

公共自行車安全分析與改善

黃燦煌 Tsan-Huang Huang¹

許俊輝 Chun-Hui Hsu²

黃宇紋 Yu-Wen Huang³

黃彥霖 Yan-Lin Huang⁴

呂政益 Jeng-Yi Liu⁴

譚永雋 Yong-Juan Tan⁴

摘 要

自行車在道路上屬於較為弱勢的交通工具，因此其行駛路線條件在都市環境中，幾乎沒有專用道路的設計，因此本研究考量都市公共自行車在科技協助與安全評估下，建立公共自行車安全模式，主要著重於減少經過風險的區域或路段，但是由於現階段公共自行車較難於每一輛均配備衛星導航與通訊介面，因為除了成本考量外，設備在風吹日曬雨淋下很容易故障，因此本研究採取使用者透過公共自行車租借站的螢幕點選時輸入預計目的地後公共自行車安全模式來提供建議行駛路線，由使用者給予特定安全條件下，進行路線指派，以評估整體運輸時間。模式考慮道路路網、使用者路徑選擇、騎乘安全性及景點選擇等因素來進行目標規劃求解，並以離差變數來進行目標求解，再進行公共自行車之路線指派，以提升公共自行車之安全性，創造更先進、優質的交通環境。

關鍵字：公共自行車、交通安全、目標規劃

一、前 言

發展完善的公共交通系統是近年來是政府視為重要公共政策之一，完整的公共交通系統是為了滿足民眾基本行的需求，發展公共自行車的目的地是為了讓民眾使用跨運具運輸可以達到無間隙的目標，使大眾運輸更加完善。在衛星導航普及的時代，衛星導航器或個人行動裝置上都可以提供用路人進行路徑規劃的系統，我們將對現有智慧型手機 APP “單車 ing” 提出改良之建議，以期能提供用路人更完善的騎乘資訊，確保用路人能夠安全與迅速地到達想要的地方，不會因為對於道路不熟悉而造成延遲與意外。

公共自行車主要應是配合綠色運輸的觀念，希望創造更方便使用無污染

¹ 國立臺灣海洋大學運輸科學系暨研究所助理教授（聯絡地址：20224 基隆市中正區北寧路 2 號，電話：02-24622192 轉 7030，E-mail：tony@mail.ntou.edu.tw）。

² 國立臺灣海洋大學運輸科學系碩士。

³ 國立臺北大學公共行政暨政策學系大學部學生。

⁴ 國立臺灣海洋大學運輸科學系大學部學生。

的交通工具，但受限於都市地區機動車輛數量龐大，道路面積卻相當有限，無法為自行車設置太多專用行駛空間，因此目前各縣市多傾向於設置休閒目的為主的自行車道，並提供方便的自行車租借點，讓全台假日自行車休閒族越來越多，每到天氣不錯的例假日，休閒自行車道上絡繹不絕的自行車騎士讓這個都市更充滿朝氣健康慢活的景象。

因此，台北市政府為更進一步促進都市地區使用自行車的人口，推廣民眾騎乘自行車作為短程接駁交通工具，辦理「臺北市公共自行車租賃系統建置營運及管理」案，藉由市區自行車道路網搭配自行車租賃站服務，鼓勵民眾使用低污染、低耗能的公共自行車作為短程接駁運具，減少及移轉私人機動車輛之持有及使用，以達改善都市道路交通擁擠、環境污染及能源損耗目的。同時秉持著提升都市生活文化，響應全球節能減碳風潮，因此台北市政府與台灣捷安特公司於民國97年3月開始攜手設置公共自行車租賃系統服務計畫，簡稱為「YouBike 微笑單車」。

為方便都市區域民眾短程通行方便使用公共自行車系統，讓公共自行車的使用更符合公平、分享的概念，鼓勵短程使用，避免長時間借用，台北市政府也自102年10月1日起實施續借限制及累進費率，因此公共自行車的短程使用將越來越普遍，本研究針對都市公共自行車在科技與安全評估下，建立公共自行車安全模式分析。

二、文獻回顧

內政部營建署(2012)進行三年期之「生活圈自行車道系統路況資訊查詢暨導航系統建置示範計畫」，完成(臺北市及新北市)自行車道與周遭景點資訊之數化與繪製及「生活圈自行車道系統資訊導覽平台開發暨整合計畫」，其完成建置北部自行車道資料庫(宜蘭縣、基隆市、桃園縣、新竹縣、新竹市、苗栗縣等)自行車道資料庫，建置網頁提供民眾查詢瀏覽市區自行車道資訊，並開發自行車專用之智慧型手機導航軟體(單車ing)，透過行動通訊設備及上網功能，協助並提供民眾取得充足之自行車路徑資訊，並結合地區觀光資源、產業特色等，共同提升自行車使用率，並有效引導民眾多加利用自行車等綠色運具，以建構更完整之綠色交通路網。內政部營建署建設APP“單車ing”提供自行車道之查詢，並提供騎乘者分享騎乘路線的網路平台，其現有之路線規劃系統提供使用者兩種選項，一是針對最短路徑為考量規劃，一是針對現有之自行車車道為優先考量設計，本APP也針對大眾運輸轉乘設計了自行車與大眾交通工具間的轉乘規劃系統，並在其顯示地圖上標示出單車服務處、公司、景點等重要地標之位置。但是目前存在問題主要有兩點，第一是資料庫的還不夠齊全，只要是沒有自行車道連接，應用程式就無法規畫路徑；第二是手機安裝此APP還不夠便利，還要另外利用電腦才可以安裝完成。

Yang et al.(2012)提到公共自行車改變用路人的行為，其騎乘目的相較於一般大眾運輸工具更加自由化，因此在單車路線規劃系統上除了提供路徑資訊外，路上狀況的資訊亦非常重要。Guo & Liu (2012)提出結合衛星定位系統(Global position system, GPS)的自行車共享系統，其系統設計不僅包括應用

軟體，還有硬體。硬體包括鎖定裝置、集中控制器、後端服務器和開關等，應用軟體包括數據庫管理軟件、用戶管理軟件和終端應用程序等，所提出的系統架構為自行車共享系統由中心來管理系統，終端數據蒐集系統和網絡通訊系統來處理使用者資訊與自行車資訊，再利用後端的服務器、集中控制器和鎖定裝置，該系統實現了高效率，自動控制準確，及時、無人值守的自動化技術。在他們設計的系統中，每個自行車都配置有 GPS 接收機，可提供優化的路線導航，並記錄在用戶的乘車路線。全球定位系統 (GPS) 是一種空基全球導航衛星系統 (GNSS)，提供在各種天氣和在任何時候，任何地方可靠的位置和時間信息。

黃雅珠(2010)探討高雄縣阿公店自行車道規劃、公共環境設施、環境安全與管理等環境品質面向，透過重要及表現程度分析，發現阿公店環庫自行車道中有 11 個環境品質項目均落在「加強改善重點」之象限，也就是重要性極高但不滿意者，分別為：「坡度恰當」、「彎度恰當」、「護欄設置」、「出入口具安全性」、「廁所設置位置」、「廁所使用的環境整潔」、「地面警告標示位置恰當」、「自行車與行人共道的危險性」、「緊急狀況聯絡管道」、「緊急救助支援(人)」、「維修站(車)設置」。林振榮(2013)針對公共自行車系統探討規劃公共自行車系統使用者關注議題，建構考慮使用者關注議題的公共自行車系統模式，並發展可行之求解方法，探討求解之品質首先建構及分析同時考量服務水準及公共自行車存貨決策之公共自行車系統規劃模式，並發展出 Branch-and-Price 演算法求解。模式主要的決策變數有公共自行車站之數目及區位、介於自行車站間之自行車道建置、使用者在起迄點的路徑選擇及在自行車站存放自行車數目。其次建構及分析同時考量公共自行車存貨及公共自行車停車位決策之公共自行車系統策規劃模式。因此規劃模式為非線性整數規劃，因此以混合式啟發演式算法求解此規劃問題。最後建構及分析同時考量所有使用者關注議題公共自行車系統策規劃模式，模式考慮道路路網、使用者路徑選擇、騎乘安全性及規劃妥善度等因素，因此規劃模式為雙層數學規劃，並以混合式啟發演式算法求解此規劃問題。曾韋齊(2013)探討公共自行車(YouBike)的費率，探討不同租賃費率與消費者需求的關係，經由分析結果，廠商於試辦區域之定價策略係為培養民眾長期使用習慣，將短期票卡提高定價，以彌補長期票卡價格所造成之虧損。同時廠商於試辦區域之年收入，只有 1.345 % 利率之報酬水準，當 YouBike 與高雄的 C-Bike 規模增加時，使用人次皆能夠大幅提升，其中 YouBike 因價格因素影響總增加車次為 56%、因規模變動因素影響總增加車次約 44%。C-Bike 因價格因素影響總增加車次為 31%，因規模變動因素影響總增加車次約 69%。白詩榮(2012)透過國內外文獻回顧，歸納系統、環境、城市條件及使用者行為偏好為影響公共自行車使用行為的四大面向因素，並透過問卷調查與個體選擇模式瞭解臺北公共自行車使用行為，結果發現民眾對公共自行車系統認知較好，對臺北自行車友善環境的認知較差，租借站地點是影響民眾使用意願的重要因素；個體選擇模式則使用二元羅吉特模型探討影響公共自行車不同使用目的之因素，結果發現影響民眾以公共自行車做為通勤使用及休閒使用的因素不同。通勤使用意願較受生活型態影響，其中白天通勤使用者較重視效率與方便性，傍晚通勤者較重視環境效益，因此發展公共自行車友善環境應同時從「系統友善經營」、「環境友善規劃」及「社會友善引導發展」三個層面共同出發。

針對公共自行車安全方面，林岳良(2012)建構國內都市型自行車道安全評估指標，先以焦點團體法邀集產官學專家與使用者，歸納出六大構面及自行車道安全概念指標，再依指標發展出自行車道安全評估指標問卷，並進行問卷信效度檢驗，問卷以信義區自行車道使用者為施測對象，採立意抽樣，共回收問卷 135 份，有效率為 98.5%，研究結果顯示：適用於臺北市自行車道安全評估指標需包含：「照明及警示」、「動線規劃」、「環境及規範」、「設備」、「路寬」、「鋪面與反光設備」等六個構面，建議國內外自行車道發展的模式應包括：政府需有具體明確的政策支持與完善的規劃；都市運輸設計概念導向大眾運輸模式；設置多元自行車專用道或自行車道；建置公共自行車租賃系統，以建置兼顧安全與運輸需求的都會型自行車道。曾煥元(2014)利用網路流動技巧與數學規劃方法，同時考量需求量、旅行時間、安全性、車道容量、速度、車道寬度及可建置車道種類等資訊與限制，發展一符合實務之自行車道網路改善模式，可依據整體路網之需求情況，建置適合之單向通勤型自行車車道與雙向自行車車道。黃意靜(2013)以重要績效分析法(IPA)分析高雄市公共自行車(C-Bike)乘騎者對於動態社區環境屬性之評估，以問卷調查方式發放 400 份問卷，實際回收 376 份，有效回收率為 94%，結果顯示 C-Bike 乘騎者在重視程度差異性，會因性別而有顯著差異，而女性比男性重視，IPA 分析法建議應加強改善「租賃站設置的數量多寡」、「自行車道動線人車分道」、「通往租賃站的路標號誌」、「公共自行車使用失竊問題」、「騎乘路線安全性」、「公共自行車是否清潔衛生」，以提高乘騎者滿意度。Raviv et al.(2013)提到公共自行車成功的主要關鍵因素在於能滿足每一租借站變動的自行車租借需求與停車架之平衡，這在一個大型的公共自行車租借系統，利用專用的卡車來調度重新安排公共自行車所在租借站是一個錯綜複雜的問題，因此使用現有的路徑模式，結果以混合整數線性規劃可以有效來求解 104 個租借站及 2 輛卡車調度問題。沈芳瑜 (2013) 針對自行車在號誌路口與機動車輛之衝突狀況進行量化風險評估，透過汽、機車駕駛人行為傾向問卷調查，分析其直行、右轉、左轉對於自行車安全之風險機率，藉由自行車涉入道路事故資料及過去交通工程設施改善評估之風險規模，進而求得「直行情境」、「右轉情境」及「左轉情境」衝突風險之影響程度，結果顯示，整體風險機率最高為汽、機車駕駛人右轉情境對於自行車之安全風險，其次為左轉情境、直行情境，而當路口增加一般車輛號誌、自行車路口標誌、自行車待轉區、自行車優先停等線、自行車右轉槽化島、右轉車道標繪自行車等設施時可降低風險。

綜合上述文獻回顧，本研究將以公共自行車科技與安全評估下，本研究考量都市公共自行車在科技與安全評估下，建立公共自行車安全模式，主要著重於減少經過風險的區域或路段，本研究採取使用者透過公共自行車租借站的螢幕點選時輸入預計目的地後公共自行車安全模式來提供建議行駛路線，由使用者給予特定安全條件下，進行路線指派，以評估整體運輸成本與運輸時間。

三、公共自行車安全模式建構

依照前述文獻回顧結果，可以歸納目前公共自行車在使用上具有可能的風險，包括與機動車輛之衝突、不適當之道路條件、不適當之動線規劃、不適當之管理等（如圖 1 所示）。因此本研究針對這些風險建立公共自行車安全模式，主要著重減少經過風險的區域或路段，但是由於現階段公共自行車較難於每一輛均配備衛星導航與通訊介面，因為除了成本考量外，設備在風吹日曬雨淋下很容易故障，因此本研究採取使用者透過公共自行車租借站的螢幕點選時輸入預計目的地後公共自行車安全模式來提供建議行駛路線。

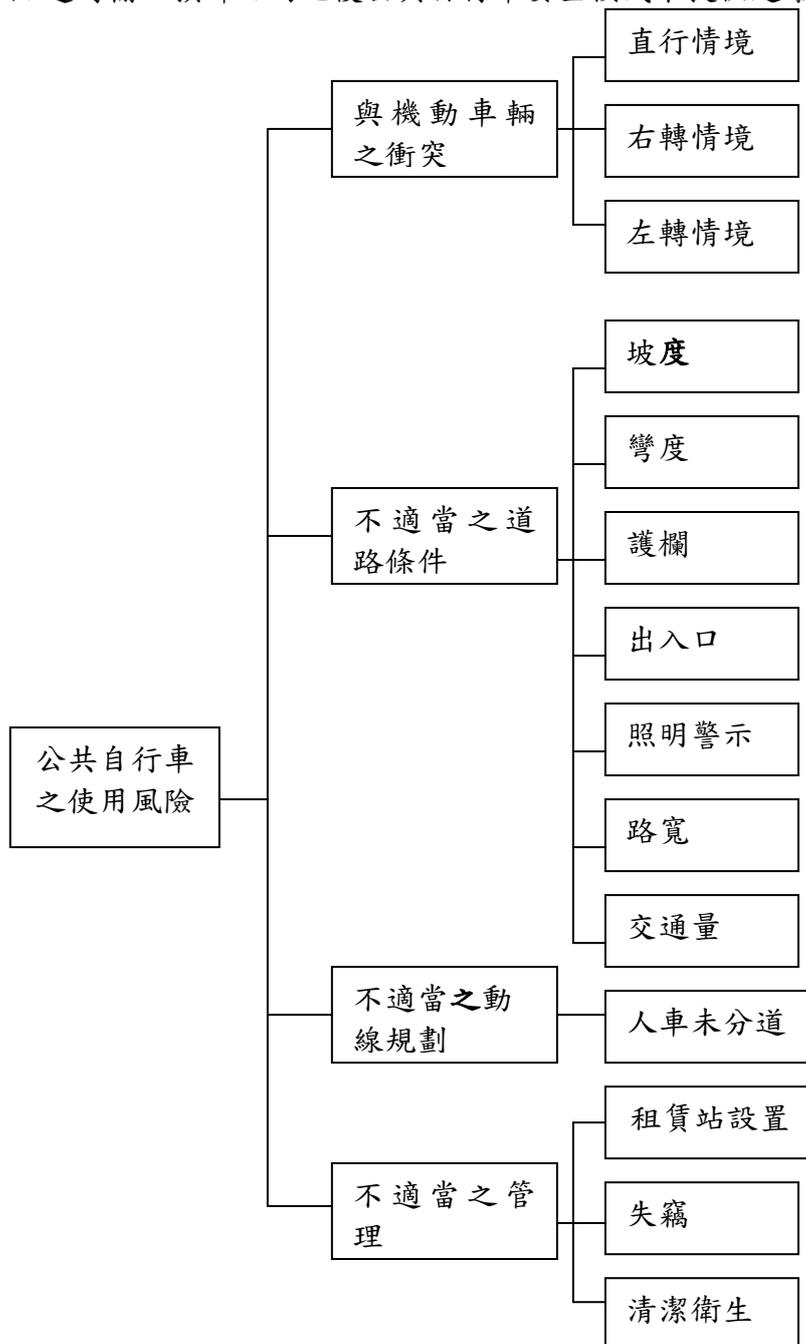


圖 1 公共自行車使用可能之風險

本研究建構在科技與安全評估協助下，由使用者給予特定安全條件，進行路線指派，以評估整體運輸時間。模式考慮道路路網、使用者路徑選擇、騎乘安全性及景點選擇等因素來進行目標規劃求解，並以離差變數來進行目標求解。

本研究以公共自行車在使用上具有之風險，包括與機動車輛之衝突、不適當之道路條件、不適當之動線規劃、不適當之管理等建立公共自行車安全模式，以達到公共自行車路線規劃，其中不適當之動線規劃將透過路線只派時避開人車未分道之路段，至於不適當之管理部份因與路線指派關聯不大，因此本研究將主要考量與機動車輛之衝突、不適當之道路條件及景點選擇考量等因素來建構目標規劃模式。模式架構說明如下：

目標 1：為避免路線中與機動車輛之衝突風險，因此第一個目標為使經過之路口與機動車輛之衝突風險最低，如(1)式所示，也就是 $\text{Min } d_1^+$ 。

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ki} Y_{ki} + d_1^- - d_1^+ = \alpha \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n L_{ki} \dots\dots\dots(1)$$

其中 X_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段之轉向衝突值，本研究假設右轉情境為 3，其次左轉情境為 2、直行情境則為 1，再乘上時段之轉向交通量進行加權平均，其中 $k=1,2,\dots,m$ 。

Y_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段是否適宜指派公共自行車路線，有經過者為 1，否則為 0。

d_1^- 為低於目標 1 與機動車輛衝突風險的不足離差變數。

d_1^+ 為超過於目標 1 與機動車輛衝突風險的過多離差變數。

α 為使用者期望平低於各路口平均轉向衝突值之比例參數

L_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段各路口之平均轉向衝突值

目標 2：為維持公共自行車使用路線之安全，應將路線中不適當之道路條件減至最低，如(2)式所示，也就是 $\text{Min } d_2^+$ 。

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n Z_{ki} Y_{ki} + d_2^- - d_2^+ = \beta \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n L_{ki} \dots\dots\dots(2)$$

其中 Z_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段連結至其他路口之連結路段，當其中有坡度、彎度、護欄、出入口、照明警示、路寬、交通量之不適當道路條件時，依照其風險情況予以評點，風險較高者給予 5 點，風險較低者給予 1 點。

Y_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段是否適宜指派公共自行車路線，有經過者為 1，否則為 0。

d_2^- 為低於目標 2 公共自行車經過不適當道路條件之不足離差變數。

d_2^+ 為超過於目標 2 公共自行車經過不適當道路條件之過多離差變數。

β 為使用者期望平低於各路口平均不適當道路條件之比例參數

L_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段各路口之路段有坡度、彎度、護欄、出入口、照明警示、路寬、交通量之不適當道路條件平均風險值。

目標 3：為使用公共自行車因主要著重短程使用，因此目的地或景點選擇的符合目標相當重要，因此使用者應可選擇至少要經過的地點，如(3)式所示，也就是 $\text{Min } d_3^-$ 。

$$\sum_{k=1}^m Y_{ki} + d_3^- - d_3^+ = \sum_{k=1}^m n_k \dots\dots\dots(3)$$

其中 Y_{ki} 為第 k 個路口第 i 個時段是否適宜指派公共自行車路線，有經過者為 1，否則為 0。

d_3^- 為低於所選定目的地或景點的不足離差變數。

d_3^+ 為超過所選定目的地或景點的過多離差變數。

n_k 為所選定目的地或景點的數目。

四、數值模擬分析

由於公共自行車主要以短程使用為主，因此本研究以 16 個路口或景點選擇為例進行目標規劃之求解，自行車使用者在沒有其他任何協助下，選擇最直接路線如圖 2 所示，線上數字為旅行時間（單位為 10 秒），每個點代表一個目的地或景點。經由分析結果總花費時間為 69 分鐘。當自行車使用者可以在科技協助下選擇最短路線如圖 3 所示，經由分析結果總花費時間為 57 分鐘。

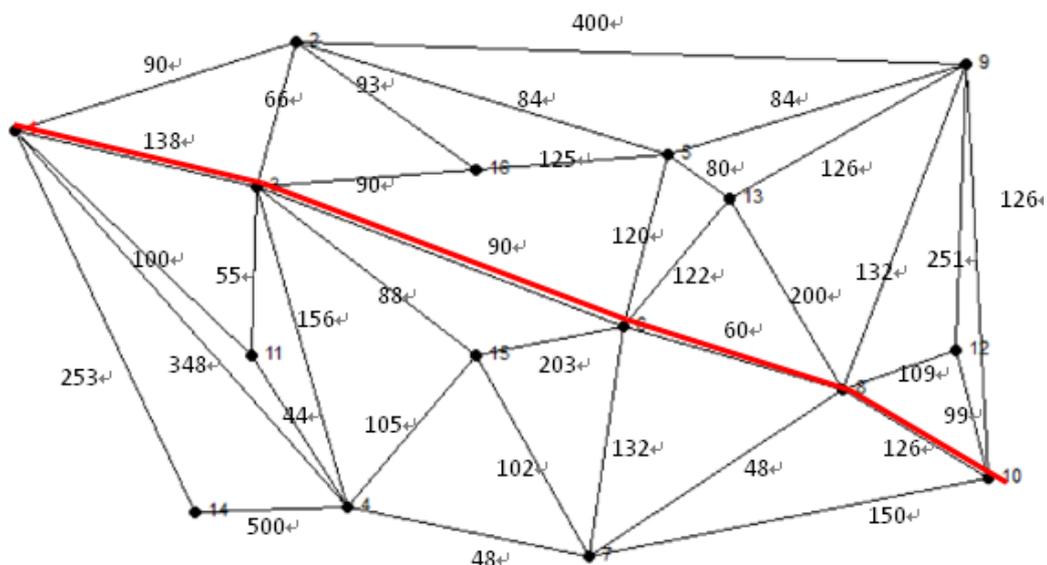


圖 2 公共自行車規劃求解路網示意

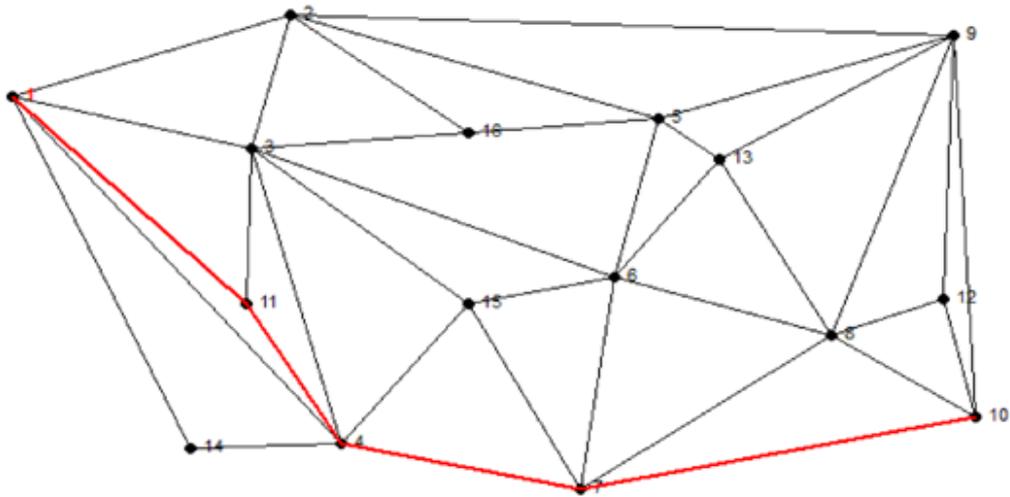


圖 3 公共自行車最短路徑規劃求解路網示意

當考量與機動車輛之衝突、不適當之道路條件及景點選擇考量等因素來建構目標規劃模式，因此目標 1 為使經過之路口與機動車輛之衝突風險最低，也就是 $\text{Min } d_1^+$ ，因此依照前一節模式建構說明，建立目標 1 之輸入參數如表 1 所示。模式分析結果如表 2 所示，目標函數值 $d_1^+ = 0$ ，共計選擇第 4、5、7、9、12、14、15 及 16 等路口或景點。接著進行目標 2 之求解，並將目標 1 函數值 $d_1^+ = 0$ 列入限制式四，目標 2 求解結果如表 3 所示，目標函數值 $d_2^+ = 0$ ，共計選擇第 2、5、7、9、12 及 16 等路口或景點。最後進行目標 3 之求解，設定選擇 3 個路口，並將目標 2 函數值 $d_2^+ = 0$ 列入限制式五，目標 3 求解結果如表 4 所示，目標函數值 $d_3^- = 0$ ，共計選擇第 2、5 及 9 等路口或景點為可供建議公共自行車使用者較安全的行駛路線。因此，可以由公共自行車路徑規劃求解路網得到結果當自行車使用者可以在公共自行車在科技與安全評估下最短路徑規劃求解的路線如圖 4 所示，經由分析結果總花費時間為 64 分鐘。

因此，雖然考量與機動車輛之衝突、不適當之道路條件及景點選擇考量等因素來建構安全評估模式的情況下，自行車使用者由起點到終點所花費時間（64 分鐘），比自行車使用者如果能在最短路線所花費時間（57 分鐘）略長，但仍優於在沒有其他任何協助下，選擇最直接路線所花費時間（69 分鐘）。由於，都市公共自行車在行駛道路空間方面仍屬於弱勢車種，因此未來例如可以透過適當科技與安全評估協助機制，避開如紅燈允許右轉時右轉車流較高的街廓轉角，在行駛路線上給予適當引導，如圖 5 所示，相信對於公共自行車的安全性更加有幫助。

表 1 目標 1 之輸入參數值

路口或景點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
限制式一	路口衝突風險值															
	3	1	2	2	1	3	5	3	1	1	1	1	2	1	1	2
限制式二	不適當道路條件風險值															
	1	1	4	4	1	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	
限制式三																
		1		1	1				1			1		1		1

表 2 目標 1 之輸出結果

路口或景點	輸出值	路口或景點	輸出值
1	0	12	1
2	0	13	0
3	0	14	1
4	1	15	1
5	1	16	1
6	0	d_1^-	0
7	1	d_1^+	0
8	0	d_2^-	0
9	1	d_2^+	0
10	0	d_3^-	0
11	0	d_3^+	0

表 3 目標 2 之輸出結果

路口或景點	輸出值	路口或景點	輸出值
1	0	12	1
2	0	13	0
3	1	14	0
4	1	15	0
5	0	16	1
6	0	d_1^-	0
7	1	d_1^+	0
8	0	d_2^-	0
9	1	d_2^+	0
10	0	d_3^-	3
11	0	d_3^+	0

表 4 目標 3 之輸出結果

路口或景點	輸出值	路口或景點	輸出值
1	0	12	0
2	1	13	0
3	0	14	0
4	0	15	0
5	1	16	0
6	0	d_1^-	0
7	0	d_1^+	0
8	0	d_2^-	0
9	1	d_2^+	0
10	0	d_3^-	0
11	0	d_3^+	0

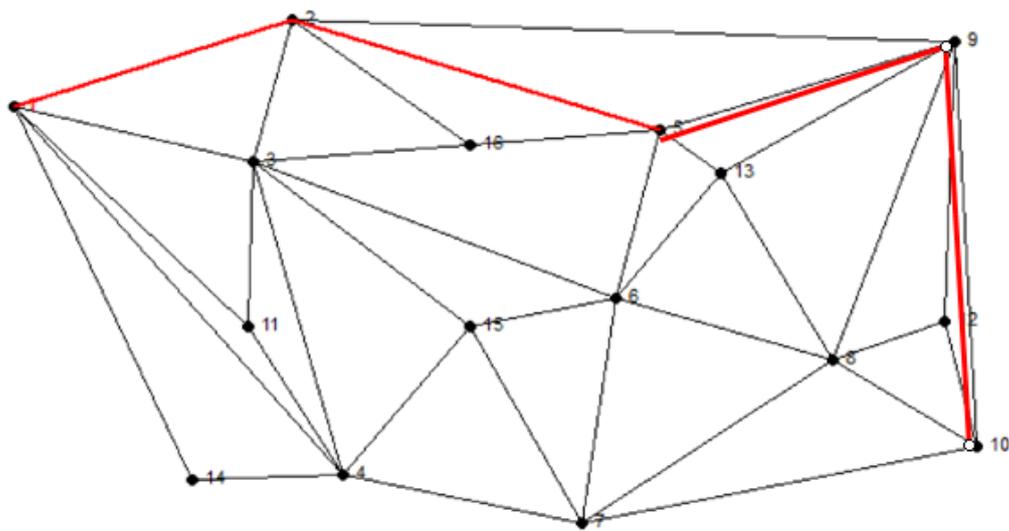


圖 4 公共自行車在安全評估下最短路徑規劃求解路網示意

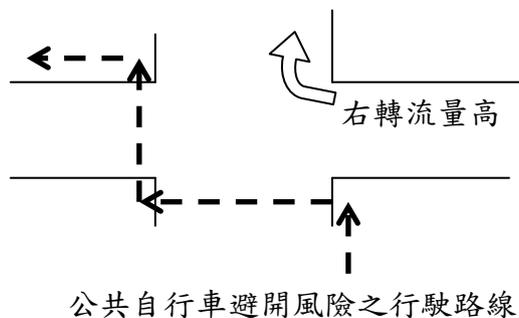


圖 5 公共自行車透過適當科技與安全評估協助機制來避開風險

五、結論與建議

本研究建構在科技與安全評估下，由使用者給予特定安全條件，進行路線指派，以評估整體運輸時間。模式考慮道路路網、使用者路徑選擇、騎乘安全性及景點選擇等因素來進行目標規劃求解，並以離差變數來進行目標求解。分析結果考量與機動車輛之衝突、不適當之道路條件及景點選擇考量等因素來建構安全評估模式的情況下，自行車使用者由起點到終點所花費時間會比最短路線所花費時間略長，但仍優於在沒有其他任何協助下，選擇最直接路線所花費時間，且公共自行車使用者可以避開高風險地區，達到更安全、舒適、便捷的短程使用目的。

由於，都市公共自行車在行駛道路空間方面仍屬於弱勢車種，因此如透過適當科技與安全評估協助機制，避開如右轉車流較高的街廓轉角，在行駛路線上給予適當引導，相信對於公共自行車的安全性更加有幫助。

參考文獻

- 內政部營建署(2013)，生活圈自行車道系統路況資訊查詢暨導航系統建置示範計畫，
http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=13493&Itemid=76
- 白詩榮(2012)，臺北公共自行車使用行為特性分析與友善環境建構之研究，政治大學地政學系碩士論文。
- 沈芳瑜 (2013)，自行車與機動車輛路口衝突風險分析，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 林岳良(2012)，自行車道安全評估—以臺北市信義區「YouBike 微笑單車」路網為例，國立臺北護理健康大學旅遊健康研究所
- 林振榮(2013)，公共自行車系統規劃：議題、模式及求解探討，行政院國家科學委員會專題研究計畫。
- 曾韋齊(2013)，城市公共自行車租賃系統定價研究-以臺北微笑單車為例，淡江大學 運輸管理學系碩士論文。
- 曾煥元(2014)，通勤型自行車道路網改善模式暨求解演算法之研究，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
- 黃雅珠(2010)，阿公店水庫自行車道環境品質之研究國立高雄應用科技大學觀光與餐旅管理系碩士論文。
- 黃意靜(2013)，高雄市動態社區環境關鍵屬性評估—以高雄市公共自行車 C-Bike 為例，屏東科技大學休閒運動健康系所學位論文。
- Guo Aizhang and Liu Guoling (2012), A Design of Bike Sharing System Based on GPS, *Advances in Mechanical and Electronic Engineering*.
- Raviv T, Tzur M, Forma IA (2013), Static repositioning in a bike-sharing system: models and solution approaches, *Journal on Transportation and Logistics*, Vol 2, p187-229.
- Yang Tang, Haixiao Pan, Qing Shen (2012), Bike-Sharing Systems in Beijing, Shanghai and Hangzhou and Their Impact on Travel Behavior,