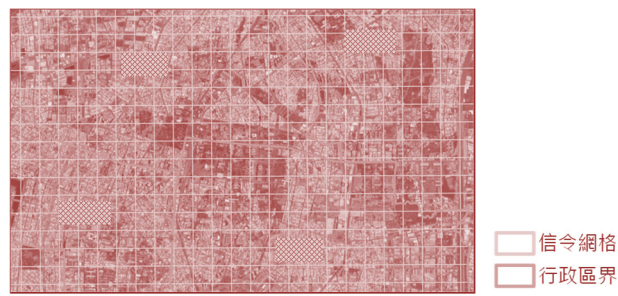


圖 2 行政區與信令資料蒐集單元

(二) 信令資料原理與應用

可應用分析與交通運輸領域分析之手機行動數據資料類型相當多元，主要分為兩大類，信令資料（Signal Data）與行動裝置全球定位系統（Global Positioning System, GPS）資料。其中，信令資料為電信網路用於傳送控制信號與運作之系統，因電路控制需時刻進行，因此可以針對個體行動裝置活動，包含通話、通信、3G/4G 網路等進行追蹤。透過行動裝置回傳的信號資料與電信基地台間的相對關係，界定該信號用戶所在位置（或所屬基站服務範圍），並利用訊號於基站與基站間之移動距離、時間、速度等資訊，得知用戶於特定時間下的移動行為與軌跡。

根據不同信令資料類型，能應用於分析不同類型之議題，如 Call Detail Record（CDR）或 Subscriber Dr. Data，由於資料密集度相對較低，因此較適用於判斷手機使用者 Origin 與 Destination（OD）起迄與旅次目的；Customer Experience Management（CEM）為主動式資料，資料擷取時間頻率較高，因此除 OD 起迄與旅次目的外，亦可用於觀察使用者軌跡路徑，相對而言，其設備要求、資料量以及運算作業的硬體需求亦相對要求較高，各類型資料回傳密度示意如圖 3 所示，相關特性彙整如表 1 所示。就規劃都

市捷運路網而言，建議以 CEM 作為現況旅次起迄建立與特性分析之基礎資料較為適當。

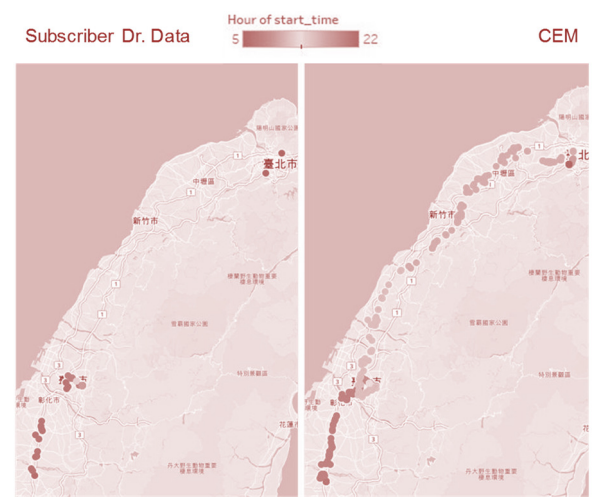


圖 3 信令資料密度示意圖

表 1 信令資料特性比較

資料類型	資料特性	數據密集度
Call Detail Record（CDR）	提供通信、SMS 傳輸期間之基地台位置、時間	低
Subscriber Dr. Data（SubDR）	個體行動裝置活動追蹤（包含：通信、SMS、3G/4G 網路等）	中：被動式資料（通信、上網等資料上傳期間才有資料）
Customer Experience Management（CEM）	個體行動裝置活動追蹤（包含：通信、SMS、3G/4G 網路等）	高：除被動收集外，每 30 分鐘會主動確認用戶位置、切換基地台時也會記錄位置

基地台蒐集到手機信令資料涵蓋個人使用者全日的移動紀錄，信令資料分析的原理即是利用前述移動紀錄，解構成為使用者全日的旅次行為鏈，藉由點位移動的特徵（如距離、時間等）判斷旅次活動或移動過程。結合重要活動地點的特徵判斷（例如：家地點、工作地點、學校地點、遊憩據點、重要場站等），將完整旅次鏈切分為逐段旅次行為，作為運輸需求模式基礎分析資料。簡易分析流程如圖 4 所示。

由於信令資料屬大樣本資料，為配合運輸評估模型的分析需求，需透過一連串的资料篩選、

合併、分析等方式，才可有效應用。其處理流程包含資料擷取與定義、原始資料篩濾、移動/停留判斷、停留點特徵定義、旅次串連與旅次目的判別、旅次率計算、旅次放大等，如圖 5 所示。

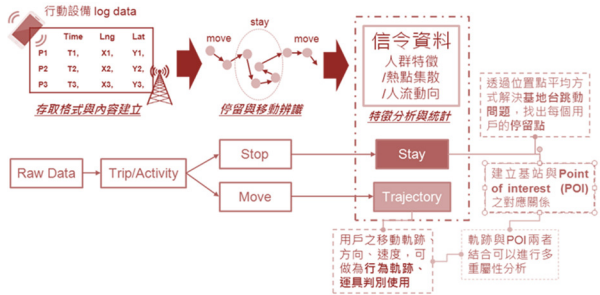


圖 4 信令資料處理流程



圖 5 信令資料旅次建立方式

(三) 信令資料處理與旅次起迄推估

篩選評估行政區範圍內手機用戶的信令資料之界內外活動紀錄，藉以切分出評估範圍內所有界內外旅次起迄資料，並應用前述信令資料處理所得之旅次起迄與特性資料作為分析基礎，信令資料分析處理作業流程如圖 6。

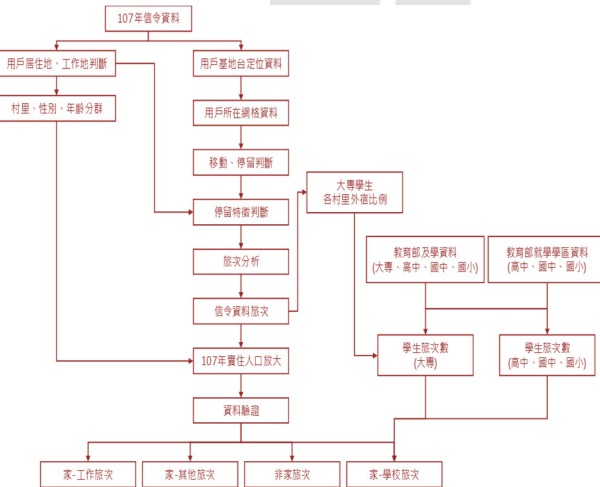


圖 6 信令資料分析處理流程

1. 篩選評估範圍內的手機信令使用者，平、假日資料分析時間範圍為民國 107 年 5 月全月（避開寒暑假及特定節日月份），每日涵蓋共 24 小時之旅次資料。
2. 基於個人資料保護法，各用戶之個人資訊與所在位置為機密資訊，因此針對用戶所屬之國際行動用戶辨識碼（International Mobile Subscriber Identification Number, IMSI）轉編成臨時性 ID 資料。
3. 實際基地台位置點則轉為以 250 公尺乘以 250 公尺之「網格」表示，再以網格之中心座標作為該資料點之座標。
4. 原始資料依照空間與時間性值判斷用戶當下之活動性質（初步切分為移動/停留兩大類）。
5. 停留點將依照每個用戶連續之活動特徵進行分類與定義，定義類別包含「家」、「工作」、「學校」與非家、非工作、非學校地點之「其他」。
6. 將用戶每日之時間連續的位置集合串連為旅次鏈，並依照停留點之特徵性質分類不同停留點間之旅次目的，分類包含家－工作旅次（Home Base Work；HBW）、家－學校旅次（Home Base Education；HBE）、家－其他旅次（Home Base Other；HBO）、非家旅次（None Home Base；NHB）四類。
7. 透過網格與地理圖資、行政分區、交通分區等之比較，作為判斷旅次是否跨界之依據，並將其進一步分類成界內、界外、跨境旅次。
8. 依照評估範圍之居住地點、年齡、性別結構分類後，並依照母體類別進行不同旅次率之分析。
9. 依據信令資料樣本居住地、年齡層、性別資料進行放大，放大後旅次數建立旅次分布表。其中，考量到信令資料係以用戶實際居住地點進行判斷，實務上亦應利用實住人口進行放大，因此參酌民國 99 年人口普查資料，將民國 107 年戶籍人口轉為實住人口後，再依據實住地點的性別、年齡人口進行信令資料放大。

10.篩選評估範圍內旅次，並依各旅次目的將放大率進行加總，得各旅次目的之放大後旅次數。再將各旅次目的之旅次數除以推估後的民國107年實住人口，得到各旅次目的旅次率。

(四) 信令資料分析結果

1. 熱點分布

應用手機信令資料分析，觀察都會區地區平日全日旅次停留之分布情況，以行政區尺度探討旅次停留熱點分布特性，如圖 7 所示。可看出臺南市區主要的旅次發生熱點集中在某些區，顯示民眾活動集中特性與該市區運輸及產業活動息息相關。

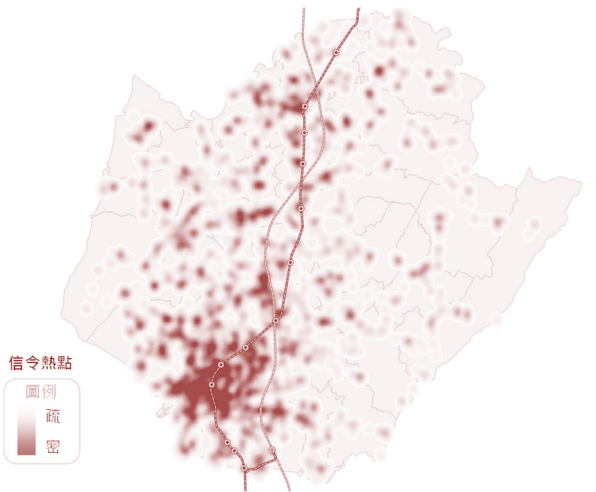


圖 7 某地區平日全日信令熱點分布圖

2. 全日旅次起迄分布

分析信令資料可以顯示都會區間活動旅次的情况，藉以瞭解人流分布情形，都會區間活動旅次以曾停留 A 區所占比為最高，其次為 B 區，C 區位居第三，由圖 8 中亦可觀察到其他區往來 A 區十分熱絡。

3. 尖峰熱點分布

圖 9 可發現晨峰時都會區活動熱點以住宅區及工業區週邊為主，分布較廣，昏峰熱點則以商

業熱絡之區域為多，分布相對集中在舊市區核心區。

就活動特性來看，主要熱點集中於某些行政區之人口稠密地，聚集熱度以晨峰、昏峰最為明顯。進一步觀察主要旅次移動廊帶，主要集中在省道等路廊周邊。後續可結合整體軌道規劃構想，作為路廊研選與評估之參考。

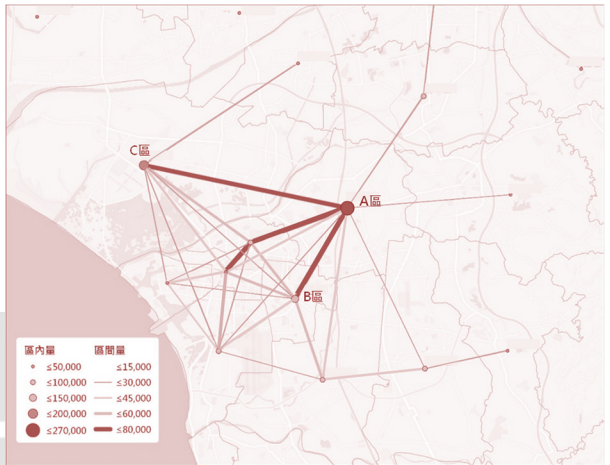


圖 8 都會區信令資料旅次起迄分布



晨峰 (7:00) 旅次發生熱點 昏峰 (17:00) 旅次發生熱點

圖 9 晨峰與昏峰時都會區活動熱點

四、依旅次分布情形規劃整體路網及優先路線

(一) 潛力路廊及潛力路線篩選

根據人口密度、旅次吸引點、手機信令熱點及道路寬度限制進行評估，篩選出整體路網之潛力路廊如圖 10，將主要市區道路寬度適合設置捷運路線進行圖面標示，再配合系統特性、旅客熱點及適合設置道路選擇可能之路線。

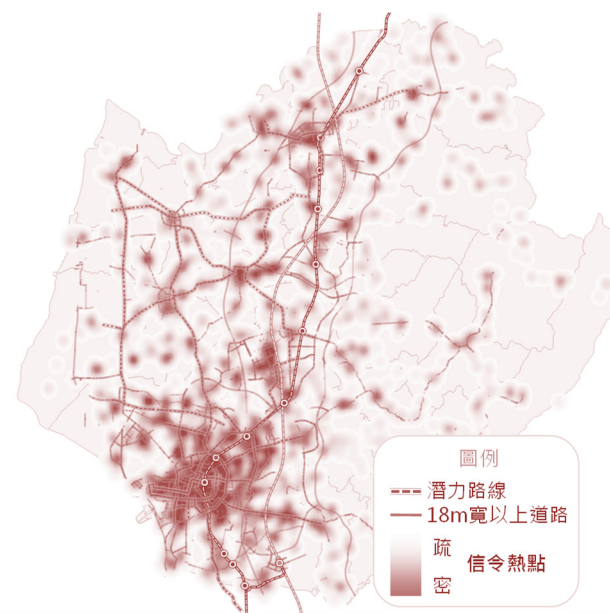


圖 10 評估範圍之潛力路廊示意圖

從潛力路廊中篩選出潛力路線如圖 11，即為該區域捷運整體路網圖。

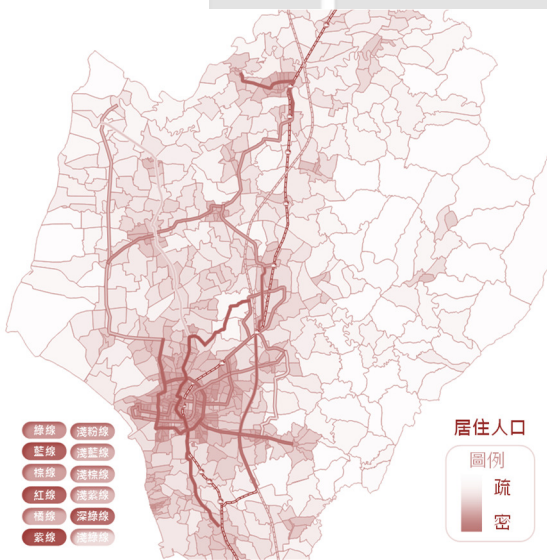


圖 11 評估範圍之潛力路線（整體路網）示意圖

（二）優先路線篩選

計算潛力路線周邊 800 公尺範圍內之基年及目標年活動人口，再適當訂定基年及目標年每公里活動人口數篩選門檻，如 13,000~20,000 人次，篩選出優先路線如圖 12。

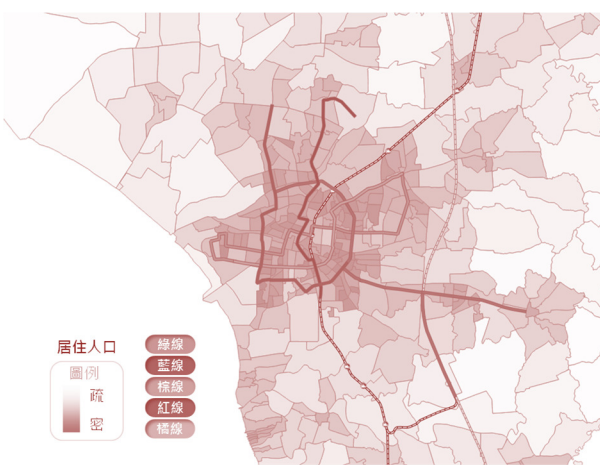


圖 12 評估範圍之優先路線示意圖

五、依運量及經效財務分析排序路線推動順序

（一）運量運測

運量預測分析需考慮優先路線及相鄰交通建設，如高鐵、臺鐵、公車、機場及轉運站等，再考量不同變數，例如強化供給面政策假設、路廊未來沿線開發程度、大眾運輸轉乘規劃整合以及合理管制私人運具使用等其他相關配套策略，分析情境依變數成長幅度不同設定三種分析情境，分為樂觀、中估與保守等。

根據前述相關參數假設及模擬情境設定，分析優先路線之全日與尖峰運量預測分析結果，透過預測結果查看營運初期保守情境、中估情境及樂觀情境之各路線全日運量。

一般為透過中估情境假設未來優先路線沿線配合 TOD 改善策略與各運具運輸政策之推動，計算目標年大眾運輸使用率、平日大眾運輸總量及尖峰小時運量，可瞭解各優先路線之間運量的排名，作為後續分期路網推動優先順序之參考。

根據各情境運量預測模擬結果，可以計算出中估情境目標年之整體路廊運量密度（人次/公里），再參酌交通部運輸研究所民國 106 年「都市軌道運輸系統型式發展之研究案」提出之收入、支出平衡之運量密度門檻值，以輕軌運輸為

例，整體路網階段之公共運輸旅客門檻值為 1,750 人次/公里、可研規劃軌道運量密度建議參考門檻值為 3,500 人次/公里、國內捷運達到損益平衡運量密度值為 2,362~3,524 人次/公里。依此結果便可排列出捷運優先路線推動之順序。

（二）營運系統分析

捷運運輸系統發展演進百餘年來，已發展出許多不同技術系統類型，在選擇評估地區適合之軌道系統，必須就建置成本、營運維修成本、營運績效及政策推動等面向加以評估。

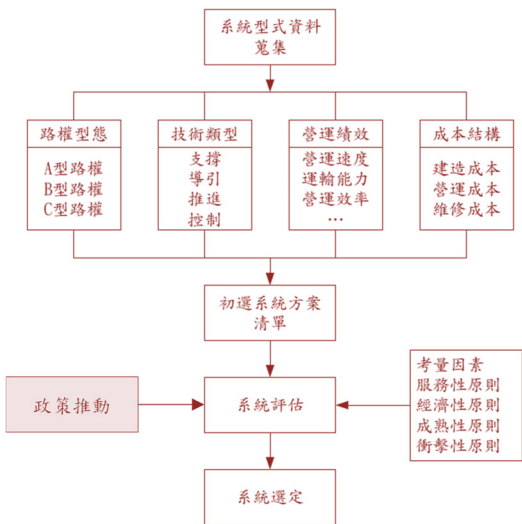


圖 13 捷運系統型式選用評估流程

（三）經濟與財務效益分析

經濟效益部分，成本項分析包括工程建造費、用地費、營運維修成本及重增置成本等，效益項分析包括旅行時間節省、行車成本節省、肇事成本節省、空氣污染節省、CO₂ 排放減少、地價增值及觀光遊憩等效益，綜合評估結果之淨現值大於零、益本比大於一則為值得投資之建設。

財務效益部分，成本項分析同經濟效益，收入項分析包括票箱收入及附屬事業收入等，之後進行自償能力及財務報酬指標分析，綜合評估結果之自償率、經營比及營運收支比等數據判

斷整體財務效益情形，及營運期之收支情況是否足以自給自足。

六、結 論

近年來各縣市希望藉由引進新穎、舒適、安全、便捷之優質軌道運輸系統，提高市區公共運輸之運作機能，刺激民眾搭乘公共運輸工具意願，又能滿足周邊重要活動據點與開發計畫之旅運需求，但依規定在推動捷運建設前，必須先完成整體路網規劃，除了該縣市轄內範圍外，有時鄰近縣市亦須納入考量範圍，以整體區域發展的角度進行規劃，例如新竹縣市有著生活密不可分的關係，依信令資料顯示，在竹科上班的旅次，大部分與竹北地區有著頻繁的來往關係，因此新竹地區的路網必須以新竹縣及新竹市共同考量才能反映出當地旅次特性。

隨著現代科技的演進，電腦分析能力變快變強，利用手機信令資料進行旅次大數據的分析，可以更有效、更精準的掌握旅運特性，使得後續分析結果更具有代表性，消除以往人工問卷調查產生的盲點，並可快速看出旅次流動方向與密集程度，在都市蛋黃區人口密集處尋找旅次流動脈絡；在蛋白區則可分析出與蛋黃區間人流走向。

捷運建設具有規模大且資金回收不易的特性，雖說捷運屬於公共事業，但如能規劃在真正需要的地區，進而增加城市內移動的便利性，並帶動地區的發展，使得捷運營運可以維持良好狀態，才為一個好的捷運建設。

參考文獻

交通部運輸研究所（2019）捷運路網規劃設計參考手冊之研究（1/2）
臺南市政府（2019）臺南市大眾捷運系統整體路網評估一期中報告
交通部運輸研究所（2017）都市軌道運輸系統型式發展之研究