

「城市診脈」動線系統之模擬與預測— 一種基於空間型構理論動線區段分析之 都市空間結構研究

劉秉承

朝陽科技大學建築系

bensonp.c.liu@gmail.com

摘 要

「城市診脈」係指一種城市動線系統之模擬與預測模式，正如同為一座城市把脈之意涵，故以此為名。隨著台中市的都市擴張與產業經濟發展等種種因素，中區區域商圈歷經盛衰，正當台中大車站計畫（鐵路高架化）執行之際，區域動線將大幅改變，與車站及鐵道緊臨連結之中區，究竟其空間結構將會如何變遷？英國倫敦大學 Bill Hillier 教授所創可量化空間資訊且預測空間行為分佈之空間型構理論（space syntax theory）。本文藉由空間型構之動線區段分析方法（segment analysis），以台中市現況動線結構模型與實際觀測值，進行不同形式代步載具之流量觀測比對；進而探討台中鐵路高架化前後，對中區整體與區域空間結構之影響。執行實地觀測值與軟體預測分析比對時，透過分析參數 NACH 值（可表示不同移動半徑交通載具移動選擇度），其空間結構具備型構智慧性（將可有效預測行為分佈）可有效預測「汽車」與「機車」之分佈狀態與傾向，而慢速移動載具「自行車」與「步行」由於受車站釋放人流之影響而難以預測；在台中鐵路高架化前後空間結構變遷中顯示，空間整體型構智慧性與「汽車」之路徑選擇值顯著提昇；然而，對於地區性相對便捷度，以及「自行車」與「步行」之地區性參數 NACH 值卻是下降。基於上述初步發現，提高台中市中區區域之動線結構便捷度與慢速移動載具之使用率（「自行車」與「步行」）將成為未來城市空間再造之關鍵課題。

關鍵詞：城市診脈、空間型構理論、動線區段分析法、空間結構變遷、行為分佈預測

論文引用：劉秉承（2018）。「城市診脈」動線系統之模擬與預測——一種基於空間型構理論動線區段分析之都市空間結構研究。《設計學報》，23（3），1-21。

一、緒論

1-1 研究目的與動機

台中大車站計劃之鐵路高架化將給台中舊城區城市動線路網結構帶來巨大之轉變。台中市之中區因鄰近火車站前站之動線便捷處而帶動中區當時的繁榮發展。直至台中都市擴張（urban sprawl）與經濟產業發展等種種因素，中區區域商圈活力逐步衰退。如今，台中大車站計畫之台中鐵路高架化將對於周圍動線路網產生極大變化，其路網結構所發生之空間結構變化，以及共同見證了台中舊城區商圈興衰之中區為本次研究重心與區域。

空間形態與身處其中之行為分佈息息相關，尤其是城市中之動線結構變化，更影響涵蓋廣泛之各式行為的流動分佈狀態。空間結構形式與行為分佈之關連，進入 21 世紀之現在，吾等擁有足夠分析技術與工具可足以對以往謎題一一解惑（劉秉承，2016）。如由英國倫敦大學 Bill Hillier 教授所創之空間型構理論（space syntax），該理論作為一種以空間拓撲型態為基礎之方法論，可在實質環境被建構前或後，掌握空間將來使用分佈傾向（劉秉承，2018）。故本文擬以此作為主要應用理論。針對台中市重大空間結構變化（台中大車站計劃）進行計劃前後之空間型構區段動線分析模擬與預測，建立空間動線結構模型透過實地觀測數據進行探討，探究將面臨重大城市路網改道之空間結構變化下，中區空間結構之變遷及其影響。

1-2 研究架構與流程

本研究主要為探討台中鐵路高架化與大車站計劃等路網改變對中區空間結構影響，透過空間型構理論（space syntax）的動線區段分析法（segment analysis）進行分析與現場觀測流量之交互統計分析比對，藉以探討中區空間結構之變遷與未來動線空間結構動態變遷之預測。以下為研究程序：

1. 研究立論

研究主軸與區域的界定。關於理想城市空間形態與空間使用品質與活力、空間型構理論應用於城市路網結構相關研究、連結城市空間質與量之西班牙巴塞隆納超級街廓計劃（superilles）的啟示，透過相關理論整理，期建構本文研究立論。

2. 研究方法

空間型構理論（space syntax）之動線區段分析（segment analysis）為主要分析工具。

- （1）受西班牙巴塞隆納超級街廓計劃（superilles）之啟發，將中區進行街廓分區，將道路分為四類層級，並依主要道路劃為六大區域（以此作為後續細部區域改造前後數值比較之框架模式）。在各類道路層級與鄰近大車站計劃之重要路口節點配置總數 43 處觀測點。
- （2）進行 2016 年當前之實地觀測代步工具（「步行」、「自行車」、「機車」、「汽車」），並將其觀測結果匯入軟體進行統計分析，比對實地觀測值與軟體運算動線分析數值之關連程度。
- （3）對 2016 年（當前）與台中大車站計劃 2018 年之路網結構對中區整體與局部區域（劃分六個地塊），分別探討相對便捷值（integration Rn）與標準化角度選擇值（normalized angular choice）之變化，對城市路網之空間結構變遷進行探討。

3. 研究發現

城市路網之空間結構變遷經由本文分析、觀測與預測，供未來規劃單位與研究參照。

二、相關理論文獻回顧

2-1 城市空間形態與空間活力相關理論

工業革命後，社會勞動與生產關係改變，大型工業城市順勢崛起，引發都市高漲租金之居住議題與城市生活環境惡化等都市空間問題，改善都市居民生活環境成為建築師與專業者之重要使命（沈孟穎、傅朝卿，2015）。城市空間形態與空間活力與城市空間中之居民活動行為息息相關。學者林季芸（2018）指出街道空間是城市生活重要場域，兩旁建築更是形塑街道形象的重要因素（林季芸，2018）。然而，台灣早在 1994 年由文化建設委員會將「社區總體營造」納入施政方針（黃世輝、蘇秀婷，2017），足見於二十幾年前，有關單位早已注意到城市外部空間形態的環境營造及其城市空間活力的相關課題。

近代不少學者皆曾提出關於理想的都市空間形態與空間活力之相關論述。Jane Jacobs（1961）論述都市多樣性除考量外部形態，應兼備街區路網人群移動之多元活力營造觀點（Jacobs, 1961）；學者 Jan Gehl 在 1971 倡議，一座具備良好城市形態與空間活力的城市必須是緊湊且密集的空間結構、合理的人口居住密度、使用者可以接受的步行移動距離，以提昇慢速移動載具之使用量，以達成良好城市空間品質。1998 年，John Montgomery 更主張城市尺度必須密集安排並強化城市路網形態構成之關係（Gehl, 2010）。

即便，諸多學者對理想之城市空間形態與空間使用活力之營造提出各式方針與原則，關於城市空間活力營造依然被認為是一個難以明確界定而且依賴於設計師經驗和直覺的過程。況且，設計師不該忽略人們真切的需求，必須具高度社會與道德判斷標準，進而對社會帶來影響力（洪啟穎、陳俊良、林榮泰，2017）。如何才能察覺它非物質面相的價值，如社會構成，及其與都市空間結構的關係（黃世輝、張宜蓁，2016）。學者 Bill Hillier（1996）提出，理解城市複雜性應由其空間結構特徵著手，應該源於城市空間內在結構而非外在特徵，並且提及當今缺乏對城市空間與機能本質之整體理解，極有可能忽略使用狀態、空間連續性、城市動線便捷度……等城市空間結構特徵，而城市空間之良好秩序和機能正源於此（Hillier, 1996）。Hillier 透過探討空間結構彼此聯繫所形成的整體與部分關係與模式，並進而揭示城市複雜性的深層結構與所具有的寰宇普遍性，可以在城市空間結構發生變化時，更好對分析數值進行量化分析，為城市空間改造提出具體之量化指標。

2-2 以空間型構理論檢視都市空間結構變遷

受實際城市空間複雜性之限制，即便歷代城市規劃者或設計師透過不同「質化」方式進而詮釋，然而往往因為個別直覺描述模式影響著城市的特徵表述，因而產生與事實相悖之情況，如學者吳佩芬對街區導覽系統之使用者情緒與沉浸經驗研究（吳佩芬，2016），足見城市中所有個體皆具備各自情感與經驗之差異。而此與學者洪珮華、馬瑞平與林榮泰（2017）所研究之空間認知能力會因個人成長背景、性別、認知發展受到的影響，因而歧異之研究立論不同。雖特殊使用者族群，如針對樂齡族群的使用行為模型，進行分析與研究（李傳房、江宇震，2016）。個別身心狀態皆會對空間認知狀態生成影響，如因老化所造成記憶力等認知能力之退化的影響（呂佳珍、黃國樑、沈宇哲，2017），或因疾病，如阿茲海默症、失語症等，認知能力受損或暫時或長久失去溝通能力障礙者（林庭如、陳建雄，2017）。空間中個體特有狀況（包含老化與疾病）不在此理論的論述範圍中。吾等對於城市龐大且複雜之城市空間結構急切需要一種足以表述空間「質化」且中性客觀之詮釋與描述方法。空間型構理論正是一種忽視單一使用者個別化偏好之抽象化約的研究理念。

此研究理論之動線量化，亦有別於學者林家華等人（2016）所提出交通號誌對駕駛人認知之影響。空間型構並不細究個別駕駛者心理認知狀態，而依據整體空間結構抽象化約之拓樸形式與行為分佈傾向

進行深究與探討（劉秉承，2016）。它作為一種描述建築和城市空間組構型態之「量化」方法論，其核心觀點源自於城市組織系統，源於空間型態、認知、社會三個方面，彼此之間相互影響（Hillier & Hanson, 1984），Hillier 認為城市街道空間結構及人潮車流彼此間之關係可定義為一種使用者自然移動下之空間組構法則（Hillier, 1996）。學者龍宗彥（2003）試圖建構一套有效預測人潮車流之預測模式，針對信義計劃區之規劃，深入探究並進而論及步行相關配套設施（如大眾運輸、人行道等）之整合系統探討（龍宗彥，2003）。學者林敬凱（2015）則運用空間型構理論之區段分析（segment analysis）藉以檢視都市空間街道網絡發展與產業分布之變遷關係，透過空間型構動線區段分析法檢視台中市 1895 年至 2014 年之路網結構與當地產業分佈圖，研究發現空間型構參數之路徑便捷度與選擇值可透過路徑選擇值（Choice 700m 預測步行分佈狀態，而路徑選擇值（Choice 6000m）則可準確預測汽車代步工具之分佈傾向（林敬凱，2015）。

空間型構理論之動線區段分析（segment analysis）可針對不同載具進行更為精確的分佈預測。有別於初期動線分析（axial line），動線區段分析（segment analysis）加強路網之「動線長度」與「路徑轉折角度」之加權影響，於 3-2 節中說明。為探討台中中區棋盤狀路網結構時，採取新的分析方法有其必要性。因此本文擬以本方法對中區空間結構進行更精確之動線區段分析（segment analysis）分析評估。

2-3 連結城市空間的質與量- 巴塞隆納超級街廓的啟示

近年，在巴塞隆納市政府（Ajuntament de Barcelona）推動一名為超級街廓計劃（superilles）的城市路網空間改造實驗計畫，該計畫透過將既有之街區道路重新整併規劃成為一組大型社區共有之街區開放空間，將原本可自由通行之用路習慣，轉變為僅供街廓內步行與自行車等慢速移動之使用。如此，交通事故將大幅下降而提高街廓內之安全；汽機車廢氣排放率下降而能有效改善城市空氣品質；重新審視代步工具之使用，使之更具備合理性；並增加運輸系統之移動效率等作為超級街廓的衡量標準。期盼透過超級街廓計劃的執行，能提高行人與自行車等「慢速移動」之交通用路習慣，能將原本街廓間的巷弄道路之線性移動空間轉化為面狀且可停留之公共空間，以此提昇區域發展之再造潛力與空間使用品質。

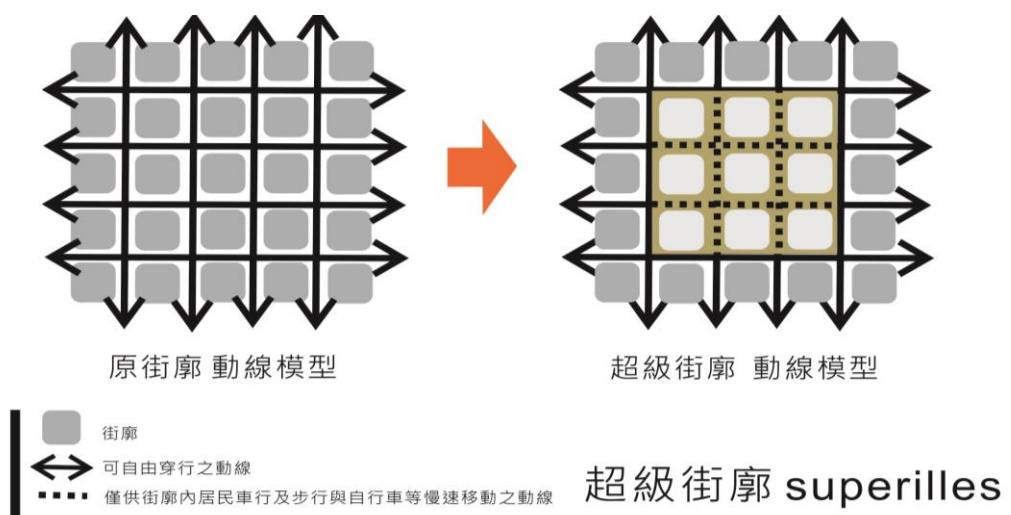


圖 1. 巴塞隆納超級街廓計劃（superilles）動線模型說明圖（本研究繪製）

西班牙超級街廓計劃 (superilles) 串連數個街廓，控制街區中人車之流量，藉以維持街區內的城市空間品質，如實以「量」(控制移動行為) 來維持城市空間品質。然而，街道尺度與西班牙巴塞隆納超級街廓計劃 (superilles) 所實施街區相仿之台中中區棋盤狀路網結構，伴隨著 2016 年台中鐵路高架化通車，以及台中大車站計畫執行之際，當站前廣場改造完備、成功路延伸穿越南區、復興高架路橋拆除 (復興路四段平面化)等都市路網空間結構變遷之下，中區整體與局部空間結構又將會如何變化？而此點為本文主要研究探究之處。

三、研究方法

3-1 空間型構理論基礎

空間型構理論 (space syntax theory) 由英國倫敦大學 Bill Hillier 教授所創發，這是一種迄今發展三十餘年，得以理解建築及都市空間結構組構型態之空間構成分析理論與技術。Hillier 認為城市實質空間構成能夠呈顯並反應不良的社會議題 (Hillier & Hanson, 1984)。空間型構理論基於空間型態本身內在組構邏輯理論，配合相關軟體進行空間量化分析，進而理解與呈現出隱藏於空間表層型態背面之深層組構特徵 (Hillier, 1996)。空間型構之內在深層組構 (configuration) 主要概念來自於兩個觀點，空間相對深度 (relative depth) 與路徑選擇 (choice)。相對深度的觀點來自於空間彼此間組構關係。以圖 2 所示，空間與空間之間具有對映之關係，透過空間相對深度和路徑選擇的組合可劃分為幾種型式，如深性型構 (deep)、淺性型構 (shallow)、樹狀型構 (tree) 和環狀型構 (ring)，不同系統內在組構特徵可以反映系統內組構單元位置之便捷度 (劉秉承，2015)。而在圖 2 右之動態空間型構圖中，透過五種不同組構型式，將針對室外動線導引至每一平面動線分解圖所做的相對深度圖。基於空間型構理論中將真實空間以純粹拓樸關係劃分為外凸空間 (convex space)，進而衍伸到每一凸空間範圍內“最長動線” (axial line)，由串聯全部空間單元且最少條之最長動線所組構而成的動線圖 (axial map)。對於研究城市空間而言，將道路路網分解為“最長動線”，再進一步以“相對深度” (relative depth) 概念就既有都市空間系統內各不同街道動線之“相對便捷度” (integration) 與“路徑選擇度” (choice) 做量化解析，並透過顏色表達，暖紅色 (最便捷) 或潛力最高到深藍色 (最不便捷) 以色溫表現其數值大小 (劉秉承，2015)。

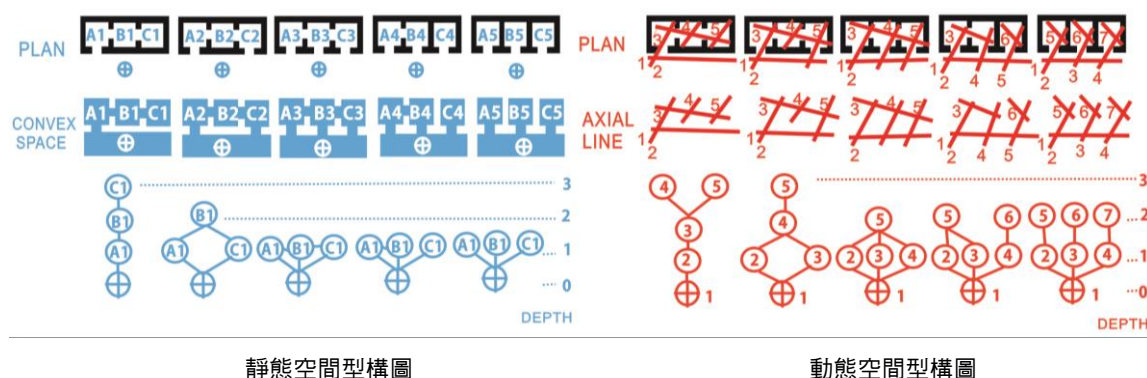


圖 2. 空間型構圖

(資料來源：蘇智鋒，1999。圖像經本文重新再繪製)

3-2 動線區段分析法之原理與量化參數介紹

本篇採用由動線分析法（axial analysis）所衍生之動線區段分析（segment analysis）進行分析，有別於傳統動線分析（axial analysis）之原分析模式，單純以最長最少之軸線作為所力求拓撲最少深度，將動線節點之間的區段作為分析單元，已反映動線組成部分之間的差異（Hillier & Iida, 2005），對“最短路徑”的定義從單純拓撲深度下的距離擴展到角度距離（區段路徑轉折之間累積的轉向角度）和米制距離。舉下圖為例，有一弧形道路，原動線分析法之動線單元分解，必須為最長最少之直線段（不能為折線）交結之動線組織。然而，區段分析以路口為每一動線單位之分界點，且單一動線單元可以為折線段，並且考量不同公制距離移動半徑與路徑選擇之轉折角度，作為動線運算之影響因子，如圖 3 所示。故動線區段分析相較原動線分析模式可更精確掌握並預測城市路網各種載具之分布狀態。

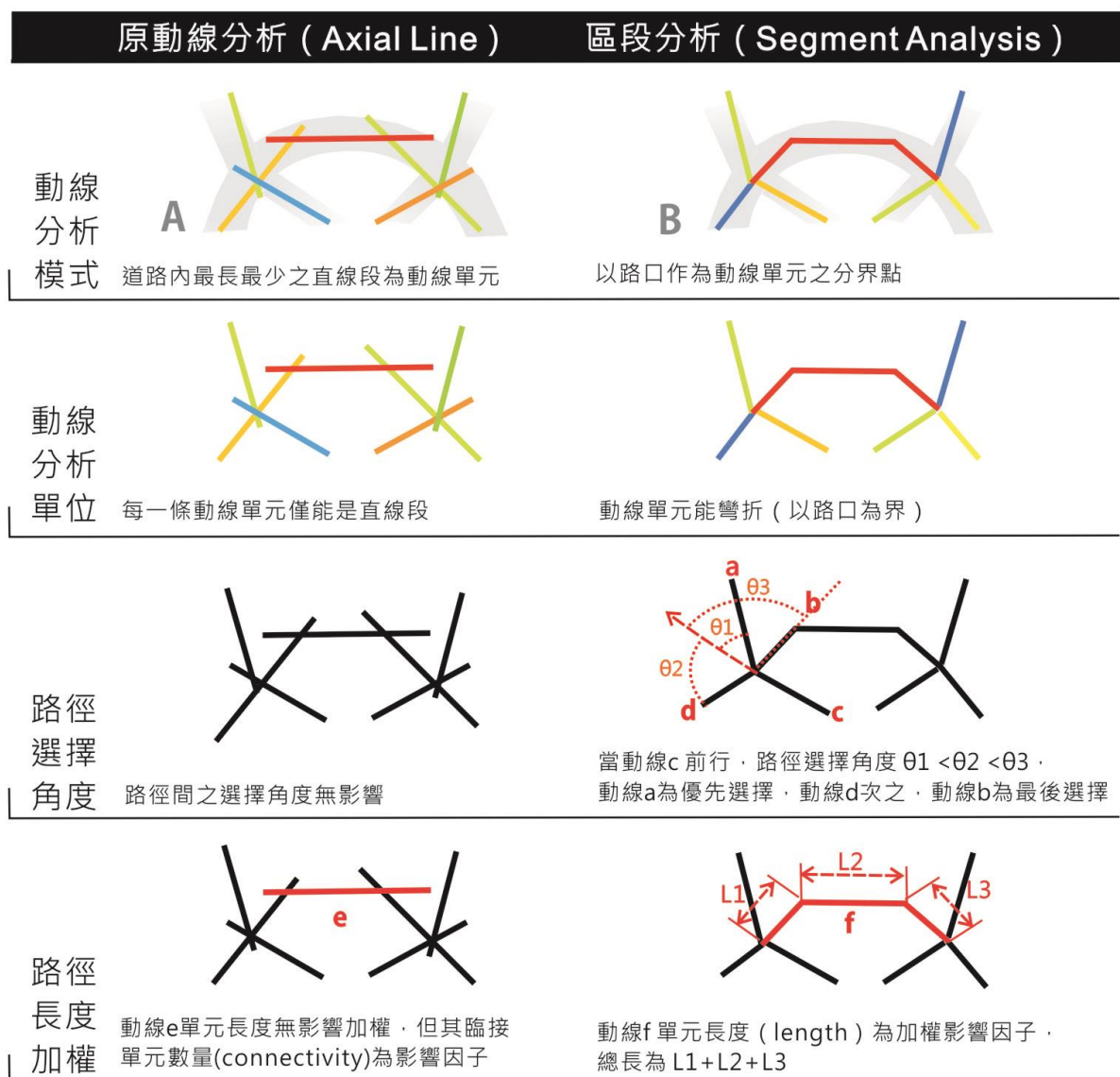


圖 3. 原動線分析與區段分析之比較圖（本研究繪製）

原動線分析法 (axial line) 在分析其動線結構型態僅有中斷點或線性街道，以及難以呈現方格街廓與街道斜交之情況及其影響，一種有別於原空間動線結構之表達方式極有必要 (Hillier, Yang, & Turner, 2012)。考量對於街道尺度與轉折角度等因素，衍生發展成為動線區段分析 (segment analysis)，也是本文主要分析方法。

空間型構理論之參數分析原理如下，如下頁表 1 所示。

1. 連接值 (connectivity) CN：

此數值為地區性參數，係指與該動線單元連接的動線單元數量，可以表示該動線單元於地區性動線系統的連結關係與程度。

2. 相對便捷度 (integration)：

可量化動線單元之可及性，路徑之便捷程度。

(A) 全區性相對便捷度 (global integration value) RN：動線空間相對深度關係作為檢測方式，為空間深度值之倒數值，代表位置便捷程度之比較值，稱之為「全區性相對便捷度 R_n 」。

(B) 地區性相對便捷度 (local integration value) R_r ：相較於全區性相對便捷度，地區性相對便捷值只計算局部組構元素之便捷度，可透過不同移動半徑或路徑轉折數等空間體系與規模進行評判，一般而言，可作為人潮流量之評估預測。

3. 不同移動距離之路徑選擇值 (relative choice) Choice N：

度量每一動線單元被其餘動線單元之間，以「最短路徑」為原則，穿越過之次數，藉以評估路徑作為穿越性使用之被選擇潛力值。

4. 標準化角度選擇值 (normalized angular choice) NACH：

為前述路徑選擇值之進階修正值，可更為精確預測不同載具之路網分布狀態。其由學者 Hillier 與楊滔所提出對路徑選擇度與相對便捷度標準化之修正值 (Hillier, Yang & Turner, 2012) 後，加強移動「長度」與路徑選擇「角度」之加權影響，對於傳統動線路徑選擇值 (choice) 讓路網層級更為明確，提高各種移動距離與代步工具之分佈可預測性，如下頁圖 4 所示。

5. 分析參數關聯比對：

(A) 決定係數 (r-square)：統計學迴歸分析中可決定分析參數因子彼此間關聯程度之係數，其值介於 0~1。

(B) 型構智慧性 (intelligibility)：當全區性參數 (RN) 與地區性參數之連接值 (CN)，兩者決定係數 r-square 值達 0.5 以上時，該空間組構具備雙向度同步效能或具備型構智慧性，即表示該空間具備高度深層組構自明性，智慧性愈高其空間的可及性及相對控制程度就愈多，該空間中之行為分佈傾較易於預測也相對易於空間機能運作 (蘇智鋒，1999)。

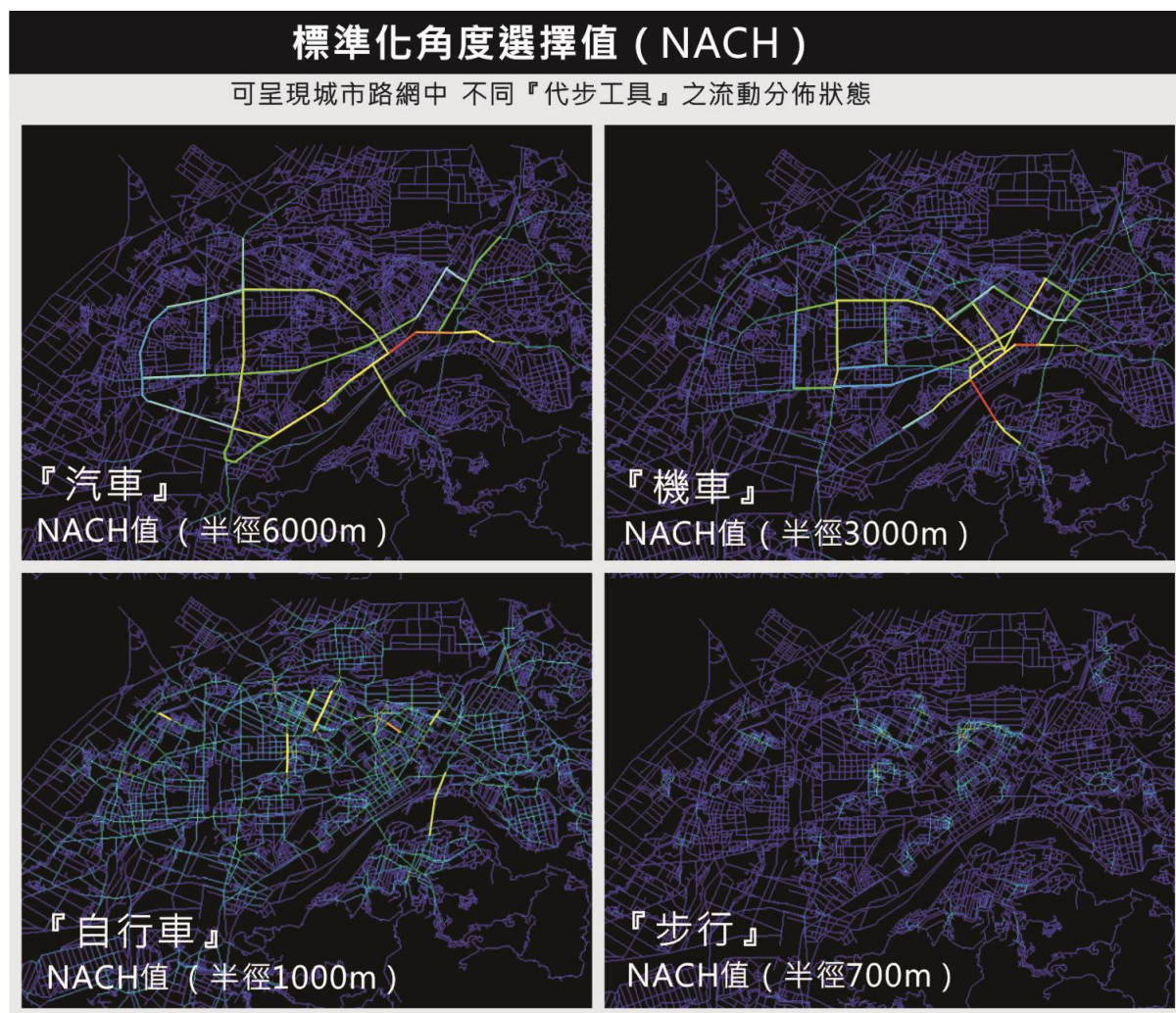


圖 4. 標準化角度選擇值說明圖 (本研究繪製)

表 1. 基本空間型構量化參數介紹 (本研究繪製)

空間型構參數名稱	中譯名稱	數值意義
1. connectivity	連接值	表示於地區性動線系統與其餘動線之連結關係
2. global integration value	全區性相對便捷度	表示該點居於全局性系統中便捷之程度
3. local integration value	地區性相對便捷度	表示該點居於地區性系統中便捷之程度
4. choice	路徑選擇	空間動線系統中，路徑作為穿越性使用之被選擇潛力值
5. NACH (normalized angular choice)	標準化角度選擇值	對傳統路徑選擇值 (choice) 所進行修正，讓路往層級更為清晰，提高車流可預測性
6. r-square	決定係數	統計學迴歸分析中可決定關聯程度之係數，其數值介於 0~1，可比較分析參數與全局參數彼此間之關聯程度
7. intelligibility	型構智慧性	該空間組構之行為分佈可預測性，空間中之行為分佈傾向較易於預測也相對易於空間機能運作

3-3 不同型態代步工具之實地觀測

本次觀測分區模式與佈點原則受西班牙超級街廓計劃超級街廓計劃 (superilles) 之啟發，首先，將中區所有道路類型劃分成四隔層級，列表如下頁表 2 所示。第二階段，為更能反映大車站計畫路網改變對中區空間區域之影響，依主要道路劃分為六大區域。最後，各層級道路配置總數 43 處之實地觀測點，主要選取原則為鄰近交通幹道及大車站計畫範圍內之主要交通節點，如圖 5 所示。

為獲取更趨近現狀之台中市實地流量狀態，本文進行全天候定點的實地流量觀測。觀測時間選擇星期二（平日）與星期日（假日）作為實地觀測日，期以理解週間之工作通勤與週末休閒旅遊之不同型態代步工具下動線實際流量之差異，觀測期間 105 年 12 月～106 年 1 月，每日觀測時間為上午七點半至晚上七點為止，對「步行」、「自行車」、「機車」、「汽車」之使用流量狀況進行實地觀測紀錄，最後換算為每小時為單位之流量狀態，圖 5 為本觀測之台中市中區 43 個觀測點分佈圖。而此四種不同代步工具之實地週間與週末平均觀測值，扣除觀測數值過少之觀測點（觀測點 27、29、39、41、42 等五個觀測站點之數值），有效觀測樣本為 38 處觀測點，如表 3 與 4 所整理。



圖 5. 分區原則與觀測點配置位置圖（本研究繪製）

表 2. 台中市觀測點所在道路類型（本研究繪製）

道路類型	道路名稱
主要道路	民權路、台灣大道一段、公園路、建國路、自由路二段、三民路二段、中華路一段
區域道路	綠川西街、市府路、平等街、光復路、成功路、中山路、民族路
其他道路	繼光街、綠川西街 59 巷與 93 巷、台灣大道一段 81 巷與 141 巷、自由路二段 4 巷與 35 巷
聯外道路	台中路、建國路、復興路四段、南京路、雙十路一段、自由路三段

3-4 週間與週末實地觀測流量之比對

週末與週間觀測數據比對，將當日四個時段的平均值轉換為每小時之流量，如表 3 與圖 6 所示。

1. 「汽車」實地觀測結果：透過「汽車」實地觀測流量週間與週末之比較分析結果，可得出聯外道路週間較週末觀測數值明顯高出許多，作為週間主要通勤動線；而主要道路則週末較週間觀測數值明顯為高，因其受目的性移動之影響較大。
2. 「機車」實地觀測結果：透過「機車」實地觀測流量週間與週末之比較分析結果，聯外道路在週間觀測數值較週末有明顯提高，此兩條路為「機車」通勤使用之主要使用道路。
3. 「自行車」實地觀測結果：透過「自行車」實地觀測流量週間與週末之比較分析結果，可得出整體流量，週末均較週間觀測數值高，多為當地居民或遊客做短程路徑移動，而顯示「自行車」鮮少作為主要通勤移動之代步使用載具。
4. 「步行」實地觀測結果：透過「步行」實地觀測流量週間與週末之比較分析結果，可顯示係因研究區域鄰近釋放人流之火車站，週末觀測數值均較週間觀測數值明顯高出許多，受到觀光客與外籍移工聚集影響。而週間，則是台灣大道流量較高，應該受公車站候車處之影響所致。

表 3. 不同代步工具週間與週末平均觀測流量（本研究繪製）

街道編號（輛／小時）	汽車	機車	自行車	步行
1	1119	2028	57	135
2	444	558	12	36
3	798	1998	30	/
4	387	1413	18	129
5	825	1293	45	123
6	368	734.5	18	222
7	256.5	669	28.5	180
8	45	226.5	21	225
9	273	724.5	25.5	223.5
10	1218	1563	39	226.5
11	1039.5	1299	24	259.5
12	724.5	1306.5	33	225
13	123	204	9	93
14	201	547.5	15	87

表 3. 不同代步工具週間與週末平均觀測流量（續）（本研究繪製）

街道編號（輛／小時）	汽車	機車	自行車	步行
15	91.5	207	4.5	198
16	1290	2116.5	48	144
17	232.5	480	24	67.5
18	701.5	1204.5	37.5	156
19	150	172.5	18	66
20	150.5	372	30	105
21	21	265.5	25.5	507
22	296	751.5	16.5	490.5
23	201.5	534	16.5	271.5
24	244	856.5	31.5	181.5
25	1069.5	1632	43.5	156
26	235.5	447	21	85.5
28	172.5	310.5	48	214.5
30	226.5	346.5	15	439.5
31	250.5	327	19.5	295.5
32	669	600	19.5	673.5
33	0	33	0	159
34	52.5	180	13.5	354
36	771	574.5	30	399
37	942	967.5	18	210
38	231	285	22.5	270
40	169.5	348	28.5	133.5
43	55.5	169.5	13.5	130.5



圖 6. 不同類型之代步工具週間與週末平均實地觀測流量分佈圖 (本研究繪製)

四、實證研究

執行各種不同移動距離之代步工具（「汽車」、「機車」、「自行車」、「步行」）流量與週間與週末平均觀測流量數據之統計迴歸分析，藉以比對與檢測型構動線分析模型與實地觀測數值兩者是否具相關性，如表 4 所示。

「汽車」實地觀測流量與 NACH 值(R 6000m)之關聯程度最高，呈現雙向度型構特徵。 $R^2=0.598>0.5$ ，具關聯性。「機車」實地觀測流量與 NACH 值(R 6000m)時呈現雙向度型構特徵。 $R^2=0.587>0.5$ ，同具關聯性。然而當「機車」實地觀測流量對應 NACH 值(R3000m)時 $R^2=0.631>0.5$ ，關聯程度最高。然而，「自行車」實地觀測流量與 NACH 值(R 1000m)時關聯程度， $R^2=0.1115<0.2$ ，則不具備關聯性。

藉由以上分析，可推斷「汽車」與「機車」載具使用之流量可透過 NACH 值（「汽車」NACH R6000m，「機車」NACH R3000m），達到最高關聯度，可以有效預測其分佈狀態，並反映交通工具選擇習慣，「汽車」常作為中長程移動之通勤工具，而「機車」則普遍用於中短程；而「自行車」透過分析結果 $R^2=0.1115$ 則未具一定程度之關聯，足可初步推測，中區因缺乏「自行車」移動之相關配套設施，「自行車」作為通勤工具之使用族群過少。「步行」之實地觀測值與 NACH 值(R700m)之統計迴歸分析結果呈現， $R^2=0.26786<0.5$ ，觀測值與分析值，亦不具備關連性，係於鄰近車站與公車站釋放外來「步行」人流之影響，而無法單就城市動線結構系統進行慢速移動之有效預測。

表 4. 不同類型代步工具之實地觀測值與動線區段分析參數關連比對 r-square 值列表（本研究繪製）

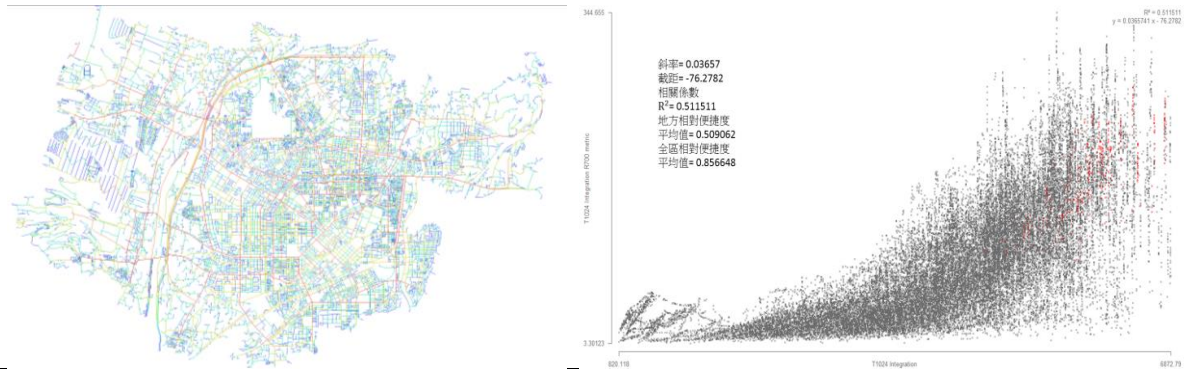
載具形式	實地觀測值 與 不同移動半徑 NACH 值之統計迴歸分析 r-square 值
「汽車」	實地觀測值 與 NACH 值(R6000m)之統計迴歸分析 r-square 值 = 0.598 > 0.5
「機車」	實地觀測值 與 NACH 值(R3000m)之統計迴歸分析 r-square 值 = 0.631 > 0.5
「自行車」	實地觀測值 與 NACH 值(R1000m)之統計迴歸分析 r-square 值 = 0.1115 < 0.5
「步行」	實地觀測值 與 NACH 值(R700m)之統計迴歸分析 r-square 值 = 0.26786 < 0.5

4-1 交通台中大車站計劃實施前後，對中區空間結構之影響

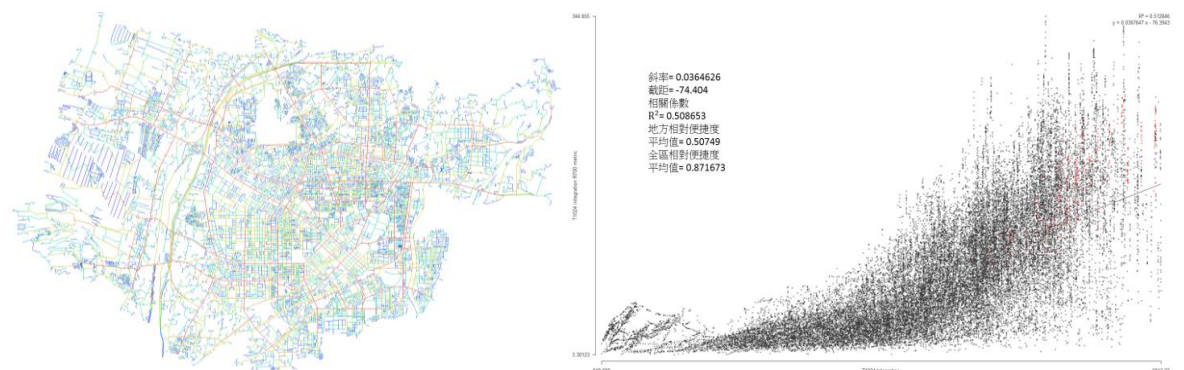
透過空間型構分析台中大車站計畫實施前後之差異，獲致以下台中市全區性相對便捷度與地區性相對便捷度之迴歸分析圖，如下頁表 5 所示，並針對中區各參數比較整理如表 7 所示。透過此表，可知台中大車站計劃路網改變提昇了中區空間型構智慧性（行為模型可預測性），並且同步提高車行之使用量；然而，對於全區性或地區性相對便捷度或小半徑 NACH 值卻是下降，無論對於地區經濟發展之區域發展，或是步行之路徑選擇都有減少之趨勢。為更全面瞭解並探討大車站計畫路網改變對中區空間結構區域性之影響，前述將中區從整體透過主要道路（台灣大道、自由路、三民路）進而劃分成六個區塊，如圖 5 右上，分別對各細部區域分析與觀測結果進行更詳細的討論，如表 7~9 所示。

表 5. 大車站計劃實施前後，台中市空間形構動線區段分析整理表（本研究繪製）

大車站計劃實施前（2016）台中市空間型構動線區段分析（NACH值 R700m）與參數迴歸分析圖（R700m -Rn）



大車站計劃實施後（2018~）台中市空間型構動線區段分析（NACH值 R700m）與參數迴歸分析圖（R700m -Rn）

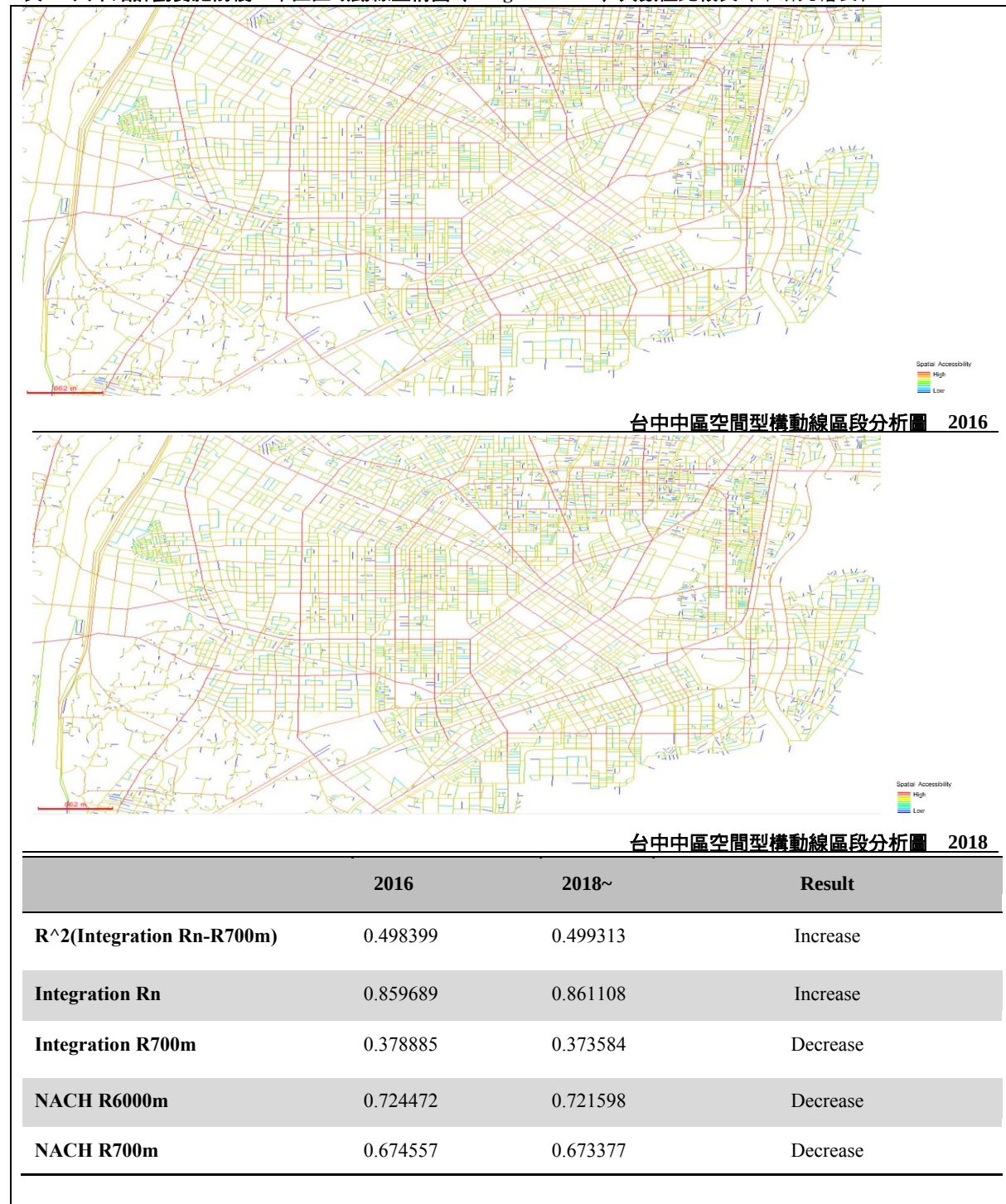


透過分析依區域整理成比較表，如表 7~9，並依區域細部探究如下：

- 區域 A：**區域 A 之 NACH R6000m 與 R700m 皆同步提昇；而全區性或地區性相對便捷度卻下降，表示人潮車流量減少，由 NACH R6000m 與 Integration R700m 所示，由於區域 A 距離路線改動處較遠，因此便於「汽車」之使用率呈現上昇，然而地區性便捷度之慢速移動（「自行車」與「步行」）之使用率卻是下降。
- 區域 B：**區域 B 除 NACH R6000m 數值提昇，其他均下降，NACH R6000m 與 Integration R700m 所示，區域 B 較其餘區域，最鄰近動線結構變動處（台中大車站計劃之鐵路高架化），故路網改變對於中長程移動距離之路徑選擇有明顯提昇，顯示該區域「汽機車」之使用率提昇。
- 區域 C：**區域 C 之 NACH R6000m 及 R700m，皆有提昇；而全區性或地區性相對便捷度卻下降，顯示該區域之人潮車流量下降。由 Integration R700m 所示，該區域「汽機車」之使用率提昇，但較區域 A 之上昇幅度較小，地區性便捷度稍有影響。
- 區域 D：**區域 D 除 NACH R6000m 之數值上升，其餘參數值均下降，由 Integration R700m 所示。區域 D 較區域 B 受影響較小，地區性便捷度下降，顯示該區域之人潮車流量下降。
- 區域 E：**區域 E 之 NACH R700m 和 Integration R700m 皆有提昇；而 NACH R6000m 和 Integration R700m 呈現下降。路網空間結構改變（台中大車站計劃之鐵路高架化）對本區已無具影響力。

6. 區域 F：區域 F 除 NACH R700m 提昇，其餘參數值均下降。本區相較區域 D，顯示空間結構改變對區域 F 已無具影響力。

表 6. 大車站計劃實施前後，中區區域動線型構圖（integration RN）與數值比較表（本研究繪製）



整體台中大車站計畫執行前後所對應之細部區域，主要影響地區性相對便捷度（Integration R700m）和 NACH R6000m 此兩參數，其中以鄰近區域 B 之影響最劇，其相對距離愈遠影響愈小，路網變遷有助於提高整體中長程移動代步工具之使用（快速移動，如「汽車」與「機車」），但卻無助於地區性區域之慢速移動，如「自行車」與「步行」之使用狀況。

表 7. 台中大車站計畫對區域影響實施前（2016）各動線區段參數分析（本研究繪製）

區位	動線 線段數	Integration Rn	Integration R700m	NACH R6000m	NACH R700m
中區	420	0.850748	0.503684	0.709485	0.660959
區域 A	78	0.855210	0.474101	0.699827	0.668872
區域 B	66	0.852606	0.462141	0.742966	0.684412
區域 C	72	0.869986	0.559150	0.724732	0.668841
區域 D	70	0.863942	0.518361	0.721059	0.667434
區域 E	71	0.876801	0.559642	0.766484	0.686489
區域 F	102	0.853890	0.525487	0.734116	0.677972

表 8. 台中大車站計畫對區域影響實施後（2018~）各動線區段參數分析（本研究繪製）

區位	動線 線段數	Integration Rn	Integration R700m	NACH R6000m	NACH R700m
中區	413	0.849273	0.499054	0.716420	0.662445
區域 A	78	0.854060	0.461869	0.714294	0.670862
區域 B	62	0.851205	0.460920	0.761789	0.679274
區域 C	72	0.869687	0.555417	0.726863	0.670121
區域 D	70	0.862325	0.513845	0.722249	0.667155
區域 E	71	0.876643	0.566125	0.765636	0.687167
區域 F	99	0.848721	0.522855	0.731160	0.679441

表 9. 台中大車站計畫執行後對細劃分區域相關參數影響（本研究繪製）

區位	動線 線段數	Integration Rn	Integration R700m	NACH R6000m	NACH R700m
中區	下降 decrease	下降 decrease	下降 decrease	上升 increase	上升 increase
區域 A	不變 the same	下降 decrease	下降 decrease	上升 increase	上升 increase
區域 B	下降 decrease	下降 decrease	下降 decrease	上升 increase	下降 decrease
區域 C	不變 the same	下降 decrease	下降 decrease	上升 increase	上升 increase
區域 D	不變 the same	下降 decrease	下降 decrease	上升 increase	下降 decrease
區域 E	不變 the same	下降 decrease	上升 increase	下降 decrease	上升 increase
區域 F	下降 decrease	下降 decrease	下降 decrease	下降 decrease	上升 increase

五、結論與建議

台中市動線空間結構可透過動線空間量化模型足以更進一步有效預測使用者分佈狀態與傾向，以下整理本文相關研究發現與後續研究建議。

5-1 研究發現

1. **實地觀測流量與動線區段分析模型比對**：於交通流量分析上根據區段模型分析與觀測數據比對，排除大眾運輸工具，「汽車」於動線區段分析 NACH R6000m 與實地觀測值兩者之統計迴歸分析， $R^2=0.598>0.5$ ；「機車」動線區段分析 NACH R3000m 與實地觀測值兩者之統計迴歸分析， $R^2=0.631>0.5$ ，呈現高度關連性，顯示分析數值可有效預測實際動線分佈狀態。然而，「自行車」係因配套設施仍顯不足，動線區段分析數值與實地觀測值兩者關聯性不足（ $R^2=0.1115$ ）。而「步行」之分析數值與實地觀測值亦不具相關性（ $R^2=0.26786<0.5$ ），係因鄰近車站與公車之釋放「步行」人流之影響而無法藉由量化分析軟體有效預測。
2. **台中大車站計畫前後之空間結構影響與變遷**：雖然，大車站計畫提昇台中市整體型構智慧性（空間組構之行為分佈可預測性），或是對於中長程移動距離之代步工具（如「汽車」與「機車」），具顯著改善。然而，空間型構理論之動線區段分析呈現地區性便捷度發展潛力卻是下降趨勢（慢速移動，「自行車」與「步行」之移動選擇度（NACH 值）皆是呈現衰退趨勢），由地區性相對便捷度（integration R700m）和標準化角度選擇度（NACH R6000m）決定，大車站計畫鐵路高架化之路網改變對中區區域 B 影響最大，地區性便捷度（慢速移動之移動選擇度呈現衰退趨勢），顯示大車站計畫之路網變遷不利於地區性空間結構發展。
3. **提昇區域「慢速移動」之使用量為空間結構再造之契機**：前述學者們對城市空間形態與空間使用活力之論述，理想的街道應具備一定程度之可及性（accessibility），以及具備較長時間的停留（慢速移動，如「自行車」與「步行」）才能提昇創造理想城市空間形態與活力之營造，故提昇區域慢速移動之使用，才能提昇當地區域空間之使用品質。

5-2 後續研究建議

1. **關於分析軟體之預測準確度**：礙於研究期程與人力條件之限制，本文僅對 2016 年之路網進行流量觀測，若能再補足大車站計畫實施後之路網流量觀測，便能檢證分析預測值之準確度。
2. **關於空間結構外之影響因素**：本文未探討空間結構外之影響因素，如區域居住人口變化與族群發展（外籍移工）等情況，如能考量空間結構外之其餘影響層面，則將可提出更為準確之城市空間結構量化動線移動模擬模型。
3. **關於特殊族群群聚性之探討**：由於目前對使用群體「群聚性」活動探討，如中區週末移工聚集之情況，何以就此影響因子提出相關分析參數之修正，則是後續研究可持續著墨之處。

誌謝

感謝 台中市政府都發局於研究過程中所提供協助。感謝 朝陽科大建築系研究生乙瑄與大齊協助實地觀測與相關分析數值之資料整理，使得本文更臻完備。由衷感謝許多給予本文斧正建議的諸先進們。

參考文獻

1. Gehl, J. (2010). *Cities for people* (pp. 63-96). Washington, DC: Island Press.
2. Hillier, B. (1996). *Space is the machine: A configurational theory of architecture*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
3. Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. New York, NY: Cambridge University Press.
4. Hillier, B., & Iida, S. (2005). Network and psychological effects in urban movement. In *Proceedings of the 2005 International Conference on Spatial Information Theory* (pp. 475-490). Ellicottville, NY: Springer-Verlag Berlin.
5. Hillier, B., Yang, T., & Turner, A. (2012). Normalising least angle choice in depthmap and how it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space. *Journal of Space Syntax*, 3(2), 155-193.
6. Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities* (pp. 143-186). New York, NY: Vintage Books.
7. Permanyer, L., & Portavella, J. (2007). *Els interiors d'illa de l'Eixample : el significat dels seus noms* (pp. 158-159). Barcelona: Lunwerg.
8. 蘇智鋒 (1999)。空間型態之內在結構邏輯 SPACE SYNTAX 之介紹。建築向度—設計與理論創刊號 (頁 43-53)。台中市：田園城市。
Shu, C. F. (1999). The inner logic of space- Space Syntax introduction. *The first issue of architectural dimensions- Design and theory* (pp. 43-53). Taichung: Garden City. [in Chinese, semantic translation]
9. 龍宗彥 (2003)。以型構與行為分析觀點探討都市公共開放空間系統之設計議題—以台北市信義計畫區為例 (未出版之碩士論文)。逢甲大學，台中市。
Lung, T. Y. (2003). *Research of the design issues of an urban open space system and its relative space use patterns through space syntax analysis- Study of the Shin Yi District in Taipei City* (Unpublished master's thesis). Feng Chia University, Taichung, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
10. 沈孟穎、傅朝卿 (2015)。台灣現代住宅設計之轉化：以 1920 年代至 1960 年代公共 (國民) 住宅為例。設計學報，20 (4)，43-62。
Shen, M. Y., & Fu, C. C. (2015). Transformation of modern residential design in Taiwan: A case study on public (national) housing projects from 1920s to 1960s. *Journal of Design*, 20(4), 43-62. [in Chinese, semantic translation]
11. 林敬凱 (2015)。由空間型構檢視都市街道空間網絡變遷與產業分佈關聯性研究—以臺中市為例 (未出版之碩士論文)。東海大學，台中市。
Lin, C. K. (2015). *A study on the correlation between urban street network and commercial distribution patterns through space syntax methodology- A case study in Taichung* (Unpublished master's thesis). Tunghai University, Taichung, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
12. 劉秉承 (2015)。空間結構分析與形態推演——一種結合空間型構分析與參數化衍生的設計方法論 (未出版之博士論文)。東海大學，台中市。
Liu, P. C. (2015). *Form generation from spatial configuration- A design methodology based on space syntax analysis and parametric design* (Unpublished doctoral dissertation). Tunghai University, Taichung, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
13. 李傳房、江宇震 (2016)。以服務設計觀點探討樂齡族生態導覽服務歷程體驗。設計學報，21 (1)，61-83。

- Lee, C. F., & Chiang, Y. C. (2016). Active aging ecotourism experience from service design perspective. *Journal of Design*, 21(1), 61-83. [in Chinese, semantic translation]
14. 林家華、林楷潔、吳志富、張開國、黃明正、許慈文 (2016)。交流道出口號誌設計對駕駛者認知之影響。《設計學報》，21 (1)，19-39。
- Lin, C. H., Lin, K. C., Wu, C. F., Chang, K. K., Huang, M. C., & Hsu, T. W. (2016). Driver's cognition on diagrammatic guide signs. *Journal of Design*, 21(1), 19-39. [in Chinese, semantic translation]
15. 吳佩芬 (2016)。特色街區導覽系統之使用者情緒與沉浸經驗研究。《設計學報》，21 (2)，25-48。
- Wu, P. F. (2016). The correlation between personal emotion and immersion experience in the guiding system for a cultural district. *Journal of Design*, 21(2), 25-48. [in Chinese, semantic translation]
16. 黃世輝、張宜棻 (2016)。工業遺產空間再利用可適性之檢核要項研究。《設計學報》，21 (2)，1-24。
- Hwang, S. H., & Chang, Y. F. (2016). Study on the checking items for adaptive field reuse of industrial heritage. *Journal of Design*, 21(2), 1-24. [in Chinese, semantic translation]
17. 劉秉承 (2016)。「形隨評析」- 以空間型構理論與型態運算衍生為基礎之參數式設計方法。《建築學報》，96 增刊 (建築人文專刊)，27-49。
- Liu, P. C. (2016). "Form follows evaluation"- A parametric design method based on space syntax theory and form computing generation. *Journal of Architecture*, 96 (Special Issue on Humanities Building Space), 27-49. [in Chinese, semantic translation]
18. 呂佳珍、黃國樑、沈宇哲 (2017)。多媒體資訊站介面設計對高齡者使用性的影響。《設計學報》，22 (2)，49-66。
- Lu, C. C., Huang, K. L., & Shen, Y. C. (2017). The impact of the design of interface of multimedia information system on the usability of elderly users. *Journal of Design*, 22(2), 49-66. [in Chinese, semantic translation]
19. 林庭如、陳建雄 (2017)。溝通符號表徵透明度對失語症成人之影響-風格與動靜狀態初探研究。《設計學報》，22 (4)，45-67。
- Lin, T. J., & Chen, C. H. (2017). The transparency of communication symbol with aphasia adults- A preliminary study on representation style and status. *Journal of Design*, 22(4), 45-67. [in Chinese, semantic translation]
20. 洪珮華、馬瑞平、林榮泰 (2017)。學童手繪空間表現與三維設計能力之關係探究。《設計學報》，22 (3)，45-68。
- Hung, P. H., Ma, J. P., & Lin, R. T. (2017). The study of the correlation between pupils' spatial performance on hand-drawing and 3D design ability. *Journal of Design*, 22(3), 45-68. [in Chinese, semantic translation]
21. 洪啟穎、陳俊良、林榮泰 (2017)。以社會設計觀點探討觀光工廠感質體驗模式。《設計學報》，22 (3)，69-92。
- Hung, C. Y., Chen, C. L., & Lin, R. T. (2017). The qualia experience model of tourism factory from social design perspective. *Journal of Design*, 22(3), 69-92. [in Chinese, semantic translation]
22. 黃世輝、蘇秀婷 (2017)。從推動社區體驗學習反思社會實踐的可能：以阿里山鄉來吉部落的設計工作坊為例。《設計學報》，22 (3)，1-19。
- Hwang, S. H., & Su, H. T. (2017). Introspection on possibility of social practice from promotion of experiential learning in communities: A case study of design workshop in Laiji tribe in Alishan township. *Journal of Design*, 22(3), 1-19. [in Chinese, semantic translation]

23. 劉秉承 (2018)。「由戲入創」遊戲化動態迴遞式空間設計策略－以實地展場規劃與設計教學為例。*設計學報*，23 (1)，19-42。
Liu, P. C. (2018). “From gamification to creation” the dynamic recursion design strategy of gamification—A case study on planning and teaching of an exhibition. *Journal of Design*, 23(1), 19-42. [in Chinese, semantic translation]
24. 林季芸 (2018)。住宅區街道空間形構之研究－以台中市為例。*設計學報*，23 (2)，25-48。
Lin, C. Y. (2018). A study on the form configuration of residential areas’ street space- Taichung city as a case. *Journal of Design*, 23(2), 25-48. [in Chinese, semantic translation]

“Urban Diagnosing” The Simulation and Forecast of City Circulation - A Study on Urban Spatial Structure Based on Segment Analysis of Space Syntax Theory

Benson P. C. Liu

Department of Architecture, Chaoyang University of Technology

bensonp.c.liu@gmail.com

Abstract

“Urban diagnosing” means the simulation and forecast model of a city's circulation system. Just as it is diagnosing for a city, so this is the topic title. Because of Urban Sprawl of Taichung city and other reasons, Taichung central district once was bustling and flourishing before, but nowadays it's not. While Taichung City Government announced the Taichung elevated railroad project, how the spatial structure will be changed, especially the adjacent central district? Found by UCL Professor Bill Hillier, space syntax theory which can forecast behavioral tendency of spatial use, was manipulated in this research. Segment analysis of space syntax was applied to discuss on the spatial changes of Taichung city circulation, comparing the nowadays axial line model within the on-the-spot observation in different transportation tools in order to discuss the city circulation's spatial changes because of Taichung elevated railroad project's influence. The analysis and comparison result shows in bigger scale (car and motorcycle usage) it can be adequately forecasted, but it is hard to forecast on the usage of bicycle and pedestrian because of the crowd released at the station. Even the analytical value of integration and choice of car usage increased, but the same one of low radius decreased. Based on this paper's finding, increase the local value of integration and choice (bicycle and pedestrian usage) is the key factor of urban spatial redeveloping.

Keywords: Urban Diagnosing, Space Syntax, Segment Analysis, Spatial Vicissitude, Behavior Forecast.