

圓環交通流模擬與改善策略之研析-----以台南站前圓環為例

Research and Analysis of Roundabout's Alternative Layouts through Traffic Flow Simulation: A Case of Roundabout in front of Tainan Railway Station

吳玉文 Yu-Wen Wu、王培宇 Pei-Yu Wang、傅紹恩 Shao-En Fu
高子倫 Zi-Lun Kao、林建棠 Jian-Tang Lin、紀凱崑 Kai-Wei Ji

摘要

台南站前圓環作為多幹道、大量車流匯集之樞紐，尖峰時段經常難以避免地發生大量車流回堵與大小車交錯之情形，在人流與市區公車之停靠行為兩因素同時牽制之下，更使得圓環整體交通環境產生諸多衝突點與潛藏的危險，因而成為許多駕駛人不願經過或是刻意避開的路口。透過先前不同時段的車流模擬，可以得知無論是在尖峰或是離峰時段，北門路與成功路的回堵情形皆是必然的結果，而單純的時相調整無法有效的改善此情形，因此，在進一步的分析之下，最終將可改進的方向聚焦在人流規劃與圓環整體路網之重新設計。同時，近年台南站前圓環改造議題討論度相當熱烈，政府也廣納民意蒐集可行的設計方案，而其中數種可行性較高之替選方案，亦將作為本研究之基礎，提供延伸思考之架構。

本研究將透過 SUMO 車流模擬軟體，針對現行台南站前圓環三處號誌化路口的人流進行模擬與分析，同時進一步提出可行性較高之圓環路網替選方案，並依照 SUMO 之模擬結果進行分析，並以車流、行人流、路網複雜程度等角度探討，衡量在總交通流量不變的情況下，何種路網設計會是較好的策略，並且考量到行人的步行安全與足夠的穿越時間，最終提供給專業交通規劃者作為參考。

關鍵詞：圓環、十字路口、交通流模擬、路網規劃、SUMO

一、研究動機

對於台南的第一印象，除了文化古都的意象、甜度難以拿捏的各式美食、溫暖的氣候之外，感到更驚訝的可能是混亂的交通狀況與佔據城市路網中重要節點的超乎想像的圓環們。無論是騎乘自行車、機車或是開車，在城市中通勤必然會一再的面對到包含不易理解的號誌且設計複雜之圓環，最主要的不便即是漫長的停等時間、尖峰時段車流交錯進出圓環的危險與擁擠，同時，在站前圓環駕駛機車之用路人甚至還需與公車、客運爭道，交錯行駛，而歷年來因此命喪輪下的無辜民眾也不在少數。

身為人生剛起步的大學生，在平日的通勤經驗中深深的感受到生命安全的威脅與行經圓環的不便，因此我們本次研究的首要目標就是改善台南圓環的設計，提供異質性車流更安全、服務水準更優的路口行駛環境，以車流量極大的站前圓環為主軸。

其次，如同上述提及之大客車混雜，造成機車騎士行駛空間受壓縮之情況，我們也希望透過圓環的重新設計幫助機車騎士擁有更獨立的路權。再來是考量到道路容量與壅塞情況，現行的站前圓環還有許多可以改進的部分，我們將以傳統的十字交叉路口做發想，研擬數個替選方案，研究其可行性與差異，思考圓環之設置是否為最佳解。

最後一個納入本次方案研擬的因素為行人，行人對於圓環車流最直接的影響就是駛出圓環之車輛必須等待所有行人完全穿過行人穿越道才能右轉行駛，而這超過半分鐘的停等時間必然會造成圓環內的車輛回堵，進而導致前一個路口的車流受到影響，造成圓環整體服務水準低落。

然而，在模擬人流的過程中，我們不禁思考到更多與行人相關的議題，像是台南市騎樓的佔用、行人惡劣的步行環境、站前行人空間的不足等等，我們也希望在本次的方案研擬之中能將這部分的規畫納入重新設計的考量，提供步行民眾更良好的環境，同時亦能減少其對於大量車流的負面影響。

綜合上述論點與來自於日常生活體驗之動機，我們定義了明確的目標，即是透過站前圓環各種新方案的發想與模擬軟體結果之分析比較，包括十字交叉、額外增設的機慢車道等，盡可能地針對圓環道路容量、機車與自行車路權與安全性、尖峰時段服務水準與總延滯時間、號誌的辨識性與較易行駛的平面交叉設計、有效分流異質性車流等面向作出具體路網改善並提出洞見，讓本專案不僅止於研究，最終甚至可以提供交通運輸相關部門參考。

二、文獻回顧

針對本研究，我們蒐集了一些相關論文，首先 Urban Single-Lane Roundabouts: A New Analytical Approach Using Multi-Criteria and Simultaneous Multi-Objective Optimization of Geometry Design, Efficiency and Safety¹ 探討了圓環幾何設計的優劣，以 AHP、MCDM、MOO 等方法將所有的參數與環境變數量化，並加以評比整體效率與安全性。

Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts² 則研究了圓環與號誌化十字路口的安全性高低，透過現有之理論模型與統計方法，將蒐集到的交通數據加以分析與推導，比較兩者之優劣，但由結果可知影響事故率與死亡率較大的因素應該為車流量的多寡，而非圓環或十字路口的幾何差異與號誌差異。

A Service Life Analysis of Roundabouts Retrofits for Signalized Intersections³ 與上述第二篇論文的主題相似，但透過不一樣的模型將大量數據進行演算分析，而得出的結論顯示高車流量的情況下並不適合採用圓環設計。不過在燃油效率、成本效益、服務水平等其他方面則還是優於一般十字路口。

Signalized Intersections and Roundabouts-An In-Service Safety Performance Evaluation in Abu Dhabi⁴ 則是透過真實情況的數據，排除掉異常值並進行統計，得出圓環相較於十字路口並沒有比較安全之結論。

第五篇論文 A Comparative Study on the Operational Performance between Signalized Turbo Roundabouts and Signalized Intersections⁵ 針對渦輪型圓環與十字路口進行比較，透過一系列的公式推導與模擬，可知在高車流量的情況下，渦輪圓環的容量與服務水準會比十字路口來的高，而車流量較低的情況下，則是一般十字路口效率較高。

Analysis of Pedestrian Crossing Behavior at Roundabout⁶ 則是聚焦在人流之行為特性與圓環的關係，不過其探討的主要議題較偏向不同人群、年齡、步行速度等因素影響模擬結果之差異，與我們的研究主題關聯性較低。

但 Pedestrian safety at roundabouts: a comparison of the behavior in Italy and Slovenia⁷ 則利用 Time-To-Collision 及 Time Advantage 的統計，得到圓環附近的行穿線對於行人來說是足夠安全的結論，但同時提到了行人會因為不喜歡圓環的環境而選擇快速通過。

三、台灣其他火車站的站前圓環改造回顧

1. 基隆站站體、站前空間規劃[1]

一、改建原因

1. 政策導向，結合都市更新計畫，大規模的針對車站以及港口附近的區域進行重整。
2. 作為最北端的城市，亦為本國國門之一，民眾以及政府都希望打造一個更新穎的市容、城市意象。
3. 車站老舊，外觀不甚美觀。
4. 城際客運、市區客運、計程車、自小客車與火車站之動線混亂、距離分散且對行人不友善，因此計畫建造城際轉運站將其整合。
5. 站前圓環之設計增加停等延滯，大小車流混雜易發生事故，重新規劃後決定拆除。
6. 促進觀光發展，吸引國內外遊客。

二、改造政策

1. 從台鐵車站先行外觀整建，並將其分為南北兩個出口，日後用以分散人流、與轉運站進行連通。於去年已完工。
2. 站前圓環、國光客運候車亭皆已完成拆除與改建。
3. 城際轉運站、西二西三碼頭都市更新計畫、國門廣場皆在施工中，預計還要兩年以後才有望完工。另外部分土地徵收以及招商都還未定案，因此即使完工後，恐怕也無法如預期的計畫順利營運。

三、改造完後實際成效

1. 圓環拆除後對於交通壅塞並無顯著改善，尖峰時段依舊嚴重回堵。
2. 台鐵車站改建著實讓許多遊客以及當地通勤之居民有更佳的舒適度以及旅遊體驗，相較改造前也來的明亮、整潔許多。
3. 其餘的計畫仍在進行中，成效尚未得知。

2. 中壢站站前空間規劃[2]

一、改建原因

1. 增加交通容量，舒緩尖峰時間塞車情形，同時優化計程車排班、自小客車接送路線。
2. 配合鐵路地下化、機捷共構計畫改建，增加空間利用效率，並且規劃友善的人行空間與地下道。

3. 解決移工在圓環聚集吵鬧的弊病，改善市容、整潔、民眾觀感。

二、改造政策

1. 圓環於今年二月已完成拆除，並規劃在原本圓環之西北側規劃廣場作為民眾休閒空間，同時預計建置數個地下道出口(尚未動工)。
2. 鐵路地下化工程以及機捷共構、商場等計畫都還未動工，實際完工日也有待商榷。

三、實際成效

1. 站前空間視覺上較為開闊，大小車輛壅擠的情況稍有改善。
2. 移工的聚集狀況亦有改善，但仍然有部分會在車站附近地帶聚集。
3. 減少計程車排班的區域，提供更多行車空間給自小客車及主幹道的行駛車輛。

3. 嘉義站站前空間規劃[3]

一、改建原因

1. 廣場景觀不整齊、不同車流、交通系統動線混亂，需重新規劃設計與整合。
2. 對於行人極為不友善，甚至沒有號誌及完整的人行穿越道，因此行人經常會在大小車之間穿梭，極為不安全。
3. 政策導向，嘉義市作為全國第一座高齡友善城市，更應該提供行人友善空間給予年長者、行動不便、攜帶大型行李之旅客。
4. 作為嘉義市運量最大的車站，應保持良好的門面形象，進行綠化、美化的工程與設計，提供市民與觀光客更舒適的休閒廣場。

二、改造政策

1. 根據嘉義車站舊有規劃，市政府總結出三種可行方案，分別為U環方案、偏U方案以及移除橢圓建築方案。在經過優缺點、交通停滯時間模擬、整體設計的考量，最終選定移除橢圓建築方案。全部的計畫皆已完工。
2. 首先是減少人車動線交錯、分離汽機車動線、規劃西側計程車專用道，並且預留空間給路邊停靠之公車。
3. 再來是提升交通管理，設置號誌建立良好的汽機車動線。
4. 最後則是整合站前東西廣場步行空間，凸顯廣場的整體性，同時縮短人與植物之間的距離，提供市民易親近且放鬆舒適的綠化廣場空間。

三、實際成效

1. 民眾搭車、候車更安全，且有舒適的步行空間。
2. 不同車種有效分流，減少交錯與衝突點。
3. 外觀清爽且井然有序，綠地面積增加提升旅客的滿意度。
4. 為將來嘉義市區鐵路高架化打下良好基礎。

4. 高雄車站地下化與周圍空間規劃[4]

一、改建原因

1. 三民區部分地區於高雄市主要計畫中定位為「都會金融商貿生活新核心」，利用鐵路地下化縫合都市隙地，以鐵路地下化新生廊帶空間釋出都市更多活動、對話的空間，使其再生結構化，利用都市設計連接原理，在都會空間中加入水體、綠廊，使都市空間成為一個有機體，利用自明性的空間勾勒出高雄市都市紋理。
2. 在前述發展定位下，與三民區部分地區有關之未來構想策略為：重塑都會生活商業新核心、調整商業空間機能、特定區同步結合商務、辦公、金融、休憩、娛樂、商業及居住等內涵；推動大眾運輸村計畫，調整捷運場站周邊土地使用，以高強度及高效率的空間經營，創造都市混合機能與交通樞紐整合為新高雄之心。

二、發展策略

1. 結合臺鐵及高雄捷運共構介面，並預留高鐵銜接空間介面，提供三鐵共站基礎，整合高雄都會區短、中、長程交通運輸機能。
2. 現有車站、場站及路廊下地後土地騰空，創造都市再發展之契機，提供公共設施及開放空間，串連都市綠帶系統，延續都市活動。
3. 縫合高雄市南北分割發展紋理，結合南北高雄發展，車站周邊土地整合與利用，提升鐵路沿線土地價值。
4. 塑造高雄車站周邊地區入口門戶意象，改善都市景觀，提升環境品質。
5. 場站地區採環抱式道路，車流於站西路由北向南行駛，並於站東路由南向北行駛。

三、實際成效

1. 在此研究進行當下，高雄車站周圍建設皆尚在進行中，僅鐵路地下化與新的站體完工，其餘站前空間活化、商業大樓、商場的重建都還無法得知實際成效如何。
2. 就車流與接送區而論，站西路的彩色瀝青鋪面在開通初期問題百出，

包括民眾覺得雨天摩擦係數太低，多種顏色無法有效導引車流、機車待轉格設計有嚴重的缺陷等等問題，不過隨著時間推移民眾漸漸習慣，也不太再有反彈的聲浪。

- [1] 摘錄自基隆火車站西二西三碼頭都市更新計畫及基隆政府基隆新面建設篇
- [2] 摘錄自桃園市政府捷運工程局及桃園市議會第1屆第27次臨時會議案
- [3] 摘錄自嘉義市火車站站前西側廣場整頓工程委託規畫設計及監造案
- [4] 摘錄自高雄市原都市計畫區（三民區部分）細部計畫書及高雄市政府交通局高雄車站中博平面化一站區運輸優化方案

四、研究方法

1. 使用軟體

本研究使用交通模擬軟體 SUMO(Simulation of Urban MObility)進行測試，模擬時長(最後一輛車進入路網)均設定為 1800 秒，並根據模擬情形及模擬結束時間，以及內建之 e2Deteotor 所得出的參數 meanSpeed 及 meanTimeLoss，判斷各路網方案車流延滯情形之差異。

2. 模擬地點

本研究針對台南車站站前圓環周圍路段進行模擬，以圓環為中心，從右上逆時針至右下依序為-北門路二段、富北街、成功路、中山路、北門路一段。



3. 車輛參數設定

小客車：加速度 3m/s^2 ，減速度 9m/s^2 ，長度 4m ，最高速度 70km/hr

公車：加速度 1.8m/s^2 ，減速度 1.8m/s^2 ，長度 12m ，最高速度 50km/hr

貨車：加速度 2.3m/s^2 ，減速度 4m/s^2 ，長度 4.2m ，最高速度 60km/hr

機車：加速度 2.8m/s^2 ，減速度 7m/s^2 ，長度 1.8m ，最高速度 60km/hr

4. 車流資料收集及假設

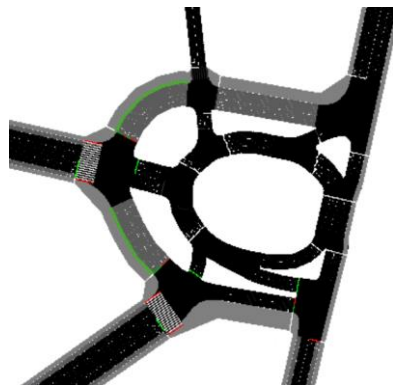
車流資料來源為公路總局的公路交通量調查統計表，以及台南市交通局的臺南市市區道路交通量調查及分析，因為圓環較難調查轉向車流的緣故，所以只有各路段的交通流量，並無清楚載明如中山路有多少車流經圓環轉往成功路或是北門路二段。

因此，我們透過以下步驟進行各路線車流量分配：

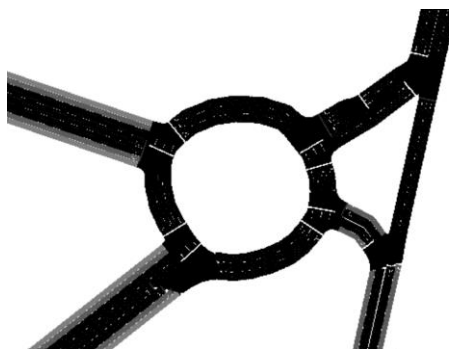
- I. 找出各路段進出圓環的交通量資料(如：中山路北向 834pcu、南向 982pcu)
- II. 依各運具比例及當量判斷各路段中各運具的交通量(如：中山路北向有 1800 輛機車/小時)
- III. 推導行駛不同路線車流比例(如中山路北向有 1800 輛機車/小時，北門路二段北向：成功路西向：北門路一段南向(均為流出圓環之車流量)=3:2:1,則將中山路北向車流設定為有 $\frac{3}{6}$ 之流量流向北門路二段北向(900 輛機車/小時), $\frac{2}{6}$ 流向成功路西向(600 輛機車/小時), $\frac{1}{6}$ 流向北門路一段南向(300 輛機車/小時)。

5. 方案初擬

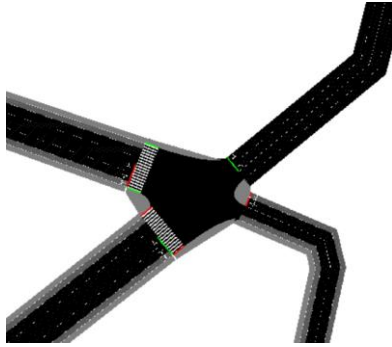
綜合以下幾點考量：(1)各文獻回顧所得之結論(2)現今台南市民們普遍對於圓環形狀的路網較為反感(3)富北街車流量極少(4)行人空間改善。因此不考慮以當前圓環的形式加以修改，而是以十字路網及類渦輪圓環作為替代方案之考量(如圖二、圖三所示)，並與現況(如圖一所示)進行比對。



圖一：台南站前圓環路網(現況)



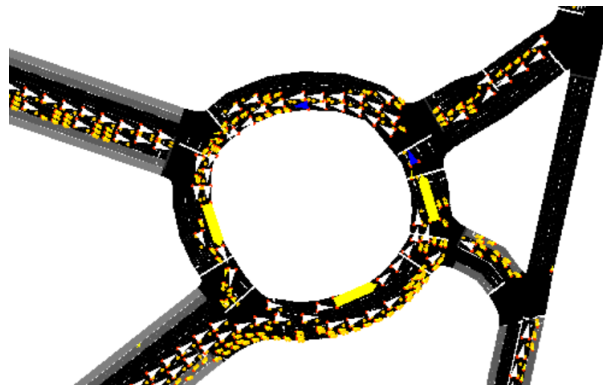
圖二：類渦輪形狀路網(方案一)



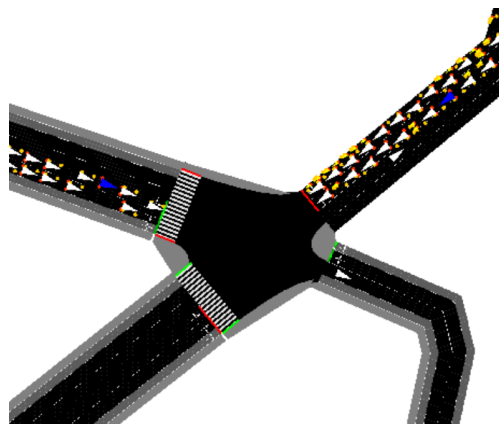
圖三：十字形狀路網(方案二)

6. 初步篩選

經過初步的模擬，我們發現方案一中，異質性車流的互相干擾以及大車的進入，會使得路網運行變的相當不流暢，甚至出現 Dead Lock 的情形(如圖四所示)，因此本方案不予採用。而方案二則出現北門路二段及成功路較為壅塞的狀況(如圖五所示)，為了解決此情形，我們延伸出了幾個方案。



圖四：類渦輪形狀路網之模擬

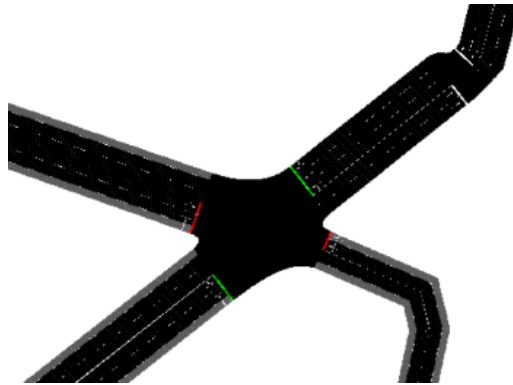


圖五：十字形狀路網之模擬

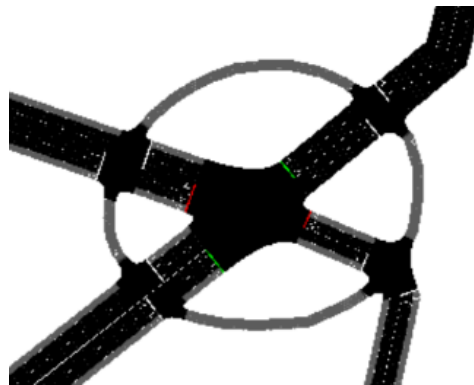
7. 方案二之初步延伸

北門路二段右轉車流量較大，直行車流及右轉車流也會互相阻擋使得延滯情形惡化，因此為了能夠緩解車流，我們透過兩種方法進行處理，分別是：

- (1)將北門路二段更改為三線道(如圖六所示，方案三)以達到分流效果。
- (2)新增機車提前右轉道(如圖七所示，方案四)，減少異質性車流。

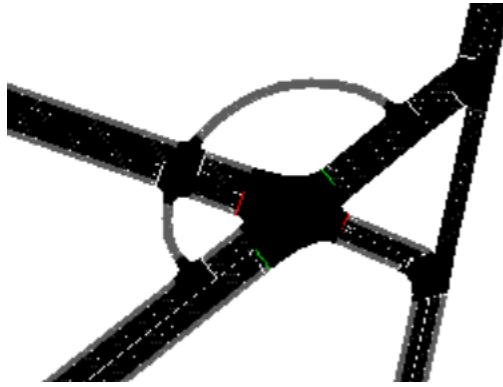


圖六：北門路二段三線道(方案三)



圖七：機車提前右轉道(方案四)

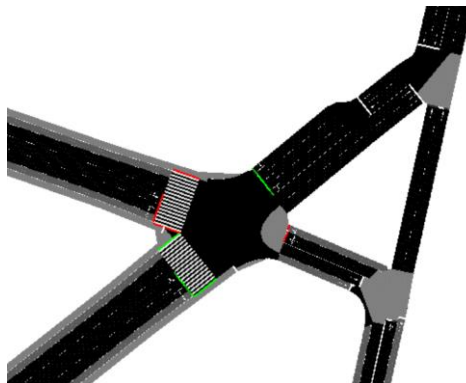
於初步進行號誌優化後的模擬中發現，方案三具有較佳的效果(總模擬時間 2657 秒)；方案四(總模擬時間 2736 秒)則出現了中山路提前右轉道效益極低的情形，原因在於右轉車流較少且行人空間被剝奪，北門路一段雖然也具有同樣的問題，但較為不嚴重，因此我們透過更改其設計來提升效益，同時能作為火車站旅客的臨時接送區(如圖八所示，方案五)。於模擬結果發現，延滯情形大幅減少(總模擬時間 2397 秒)，主因為北門路一段前往二段的車流能夠直線前進，使得總體車流順暢許多。



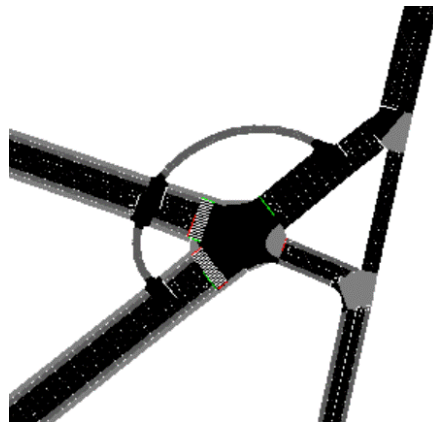
圖八：提前右轉道+接送區(方案五)

8. 方案延伸之整理

根據前述，接送區形成的北門路直通，雖然犧牲了行人空間，卻能達到相當良好的車流分流的效果，又因為方案三優於方案四的情況下，所以合拼接送區以及方案三，形成方案六(如圖九所示)。最後再將所有有利緩解車流之處理結合，形成方案七(如圖十所示)。



圖九：三線道+接送區(方案六)



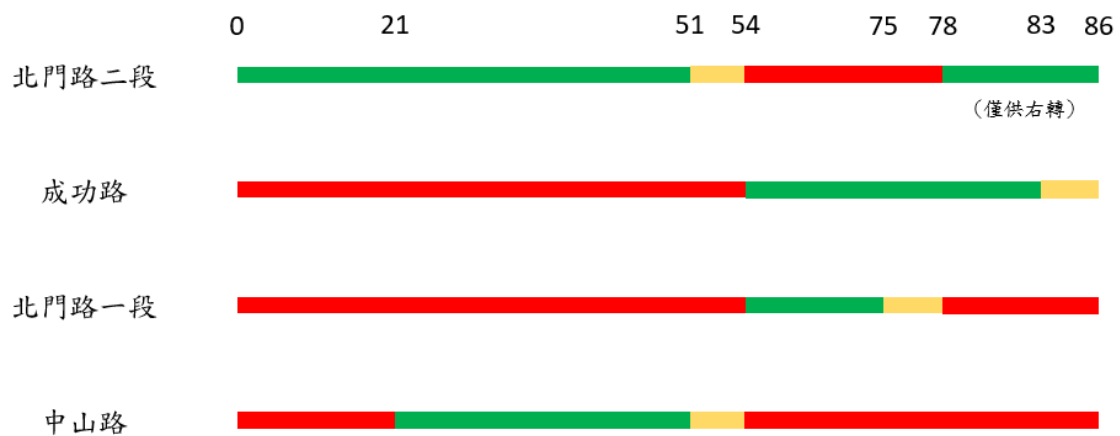
圖十：三線道+提前右轉道+接送區(方案七)

9. 方案擬定

綜上所述，本研究決定以現況、方案二、方案六、方案七進行號誌優化及添加行人流，並進行低、中、高流量模擬分析及結果比對，其中方案二、六、七因為沒有連接富北街的關係，已將富北街原車流分散至各路段，因此路網總車流量不變。本研究之紅綠燈時相長度主要參考各路段的車流量比例，並無使用號誌最佳化相關之軟體。以下為求敘述方便，將稱現況為 O 方案、方案二為 A 方案、方案六為 B 方案、方案七為 C 方案。

10. 號誌設定

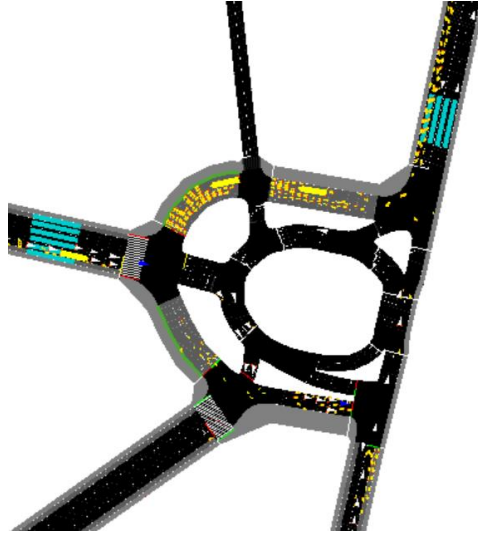
針對以十字路網為基礎的 A、B、C 方案，因為北門路二段南向及成功路東向車流量較大，因此我們根據車流比例，給予了這兩路段較長的綠燈時間，並在成功路東向綠燈遲閉時，開放北門路二段南向右轉綠燈的早開，如圖八所呈現。



圖八：十字路口紅綠燈時相設置(左方路口標示為來向)

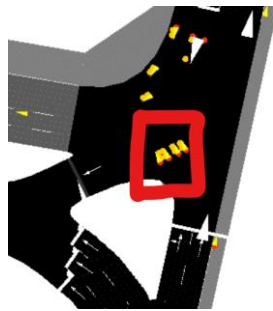
五、研究結果

1. O 方案(原模擬結束時間 3101 秒，號誌優化後 2971 秒)：



圖九：O 方案模擬情形

可以從上圖中很明顯看出北門路北段的機車流量非常龐大難以紓解，且在圓環之內很容易造成回堵的情形，相比之下，內環擁有許多道路空間卻被閒置。北門路二段前往北門路一段的車流需要繞一大圈才有辦法到達，相當不具有效益，另外，如圖十所示，此衝突點的左轉機車車流險象環生，需要同時面臨後方來車、對向要進入內環的小客車所帶來的壓力，同時也需要跟對向要進入外圓環的機車跟公車爭道。

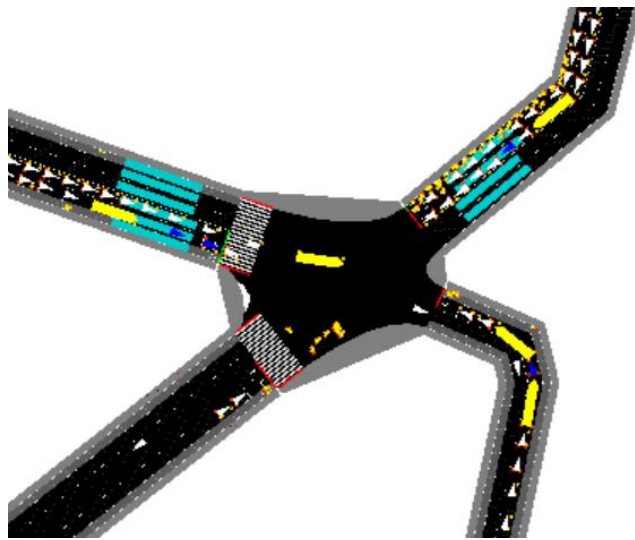


圖十：北門路一段左轉進入圓環的機車車流

同時根據設置的偵測器(圖中藍色處)，取模擬時間 300-1800 秒的資料並進行加權，呈現下表的情形(藍色處為北門路二段南向車流，綠色處為成功路東向車流)，發現車流的延滯及回堵情形在中流量及低流量情況還算正常，但一旦出現尖峰流量，車輛的平均延滯時間會呈現巨量的倍數成長。

總車流量	Mean speed	Mean time loss
1 倍	1.395153061	19.42766582
0.75 倍	14.51027624	3.859185083
0.5 倍	19.07563525	0.359282787
總車流量	Mean speed	Mean time loss
1 倍	2.698650602	28.27954217
0.75 倍	13.17873563	0.794166667
0.5 倍	16.23524194	0.439556452

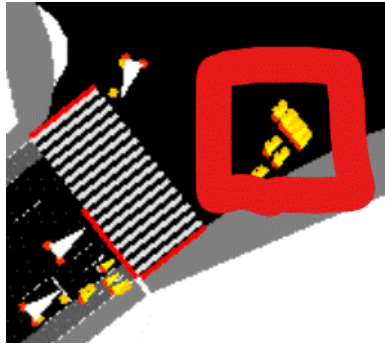
2. A 方案(號誌優化後模擬結束時間 3225 秒)：



圖十一：A 方案模擬情形

從圖中可以看出此方案極簡化了路網設計，因此多出了許多行人空間的部分，且車流動線也較為不複雜，但仍然存在著北門路二段南向、成功路東向車流回堵的問題。而公車的部分因為考量之後公車站不會設於此地，因此與 O 方案不一樣，並無模擬公車站停等。

另外值得一提的是，就模擬結果看來，由於成功路左轉北門路二段的機車流量非常龐大，不僅使得待轉區停等車輛相當的多，也使得停於待轉區的車輛會使得中山路的車流被阻擋，如圖十二所示，如果機車遵照的是左轉靠左而非兩段式左轉，或許此情形會有所緩解。

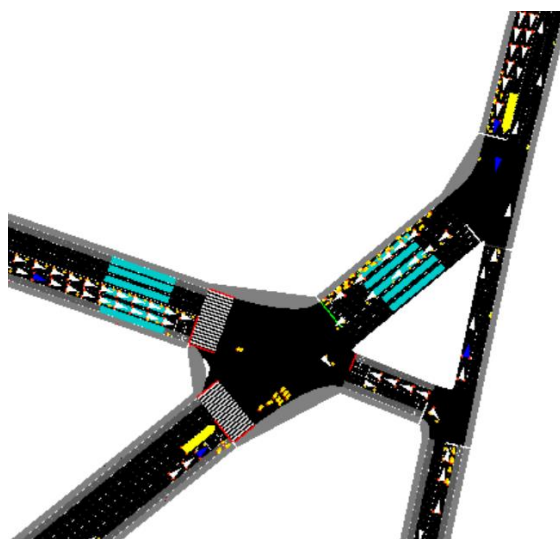


圖十二：待轉區停等機車

而根據所設置的偵測器顯示，O 方案與 A 方案有著發生延滯地點不同的情形，因此會產生數據上的差異，O 方案主要是因為圓環內的回堵而產生延滯，但 A 方案主要會因為路口紅綠燈的關係而發生延滯，在中高流量之間的差異則不大。

總車流量	Mean speed	Mean time loss
1 倍	0.442057522	42.96420354
0.75 倍	0.46326484	43.99972603
0.5 倍	1.995827068	10.84524436
總車流量	Means peed	Mean time loss
1 倍	1.67	30.29952618
0.75 倍	2.352877907	32.7544186
0.5 倍	5.942941176	7.23210084

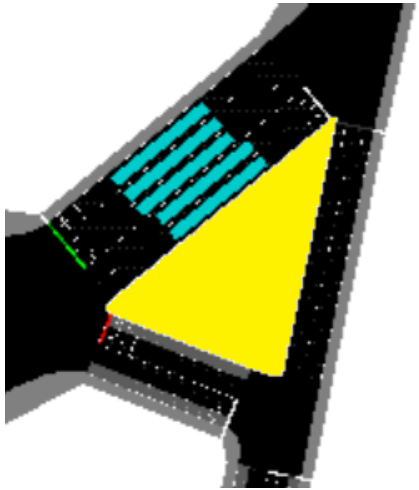
3. B 方案(號誌優化後模擬結束時間 2669 秒)：



圖十三：B 方案模擬情形

於北門路二段在進入十字路口之前增為三線道，雖然對左轉車流影響不大，但卻有效的將直行跟右轉的小客車車輛進行分流，避免了相互干擾的機會。

而比起 A 方案，B 方案還增加了北門路一段與二段之間的道路，雖然犧牲了右半部的行人空間，如圖十四所示，但這段道路卻能讓要從北門路二段至一段的車流不用經過十字路口，減少了十字路口的負荷量，效果相當顯著，於此同時還能增設避車彎，提供火車站的旅客作為接送區。



圖十四：犧牲之行人空間示意圖

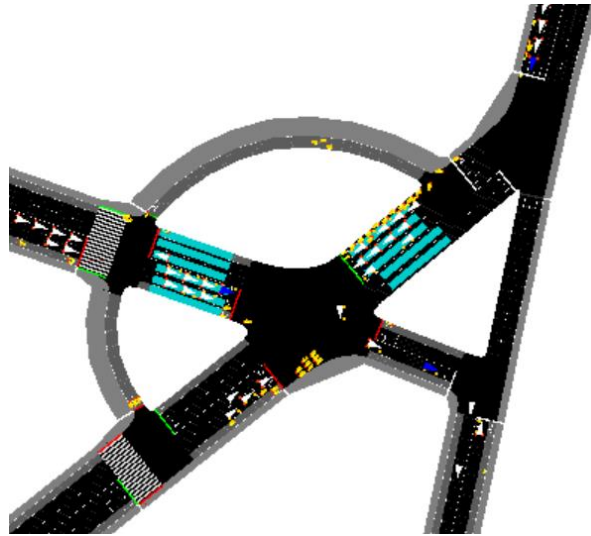
從偵測器的角度來看，如下表所示，北門路二段南向的車流與 A 方案相比，的確因為增設為三線道的關係，延滯時間有顯著的減少(43→23)。

總車流量	Mean speed	Mean time loss
1 倍	1.178270042	23.01568214
0.75 倍	1.41414557	25.45378165
0.5 倍	5.745406977	4.628352713

而北門路二段北向的車流(偵測器處)，與 A 方案相比(下方左表)，B 方案(下方右表)因為有了新增路段的緣故，通行的速度加快了，延滯時間也減少了。

總車流量	Mean speed	Mean time loss	總車流量	Mean speed	Mean time loss
1 倍	13.61705779	0.818108581	1 倍	15.72161383	0.615907781
0.75 倍	13.92141053	0.785494737	0.75 倍	15.81636678	0.600484429
0.5 倍	13.96413249	0.808138801	0.5 倍	16.24735294	0.56254902

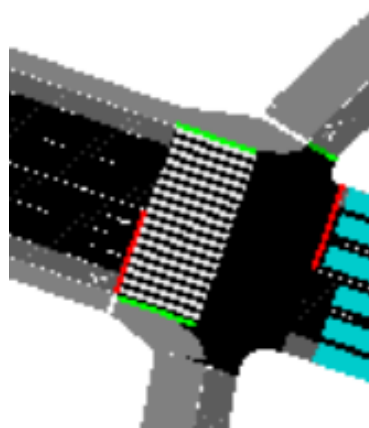
4. C 方案(號誌優化後模擬結束時間 2373 秒)：



圖十五：C 方案模擬情形

相較於 B 方案來說，C 方案犧牲了更多的行人空間，增加了路網的複雜程度，但卻彌補了 B 方案中機車直走及右轉車流互相干擾的問題。

而本方案的行穿線為了配合機車提前右轉道，比起 A、B 方案都離十字路口較遠，如圖十六所示，使得過馬路的人流及車流相互影響的機會降低，造成總模擬時長大幅減少。



圖十六：行穿線放置處

從偵測器的角度來看，成功路東向的車流，比起最基礎的 A 方案(下方左表)，C 方案(下方右表)因為有增設提前右轉道的關係，車輛平均速度加快了，總延滯時間也很明顯的縮小了。

總車流量	Mean speed	Mean time loss	總車流量	Mean speed	Mean time loss
1 倍	1.67	30.29952618	1 倍	2.907767221	23.42095012
0.75 倍	2.352877907	32.7544186	0.75 倍	4.401345566	10.39137615
0.5 倍	5.942941176	7.23210084	0.5 倍	6.905635593	3.749533898

5. 各方案總模擬時長比對：

總車流量	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
1 倍	3101	2971	3225	2669	2373
0.75 倍	2247	2097	2741	2234	2074
0.5 倍	2158	2098	2104	2137	2074

上表為各方案在高、中、低交通流量下的表現情形，可以看出，如同文獻回顧中的研究所闡述的，低中流量的情形下，圓環的表現是不遜色於，甚至是優於 A、B、C 方案的，但一旦遇到尖峰時期的高流量，B、C 方案的優勢就很明顯能夠看出來了。

6. 行人對於車流的影響

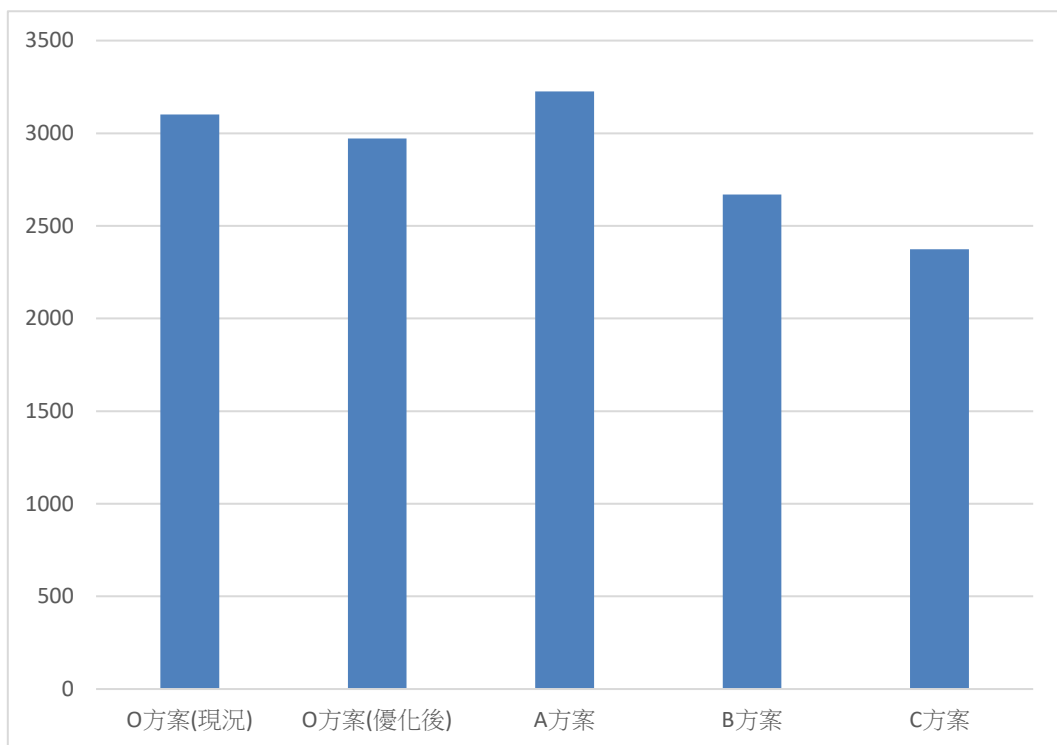
行人流	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
有	3101	2971	3225	2669	2373
無	2569	N/A	2882	2249	2291

上表為各方案在加入行人流前後的比對，可以看出行人流與車流的確會因為互相干擾，而導致總延滯時間增加，而其中又可以看出 O 方案的影響最大，C 方案影響最小。

六、結論

1. 以車流的角度評估

台南站前圓環是一個時常存在高尖峰車流量的區域，主因在於除了其他路口同樣擁有的上下班尖峰車潮以外，台 20 線也穿過其中，又同時存在著台南車站旅客進出站的車流，因此主要會以高流量下進行模擬所得出的數據(結束模擬時間)進行判斷。



現有方案	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
優劣情形	劣	劣	最劣	優	最優

2. 以行人流的角度評估

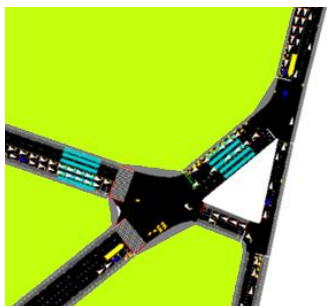
站前的行人空間同樣是一個需要被考慮的因素，目前全台灣許多車站都努力將站前腹地改造成能讓進出站旅客在車站附近休憩的綠地，或甚至是能夠方便在附近商圈消費的空間，來達到永續性的效果，然而台南站前圓環的現況卻並非如此，因此我們特別列入考量，並依照道路使用的面積以及方便行人通行的區域進行判斷，詳請見圖十七至圖二十。



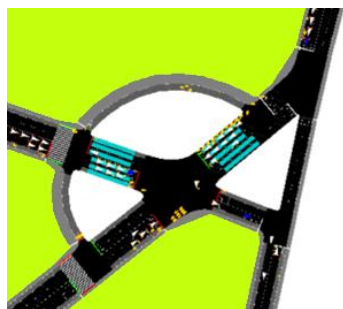
圖十七：O 方案行人空間示意圖



圖十八：A 方案行人空間示意圖



圖十九：B 方案行人空間示意圖



圖二十：C 方案行人空間示意圖

現有方案	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
優劣情形	劣	劣	最優	優	普通

3. 以路網複雜程度評估

針對用路人來說，較簡單的路網及行進動線，可以減少行車時所產生的不適感及危險性，加上台南外地遊客眾多，複雜的動線較易使得遊客無所適從，因此我們將路網複雜程度列入評估之中。

現有方案	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
優劣情形	最劣	最劣	最優	優	普通

4. 綜合評估

現有方案	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
車流	劣	劣	最劣	優	最優
行人流	劣	劣	最優	優	普通
複雜度	最劣	最劣	最優	優	普通

就上述評估情形來看，我們認為 B 方案及 C 方案會是效益較高的選擇，而 B 方案跟 C 方案之間的主要差異在於提前右轉道以及行人空間的犧牲，就我們的看法來說，交通應該是一件人本的事情，所以比起 C 方案的以壓縮行人空間換取較順暢的車流，B 方案比較具有人本交通的思維。

但值得探討的是，C 方案為了機車提前右轉道而造成的行穿線後撤，根據模擬結果看來，有使得行人的穿越安全性比起其他方案高出許多，但因為 SUMO 軟體具有較難模擬安全性的限制，使得本次研究難以對安全性進行評估，是一個較為可惜的地方。

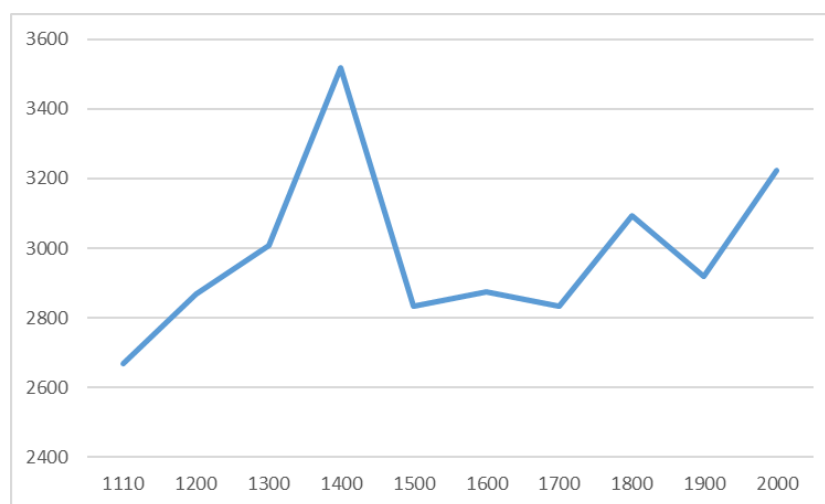
5. 圓環優勢

另外，根據結果的顯示(如下表所示)，如同之前的研究提到的，圓環在中低流量的確具有一定的優勢，所以當加入成本的考量的時候，如果能夠將尖峰車潮引導至其餘道路，讓圓環附近一直是保持在中、低流量的狀態，那麼保留圓環現況則會是一個選擇。

總車流量	O 方案(現況)	O 方案(優化後)	A 方案	B 方案	C 方案
0.75 倍	2247	2097	2741	2234	2074
0.5 倍	2158	2098	2104	2137	2074

6. 行人流與車流的相互干擾

我們也同時對行人流與車流相互干擾的情形進行了探討，以 B 方案為基礎，原通過行穿線的行人數為 1110 人/小時(成功路上雙向各 275 人/小時，中山路上雙向各 280 人/小時)，我們針對人數的部分進行了調整，以 100 為一個間隔，我們發現，車流的確會因為人流的增多而受到阻礙，如同圖二十一所示。(其中人數為 1400 人/小時所產生的模擬情形為異常值，原因為待轉車輛過多而出現瓶頸)



圖二十一：改變行人流量的模擬(X 軸為總穿越人數/小時，Y 軸為模擬結束時間)

由結果看來，若未來台南站前空間的行人流量變高時，會因為影響到車流，而又再次面臨到交通服務水準下降的問題，C 方案中的人行道後撤或為一個解法，但略微犧牲了行人穿越的便利性，對於如何解決這項問題，是值得被探討的。

七、本研究的限制及可後續研究之處

1. 研究限制

本研究的號誌並無使用額外的判斷最佳化號誌的軟體，如果能加入軟體的使用可以更精準的進行比較及判斷。另外，對於 O、A、B、C 方案中安全性的評估，因為 SUMO 無法模擬行人安全及車流行進安全的緣故，較難以進行判斷，但在道路設計中，安全是很重要的因素，如果有能夠針對安全性進行模擬的軟體，很值得使用看看。

另一個限制是，SUMO 沒有模擬車禍的機制，無法判斷十字或是圓環在消化發生車禍的情形時，哪一種路網設計效果會比較好，或許可以利用車輛突然停等幾秒來達到相似的效果，但還是會有差距。

2. 後續可進行之研究

本研究較為聚焦在圓環周圍，然而事實上附近的路段因為號誌連鎖、車流相互影響等等原因，也應該被考慮其中，後續研究可以考慮將模擬範圍拉大，以求更貼合真實情況。

而在交通工具方面，我們對於小客車、機車、行人流有較多的著墨，但自行車事實上也是需要考量的部分，如果能對於自行車道有相關的模擬及討論，會能夠更符合站前空間的永續性。

八、參考書目

1. Hrvoje Pilko, Sadko Mandžuka, Danijela Barića 2017
Urban Single-Lane Roundabouts: A New Analytical Approach Using Multi-Criteria and Simultaneous Multi-Objective Optimization of Geometry Design, Efficiency and Safety
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.04.018>
2. Frank Gross, Craig Lyon, Bhagwant Persaud, Raghavan Srinivasan 2012
Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.012>
3. Xinyi Yang, Mark J. Magalotti 2016
A Service Life Analysis of Roundabouts Retrofits for Signalized Intersections
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.017>
4. Ahmed Hamed Elzaher, Francisco Daniel B.de Albuquerque 2021
Signalized Intersections and Roundabouts-An In-Service Safety Performance Evaluation in Abu Dhabi
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.031>
5. Yan Bai, Xin Zhang, Hideki Nakamura 2021
A Comparative Study on the Operational Performance between Signalized Turbo Roundabouts and Signalized Intersections
<https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2021.100033>
6. Natalia Distefano, Salvatore Leonardi, Giulia Pulvirenti 2022
Analysis of Pedestrian Crossing Behavior at Roundabout
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.005>
7. Chiara Gruden, Irena Ištoka Otković, Matjaž Šraml 2021
Pedestrian safety at roundabouts: a comparison of the behavior in Italy and Slovenia
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.068>