

市區道路橫斷面空間配置最佳化¹

OPTIMIZING CROSS-SECTIONAL SPACE ALLOCATION OF URBAN STREETS

邱裕鈞 Yu-Chiun Chiou²

韓尚凝 Shang-Ning Han³

(110 年 4 月 19 日收稿，111 年 2 月 8 日第一次修正，111 年 7 月 11 日接受)

摘 要

市區道路的寬度及橫斷面配置決定一個城市發展的效率性及永續性。然而市區道路的寬度和橫斷面配置常因都市規劃者和交通工程師分別決策而缺乏整合性及一致性。因此，如何根據毗鄰土地使用狀況及道路在路網中所屬之道路定位，設計最佳的道路寬度及橫斷面配置是相當重要的議題。基此，本研究發展一個道路橫斷面配置最佳化模式，在給定道路寬度的情況下，同時考慮人本、安全、效率、環保及延續五個面向的目標，並求解汽車道、機車優先道、自行車道、人行道以及取決於道路等級的道路附屬設施（如中央分隔島、公共設施帶）之最佳配置數量及寬度。藉由設定 0.25 公尺作為道路元素設計之基本寬度，將原先混合整數規劃模式，轉換成純整數規劃模式，並透過簡單加權法以及層級分析法取得之不同土地使用（如商業區、住宅區、工業區等）各目標權重組合，以窮舉法和套裝軟體 LINGO 進行求解。為展示模式之應用性，本研究以北投士林科技園區為例，挑選園區內三個路段（承德路、福國路、承平路）進行模式求解與比較。結果顯示承德路目前的人行空間配置不足，將無法滿足未來園區開發完成時之行人需求；福國路延伸段建議未來可單向配置四車道、人行道淨寬 4.75 公尺；

-
1. 本研究為國土管理署「計畫道路寬度與車道配置與毗鄰土地使用類型與強度之關聯分析」計畫之部分成果。
 1. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系教授（聯絡地址：10044 臺北市中正區忠孝西路 1 段 118 號 4 樓，電話：02-23494940，E-mail：ycchiou.itt@nycu.edu.tw）。
 2. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系交通運輸碩士班碩士。

至於承平路，則建議可單向配置二車道及自行車道。結果證明本研究提出之模式可以針對五個面向設計最佳化之道路橫斷面配置。

關鍵詞： 市區道路、都市計畫、土地使用、橫斷面配置、非線性整數規劃

ABSTRACT

The width and cross-sectional allocation of city streets determine how efficiently and sustainably a city can move forward. Unfortunately, the width and allocation of urban streets are usually separately determined by urban planners and traffic engineers lacking of integration and consistency. Therefore, how to optimally design the width and cross-sectional allocation of city streets simultaneously according to their neighboring land use and level in the city roadway network is particularly essential, which can provide valuable guidelines for urban planning review process. Based on this, this study aims to develop an optimization model for cross-sectional allocation of urban streets under given road width. The model simultaneously optimizes five objectives, including human-oriented, safety, efficiency, environmentally friendly and consistency. The model optimizes the numbers and widths of lane types (for motor vehicles, motorcycles, bikes and pedestrians) as well as road ancillary facilities in association with the road level (i.e., median, public facilities strip). By setting a minimum design unit of 0.25 m, the mixed integer model can then be converted into a pure integer programming model. By using the simple weighted sum method and sets of weights for various land use types (commercial, residential, industrial...) obtained by Analytic Hierarchy Process (AHP) survey, the model are solved by total enumeration method and package software (LINGO), respectively. To show the applicability of the proposed model, a case study on Beitou-Shilin Technological Park is performed and three selected streets (Chengde Road, Fuguo Road, Chengping Road) in the park is chosen for comparisons. The results of Chengde Road show that the current allocation lacks of pedestrian space and fails to meet the future pedestrian demand. The model suggests an allocation of four motor vehicle lanes and a 4.75m sidewalk for the extension of Fuguo Road. As for Chengping Road, it suggests an allocation of two motor vehicle lanes and a bike lane. The results suggest that the proposed model can design an optimal cross-sectional allocation towards five objectives.

Key Words: Urban streets; Urban planning; Land use; Cross-sectional allocation; Nonlinear integer programming

一、前言

市區道路橫斷面的構成要素依道路種類而異，其規劃元素包括：車道、人行道、路肩、

交通島、路邊停車帶、公共設施帶、排水設施、地下管線、及其他(國土管理署^[1])，構成要素參考圖如圖 1 所示。雖然道路橫斷面配置會受限於既有道路寬度的限制而有所不同，但是在都市計畫規劃階段，計畫道路的寬度及橫斷面配置仍保有調整的彈性，因此，考慮計畫範圍所屬之土地使用分區，並提出合適的計畫道路寬度及其橫斷面配置，是重要且值得探討的課題。然而在都市計畫審議過程中，這部份很少被進一步討論或明確規範，國外相關文獻則較多在探討整體都市空間之分配，較少著墨於某一道路橫斷面之配置方法。故本研究欲找出道路橫斷面最佳之配置方法與設計參考。

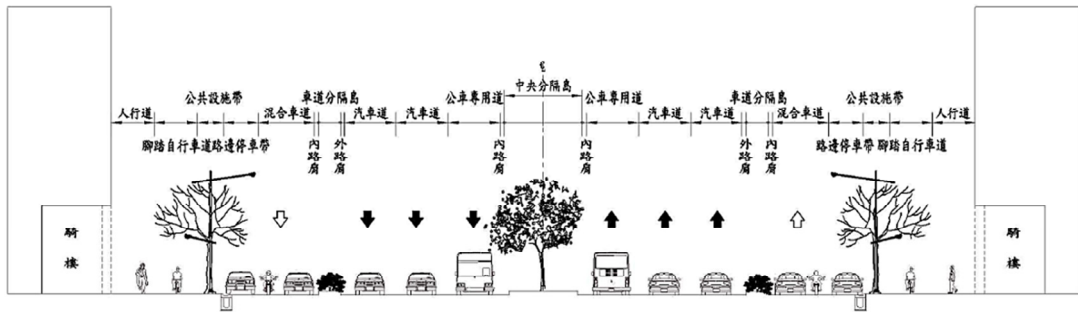


圖 1 市區道路斷面構成要素參考圖

近年來，人本交通的議題愈來愈受重視，亦是目前市區道路規劃管理的主要原則。有別於以往「以車為本」的觀念強調車流順暢，「以人為本」保護行人、尊重弱勢，並讓人與車皆能公平使用道路的觀念，已隨著時代演進與社會進步成為了現代市區道路規劃的重點。道路的劃設不再為了服務更多車輛而將大多數空間配置予汽車道，而是更著重於考量行人、自行車騎士等弱勢用路人之使用空間，或是針對載客量較高的公共運輸，提供更友善的供給環境。

此外，隨著臺灣市區道路交通量逐年增長，在尖峰時段往往無法滿足交通需求，導致市區道路的服務水準低落，且臺灣汽機車持有率高，市區道路上的混合車流環境亦使車流相互交織與干擾情形嚴重，進而導致我國道路交通事故逐年成長，機車、自行車及行人的傷亡人數也居高不下。依據交通部道路交通安全督導委員會資料顯示，民國 100-109 年我國機車騎士因交通事故而死亡人數占我國交通事故總死亡人數高達 59%；行人及自行車騎士死亡人數則共占 22%，兩者合計共占交通事故總死亡人數之 81%，因此近年來各界對於保留道路空間予弱勢用路人的概念逐漸興起，透過車道空間的重新配置，騰出額外的道路空間給弱勢用路人，亦為值得探討的議題。

道路橫斷面配置不僅影響交通安全，同時也會影響整體運行速率。隨著臺灣已由高齡化社會邁入高齡社會，甚至預期將在十年內達到「超高齡社會」。如何在符合道路設計工程需求下，確保道路系統足以負荷機動車輛的移動需求，且要進一步能具備步行適合性 (walkability)、自行車騎乘適合性 (cyclability) 以及公共運輸導向性 (transit-oriented)，以符

合安全、人本、效率、環保及延續之目標，亦是發展廣義人本交通的重要環節之一。

基此，為能在兼顧人本、安全、效率、環保及延續的目標下，營造合適的道路環境，並找出不同土地使用分區、不同道路等級與不同交通需求量的情形下道路橫斷面最佳之配置組合，提供作為都市計畫審議過程中之參考，本文以數學規劃方法建立一個道路橫斷面配置最佳化模式，求解在不同土地使用分區以及不同交通需求量的情況下，各道路元素最佳之配置數量及寬度，並蒐集實際案例之旅運需求、運具分配、交通量等資料，透過實際應用檢視模式結果，期望能研析並建立道路橫斷面配置的準則，供未來都市計畫變更審議參考。

二、文獻回顧

針對道路橫斷面空間配置之相關研究及相關設計規範，分別回顧如下：

2.1 道路橫斷面空間配置

Cantarella 等人^[2]考量車道配置及號誌設定最佳化，以最小化總旅行時間為目標式，限制式包含綠燈時間連續性、使用者均衡等面向，決策變數分為車道配置、節線分配、號誌階段等整數變數，以及號誌設定、號誌時差、道路費、停車費等連續變數，建立數學模式並以不同的巨集演算法求解整數變數部分，再以迭代程序 (iterative procedure) 求解連續變數部分，最後再將兩部分求解結果合併，比較不同解法之結果及計算效率。透過義大利三個城鎮的實例應用，結果顯示遺傳演算法、模擬退火法與禁忌搜尋法的效果較爬山演算法佳，而不同的演算法及使用參數對目標值之影響亦不甚相同，說明了選用適合的演算法及參數之重要性。Gonzales 等人^[3]探討街道空間如何配置予相互競爭的運具對使用者之可及性 (在給定時間及金錢條件下，個人能接觸到就業、購物、休閒娛樂等的機會) 的影響。納入巨觀基本圖 (Macroscopic fundamental diagram) 的概念，以高速公路高乘載車輛車道為例，透過模擬顯示在啟用高乘載車輛車道後，能通過瓶頸點的車輛變多了，原因是專用車道減少車輛變換車道的可能，並提升車流的流暢度。同理，若在市區道路上設置公車專用道將能有效減少不同車種間的相互影響，小汽車不會受體積大、速度慢且須經常停下的公車影響，公車亦不會受到小汽車等候車流的阻礙。作者總結認為給予具永續性或較有效率之運具專用空間 (如自行車道、公車專用道)，即使壓縮到小汽車之空間，仍能改善包含小汽車在內各運具的可及性，在足夠的道路寬度下，可透過設置專用車道以提升總載客容量 (passenger-carrying capacity)。Elhamy^[4]提出道路配置的改善如何影響行人安全，並以埃及亞歷山大濱海大道開發計畫為例進行探討。探討項目包含「行人穿越距離」、「行人地下道、行人穿越道及穿越道號誌」、「交通寧靜化及減速丘」、「速限」、「人行道」、「路邊停車」、「實體阻隔」、「街景與街道家具」、「照明」與「娛樂設施」。其中，沒有足夠之地下道或行人穿越道、街旁餐廳店家占用人行道空間營運、品質欠佳的人行道

等現象皆會導致或迫使行人貿然穿越馬路或與機動車輛同行，造成行人交通事故。在埃及，行人死亡事故占總死亡事故之 20%，且死亡事故件數逐年上升，使埃及不得不重視此問題。作者建議可縮減車道寬度、拓寬濱海大道的人行道寬度並減少汽車道數為雙向各 4 車道，此外亦須增加地下道之數量，同時嚴格取締汽車違規超速行為，方能打造行人友善的空間。Zheng 等人^[5] 鑒於過去對於公車專用道之劃設與管理相關研究大都忽略了動態的交通量變化以及在號誌路口等候車隊回堵造成擁擠的現象，也缺乏量化的方法來估計公車專用道的影響或是其營運之最佳化，因此作者提出一個雙層結構模擬最佳化的流程，來尋找分配都市空間給公車專用道之最佳情境。其中，目標式為最小化乘客擁擠程度；上層為需要分配多少空間給公車專用道，下層為公車專用道要設在何處。首先會根據現有之道路設施及旅運需求模擬一個情境作為初始情境，並依據交通狀態及容量估算旅行成本；接著考量用路人的運具選擇行為並判斷是否達到均衡，若未達均衡，則重新計算需求；若達平衡，則以用路人的立場判斷是否有存在擁擠現象，若有，則進行道路空間重新配置；若無，則得出最佳的道路空間配置情境。透過瑞士日內瓦市中心路網的模擬結果發現，最有效率的分配方式為將道路空間的 15% 配置給公車專用道，而最佳的配置方式為將專用道劃設在相連接的廊道上，而非斷續地劃設在嚴重擁擠的路段上。Gössling 等人^[6] 欲得知都市空間中交通建設的分佈情形以及永續運輸的發展情形，利用高辨識率數位衛星照片結合地理資訊系統，分別計算私人機動運具、公共運輸、自行車以及行人被分配到的可用空間，其中包含道路、停車空間、公車專用道、自行車道、人行道等元素。並以德國佛萊堡 (Freiburg) 內四個型態不同的地區作為分析區域。結果顯示，其中三個地區將近六成的空間都以車道或是停車空間的形式分配給了私人機動運具，僅最晚開發的 Vauban 的比例約為 40%；而自行車的空間只佔 1.3% 至 4.1%。然而在佛萊堡自行車旅次占總旅次約三分之一，因此作者認為自行車使用者是目前空間分配下最主要的弱勢者，並建議必須透過都市空間重整來創造更永續的交通環境。

2.2 國外道路空間及橫斷面配置設計規範

近年來，美國的道路設計準則逐漸納入「人本交通」的概念，考量運具的需求、土地的使用、空間的平衡與環境的美化等，著重人的安全與舒適程度，以及公共空間的品質提升。美國全國城市交通官員協會 (National Association of City Transportation Officials, NACTO) 所出版的《都市道路設計手冊》(Urban Street Design Guide)^[7]，針對不同型態的道路與路口提出道路配置的改善準則：包括縮減車輛的行駛空間至 10 英尺 (約 3.05 公尺)，能迫使道路駕駛人降低行車速率；並且藉由拓寬人行道，增加行人的公共空間，將路權回歸於人。根據美國聯邦公路總署 (Federal Highway Administration) 的行人設施使用手冊，在學校、轉運站附近，或是行人密度較高的住宅區、商業區都有迫切的需求，可採用較寬的人行道；若能把人行道與車道分離，便能降低行人與車輛發生碰撞的可能，以提供給行人一個安全、易行性高的行走空間。此外也依據美國身心障礙法案，針對輪椅使用者給予適當的人行道空間規範。另自行車的騎乘環境亦隨著使用比例提升而逐漸受到重視。

美國國家公路與運輸協會 (American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO) 的《自行車設施設置手冊》(Guide for the Development of Bicycle Facilities)^[8] 規範一般自行車道以 5 英呎 (約 1.5 公尺) 為準則, 不同環境可斟酌修正為 6 至 7 英呎 (約 1.8 至 2.4 公尺), 如考慮路邊緣石與排水溝, 或是護欄、緊鄰路邊停車格等設施, 應預留些許空間避免自行車擦撞路邊設施或撞上開啟的車門。

德國道路及交通研究學會 (Road and Transportation Research Association, FGSV) 出版之《都市道路設計綱領》(RASt 06)^[9] 中, 建議在規劃道路橫斷面配置時需考量道路的交通特性與周邊建成環境。其中, 交通特性包含連接功能、道路功能與交通量; 建成環境則包括土地使用類型、周邊地區土地利用特性與道路空間條件。並且針對橫斷面設計提出五項最重要之設計原則, 分別為 1. 考慮公共運輸的車道設計 2. 自行車之管理 3. 人行道區域的使用分配 4. 安全穿越 5. 街道空間的基本設計理念。此外, 在考量交通特性與建成環境特性之後, 建議在一般情況下, 道路兩旁及道路空間可以以 30:40:30 的比例作為配置標準。至於在設計車道、自行車設施及行人設施之寬度時, 也須遵守相關原則: 行車道每個方向通常是實體分隔, 單車道的設置寬度為 3.25 公尺; 有自行車專用道, 則車道寬為 3.75 公尺; 寬度為 5 公尺以上可設為雙車道, 單向雙車道通常寬 6.5 公尺。自行車道在寬度為 2 公尺的停車道旁, 建議自行車專用道寬度為 1.5 公尺。人行道部分, 基於兩個行人能夠相互通過的要求, 人行道寬度至少為 2.5 公尺; 行人量較少的地區 (如: 鄉村地區), 人行道寬度則至少為 1.5 公尺。此外, 該規範亦提及當都市道路空間不足以滿足所有需求時, 應優先考量行人與公共運輸之便利性, 縮減機動車輛車道之寬度, 藉以減少整體車流速度與流量, 降低機動車輛對道路周邊之影響 (如: 污染物排放、噪音)。

愛爾蘭《都市道路設計手冊》(Design Manual for Urban Roads and Streets)^[10] 提倡永續發展, 強調所有道路使用者的可及性, 並優先考慮步行、自行車和公共運輸, 目標盡量減少汽車的使用, 在促進土地使用與能源有效利用方面, 提供混合土地用途以盡量減少運輸需求, 並盡量減少溫室氣體排放。並且在整體道路路網設計上, 列舉 1. 連結性與穿透性 (Connectivity)、2. 永續性、3. 安全性、4. 易讀性 (Legibility)、5. 在地感 (Sense of Place) 等五項道路特性作為設計準則, 期望能透過這些設計準則, 在新運輸政策達到減少旅次需求、最佳化運輸路網效率、減少對於石油的依賴、減少運輸廢氣排放與提升大眾運輸可及性之目標。並以愛爾蘭 Newcastle 都市計畫為例^[11], 依據不同的土地使用 (發展擴張區/發展邊緣區) 與道路等級 (鄰里通道/地方通道), 提出不同橫斷面配置模組。

新加坡近年來的設計準則亦強調藉由友善行人道路設計, 減少民眾對機動車輛的依賴並減少道路擁擠問題。其主要有三大方向策略, 分別為改善並擴大公共運輸、提供其他交通方式、管理並抑制私人運具之成長。新加坡新版街道設計手冊中^[12], 說明橫斷面的配置會隨道路等級、速限不同而有所不同, 並會為自行車和行人留設更多空間。而在新加坡之《道路施工手冊》(Street Works Proposals Relating to Development Works) 規定街道之橫斷面配置應配合土地使用 (分為工業區、公有住宅區、私有住宅區等), 除植栽帶與人行道為固定寬度設計外 (分別為 2 公尺及 1.5 公尺), 其他配置元素包含車道數、中央分隔、車

道寬、路肩與服務道路、植栽帶、人行道，以及排水溝等應依道路類型及土地使用分區而有不同配置寬度。

日本的道路規劃設計主要係依據《道路構造令》及其相關子法之規範^[13]。有鑑於道路的類型、所屬的區域、地形的狀況以及設計交通量的差異，皆會對道路沿線的橫斷面組成有所影響，故在實務上將道路進行劃分，並分階段規範實務設計所對應的標準，將能降低因應不斷持續改變的路況而進行設計條件的改變之困難度。而橫斷面的組成包含車道、人行道以及軌道及綠化之相關道路元素。與車道相關的規範包含車道數、車道寬、中央帶、路肩、超車道、爬坡車道及副車道；與人行道相關的規範則包括自行車道、自行車併人行道、人行道、道路設施及行人停留設施等；此外針對其他如軌道或綠帶的規定，皆在道路構造令中有詳細的規範。依據道路構造令第 10 條第 3、4、5 項，根據自行車交通的情況，並確保允許相對的自行車相互通過，自行車道的寬度以設置 2 公尺或以上為基礎；自行車併人行道寬度是考慮自行車和該道路上的行人的交通狀況而訂，行人交通量大的道路應為 4 公尺以上，其他道路應為 3 公尺以上，確保「雙向輪椅及雙向自行車」或「單向自行車、雙向輪椅」可以相互通過；人行道的寬度，考慮行人步行需要，應該至少維持 2 公尺以上，以便雙向輪椅可以相互通過；綠化帶則以 1.5 公尺為標準，並須綜合考慮道路結構、交通情況與沿線土地利用情況來決定。

2.3 小結

2.1 節回顧之文獻大多探討整體都市空間之分配，透過文獻可發現發展高乘載率且有效率的公共運輸及對整體都市永續性的重視儼然已成為道路空間優先配置之趨勢，亦有文獻針對單一設施如公車專用道、高乘載車道，檢視其設置與否對所欲探討目標的改善程度，然而少見有文獻針對單一道路橫斷面之配置進行深入研究，故本研究將對此加以探討。2.2 節回顧美國、德國、愛爾蘭、新加坡，以及日本五個先進國家的道路設計手冊及橫斷面配置之設計準則，由此不難發現現今各國大多會考量不同的土地使用特性或者是道路等級，針對不同特性的區域及道路等級而有不同的配置準則，故本研究亦會將土地使用與道路等級納入考量。此外，也能觀察各國對於人本交通的議題日漸重視，針對弱勢用路人的使用空間（人行道、自行車道、無障礙空間等）有優先配置或改善之考量，以強調行人、自行車騎士及輪椅使用者的需求及路權不能被忽視。透過各國道路橫斷面設計準則，可發現先進國家對於人行步行空間之規劃設計相當重視，亦是道路橫斷面配置中不可或缺的元素之一。而我國目前雖亦積極推動人本交通，然一些對於弱勢用路人用路空間的設計規範仍有改善空間，故國外之設計準則也可以作為我國道路設計規範修正之參考。

三、道路橫斷面配置最佳化模式

為能因應不同交通需求及土地使用，進行道路橫斷面空間之最適配置，本研究提出一

套道路橫斷面配置之最佳化模式。以下分別介紹模式的架構、模式定式，以及求解方式：

3.1 模式架構

市區道路橫斷面的構成要素因道路種類而有所不同，根據內政部頒佈之市區道路及附屬工程設計規範，道路橫斷面構成元素包括：車道（包含汽車道、慢車道、混合車道、機車道、腳踏自行車道及公車專用道）、人行道、路肩、交通島（包含分隔島、槽化島、庇護島及圓環中心島）、路邊停車帶、公共設施帶、排水設施、地下管線、及其他。然在本研究構建之模式中，僅決定汽車道、混合車道、機車優先道、腳踏自行車道及人行道配置之數量及寬度；分隔島、路肩、公共設施帶及公車專用道之數量及寬度則根據不同道路種類的規範，設為已知條件。此外，為避免汽車道和混合車道定義較為模糊，本研究將路段最外側之車道定義為外側車道，其餘皆為內側車道稱之。

本研究模式求解流程如圖 2，首先須已知道路等級、道路寬度和毗鄰土地使用分區，依照道路等級扣除基本道路元素及特定道路元素和道路附屬設施寬度後，所剩餘之寬度為

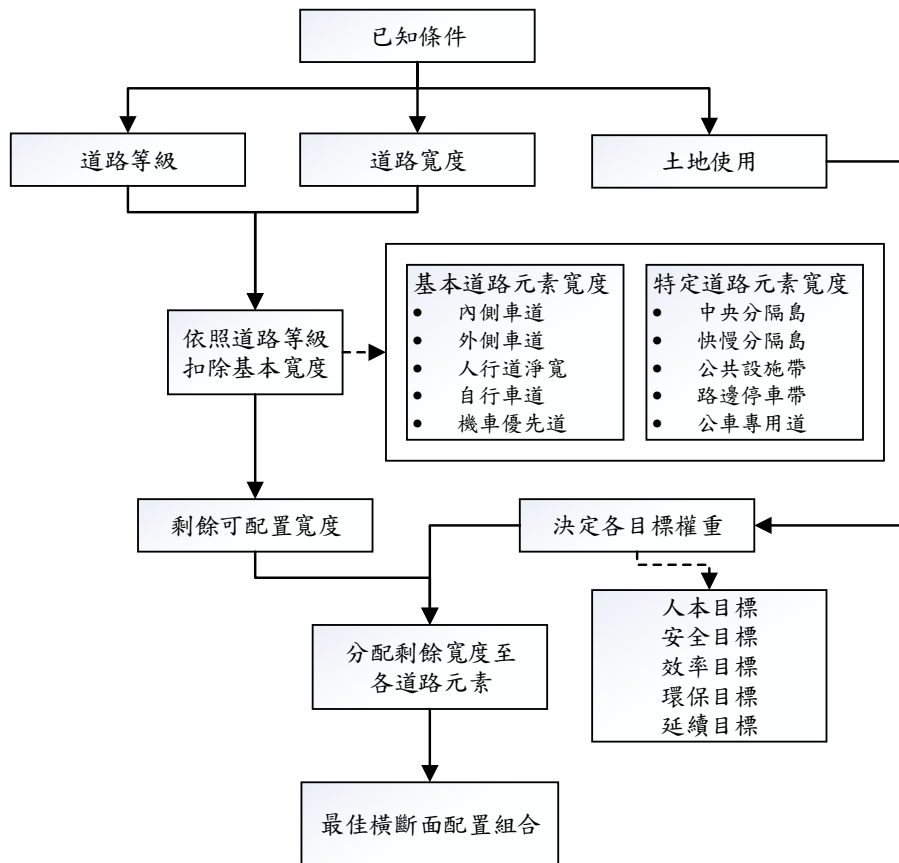


圖 2 模式求解流程圖

可配置寬度，其中特定道路元素包含中央分隔島、快慢分隔島、公共設施帶、路邊停車帶以及公車專用道，因為這些道路元素的寬度無法在目標式中反映。故在模式設定之初，先根據給定條件以及相關規範確定各道路元素之基本寬度，以道路寬度扣除其最小設置寬度，並針對剩餘可配置寬度，同時考量不同土地使用分區對各衡量目標的權重影響，透過模式求解將其分配至各道路元素，最後求得最佳之道路橫斷面配置組合。

3.2 模式構建

本研究欲透過建立道路橫斷面配置最佳化模式，求解道路橫斷面各道路元素之數量及寬度，因此應為一以連續決策變數及整數決策變數表示道路元素之寬度及數量的混合整數規劃問題。然若以連續決策變數表示道路元素寬度，無法確保求解出的道路元素寬度是在實務中有劃設的可能，或具有實質的意義，故本研究針對各道路元素設定單位寬度，將問題轉換成整數規劃問題，求解各道路元素單位寬度的倍數。為使求解結果利於實務應用，本研究建立之模式有以下 3 項假設：

1. 假設每一種道路元素的單位寬度為 0.25 公尺。
2. 假設道路雙向之橫斷面配置為對稱，意即模式僅針對單向配置進行求解。
3. 假設配置的位置依行進速度愈快愈內側、愈慢愈外側。

其中，單位寬度之假設主要係考量可行解空間的大小，當單位寬度愈小時，可行解空間會愈大。以道路寬度 25 公尺為例，若以 0.1 公尺作為單位寬度，其可行解有 2,219 個；若以 0.25 公尺作為單位寬度，其可行解則有 330 個，可行解空間約有 7 倍的差距，故本研究假設每一種道路元素的單位寬度為 0.25 公尺。

本研究模式適用範圍為都市計畫內的交通運輸計畫之規劃層級，因此只會針對路段之橫斷面配置進行探討，亦即本研究模式僅考慮內側車道、外側車道、機車優先道、自行車道及人行道之配置進行求解，而調撥車道、公車專用道等會受城市路網設計影響且須更縝密之設計規劃的元素，雖不在本研究模式適用範圍內，但可因應路網規劃需要，先將其所需空間於道路橫斷面空間中扣除。此外，本研究也不考慮路口漸變及偏心設計的情況，故左、右轉專用道亦非本研究考量的道路元素之一。另本研究模式雖未將內、外側向淨距視為道路元素納入模式進行決策，惟實務上內側向淨距的寬度依國土管理署規範納入中央分隔帶一併考量，外側向淨距寬度則包含在公共設施帶內。

3.2.1 決策變數

本研究之目的在於透過模式求解，將道路剩餘可配置寬度分配至各道路元素，得出一路段之橫斷面最佳配置。為避免求解過程過於複雜且利於未來實務上參考應用，本研究以 0.25 公尺作為單位寬度，故決策變數 x_n 表示第 n 種道路元素被分配到的 0.25 公尺之倍數，為整數變數。本研究考慮之道路元素包含汽車道、混合車道、人行道、腳踏自行車道以及機車優先道，另外將路段最外側之車道定義為外側車道，其餘皆為內側車道，因此後續汽

車道會以內側車道表示之；混合車道會以外側車道表示之。假設單向車道數最多為 5 車道 (4 個內側車道和 1 個外側車道)，故共有 8 個決策變數為 $x_1 \sim x_8$ 。模式之決策變數彙整如表 1。

表 1 決策變數一覽表

名 稱	定 義
x_1	剩餘寬度分配給內側車道 1 之單位寬度倍數
x_2	剩餘寬度分配給內側車道 2 之單位寬度倍數
x_3	剩餘寬度分配給內側車道 3 之單位寬度倍數
x_4	剩餘寬度分配給內側車道 4 之單位寬度倍數
x_5	剩餘寬度分配給外側車道之單位寬度倍數
x_6	剩餘寬度分配給人行道淨寬之單位寬度倍數
x_7	剩餘寬度分配給自行車道之單位寬度倍數
x_8	剩餘寬度分配給機車優先道之單位寬度倍數

根據給定條件，可得各道路元素之基本寬度 b_n ，故在最終橫斷面配置中，各道路元素的寬度 w_n 即為 $b_n + 0.25 \times x_n$ 。

3.2.2 目標式

1. 人本面向

人本面向是以最大化弱勢用路人之服務水準 ($\hat{H}$) 為目標，其中弱勢用路人包括行人及自行車騎士，因此，本研究分別評估行人與自行車在該道路橫斷面配置情況下之服務水準，彙整如表 2，將服務水準 A 級至 F 級分別訂為 5 分至 0 分，而行人與自行車服務水準分數合計，即為人本目標值。

$$\hat{H} = H_{ped} + H_{bike} \quad (1)$$

其中， H_{ped} 為行人服務水準之得分； H_{bike} 為自行車服務水準之得分。

行人之服務水準評估方式，參考 2011 年臺灣公路容量手冊中行人交通設施服務水準等級，以「流率」為準則進行評估，其服務水準會受到行人流量及人行道淨寬影響，如式 (2)。

$$H_{ped_qw} = (Vol_{ped}/15)/w_6 \quad (2)$$

其中， H_{ped_qw} 為行人流率； Vol_{ped} 為尖峰小時行人流量； w_6 為人行道寬度。

而自行車之服務水準則必須分為有設置自行車道及無設置自行車道兩種情形分別評估。在有設置自行車道的情形下，其服務水準評估的準則為流容比，劃分標準如表 2 所示。而自行車道容量之計算方式是參考 Wierbos^[14] 之研究，如式 (3)。

$$cap_{bike}=0.145+0.0111\times w_7\times 3600 \quad (3)$$

其中， cap_{bike} 為自行車道容量； w_7 為自行車道寬度。

若為無設置自行車道情形，本研究參考北卡羅萊納州格林斯伯勒市都市自行車、行人與綠廊開發計畫 (Greensboro Urban Area Bicycle, Pedestrian & Greenway Master Plan)^[15]，其自行車服務水準評估方式係透過交通量、單向直行車道數、有效速限、重車比例、鋪面品質，以及有效寬度等變數，經由式 (4) 求得服務水準。

$$BLOS = 0.507 \times \ln(Vol_{15}/L_n) + 0.199 \times SP_t \times (1 + 10.38HV)^2 + 7.066 \times (1/PR_5)^2 - 0.005 \times W_e^2 + 0.760 \quad (4)$$

其中， $BLOS$ 為無設置自行車道情形之綜合服務水準評分，依據表 2 無自行車道之劃分標準可對照得其服務水準得分 (H_{bike})； Vol_{15} 為 15 分鐘交通量； L_n 為單向直進車道數； SP_t 為有效速限； HV 為重車比例； PR_5 為鋪面品質 (預設為 4)， W_e 為有效寬度。

表 2 行人及自行車服務水準劃分範圍

服務水準	行人 流率 (人/分·公尺)	自行車		服務水準得分
		有自行車道	無自行車道	
A	<23	$V/C \leq 0.35$	$BLOS \leq 1.5$	5
B	23~29	$0.35 < V/C \leq 0.60$	$1.5 < BLOS \leq 2.5$	4
C	30~48	$0.60 < V/C \leq 0.85$	$2.5 < BLOS \leq 3.5$	3
D	49~59	$0.85 < V/C \leq 0.95$	$3.5 < BLOS \leq 4.5$	2
E	60~72	$0.95 < V/C \leq 1$	$4.5 < BLOS \leq 5.5$	1
F	>72	$V/C > 1$	$BLOS > 5.5$	0

2. 安全面向

安全面向是以最小化路段上每年預期發生總事故件數 ($\hat{S}$) 為目標，本研究根據國土管理署^[16] 所蒐集之道路線型、交通事故與交通量資料，以車道數為 2、外側車道寬 3 公尺為基準，建立一事故頻次模式，主要考量變數包含交通量、路段長、車道數及外側車道之寬度，模式結果如表 3。

表 3 事故頻次模式

解釋變數	預期整體事故數 $\ln(\hat{S})$					
	係數	標準差	z	$P > z $	95%信賴區間	
$\ln(\text{ADT})$	0.50626	0.05761	8.79	0	0.39335	0.61917
$\ln(\text{路段長})$	0.79816	0.05664	14.09	0	0.68716	0.90917
車道數 1	-0.3902	0.28168	-1.39	0.166	-0.9422	0.1619
車道數 3	0.28522	0.07926	3.6	0	0.12987	0.44057
車道數 4	0.19533	0.08298	2.35	0.019	0.0327	0.35797
車道數 5	-0.268	0.16449	-1.63	0.103	-0.5904	0.05442
外車道 (公尺)	0.39857	0.16282	2.45	0.014	0.07944	0.7177
外車道平方項 (公尺平方)	-0.0429	0.01699	-2.53	0.012	-0.0762	-0.0096
截距	-9.7846	0.71868	-13.61	0	-11.193	-8.376

3. 效率面向

效率面向是以最小化路段上每人平均旅行時間 ($\hat{T}$) 為目標，本研究引用美國公路總署 (U.S. Bureau of Public Roads) 所發展之路段成本函數 (BPR function)，如式 (5) 所示。在完全沒有車流時，路段會有一個自由流的旅行時間；當路段的車流量愈來愈大時，將會產生壅塞的現象，旅行時間也因而愈來愈長。

$$T = T_f (1 + \alpha (V/C)^\beta) \quad (5)$$

其中， T 為實際通過該路段所需要之旅行時間； T_f 為自由流速率下通過該路段所需要之旅行時間； V 為當時通過該路段的交通量 (pcu/hr)； C 為路段容量 (pcu/hr)； α 、 β 為參數值，建議值分別為 0.15、4。

根據國土管理署^[16]，內車道寬度對事故之影響不顯著，若將內車道寬 3.2~3.4 公尺縮減為 3.0~3.2 公尺，並不會增加事故的發生，且目前實際市區道路內車道寬大部分也都低於 3.4 公尺，未來內側車道之設計亦以寬度 3 公尺設計為主。因此，本研究將內側車道之寬度限制為 3 公尺，並因考慮交通號誌影響，將容量設定為 1000(pcu/hr/lane)；外側車道之寬度則為 3.5 公尺以上，5 公尺以下，且由於除汽車外，亦會有機車及自行車在外側車道上行駛，其體積較小並具有鑽車或併行之行為，故外側車道容量會隨車道寬度增加而改變。雖車道寬度拓寬之主要目的並非增加道路容量，但為使道路橫斷面配置之寬度能反映不同的效率面向目標值，本研究針對外側車道，推估車道寬度對路段容量之影響。惟本研究尚未能找到可靠的車道寬度與容量關係式，故本研究以下列計算方式加以概估，建議後續研究仍應有更完整可靠的關係式，俾能精確推估不同寬度下之車道容量：

市區道路一 3 公尺汽車道的容量訂為 1000(pcu/hr/lane)，而高速公路車道 (3.75 公尺) 容量約 2300 (pcu/hr/lane)，因高速公路不受交通號誌影響，為貼近市區道路受交通號誌影響之情形，本研究假設一寬 3.75 公尺之汽車道容量為其一半，即 1150 (pcu/hr/lane)，再利用內插法推得外側車道寬度對車道容量之影響，為外側車道寬度每增加 1 公尺，車道容量大約增加 200 (pcu/hr/lane)。

至於機車優先道之容量則參考交通部運輸研究所^[17]，將 1.75 公尺之機車優先道容量設為 5400 (veh/hr/lane)；2.5 公尺機車優先道容量設為 7800 (veh/hr/lane)，且因實務上機車優先道之設計，路幅較寬會使機車間交織增加，反而導致道路使用效率降低，故為有效發揮道路之使用效率，機車優先道亦朝車道化的方式設計，故在本研究中，僅考慮 1.75 公尺及 2.5 公尺兩種機車優先道寬度。自行車道容量則參考 Wierbos^[14] 所建立之迴歸式 (式(3)) 計算之。

本研究以 BPR 函數為基礎，藉由汽機車之乘載率轉換，以每個用路人的角度計算於該路段上的平均旅行時間，而非以車輛的角度。在有設置機車優先道的情況下，汽車與機車會分流行駛，意即機車會在機車優先道上行駛，故需分別計算汽、機車的旅行時間。同理，在有設置自行車道的情況下，亦需另外計算自行車之旅行時間。因此共有四種自行車道與機車優先道配置的組合，即「無自行車道/無機車優先道」、「有自行車道/無機車優先道」、「無自行車道/有機車優先道」和「有自行車道/有機車優先道」。在沒有設置機車優先道或自行車道時，則需將機車和自行車之交通量透過小汽車當量 (Passenger Car Equivalent, pce) 轉換成小汽車當量數 (Passenger Car Unit, pcu)，再利用該值進行旅行時間之計算，本研究參考 Adnan^[18]，將機車之小汽車當量設定為 0.3，將自行車之小客車當量設定為 2.27。最後依據配置組合類型，求得路段上每人平均旅行時間 ($\hat{T}$)。

4. 環保面向

環保面向是以最小化路段上每小時之二氧化碳總排放量 ($\hat{E}$) 最小化為目標，不同的行駛速度會對應不同的污染排放係數及排放量。一般而言，道路上移動車輛排放之空氣汙染物與溫室氣體包含一氧化碳 (CO)、碳氫化合物 (HC)、氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x)、粒狀汙染物 (PM) 及二氧化碳 (CO_2)。其中，二氧化碳是明訂的溫室氣體，相較於其他汙染物，雖然對人體健康的影響其實不大，但對環境的危害卻非常顯著，二氧化碳會使大氣層變暖、溫度上升，造成全球暖化，進而造成海平面升高、生物棲息環境改變、糧食短缺等問題。故本研究參考交通部運輸研究所^{[19][20]}，以汽機車二氧化碳排放量作為本研究環保面向目標，透過運輸規劃與汙染排放整合模式，估算路網之汙染排放量。

交通部運輸研究所^[20] 指出，各車種於不同道路類型、不同速率下之二氧化碳排放係數係透過一查找表 (look-up table) 取得，其原現點速率與排放係數之關係式為一四次方之函數，為避免非線性函數造成模式求解不易，本研究將速率與排放係數之關係以迴歸方法轉換為線性關係，汽車與機車轉換後之二氧化碳排放函數如式 (6) 與式 (7) 所示：

$$G_c = 2.247438 + 0.008784S_c \quad (6)$$

$$G_m = 0.447285 + 0.001292S_m \quad (7)$$

其中， G_c 與 G_m 分別是汽車與機車二氧化碳排放係數，單位為（克/秒）； S_c 以及 S_m 分別是該路段上汽車與機車之平均車速，由於效率面向目標式之 BPR 函數求得之旅行時間為路段上的行駛時間（running time），並未考量路口號誌造成的停等延滯時間（stopped delay time），對此，本研究假設每個號誌週期為 120 秒，紅燈時間 60 秒，平均停等 30 秒，意即在該路段上每遇到一個號誌化路口，就需要增加 30 秒的旅行時間，並假設路段每 500 公尺為一個街廓。舉例來說，在一個 1 公里的路段，車輛會遇到 2 個號誌，其總旅行時間為 BPR 函數求得之行駛時間加上 1 分鐘的停等時間，再以此總旅行時間回推車速。

取得排放係數後，將其與路段旅行時間和路段交通量相乘，即可得路段上汽車與機車二氧化碳之排放量，單位為公斤，加總即為本研究環保面向之目標值 $\hat{E}$ 。

5. 延續面向

延續面向是以最小化該路段橫斷面配置各道路元素與上、下游路段各道路元素寬度之差異（ $\hat{C}$ ）為目標。然而，如果欲求解的路段為較封閉或是獨立之路段，其可能不具有上、下游路段，則不需考慮延續面向的目標。在本研究中，上、下游路段的道路橫斷面配置為給定條件，延續面向目標式如式（8）：

$$\hat{C} = \sum_n (w_{nu} - w_n)^2 + \sum_n (w_{nd} - w_n)^2 \quad (8)$$

其中， w_{nu} 為上游路段道路元素 n 之寬度； w_{nd} 為下游路段道路元素 n 之寬度； w_n 為該路段道路元素 n 之寬度。

綜合上述五個面向的目標式，由於各目標式的單位不同，需先進行正規化，再乘上各面向目標之相對權重，計算求解結果之綜合得分，作為最終之目標值。在正規化的步驟中，是透過分別檢視在較大及較小交通量情境下各面向目標的目標值，以設定各面向目標之最大值及最小值。總體目標式如式(9)：

$$\text{Min } Z = a_h \times H + a_s \times S + a_t \times T + a_e \times E + a_c \times C \quad (9)$$

其中， a_h 、 a_s 、 a_t 、 a_e 及 a_c 分別表示人本、安全、效率、環保，以及延續面向目標之相對權重； H 、 S 、 T 、 E 、 C 分別表示人本、安全、效率、環保，以及延續面向正規化後之目標值。

3.2.3 限制式

限制式部分主要是針對各個道路元素之寬度以及道路寬度加以限制。

$$w_n = b_n + 0.25 \times x_n \quad (10)$$

$$w_n = 3 \times d_{wn}, n = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

$$3.5 \times d_{w5} \leq w_5 \leq 5 \times d_{w5} \quad (12)$$

$$1.5 \times d_{w7} \leq w_7 \leq 2.5 \times d_{w7} \quad (13)$$

$$1.75 \times d_{w8} \leq w_8 \leq 2.5 \times d_{w8} \quad (14)$$

$$\sum_{n=1}^8 x_n = 4RW \quad (15)$$

$$x_n \in \text{integer}, \forall n \quad (16)$$

其中，式 (10) 為每個道路元素寬度為基本寬度加上由剩餘寬度分配到的寬度。式 (11) 為內側車道寬度之限制，若有設置內側車道，一車道寬為 3 公尺。式 (12) 為外側車道寬度之限制，若有設置外側車道，一外側車道寬至少 3.5 公尺，最多不超過 5 公尺。式 (13) 為自行車道寬度之限制，若有設置自行車道，一自行車道寬至少需 1.5 公尺，最多不超過 2.5 公尺。式 (14) 為機車優先道寬度之限制，若有設置機車優先道，一機車優先道寬至少需 1.75 公尺，最多不超過 2.5 公尺。式 (15) 為剩餘寬度需全部配置之限制。式 (16) 為整數限制式。

3.3 模式求解

本研究將原始混合整數規劃問題，透過單位寬度之假設，轉換為整數規劃問題，整數規劃問題相較於線性規劃問題通常較難求解，而非線性整數規劃問題在問題規模較大時，其求解難度又再提升。本研究在人本、安全、效率及延續面向目標式中，皆含有非線性函數，因此本研究構建之模式為一非線性整數規劃模式。本研究使用套裝軟體 LINGO18.0 進行求解，另外由於是整數規劃問題，亦透過窮舉法找出所有的可行解，藉以檢視 LINGO 求解結果是否為全域最佳解。

本研究模式的求解流程如圖 2 所示，在給定道路寬度後，先依照道路等級扣除必要道路元素之基本寬度，針對剩餘可配置空間進行配置。因此，本研究根據此邏輯進行窮舉，並歸納出不同道路等級與不同道路寬度之可行解數量。

首先，本研究依據市區道路及附屬工程設計標準，彙整各道路等級必要道路元素之基本寬度，如表 4。其中，主、次要道路單向皆至少需二車道（一內側車道+一外側車道），並且單邊至少留設 1.5 公尺之人行道淨寬及公共設施帶空間，主要道路另需設置中央分隔島 1 公尺；服務道路單向僅保留 3 公尺車道寬作為基本寬度。

以主要道路為例說明，在道路寬度為 20 公尺時，寬度恰巧等於主要道路必要元素最小寬度之總和，故沒有剩餘可配置空間進行配置；當道路寬度為 21 公尺時，扣除基本寬度 20 公尺，尚餘寬度 1 公尺，意即單向有 2 個 0.25 公尺需分配至 8 個道路元素中，共計 36 種組合可能；同理，當道路寬度為 22 公尺時，扣除基本寬度 20 公尺，尚餘寬度 2 公尺，意即單向有 4 個 0.25 公尺需分配至 8 個道路元素中，共計 330 種組合可能，以此類推。可行解的數量能以式 (17) 表之：

$$H_k^N = \frac{(N+k-1)!}{k!(N-1)!} = C_k^{N+k-1} \quad (17)$$

表 4 各道路等級必要道路元素之基本寬度(單位：公尺)

道路元素	主要道路	次要道路	服務道路	道路元素	主要道路	次要道路	服務道路
內側車道 1	3	3	3	自行車道	0	0	0
內側車道 2	0	0	0	機車優先道	0	0	0
內側車道 3	0	0	0	公共設施帶	1.5	1.5	0
內側車道 4	0	0	0	路邊停車帶	0	0	0
外側車道	3.5	3.5	0	中央分隔島	1	0	0
人行道淨寬	1.5	1.5	0	合計(雙向)	20	19	6

其中， N 為分配道路空間之元素總數； k 為剩餘可配置單位寬度 0.25 公尺之個數。當剩餘寬度愈寬時，可行解數量隨之增加，各道路等級、路寬對應之可行解數目彙整如表 5。

表 5 各道路等級、道路寬度可行解數目

道路寬度(公尺)			8	9	10	11	12	13	14	15
道路等級	主要道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	-	-	-	-	-	-	-	-
		可行解數目	-	-	-	-	-	-	-	-
	次要道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	-	-	-	-	-	-	-	-
		可行解數目	-	-	-	-	-	-	-	-
	服務道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	4	6	8	10	12	14	16	18
		可行解數目	330	1,716	6,435	19,448	50,388	116,280	245,157	480,700
道路寬度(公尺)			16	17	18	19	20	21	22	23
道路等級	主要道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	-	-	-	-	0	2	4	6
		可行解數目	-	-	-	-	1	36	330	1,716
	次要道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	-	-	-	0	2	4	6	8
		可行解數目	-	-	-	1	36	330	1,716	6,435
	服務道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	20	22	24	26	28	30	32	34
		可行解數目	888,030	1,560,780	2,629,575	4,272,048	6,724,520	10,295,472	15,380,937	22,481,940
道路寬度(公尺)			24	25	26	27	28	29	30	31
道路等級	主要道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	8	10	12	14	16	18	20	22
		可行解數目	6,435	19,448	50,388	116,280	245,157	480,700	888,030	1,560,780
	次要道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	10	12	14	16	18	20	22	24
		可行解數目	19,448	50,388	116,280	245,157	480,700	888,030	1,560,780	2,629,575
	服務道路	剩餘可配置 0.25 公尺個數(k)	36	38	40	42	44	46	48	50
		可行解數目	32,224,114	45,379,620	62,891,499	85,900,584	115,775,100	154,143,080	202,927,725	264,385,836

四、簡例設計與情境分析

4.1 模式求解結果評估

為檢視使用 LINGO 求解的績效，即求得全域最佳解之比例，本研究設計一簡例，透過 LINGO 求解與窮舉法相互對照，確認 LINGO 是否有求得全域最佳解，以檢視 LINGO 求解之準確性。本研究設定 6 組各運具（汽車、機車、自行車及行人）之交通量，如表 6，從路寬 8 公尺至 29 公尺，以同樣 6 組交通量代入求解，合計 84 次求解，有 50 次求解結果為全域最佳解，比例約 60%。趨勢圖如圖 3 所示。

表 6 簡例各組交通量

組別	交通量				PCU
	汽車	機車	自行車	行人	
A	100	100	40	50	221
B	300	300	80	100	572
C	1000	1000	120	150	1572
D	1750	1750	200	300	2729
E	2000	2000	250	350	3168
F	2500	2500	300	400	3931

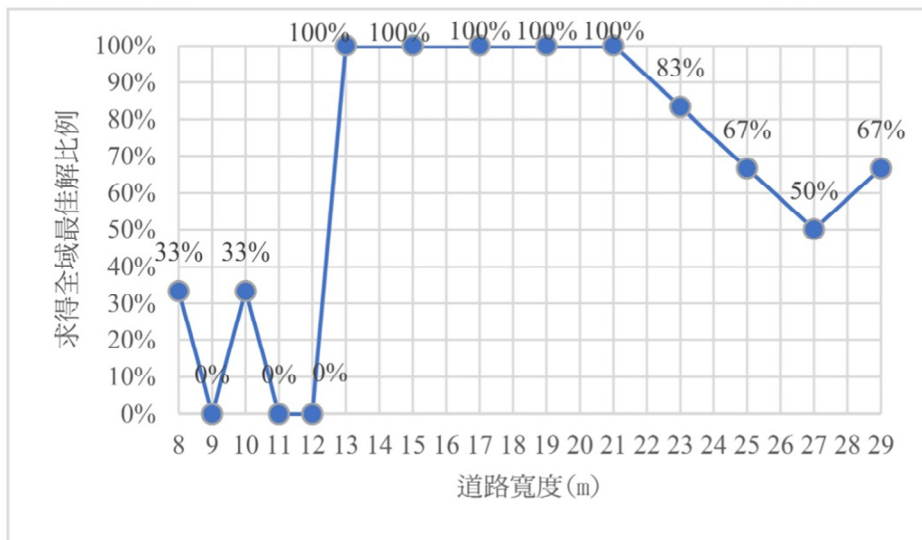


圖 3 LINGO 求解績效趨勢圖

本研究認為造成此現象的關鍵在於剩餘可配置寬度，當剩餘寬度愈寬時，可行解數目愈大，LINGO 可求得全域最佳解的比例愈低。各情境求得全域最佳解的比例如表 7，由於道路寬度 8~12 公尺的情境並未假設基本寬度，使得其可剩餘配置寬度較寬，求解績效亦較不理想。

表 7 不同道路寬度下求得全域最佳解比例彙整表

道路寬度(m)	8	9	10	11	12	13	15	17	19	21	23	25	27	29
剩餘可配置寬度(m)	4	4.5	5	5.5	6	0	1	2	0	1	2	3	4	5
求得全域最佳解比例(%)	33	0	33	0	0	100	100	100	100	100	83	67	50	67

進一步檢視未能求得全域最佳解的幾次求解結果，如表 8，可發現當 LINGO 求解與全域最佳解的差異牽涉到道路元素有無的差別時，如在「D 組，路寬 23 公尺」、「C 組，路寬 25 公尺」中，主要差異在於自行車道設置與否；「E 組，路寬 25 公尺」主要差異在於 LINGO 求解結果會設置機車優先道而無設置自行車道，但根據窮舉法得到之全域最佳解會設置自行車道而無設置機車優先道；設置自行車道的好處反映在較佳的人本和安全目標，由於在此簡例中，人本與安全面向目標的權重較高，使得有設置自行車道的配置結果(全域最佳解)與 LINGO 求解結果之總目標值有較大的差異。而如「C 組，路寬 27 公尺」，其主要差異在於 LINGO 求解將剩餘寬度配置自行車道和機車優先道，而全域最佳解為配置一內側車道，此時，兩者在權重相對較高之安全及延續面向目標皆有較明顯的不同，而使總目標值的差距較大。倘若 LINGO 求解與全域最佳解的差異僅是道路元素寬度些微的不同，如「A 組，路寬 27 公尺」和「B 組，路寬 27 公尺」，則其總目標值差異甚小，皆在 0.7% 以內，屬可接受差異範圍內。根據上述現象，說明本研究所構建之模式確實能反映不同道路橫斷面配置對目標式之影響。

然 LINGO 未能次次皆求得全域最佳解，並且本研究在測試模式時，偶有發生 LINGO 求解結果顯示不可行之情形。對此，由於本研究模式為非線性的關係，透過測試將非線性之 BPR function 中的四次方改為一次方，意即將非線性關係轉為線性關係，發現求解不可行的問題便不存在，故本研究推測少數出現求解結果顯示不可行或是無法求得全域最佳解的主因是非線性問題的緣故。整體而言，LINGO 的求解效果並不理想，而其他常見之求解軟體(如：Gurobi、CPLEX...)目前至多僅能支援求解二次方的問題，無法求解本研究四次方之問題，考量本研究之問題特性屬於規劃層面的問題，並不屬於動態或須即時產生可行解或最佳解之問題，且本研究問題規模並不大，故本研究認為在可接受的時間內，利用窮舉法產生最佳解，亦為一種合適的求解方式。因此，後續分析以窮舉法產生之最佳解呈現。

表 8 LINGO 求解與全域最佳解配置結果之比較

組別，寬度		單向配置結果 (單位：m)							總目標值
		內側 車道 1	內側 車道 2	外側 車道	人行道 淨寬	自行 車道	機車 優先道	公共 設施帶	
D 組， 路寬 23m	LINGO 求解	3	0	4.5	2.5	0	0	1.5	0.1624
	全域最佳解	3	0	3.5	2	1.5	0	1.5	0.1253
C 組， 路寬 25m	LINGO 求解	3	0	5	3	0	0	1.5	0.1543
	全域最佳解	3	0	4	2.5	1.5	0	1.5	0.1148
E 組， 路寬 25m	LINGO 求解	3	0	4.5	1.75	0	1.75	1.5	0.1737
	全域最佳解	3	0	4.25	2.25	1.5	0	1.5	0.1406
A 組， 路寬 27m	LINGO 求解	3	0	4.25	3	0	1.75	1.5	0.1095
	全域最佳解	3	0	4.5	2.75	0	1.75	1.5	0.1087
B 組， 路寬 27m	LINGO 求解	3	0	4.5	2.75	0	1.75	1.5	0.1122
	全域最佳解	3	0	3.5	2.25	1.5	1.75	1.5	0.1118
C 組， 路寬 27m	LINGO 求解	3	0	3.5	2.25	1.5	1.75	1.5	0.1688
	全域最佳解	3	3	3.5	2.5	0	0	1.5	0.1226

4.2 情境分析—不同土地使用分區

本研究之目標式是由人本、安全、效率、環保及延續五個面向的目標組成，然而，各目標的相對權重會隨著不同土地使用分區而改變。因此，本研究透過專家諮詢問卷及層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 進行分析，估計不同土地使用分區 (住宅區、住商混合區、商業區及工業區) 各評估準則之權重值，用以評量各道路橫斷面配置方案的綜合表現。專家受訪者共 10 位，其中包含 5 位專家為具交通領域專長之教授，且多數具參與都市計畫委員會之經驗；另 5 位為管理市區道路之政府主管機關內之專家，10 份問卷皆有效並通過一致性檢定。

依據問卷填答結果，各土地使用分區各目標權重結果彙整如表 9。可觀察到各目標相對權重之特性：人本目標在工業區相對權重最低，安全目標在各土地使用分區相對權重皆高，效率目標在工業區相對權重高，環保目標在各土地使用分區相對權重較低，延續目標在各土地使用分區相對權重中等，整體而言，權重計算的結果趨勢大致皆符合預期，後續分析亦會採用此權重值進行計算。

觀察在固定交通量及道路寬度下，道路橫斷面配置結果隨不同土地使用分區之變化，本研究以 25 公尺作為固定寬度，並且固定汽車尖峰小時交通量 1000pcu/hr、機車尖峰小時

交通量 1000veh/hr、自行車尖峰小時交通量 300veh/hr 以及行人尖峰小時交通量 500ped/hr，其餘給定條件，如基本道路元素寬度、各面向目標式之參數以及上、下游路段之橫斷面配置亦皆固定相同。

表 9 不同土地使用分區之目標權重

土地使用分區/目標	住宅區		住商混合區		商業區		工業區	
	有延續	無延續	有延續	無延續	有延續	無延續	有延續	無延續
人本	0.382 (1)	0.413 (1)	0.352 (1)	0.411 (1)	0.321 (2)	0.365 (2)	0.092 (5)	0.118 (4)
安全	0.355 (2)	0.388 (2)	0.337 (2)	0.377 (2)	0.351 (1)	0.383 (1)	0.362 (1)	0.437 (1)
效率	0.057 (5)	0.074 (4)	0.094 (4)	0.114 (3)	0.115 (4)	0.145 (3)	0.242 (2)	0.293 (2)
環保	0.106 (3)	0.125 (3)	0.090 (5)	0.098 (4)	0.091 (5)	0.108 (4)	0.126 (4)	0.152 (3)
延續	0.101 (4)	--	0.126 (3)	--	0.121 (3)	--	0.178 (3)	--

模式求解結果顯示，住宅區、住商混合區、商業區的道路橫斷面配置結果皆相同，如圖 4 所示，且在該配置下汽、機車之服務水準皆為 C 級，行人與自行車之服務水準皆為 A 級；而在工業區方面，最佳之橫斷面配置結果如圖 5，在該配置下汽、機車之服務水準皆為 C 級，行人服務水準為 A 級，自行車之服務水準為 B 級。此配置結果包含了路邊停車帶，然而路邊停車帶並非本研究模式決策變數之一，意即路邊停車帶的設置事實上並不會對本研究模式的目標式造成影響，但就窮舉法而言，由於模式中延續面向目標並未考慮路邊停車帶，因此具有較佳的延續面向目標。此外，此結果亦反映土地使用分區對各面向目標權重之影響：在工業區人本目標重要程度較低，延續目標相對重要，故相較於其他土地使用分區的配置，工業區的配置縮減人行道寬度且未設置自行車道，留設較少空間給弱勢用路人，降低弱勢用路人之服務水準，卻設置路邊停車帶來改善延續性。各土地使用分區配置結果對應之各面向目標值，彙整如表 10。



圖 4 住宅區、住商混合區、商業區道路橫斷面配置示意圖



圖 5 工業區道路橫斷面配置示意圖

表 10 各種土地使用分區最佳配置結果對應之目標值

	人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	延續目標
	弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故 件數(件/年)	平均每人旅行 時間(分鐘)	二氧化碳排放量 (公斤/小時)	與上下游路段 寬度差異
住宅區/住商混 合區/商業區	10	6.913	2.49	443.797	7
工業區	9	6.913	2.318	411.110	1

本節主要目的為說明各面向目標在不同土地使用分區的重要程度不盡相同，並透過一固定其他條件、僅改變土地使用分區的範例，觀察其影響效果，發現工業區有較明顯的差異，其對於弱勢用路人留設較少之用路空間。而住宅區、住商混合區及商業區因各目標權重較相似而使道路橫斷面配置結果沒有明顯的不同。但實際上各運具的交通量會隨著不同土地使用分區變化，下一小節將會針對交通量對道路橫斷面配置的影響進行分析。

4.3 情境分析—交通量與道路寬度情境比較

為比較不同交通量情境對配置結果的影響，本小節以四個極端的交通量情境為例，並以住商混合區之指標權重為代表代入計算，進行道路橫斷面配置結果的比較分析。各情境尖峰小時交通量如表 11，其餘給定條件皆固定不變，惟依據臺北市交通流量及特性調查資料顯示，尖峰小時 pcu 超過 2000 的路段，單向大都為三車道以上，因此在情境一及情境

表 11 各情境尖峰小時交通量

	汽車	機車	自行車	行人	pcu
情境一(車多人少)	2000	2000	40	50	2691
情境二(車少人多)	100	100	300	500	811
情境三(車多人多)	2000	2000	300	500	3281
情境四(車少人少)	100	100	40	50	221

三中，上、下游路段之橫斷面配置為單向三車道，情境二及情境四之上、下游路段橫斷面配置則為單向一車道。

每個情境均會依圖 6 之流程進行求解，由道路寬度 13 公尺開始，依據求解道路橫斷面配置結果評估各運具之服務水準，若有任一運具之服務水準未達符合要求（C 級以上），則其他條件不變、增加道路寬度 2 公尺，再進行一次求解，直到各運具服務水準皆符合要求。藉此，一方面可以觀察在不同的交通量情境下需要多少寬度才能達到要求的服務水準，另一方面亦能驗證增加道路寬度能改善服務水準的評估邏輯。各運具服務水準的評估指標如表 12。

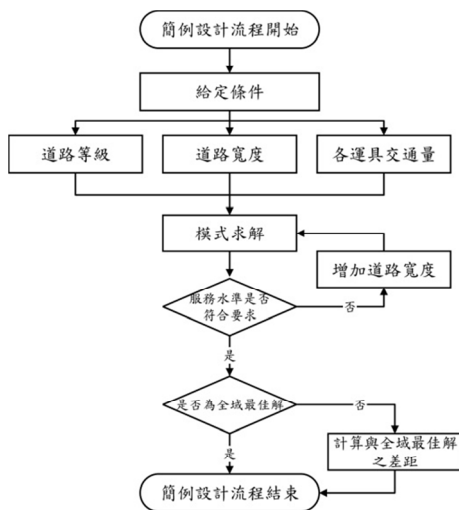


圖 6 簡例流程圖

表 12 各運具服務水準評估指標

運具	評估指標	參考來源
汽車	平均旅行速率	臺灣公路容量手冊 ^[21]
機車	有機車優先道： 平均自由旅行速率-平 均旅行速率 無機車優先道： 同汽車	臺灣公路容量手冊 ^[21]
自行車	有自行車道：V/C 無自行車道：BLOS score	Greensboro Urban Area Bicycle, Pedestrian & Greenway Master Plan ^[15]
行人	流 率	臺灣公路容量手冊 ^[21]

1. 情境一（車多人少）

情境一為汽、機車交通量大，自行車和行人量小的情境，求解結果及各面向目標值如表 13、表 14。可發現當路寬小於 19 公尺時，單向寬度不足以設置二車道，導致汽、機車的服務水準甚差，皆為 F 級；當路寬增加到 19 公尺以上時，單向寬度足夠設置二車道，使得汽、機車服務水準皆有提升的趨勢；當路寬增加至 25 公尺時，單向寬度足以設置三車道，汽、機車之服務水準上升到 C 級。一般來說，服務水準常以 C 級作為標準，因此，在情境一中，路寬 25 公尺的配置即符合要求，道路橫斷面配置示意圖如圖 7 所示。

2. 情境二（車少人多）

情境二為汽、機車交通量小，自行車和行人量大的情境，求解結果及各面向目標值如表 15、表 16。可發現由於機動車輛交通量不大，單向一車道即可達到服務水準 C 級，惟自行車之服務水準在有設置自行車道的情況下，才能達到 A 級。在情境二中，路寬 17 公尺的配置便能達到所有運具服務水準皆 C 級以上，道路橫斷面配置示意圖如圖 8。

表 13 情境一求解結果

路寬	單向配置結果(單位：m)							服務水準			
	內側 車道 1	內側 車道 2	外側 車道	人行道 淨寬	自行 車道	機車 優先道	公共 設施帶	汽車	機車	自行車	行人
13	0	0	3.5	1.5	0	0	1.5	F	F	E	A
15	0	0	4.5	1.5	0	0	1.5	F	F	E	A
17	0	0	4	1.5	1.5	0	1.5	F	F	A	A
19	3	0	3.5	1.5	0	0	1.5	D	D	C	A
21	3	0	4.5	1.5	0	0	1.5	D	D	B	A
23	3	0	3.5	2	1.5	0	1.5	D	D	A	A
25	3	3	3.5	1.5	0	0	1.5	C	C	A	A

表 14 情境一求解結果之各面向目標值

路寬	人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	延續目標	總目 標值
	弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故件數 (件/年)	平均每人旅行 時間(分鐘)	二氧化碳排放量 (公斤/小時)	與上下游路段 寬度差異	
25	10	8.849	2.302	816.995	0	0.137



圖 7 情境一道路橫斷面配置示意圖

表 15 情境二求解結果

路寬	單向配置結果(單位：m)						服務水準			
	內側 車道 1	外側 車道	人行道 淨寬	自行 車道	機車 優先道	公共 設施帶	汽車	機車	自行車	行人
13	0	3.5	1.5	0	0	1.5	C	C	D	B
15	0	3.75	2.25	0	0	1.5	C	C	D	A
17	0	3.5	2	1.5	0	1.5	C	C	A	A

表 16 情境二求解結果之各面向目標值

路寬	人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	延續目標	總目標值
	弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故件數(件/年)	平均每人旅行時間(分鐘)	二氧化碳排放量(公斤/小時)	與上下游路段寬度差異	
17	10	4.504	3.72	66.286	5	0.078



圖 8 情境二道路橫斷面配置示意圖

3. 情境三 (車多人多)

情境三為汽、機車交通量大，非機動運具交通量亦大的情境，通常是為主要幹道，求解結果及各面向目標值如表 17、表 18。可發現其服務水準隨路寬增加而變化之趨勢與情境一相同，當路寬為 25 公尺以上時，會配置雙向各 3 車道，相較於情境一，由於情境三的自行車交通量較多，使得換算後的 pcu 較高，至少要路寬 29 公尺的配置方能滿足各運具服務水準 C 級以上。另外一個發現為，當人道淨寬超過 1.5 公尺時，行人之服務水準皆達 A 級。道路橫斷面配置示意圖如圖 9。

4. 情境四 (車少人少)

情境四為汽、機車交通量小，非機動運具交通量亦小的情境，通常是為服務道路或是巷道。求解結果及各面向目標值如表 19、表 20。可發現其道路橫斷面配置及服務水準隨路寬增加而變化之趨勢與情境二大致相同，惟情境四的自行車流量較少，因此路寬 15 公尺的配置便能達到各運具服務水準皆為 C 級以上的要求，道路橫斷面配置示意圖如圖 10。

根據情境分析結果，當機動運具的交通量較大，超過 2000pcu 時 (情境一、情境三)，需要較寬的路寬 (25 公尺以上) 才足夠單向配置三車道，並達到服務水準 C 級以上；當設有機車優先道或自行車道時，能提升機車及自行車之服務水準，其中自行車服務水準皆能達到 A 級。當機動運具交通量較小時 (情境二、情境四)，單向配置一車道即可滿足汽、機車服務水準 C 級；當自行車交通量較大時，需路寬 17 公尺以上並設置自行車道，方能使自行車服務水準達 A 級。

表 17 情境三求解結果

路寬	單向配置結果(單位：m)							服務水準			
	內側車道 1	內側車道 2	外側車道	人行道淨寬	自行車道	機車優先道	公共設施帶	汽車	機車	自行車	行人
13	0	0	3.5	1.5	0	0	1.5	F	F	E	B
15	0	0	4.25	1.75	0	0	1.5	F	F	E	A
17	0	0	3.75	1.75	1.5	0	1.5	F	F	A	A
19	3	0	3.5	1.5	0	0	1.5	E	E	C	B
21	3	0	4.25	1.75	0	0	1.5	E	E	C	A
23	3	0	3.5	2	1.5	0	1.5	D	D	A	A
25	3	3	3.5	1.5	0	0	1.5	D	D	A	B
27	3	3	3.5	2.5	0	0	1.5	D	D	A	A
29	3	3	3.5	1.75	0	1.75	1.5	C	B	A	A

表 18 情境三求解結果之各面向目標值

路寬	人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	延續目標	總目標值
	弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故件數(件/年)	平均每人旅行時間(分鐘)	二氧化碳排放量(公斤/小時)	與上下游路段寬度差異	
29	10	8.849	2.262	802.922	6.25	0.152



圖 9 情境三道路橫斷面配置示意圖

表 19 情境四求解結果

路寬	單向配置結果(單位：m)						服務水準			
	內側車道 1	外側車道	人行道淨寬	自行車道	機車優先道	公共設施帶	汽車	機車	自行車	行人
13	0	3.5	1.5	0	0	1.5	C	C	D	A
15	0	4	2	0	0	1.5	C	C	C	A

表 20 情境四求解結果之各面向目標值

路寬	人本目標 弱勢用路人 LOS 分數	安全目標 預期總事故件 數(件/年)	效率目標 平均每人旅行 時間(分鐘)	環保目標 二氧化碳排放 量(公斤/小時)	延續目標 與上下游路段 寬度差異	總目標 值
15	8	4.679	2.2	39.201	1	0.126



圖 10 情境四道路橫斷面配置示意圖

五、實例應用

為展示模式之應用性，本研究以臺北市政府於民國 99 年 10 月 25 日公告實施「變更臺北市基隆河以東、雙溪南北兩側地區主要計畫為北投士林科技園區案（區段徵收範圍）」細部計畫案（以下簡稱北士科案）為例，進行案例分析並說明模式執行與應用流程。

5.1 實例背景說明與資料蒐集

北投士林科技園區位處士林區與北投區之交界處、雙溪與基隆河匯流口附近，園區範圍橫跨雙溪兩側，包含雙溪以南、承德路東西兩側土地，雙溪以北與文林北路、承德路所圍地區，以及承德路以西沿基隆河一帶之農業區，總面積約 194.29 公頃，為臺北市繼內湖科技園區和南港軟體工業園區後，第三個科技產業園區。

由於北士科案目前還在開發中，計畫目標於民國 116 年開發完成，因此本研究在實例應用中會挑選 3 個路段作為範例，透過模式求解道路橫斷面配置，提出建議的道路橫斷面配置，以供未來道路主管機關於規劃北士科地區道路橫斷面配置時之參考。本研究挑選的三個路段如圖 11 所示，分別為承德路、福國路延伸段以及承平路。

本研究所建構之模式中，給定條件包含道路寬度、道路等級、土地使用分區、交通量以及上下游路段之橫斷面配置等。其中，各運具的交通量是影響求解道路橫斷面配置結果的重要因素，在人本、安全、效率及環保面向的目標式中，交通量皆為關鍵的影響變數。

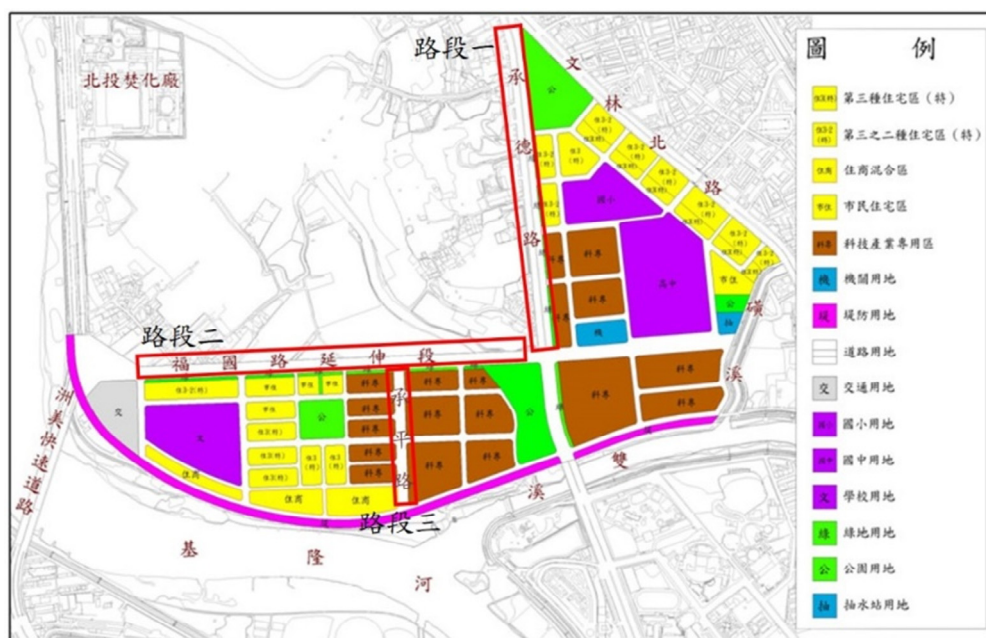


表 21 各運具交通量推估過程

路段	預測流量 (pcu/hr)	運具分配			交通量			人旅次	行人量
		汽車 (pcu/hr)	機車 (pcu/hr)	自行車 (pcu/hr)	汽車 (veh/hr)	機車 (veh/hr)	自行車 (veh/hr)		
承德路	4979	2047	2494	437	2047	8315	193	14604	1913
福國路 延伸段	4049	1665	2029	356	1665	6762	157	11876	1556
承平路	2384	980	1194	209	980	3981	92	6993	916

此外，本研究透過臺北市歷史圖資展示系統及 Google Street View 進行量測，並記錄此三路段之上、下游路段配置與現況配置情形，作為模式輸入之參數以及後續分析比較之參考。而各目標權重會依據分析路段周邊土地使用狀況，按比例加權代入計算。以福國路延伸段為例，由於分析路段周邊土地使用約為住商混合區及工業區各半，因此本研究將此二種土地使用各目標之權重乘以 0.5 加總，作為此例之權重。各路段相關參數彙整如表 22~表 24。

表 22 承德路上、下游路段配置情形

	承德路	
	上游路段配置(m)	下游路段配置(m)
內側車道 1	3	3
內側車道 2	3	3
內側車道 3	3	3
內側車道 4	3	3
外側車道	4.75	3
人行道淨寬	2.5	2.5
自行車道	0	0
機車優先道	3	3

表 23 福國路上游路段配置情形

	福國路	
	上游路段配置(m)	
內側車道 1	3	
內側車道 2	3	
內側車道 3	3	
內側車道 4	0	
外側車道	5	
人行道淨寬	3.5	
自行車道	0	
機車優先道	0	

5.2 道路橫斷面配置結果

依據 5.1 節蒐集三個路段的參數資料代入模式進行求解，在給定預測的交通量情況下，建議最佳的道路橫斷面配置，並與現況配置的情形進行分析比較。

承德路之道路橫斷面配置求解結果示意圖如圖 12。在這樣的配置情況下，汽車和機車的服務水準可達 C 級，自行車服務水準可達 A 級，但是行人的服務水準僅為 E 級。而若以現況道路橫斷面配置代入，在未來 116 年預測之交通量情形下，汽車服務水準可達 C 級，機車服務水準可達 B 級，自行車服務水準可達 A 級，然行人服務水準僅 F 級，可發現人行空間不足是亟需改善的問題。現況配置與模式求解建議之配置相比，主要差異在於現況有劃設機車優先道以提升機車之服務水準，然目前配置人行道空間甚小且並未留設公共設施帶的空間，雖然機動車輛的服務水準能達 C 級以上，卻無法兼顧弱勢用路人的服務水準，也未符合國土管理署規範現行道路規劃至少需留設 1.5 公尺公共設施帶之規定，當未來園區開發完成時，勢必會吸引更多旅次，因此建議在道路橫斷面配置部分可做一些調整，使道路的使用更有效。現況配置情形與模式求解結果，以及各面向目標值之比較彙整如表 25、表 26。

表 24 各路段相關參數一覽表

路段		承德路	福國路延伸段	承平路	單位
道路寬度		40	40	30	公尺
路段長		1000	850	210	
基本道路元素寬度	內側車道 1	3	3	3	
	外側車道	3.5	3.5	3.5	
	人行道淨寬	1.5	1.5	1.5	
特定道路元素寬度	公共設施帶	1.5	1.5	1.5	比例
	中央分隔島	2	2	2	
各目標權重	人本	0.222	0.237	0.118	
	安全	0.35	0.359	0.437	
	效率	0.168	0.15	0.293	
	環保	0.108	0.116	0.152	
	延續	0.152	0.14	---	
交通量	汽車	2047	1665	980	輛/小時
	機車	8315	6762	3981	輛/小時
	自行車	193	157	92	輛/小時
	行人	1913	1556	916	人/小時

表 25 承德路現況及道路橫斷面配置求解結果

	路寬	中央 分隔島	單向配置結果(單位：m)								
			內側 車道 1	內側 車道 2	內側 車道 3	內側 車道 4	外側 車道	人行道淨寬	自行車道	機車 優先道	公共 設施帶
現況配置	40	2	2.75	3	3	3	3.5	1	0	2.75	0
模式求解			3	3	3	3	3.5	2	0	0	1.5

表 26 承德路現況與模式求解結果比較

	人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	延續目標	總目 標值
	弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故件 數(件/年)	平均每人旅行 時間(分鐘)	二氧化碳排放 量(公斤/小時)	與上下游路段 寬度差異	
現況 配置	5	6.456	2.374	1293.08	6.5625	0.331
模式 求解	6	6.456	2.364	1283.309	20.3125	0.304



圖 12 承德路道路橫斷面配置示意圖

福國路延伸段目前仍在進行共同管道施工工程，僅通行部分的道路，故無法與現況進行比較，然在未來開發完成後，道路寬度共為 40 公尺，並已設置中央分隔島，故仍以此條件代入模式求解，以建議未來道路橫斷面配置規劃之參考。道路橫斷面配置求解結果及各面向目標值如表 27、表 28，示意圖如圖 13。在這樣的配置情況下，汽車和機車的服務水準可達 B 級，自行車和行人服務水準可達 A 級。

表 27 福國路延伸段道路橫斷面配置結果

路寬	中央分隔島	單向配置結果(單位：m)								
		內側 車道 1	內側 車道 2	內側 車道 3	內側 車道 4	外側 車道	人行道 淨寬	自行 車道	機車 優先道	公共 設施帶
40	2	3	3	3	0	3.75	4.75	0	0	1.5

表 28 福國路延伸段配置結果對應各面向目標值

人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	延續目標	總目標值
弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故件數 (件/年)	平均每人旅行 時間(分鐘)	二氧化碳排放量 (公斤/小時)	與上下游路段 寬度差異	
10	7.261	1.659	744.836	3.125	



圖 13 福國路延伸段道路橫斷面配置示意圖

承平路之道路橫斷面配置求解結果示意圖如圖 14。在這樣的配置情況下，汽車、機車、自行車和行人的服務水準皆可達 A 級。表示 30 公尺之道路寬度足以滿足預測之交通量。而若以現況道路橫斷面配置代入，在未來 116 年預測之交通量情形下，汽車、機車及自行車之服務水準可達 A 級，行人服務水準亦有 B 級。現況配置與模式求解建議之配置相比，主要差異在於現況劃設單向三車道而無設置自行車道，然模式求解建議單向設置兩車道即可，將寬度用於設置自行車道以及增加人行道淨寬，並反映出較佳的行人服務水準。此外，在安全面向的目標中，預期事故數會隨車道數變多而增加，且安全目標之權重較高，因此模式求解建議單向設置兩車道，以得出較佳的安全目標值。現況配置情形與模式求解結果，以及各面向目標值之比較彙整如表 29、表 30。

表 29 承平路道路橫斷面配置結果

	路寬	中央 分隔島	單向配置結果(單位：m)								
			內側 車道 1	內側 車道 2	內側 車道 3	內側 車道 4	外側 車道	人行道淨寬	自行車道	機車 優先道	公共 設施帶
現況配置	30	2	3.25	3.25	0	0	3.5	2.5	0	0	1.5
模式求解			3	0	0	0	5	3	1.5	0	1.5

表 30 承平路現況配置與模式求解結果比較

	人本目標	安全目標	效率目標	環保目標	總目標值
	弱勢用路人 LOS 分數	預期總事故件數 (件/年)	平均每人旅行 時間(分鐘)	二氧化碳排放量 (公斤/小時)	
現況 配置	9	2.355	0.264	73.417	0.039
模式 求解	10	1.862	0.286	78.994	0.023



圖 14 承平路道路橫斷面配置示意圖

六、結論與建議

道路橫斷面配置是規劃時重要的課題，然這部分在都市計畫審議過程中較少被明確規範。本研究考量人本、安全、效率、環保及延續五個面向目標，建立一個道路橫斷面配置最佳化模式，在已知汽車、機車、自行車及行人交通量組合與土地使用分區的情形下，可透過模式求解結果得出最佳之道路橫斷面配置組合，供規劃單位參考。本研究建立之模式屬多目標模式，其同時考量人本、安全、效率、環保及延續面向，然本研究透過 AHP 專家問卷，計算各面向目標於不同土地使用分區之權重，以簡單加權法將模式由多目標模式轉為單目標模式。

透過不同土地使用分區的情境分析，本研究發現住宅區、住商混合區與商業區之求解結果相似，而工業區因其各面向目標之權重趨勢與其他土地使用分區有較明顯之差異，重視效率目標大於人本目標，並反映於其對於弱勢用路人留設較少之用路空間上。透過不同道路寬度及交通量的情境分析，本研究發現當交通量愈大時，需要愈寬的道路寬度設置車道、自行車道或人行道，以滿足服務水準 C 級以上的要求。藉由不同的情境，模式會產出不同的道路橫斷面配置，並反映在各個面向的目標以及各運具之服務水準，證明本模式的有用性。最後，本研究以北投士林科技園區內的承德路、福國路延伸段以及承平路為例，進行實例應用並與現況進行比較，在未來園區開發完成後，承德路現況的配置將會無法滿足行人的基本服務水準，建議可針對人行道寬度改善；福國路延伸段並無現況得比較，建議未來規劃時可單向配置 4 車道以及 4.75 公尺之人行道淨寬，並可使各運具服務水準皆達 B 級以上；承平路現況單向配置三車道雖亦能滿足各運具服務水準，但若調整為單向配置兩車道、自行車道並增加人行道淨寬，不僅能降低預期事故數，亦能提升行人之服務水準。

惟由於本研究建構之模式為非線性整數規劃模式，並嘗試以套裝軟體求解，但求解績效仍有改善空間，故建議未來研究可嘗試研發較佳的求解演算法，提升模式求解成效。另外，原則上，各種車道在配置編排上，本模式係以其行進速率愈低者愈外側，愈高者愈內側之原則，即由內而外是汽車、機車、自行車及行人，並未考慮各道路元素配置編排位置的影響。至於自行車道係劃設在人行道上，採立體分隔，抑或是劃設在車道外側，僅以導桿或標線加以分隔，其服務容量均無差異。但實際上，前者安全性較高，但施工成本也較高。基此，建議後續研究針對各道路元素之配置位置及分隔方式之影響進一步加以探討。

此外，本研究也未考慮設置中央分隔島、自行車道及機車優先道對安全面向目標之影響，且並未考慮大眾運輸設施（如：公車專用道），故建議後續研究可將此因素納入考慮。本研究著重在產生路段之橫斷面配置，並未考慮路口漸變的情況，然路口的漸變形式的確會影響安全面向的目標，亦會與路段的橫斷面配置有所關聯，建議後續研究可以對此有進一步的探討。尤其，道路橫斷面配置若留有較寬的中央分隔島或中央分向線，對於左轉車流較多的路口，即可設計偏心左轉車道。本研究建立道路橫斷面配置產生的程序，可作為未來都市計畫審議幕僚單位操作之參考，建議未來計畫道路審議時，可藉由輸入相關資

料，透過本研究模式求解流程，產生較合適之計畫道路橫斷面配置。尤其，使用者可預先設定各種車道（包括自行車道及人行步道）的最低服務水準要求（例如，C 級），當在既定的道路寬度下，無法配置出符合服務水準要求的結果時，就代表原定的道路寬度不足，在計畫道路配置時，應留設更寬的道路。此一作法，對於在都市計劃層級，審議計畫道路的劃設寬度是否足夠時，特別有用。此外，特別值得一提的是，近年來國際上永續市區道路規劃多以人本及低碳為主，私人運具次之。因此，在各車道之服務水準設定時，決策者應將自行車及行人的最低可接受服務水準等級設定得比機動車輛的服務水準等級還要高，以符合我國高齡社會與永續城市之需要。

參考文獻

1. 國土管理署，市區道路及附屬工程設計規範，民國 104 年。
2. Cantarella, G. E., Pavone, G., and Vitetta, A., “Heuristics for Urban Road Network Design: Lane Layout and Signal Settings”, *European Journal of Operational Research*, Vol.175, No.3, 2006, pp.1682-1695.
3. Gonzales, E. J., Geroliminis, N., Cassidy, M. J., and Daganzo, C. F., “On the Allocation of City Space to Multiple Transport Modes”, *Transportation Planning and Technology*, Vol.33, No.8, 2010, pp.643-656.
4. Elhamy, M., “Improvement of Road Layout and Safety in an Urban Environment: Towards a Pedestrian-Friendly Street Corniche of Alexandria as a Case Study”, *International Journal of Transportation Science and Technology*, Vol.1, No.4, 2012, pp.335-350.
5. Zheng, N., Dantsuji, T., Wang, P. and Geroliminis, N., “Macroscopic Approach for Optimizing Road Space Allocation of Bus Lanes in Multimodal Urban Networks through Simulation Analysis”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2651, Iss.1, 2017, pp.42-51.
6. Gössling, S., Schröder, M., Späth, P. and Freytag, T., “Urban Space Distribution and Sustainable Transport”, *Transport Reviews*, Vol.36, No.5, 2016, pp.659-679.
7. NACTO (National Association of City Transportation Officials), *Urban Street Design Guide*, Island Press/Center for Resource Economics, 2013.
8. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), *Guide for the Development of Bicycle Facilities*, Washington, DC, 2012.
9. German Road and Transportation Research Association, *Directives for the Design of Urban Roads (RASt 06)*, 2006.
10. Ireland Department of Transport, Tourism and Sport, *Design Manual for Urban Roads and Streets*, 2013.
11. Ireland Department of Development, Economic and Transport Planning, *Newcastle Local Area Plan*, 2012.
12. Singapore Centre for Livable Cities, *Streets for All: Designing Multimodal Streets for a Car-Lite*

Singapore, 2018.

13. 日本國土交通省，**道路構造令**，2018。
14. Wierbos, M. J., Knoop, V. L., Hänseler, F. S., and Hoogendoorn, S. P., “Capacity, Capacity Drop, and Relation of Capacity to the Path Width in Bicycle Traffic”, *Transportation Research Record*, No.2673, Iss.5, 2019, pp.693-702.
15. Greenways Incorporated, *Greensboro Urban Area Bicycle, Pedestrian & Greenway Master Plan*, 2006.
16. 國土管理署，**市區道路車道配置及車道寬度對交通安全與車流效率之影響評估案**，民國 107 年。
17. 交通部運輸研究所，**機車專用道車流特性與容量探討**，民國 91 年。
18. Adnan, M., “Passenger Car Equivalent Factors in Heterogeneous Traffic Environment-Are We Using the Right Numbers?”, *Procedia Engineering*, Vol.77, 2014, pp.106-113.
19. 交通部運輸研究所，**能源消耗、汙染排放推估模式與永續運輸模式之整合應用**，民國 99 年。
20. 交通部運輸研究所，**國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究 (3/4)**，民國 96 年。
21. 交通部運輸研究所，**2011 年臺灣公路容量手冊**，民國 100 年。
22. 交通部運輸研究所，**車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究-以機車為例**，民國 103 年。
23. 臺北市政府交通局，**臺北市科技軸帶交通發展計畫 (第二期) 總結報告**，民國 102 年。