

# 自行車道之容量及服務水準分析方法初探

## Review on Traffic Capacity and Level of Service Analysis Method of Bicycle Lanes

運輸計畫及陸運組 張舜淵 呂怡青 歐陽恬恬 游佳諭 陳柏安

研究期間：113 年 4 月至 113 年 12 月

### 摘要

隨著交通部陸續臺灣推動「全國自行車友善環境路網整體規劃」及相關升級計畫，自行車旅行與人本交通需求逐步增加，但目前「臺灣公路容量手冊」尚未涵蓋自行車道的容量及服務水準評估方法。因此，本報告透過回顧國外自行車道的容量與服務水準分析方法，探討適用於臺灣的評估方式。就本報告之回顧發現，自行車道容量探討文獻主要與車道設計相關，而美國公路容量手冊主要內容及其他文獻均為以自行車騎士之觀點探討自行車騎乘感受之影響因素及服務水準評估方法，爰整理不同學者對自行車服務水準(BLOS)影響因素的探討與計算模型發展，並呈現路側及路外自行車設施的服務水準評估方式。本報告為臺灣自行車道容量及服務水準評估提供了國際案例，建議未來需蒐集更多臺灣自行車騎士騎乘感受及本土交通環境的數據，以建立適用於臺灣的自行車道服務水準評估模型。

### 關鍵詞：

自行車、容量、服務水準

# 自行車道之容量及服務水準分析方法初探

## 一、前言

交通部奉行政院核定於 104-107 年推動「全國自行車友善環境路網整體規劃及交通部自行車路網建置計畫」，於 104 年底完成「自行車環島 1 號線」，並於 107 年底完成 25 條環支線，除使環島自行車主幹路網日臻完善，環島騎乘人數亦穩定成長中。續於 109-112 及 113-116 年辦理「環島自行車道升級暨多元路線整合推動計畫及第二期計畫」，持續優化環島自行車路網，並整合轄下各單位資源，以及攜手各縣市政府，發展不同特色的自行車觀光遊程，讓民眾體驗更友善多元的自行車旅遊環境，並吸引更多國內外遊客參與自行車旅遊活動。

目前「臺灣公路容量手冊」尚無自行車道容量及服務水準評估之相關內容，國內之自行車道亦處於設施提供、路線串聯階段，尚難以實際交通量進行容量相關研究，惟鑑於自行車旅行風氣日盛及人本交通愈趨受到重視，本報告藉由蒐集與分析國外自行車道容量及服務水準評估方法，探討應用於國內之可行性，以利持續滾動檢討「臺灣公路容量手冊」後續研究主題，完善手冊內容。

由於美國是公路容量研究工作起步最早也最深入的國家。第一版的公路容量手冊於 1950 年出版以後，美國 Transportation Research Board( TRB ) 大約 5 到 10 年更新一次，最新版的手冊為 2022 年版。而自 1950 年美國發行第一版公路容量手冊後，各國意識到公路設計標準之重要性，紛紛依照各自之國內交通實況、分析需要等發展本國之公路容量規範。因此本報告以 2022 年版美國公路容量手冊(2022HCM)[1]為主，並蒐集其他有關自行車容量、服務水準評估之相關文獻進行回顧探討。

## 二、自行車道容量

就 2022HCM[1]及其他相關文獻探討之自行車道容量，說明如下：

### (一)2022 年美國公路容量手冊[1]

2022HCM 於第 4 章自行車容量觀念說明，自行車設施的容量極少被觀察到，通常來自歐洲稀少的數據或遠小於 1 小時時間段之流率推估而得。非阻斷性車流下，一研究顯示，雙向通行之自行車設施容量為

1,600 輛自行車/小時/車道，單向通行為 3,200 輛自行車/小時/車道。另一研究則顯示，單向通行之自行車設施容量在 1,500~5,000 輛自行車/小時/車道之間。阻斷性車流下，丹麥的指導方針表明，自行車容量通常只與市區號誌化路口有關，且根據經驗容量為 1,000 輛自行車/小時/車道。

2022HCM 於第 19 章市區號誌化路口，提到一研究提出單向自行車道的飽和流率可高達 2,600 輛自行車/小時，然因各路口條件不同，且目前無足夠資料可進行調校，因此 HCM 建議以 2,000 輛自行車/小時為自行車道的平均飽和流率，並以此計算號誌化路口自行車道之容量。惟該容量值為計算自行車道路口延滯其中一參數，未涉及服務水準評估。號誌化路口自行車道容量計算公式如下：

$$c_b = s_b \times (g_b / C) \quad (1)$$

此式中，

$c_b$  = 自行車道容量 (自行車/小時)；

$s_b$  = 自行車道飽和流率 2,000 自行車/小時；

$g_b$  = 自行車道有效綠燈時間 (秒)；

$C$  = 週期長度 (秒)；

## (二)英國倫敦與智利聖地牙哥自行車道之飽和流率研究[2]

研究結果顯示，英國倫敦塔維斯托克廣場的自行車道飽和流率在上午尖峰達到約 4,300 輛自行車/小時/車道，而下午尖峰減少 25%，約為 3,200 輛自行車/小時/車道。

而智利聖地牙哥首都大區寬 1 公尺之自行車道飽和流率約 2,000 輛自行車/小時/車道。如果寬度增加，飽和流量也會上升。1.5 公尺寬車道之最大值約 3,400 輛自行車/小時車道；2 公尺寬之車道，飽和流率達到近 4,700 輛自行車/小時/車道，而此數值已超出 1 公尺寬車道的兩倍。換句話說，飽和流幾乎隨寬度線性增長。

而本研究亦整理其他研究之自行車道寬度與容量，如表 1 所示。

表 1 相關研究自行車道寬度與容量

研究國家	每車道寬度(公尺)	容量 (自行車輛/小時/車道)
瑞典	1.20	1,500
加拿大	1.25	5,000
中國	1.00	1,800~2,100
德國	1.00	3,200
德國	0.78	3,000~3,500

資料來源：[2]

### (三) 杭州市區自行車道容量研究[3]

由於不同的分析方法、自行車設施、騎乘者特性，以及旅行目的，相關文獻對 1~1.2 公尺寬之自行車道估計容量值變異很大，但主要在 2,000~3,500 輛自行車/小時/車道之間。而過往文獻均是針對傳統自行車估算容量，惟隨著電動自行車的快速成長，傳統自行車與電動自行車組成的異質交通為自行車道之使用，帶來一些效率問題。

本研究蒐集了中國杭州 11 條自行車道路段的實地資料，分析結果，自行車道容量約 2,500 輛自行車/小時/公尺。另分析電動自行車、男性、年輕騎乘者與載物 4 種不同因素之比例對容量的影響，發現自行車道容量會隨著電動自行車比例的增加或載物自行車比例的減少而增加。

本研究結果可應用於自行車與電動自行車混合交通流條件下，自行車道的設計與管理。

### (四) 自行車道的寬度對自行車交通行為、流量和容量影響之研究[4]

本研究對 8 條 1.85~2.85 公尺(不含車道緣石寬度)之間，不同寬度的單向自行車道進行錄影並蒐集數據。8 條車道的自行車交通量很大，附近沒有交通燈/路口/公車站/斑馬線，自行車道和車道之間沒有分界線。蒐集之 8,925 名騎乘者，平均速度為 21.6 公里/小時，但不同地點略有不同。女性騎乘的速度比男性慢 2~3 公里/小時，但差異也較小。交通量不影響平均速度，但隨著自行車交通量的增加，速度差異會減少。與寬度較大的自行車道相比，在狹窄的自行車道上，騎乘者騎乘時離人行道更近，超車時彼此之間的距離也更近。在自行車道旁的路邊停車會使自行車道的「有效寬度」減少約 10 至 15 公分。

研究過程中，僅在短時間內觀察到較高的自行車交通量，然似乎尚未達到容量限制。在一條 2.35 公尺寬之雙車道自行車道，每 10 秒有高達 20 輛自行車的流量，平均速度仍約為 21 公里/小時。估計雙車道自行車道容量為 3,000 輛自行車/小時。除非減少或增加車道數量，否則寬度不會對容量產生太大影響。載貨自行車的平速度為 16.3 公里/小時，其間距是傳統自行車的 1.3 倍。由於載貨自行車的速和尺寸，其當量相當於 3-4 輛傳統自行車。

根據本研究結果，可提供自行車道設計之寬度建議，以確保安全且有效率的自行車騎乘。

### 三、自行車騎乘感受影響因素

美國 HCM 主要內容及其他相關文獻均係以自行車騎士之觀點探討自行車騎乘感受之影響因素及評估方法。本節就蒐集回顧之自行車騎乘感受影響因素文獻，說明如下：

- (一)交通壓力等級(Level of Traffic Stress, LTS)[5]由美國聖荷西州立大學的米內塔交通研究所(Mineta Transportation Institute)開發，其中有關自行車騎乘和路網連結部分，為根據荷蘭自行車道設計標準，將路段劃分為四個壓力等級進而衡量多數人能夠忍受的交通壓力，並以相關因素衡量交通壓力和自行車騎士的舒適度，包含：車道數、車輛速度、是否有停車車道、是否有專用自行車道、自行車是否與混合交通共用道路、是否有路肩或自行車道緊鄰停車區。其中車輛速度和車道數是決定 LTS 的兩個最重要因素。
- (二)Kang, K.等人[6]說明南韓正嘗試通過增加自行車使用率來解決交通壅塞和環境問題，從使用者的角度應用有序概率模型(Ordered Probit Model)，開發自行車服務水準(Bicycle Level of Service, BLOS)模型，用於評估和改善現有自行車道。模型結果顯示，自行車道寬度是影響最大的因素，其他有統計顯著性的因素包括路口進入車道的總數、遇到的行人數量和逆向騎行的自行車數量。
- (三)Okon, I. E.等人[7]以六點評分系統評估自行車服務水準(BLOS)的主觀感受。該研究以固定在頭部且呈 45 度角的攝影機，約 5~10 公里/小時的騎行速度，於一週中不同的日期和時間進行自行車騎乘影片拍攝，每段影片長度為 20~40 秒，再由 85 名參與者透過影片進行評分。研究

發現，BLOS 主要受到車道物理分隔、車輛速度、交通流量以及與行人衝突影響，另外還有許多其他因素產生次要影響，包括自行車道寬度、外側車道寬度、路面條件、騎行者的經驗等。

(四)Kazemzadeh, K. 等人[8]則彙整了自行車騎乘感受所訂定之評估指標，及其主要影響因素如表 2 所示。

表 2 自行車騎乘感受評估指標及主要影響因素彙整表

作者 (年份)	評估指標	主要影響因素
Davis (1987)	自行車安全指數評分 (Bicycle Safety Index Rating)	平均機動車交通量、車道數量、速度限制、車道與路面條件寬度。
Sorton 和 Walsh (1994)	自行車壓力等級 (Bicycle Stress Level)	交通量、速度限制、路緣寬度。
Epperson (1994)	路況指數 (Road Condition Index)	路邊停車格、中央隔離帶、自行車道、地形坡度、排水溝蓋或其他障礙物。
Landis (1994)	交互風險分數 (Interaction Hazard Score)	機動車交通量、車道數量、外側車道的寬度、土地使用強度、路口車輛進入頻率、路面狀況、速度限制、大型車輛比例。
Botma (1995)	自行車服務水準 (BLOS)	車道寬度、使用者交通量、使用者組成 (自行車與行人的比例)，以及使用者速度。
Dixon (1996)	自行車服務水準 (BLOS)	設施類型、車道寬度、路邊停車格、車輛進入密度、中央隔離帶、視距限制、機動車速度、設施維護狀況、障礙物。
Harkey 等人 (1998)	自行車適用性指數 (Bicycle Compatibility Index)	自行車道或鋪設肩線、自行車道寬度、路緣線寬度、路緣交通量、其他車道交通量、機動車速度、停車車道存在、住宅區、大型車流量係數、停車周轉係數、右轉流量係數。
Emery 和 Crump (2003)	自行車適用性評估 (Bicycle Suitability Assessment)	年平均每日交通量 (AADT)、車道數量、速度限制、自行車道或鋪設肩線的寬度、路面條件、路緣的存在、路口車輛進入頻率、平行停車、中央轉彎車道、實體中央隔離帶、鋪設肩線、自行車道標記、地形坡度、視距限制、眾多車道進出口、困難交叉口、工業用地、人行道設置。

表 2 自行車騎乘感受評估指標及主要影響因素彙整表(續 1)

作者 (年份)	評估指標	主要影響因素
Jensen (2007)	自行車服務水準 (BLOS)	機動車交通量、緩衝區寬度、機動車速度、路邊停車、自行車設施寬度、車道寬度、人行道、公車站、車道數量。
Petritsch 等人 (2007b)	自行車服務水準 (BLOS)	機動車交通量、車道數量、速度限制、路面狀況、大型車輛比例、車道寬度、無號誌化交叉口數量。
舊金山公 共衛生部 門 (2009)	自行車環境質量指 數 (Bicycle Environmental Quality Index)	自行車道標記、車道坡度、自行車停車、照明、自行車道連接性、自行車道寬度密度、左轉專用車道、紅燈處禁止左轉、車道數量、路邊停車、路面狀況、大型車輛比例、土地使用、交通緩解措施、機動車交通量、機動車速度。
HCM (2010)	自行車服務水準 (BLOS)	車道寬度、自行車道寬度、路肩寬度、路邊停車、交通量、車速、大型車輛比例、路面狀況、路緣的存在與車道數量。
Mekuria et al. (2012)	交通壓力等級 (Level of Traffic Stress)	設施類型、機動車道數量、自行車道寬度、速度限制、自行車道阻塞、路邊停車。
Kang 和 Lee (2012)	自行車服務水準 (BLOS)	自行車道寬度、自行車道路類型、交叉口或節點上的車道總數。
Jensen (2013)	路口的自行車服務 水準(BLOS)	號誌化路口：停止線前的自行車設施類型、交叉口內的等待時間、市區或農村區域、交叉距離、機動車交通量。 無號誌路口：小路口的步行道存在、路權狀況、機動車速度、機動車交通量。
Foster et al., (2015)	保護型自行車道服 務水準(LOS)模型	緩衝區類型、行進方向(單向或雙向)、機動車速度限制與日均機動車流量。
Beura、 Chellapilla 等人 (2017)	服務水準(LOS)	車道寬度、路面條件、交通量、車速、路邊商業活動、中高流量車輛的出入頻率。

表 2 自行車騎乘感受評估指標及主要影響因素彙整表(續 2)

作者 (年份)	評估指標	主要影響因素
Bai 等人 (2017)	服務水準(LOS)	騎行者年齡、自行車種類、自行車流量、自行車道寬度、電動自行車及電動滑板車的比例、機動車與自行車與行人之間的物理分隔、自行車道的坡度、道路接入點與路邊土地用途。
Beura 等人(2018)	自行車服務水準(BLOS)	車道有效寬度、高峰小時車流量、平均車道速度、路面條件、路邊商業活動、公共交通間歇停車干擾、進入街邊停車場的車輛流量及高交通流出入口的頻率等。
Okon 和 Moreno (2019)	自行車服務水準(BLOS)	側邊車道分隔、車速、機動車交通流量與行人衝突。
Beura 等人(2020)	自行車服務水準(BLOS)	有效寬度、高峰小時車流量、穿越行人流量、穿越騎行者路徑的轉向車輛流量、因通行的騎行者引起的平均延誤時間、路邊停車周轉率與周圍發展模式。

#### 四、相關文獻自行車服務水準評估方法

本節就美國公路量手冊以外，所蒐集回顧之自行車服務水準評估方法文獻，其分析對象均為路側之自行車騎乘感受，說明如下：

- (一) Landis, B.W. 等人[9]為美國大都市區域開發之自行車服務水準(BLOS)模型，將交通流量、道路設計、土地使用和路面品質結合在一起，提供路段自行車服務水準評估方法。研究結果顯示，路面條件和車道有效寬度是影響 BLOS 的重要因素。其公式如下：

$$BLOS = a_1 \ln(Vol_{15}/L) + a_2 \ln[SPD_p(1 + \%HV)] \\ + a_3 \ln(COM_{15} * NCA) + a_4(PC_5)^{-2} + a_5(W_e)^2 + C$$

其中：

$Vol_{15}$  = 每 15 分鐘的單向交通流量。

$L$  = 車道總數。

$SPD_p$  = 速限(以代表平均行駛速度)。

$\%HV$  = 重型車輛百分比。

$COM_{15}$  = 與道路段相鄰土地使用的旅次生成強度。

$NCA$  = 每英里非車輛管制通行點的有效頻率(車道出入口和路邊停車位)。

$PC_5$  = 路面條件的 5 等第評估值(聯邦公路管理局提供)。

$W_e$  = 通行車道平均有效寬度。

$C$  = 常數項。

(二)Harkey, D. L 等人[10]建立自行車相容指數(Bicycle Compatibility Index, BCI)計算公式，以幫助交通規劃師及交通工程師，評估特定道路同時容納機動車和自行車的能力。自行車相容指數計算公式如下：

$$BCI = 3.67 - 0.966BL - 0.410BLW - 0.498CLW + 0.002CLV + 0.0004OLV + 0.022SPD + 0.506PKG - 0.264AREA + AF$$

其中：

$BL$  = 是否存在寬度  $\geq 0.9$  米的自行車道或鋪設路肩；  
無=0、有=1

$BLW$  = 自行車道(或具鋪面路肩)的寬度

$CLW$  = 路緣車道寬度

$CLV$  = 路緣車道單向每小時車輛流量

$OLV$  = 同方向其他車道的每小時車輛流量

$SPD$  = 交通第 85 百分位車速(公里/小時)

$PKG$  = 是否存在使用率超過 30%的停車車道；無=0、有=1

$AREA$  = 路旁開發類型；住宅區=1、其他類型=0

$AF$  = 調整因子=貨車流量調整因子  $f_t$ +停車周轉調整因子  $f_p$ +右轉車流調整因子  $f_{nt}$

$f_t$ ：每小時路緣車道大貨車流量	$f_p$ ：停車時間限制(分鐘)	$f_{nt}$ ：每小時右轉車流量
$\geq 120$ ：0.5	$\leq 15$ ：0.6	$\geq 270$ ：0.1
60 - 119：0.4	16 - 30：0.5	$< 270$ ：0.0
30 - 59：0.3	31 - 60：0.4	/
20 - 29：0.2	61 - 120：.3	
10 - 19：0.1	121 - 240：0.2	
$< 10$ ：0.0	241 - 480：0.1	
	480：0.0	

而由自行車相容指數(BCI)計算結果，可對照服務水準(LOS)及相容程度，如表 3 所示。

表 3 自行車相容指數(BCI)與服務水準(LOS)及相容程度關係

服務水準 (LOS)	相容指數範圍 (BCI Range)	相容程度 (Compatibility Level)
A	≤ 1.50	極高 (Extremely High)
B	1.51 - 2.30	非常高 (Very High)
C	2.31 - 3.40	中等偏高 (Moderately High)
D	3.41 - 4.40	中等偏低 (Moderately Low)
E	4.41 - 5.30	非常低 (Very Low)
F	> 5.30	極低 (Extremely Low)

## 五、美國 HCM 路側自行車服務水準評估方法

美國 HCM[1]就非阻斷性車流公路與市區道路路側，提供各自之自行車服務水準(BLOS)評估方法，分別說明如下：

### 5.1 非阻斷性車流公路

美國 HCM 第 16 章雙車道公路說明路側自行車服務水準評估方法，該方法亦適用於多車道公路，其計算公式如下，計算結果再依據表 4 決定服務水準等級。

$$BLOS = 0.507 \ln(v_{OL}) + 0.1999S_t(1 + 10.38HV)^2 + 7.066(1/P)^2 - 0.005(W_e)^2 + 0.760$$

其中，

BLOS = 自行車服務水準分數；

$$v_{OL} = \text{外側車道需求流率(車/小時)} = \frac{V}{PHF \times N} ;$$

其中，V為每小時流量(車/小時)；PHF為尖峰小時係數；N為單向車道數量(雙車道公路=1)。

$$S_t = \text{有效速度係數} = 1.1199 \ln(S_p - 20) + 0.8103 ;$$

其中， $S_p$ 為速限(英里/小時)。

HV = 重車占比(小數形式)；

若 $V < 200$ (車/小時)，則HV應限制在最大 50%。

$P$  = 美國聯邦公路管理局(FHWA)的五等第路面狀況評級；  
 1=非常差、2=差、3=一般、4=好、5=非常好。

$W_e$  = 外側車道的平均有效寬度(英尺)。

而 $W_e$ 計算方式如下：

如 $W_s \geq 8$ ，則 $W_e = W_v + W_s - (\%OHP \times 10ft)$ ；

如 $4 \leq W_s < 8$ ，則 $W_e = W_v + W_s - 2 \times [\%OHP(2ft + W_s)]$ ；

如 $W_s < 4$ ，則 $W_e = W_v + [\%OHP(2ft + W_s)]$ 。

同時，

如果 $V > 160$ ，則 $W_v = W_{OL} + W_s$ ；

否則， $W_v = (W_{OL} + W_s) \times (2 - 0.005V)$ 。

上述各參數說明如下：

$W_v$  = 有效寬度(英尺)；

$W_{OL}$  = 外側車道寬度(英尺)；

$W_s$  = 鋪面路肩寬度(英尺)；

$V$  = 每車道每小時流量(車/小時)；

$\%OHP$  = 路段中被占用的路側停車位比例(小數形式)。

表 4 非阻斷性車流公路自行車服務水準等級

服務水準等級	服務水準得分
A	$\leq 1.5$
B	$>1.5 - 2.5$
C	$>2.5 - 3.5$
D	$>3.5 - 4.5$
E	$>4.5 - 5.5$
F	$> 5.5$

## 5.2 路口

美國 HCM 第 19 章提供路口自行車服務水準計算公式如下，計算結果再依據表 5 決定服務水準等級。

$$I_{b,int} = 4.1324 + F_w + F_v$$

其中，

$$F_w = 0.0153W_{cd} - 0.2144W_t$$

$$F_v = 0.0066 \times (v_{lt} + v_{th} + v_{rt} / 4N_{th})$$

$$W_t = W_{ol} + W_{bl} + W_{os}^* + I_{pk}W_{pk}$$

上述公式之參數說明如下：

$I_{b,int}$  = 路口自行車服務水準得分

$F_w$  = 橫斷面調整係數

$F_v$  = 機動車流量調整係數

$W_{cd}$  = 路口路緣寬度 (ft)

$W_t$  = 外側車道、自行車道、有鋪面路肩之總寬度 (ft)

$v_{lt}$  = 左轉需求流率 (車輛/小時)

$v_{th}$  = 直行需求流率 (車輛/小時)

$v_{rt}$  = 右轉需求流率 (車輛/小時)

$N_{th}$  = 車道數

$W_{ol}$  = 外側車道寬 (ft)

$W_{bl}$  = 自行車道寬(若無自行車道=0) (ft)

$W_{pk}$  = 路邊停車寬度 (ft)

$I_{pk}$  = 路邊停車率指標變數

$P_{pk}$  = 路邊停車率

$W_{os}$  = 具鋪面外路肩寬度 (ft)

$W_{os}^*$  = 調整後的具鋪面外路肩寬度 (ft)

若有緣石  $W_{os}^* = W_{os} - 1.5 \geq 0.1$  ; 否則  $W_{os}^* = W_{os}$

表 5 路口自行車服務水準等級

服務水準等級	服務水準得分
A	$\leq 1.50$
B	$>1.50 - 2.50$
C	$>2.50 - 3.50$
D	$>3.50 - 4.50$
E	$>4.50 - 5.50$
F	$> 5.50$

### 5.3 市區道路

美國 HCM 第 18 章提供市區道路節線(Link)與路段(Segment)的自行車服務水準計算公式，而於第 16 章提供計算市區道路路徑之自行車服務水準計算公式。市區道路節線(Link)與路段(Segment)的區別如

圖 1 所示，路段(Segment)為相鄰上下游停止線之間，節線(Link)則為相鄰但不包含的 2 路口之間。節線(Link)、路段(Segment)、路徑之自行車服務水準計算公式以及服務水準判定標準依序說明如下。

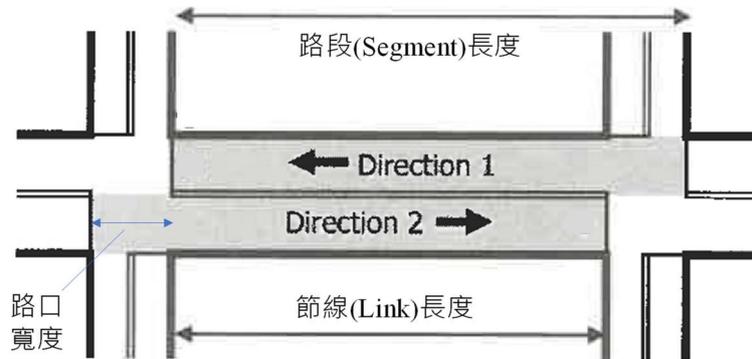


圖 1 市區道路節線(Link)與路段(Segment)示意圖

#### (一) 節線(Link)

節線(Link)之自行車服務水準計算公式如下：

$$I_{b,link} = 0.760 + F_w + F_v + F_s + F_p$$

其中，

$$F_w = -0.005W_e^2$$

$$F_v = 0.507 \ln \left( \frac{v_{ma}}{4N_{th}} \right)$$

$$F_s = 0.199 [1.1199 \ln(S_{Ra} - 20) + 0.8103] (1 + 0.1038 P_{HVa})^2$$

$$F_p = \frac{7.066}{P_c^2}$$

上述公式之參數說明如下：

$I_{b,link}$  = 節線(Link)的自行車服務水準得分

$F_w$  = 橫斷面調整係數

$F_v$  = 機動車流量調整係數

$F_s$  = 機動車速度調整係數

$F_p$  = 路面狀況調整係數

$W_e$  = 外側車道有效寬度(英尺)(詳見表 6)

$v_{ma}$  = 調整後的路段中段需求流率(車/小時)(詳見表 6)

$N_{th}$  = 單向車道數

$S_{Ra}$  = 調整後的機動車行駛速度(英里/小時)(詳見表 6)

$P_{HVa}$  = 調整後的路段中段需求流率重車占比(%)(詳見表 6)  
 $P_c$  = 美國聯邦公路管理局(FHWA)的五等第路面狀況評級(詳見表 7)

上述相關參數值之計算方式如表 6 所示，若滿足第 1 欄的條件，即使用第 2 欄之方程式計算參數；若不滿足，則使用第 3 欄之方程式。而表 6 前三項條件用以確定外側車道  $W_e$  的有效寬度。

表 6 節線(Link)BLOS 相關參數計算方式

條件	滿足條件時的方程式	不滿足條件時的方程式
$p_{pk} = 0.0$	$W_l = W_{ol} + W_{bl} + W_{os}^* + W_{pk}$	$W_l = W_{ol} + W_{bl} + W_{os}^*$
$V_m > 160$ 車/小時 或 街道被劃分	$W_v = W_t$	$W_v = W_t(2 - 0.005V_m)$
$W_l < 4.0$ 英尺	$W_e = W_v - 10P_{pk} \geq 0.0$	$W_e = W_v + W_l - 20P_{pk} \geq 0.0$
$V_m(1 - 0.01P_{HV}) < 200$ 車/小時 以及 $P_{HV} > 50\%$	$P_{HVa} = 50\%$	$P_{HVa} = P_{HV}$
$S_R < 21$ 英里/小時	$S_{Ra} = 21$ (英里/小時)	$S_{Ra} = S_R$
$V_m > 4 N_{th}$	$V_{ma} = V_m$	$V_{ma} = 4 N_{th}$
註： $W_t$ = 外側車道、自行車道及有鋪面路肩的總寬度(英尺)。 $W_{ol}$ = 外側車道的寬度(英尺)。 $W_{os}^*$ = 調整後的具鋪面外路肩寬度(英尺)。 若有緣石 $W_{os}^* = W_{os} - 1.5 \geq 0.0$ ；否則 $W_{os}^* = W_{os}$ 。 $W_{os}$ = 具鋪面外路肩路肩的寬度(英尺)。 $W_{bl}$ = 自行車道的寬度(英尺)；若未提供自行車道，則 $W_{bl} = 0.0$ 。 $W_{pk}$ = 劃線停車帶的寬度(英尺)。 $W_l$ = 路肩、自行車道及停車帶的總寬度(英尺)， $W_l = W_{bl} + W_{os}^* + W_{pk}$ 。 $W_v$ = 外側車道、自行車道及路肩根據交通量調整後的有效總寬度(英尺)。 $P_{pk}$ = 路邊停車被占用的比例(小數)。 $V_m$ = 中段需求流量(車/小時)。 $P_{HV}$ = 中段需求流量中重車比例(%)。 $S_R$ = 機動車行駛速度(英里/小時)。		

表 7 美國聯邦公路管理局(FHWA)路面狀況評級

路面狀況 評級	路面狀況描述	機動車騎乘品質 與行駛速度
4.0~5.0	新的或幾乎全新的高級路面，無裂縫或填補。	良好的騎乘體驗。
3.0~4.0	柔性路面可能開始出現車轍和細裂縫；剛性路面可能開始出現輕微裂縫。	良好的騎乘體驗。
2.0~3.0	柔性路面可能會出現車轍及大面積填補；剛性路面可能有一些接縫斷裂、斷層或開裂。	可接受低速交通，但幾乎無法忍受高速交通。
1.0~2.0	路面損壞區域超過 50%。 柔性路面可能有大坑洞與深層裂縫；剛性路面破損，包含接縫處剝落、填補及裂縫。	路面劣化影響自由流交通速度；騎乘品質不佳。
0.0~1.0	路面損壞區域超過 75%。 存在大坑洞及深裂縫。	僅能減速通行，騎乘舒適性極差。

## (二)路段(Segment)

路段(Segment)之自行車服務水準計算，主要與節線(Link)及號誌化路口 BLOS 之行駛及延滯時間加權平均相關，公式如下：

$$I_{b,seg} = 0.75 \left[ \frac{(F_C + I_{b,link} + 1)^3 t_{Rb} + (I_{b,int} + 1)^3 d_b}{t_{Rb} + d_b} \right]^{\frac{1}{3}} + 0.125$$

其中，

$$F_C = 0.035 \left( \frac{5,280 N_{ap,s}}{L} - 20 \right)$$

上述公式之參數說明如下：

$I_{b,seg}$  = 路段(Segment)的自行車服務水準得分

$I_{b,link}$  = 節線(Link)的自行車服務水準得分

$F_C$  = 無號誌衝突因子

$I_{b,int}$  = 號誌化路口自行車服務水準得分

$t_{Rb}$  = 自行車不含延滯之路段行駛時間(running time) (秒)

$d_b$  = 自行車之平均號誌控制延滯(control delay) (秒)

$N_{ap,s}$  = 行進方向右側匯入點數量

### (三)路徑

市區道路路徑之自行車服務水準計算，主要與組成路徑的各個路段 BLOS 分數的旅行時間加權平均值相關，公式如下：

$$I_{b,F} = 0.75 \left[ \frac{\sum_{i=1}^m WTT_{b,i}}{\left( \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{S_{Tb,F}} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} + 0.125$$

其中，

$$WTT_{b,i} = \left( \frac{L_i}{S_{Tb,seg,i}} \right) \left( \frac{I_{b,seg,i} - 0.125}{0.75} \right)^3$$

$$S_{Tb,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{Tb,seg,i}}}$$

上述公式之參數說明如下：

$I_{b,F}$  = 路徑的自行車服務水準得分

$WTT_{b,i}$  = 路段  $i$  的旅行時間加權平均自行車服務水準得分

$S_{Tb,F}$  = 路徑上自行車的旅行速率(travel speed) (英里/小時)

$L_i$  = 路段  $i$  長度 (英尺)

$S_{Tb,seg,i}$  = 路段  $i$  的自行車旅行速率(travel speed) (英里/小時)

$I_{b,seg,i}$  = 路段  $i$  的自行車服務水準得分

$m$  = 路徑的路段數量

### (四)服務水準判定標準

市區道路節線(Link)、路段(Segment)、路徑計算自行車服務水準得分後，再依據表 8 決定服務水準等級。

表 8 市區道路自行車服務水準等級

服務水準等級	服務水準得分	
	路徑或路段(Segment)	節線(Link)
A	≤ 2.00	≤ 1.50
B	>2.00 - 2.75	>1.50 - 2.50
C	>2.75 - 3.50	>2.50 - 3.50
D	>3.50 - 4.25	>3.50 - 4.50
E	>4.25 - 5.00	>4.50 - 5.50
F	> 5.00	> 5.50

## 六、美國 HCM 路外自行車設施服務水準評估方法

美國 HCM 第 24 章提供路外自行車設施的服務水準評估方法。路外自行車設施不受機動車流影響，於共用道路上之服務水準以自行車騎乘者之觀點評估其他 5 種非機動運具使用者之間的相互影響，包括：其他自行車騎士、行人、跑步者、直排輪滑者和兒童自行車騎士，並使用了 5 個變數：每分鐘相遇次數、每分鐘主動超車次數、步道寬度、是否設有中心線，以及延遲超車次數計算服務水準得分，其計算步驟如圖 2 所示。而於專用的路外自行車設施，則將所有非自行車運具的流量假設為零，相遇和超車的次數亦完全由自行車流量決定。

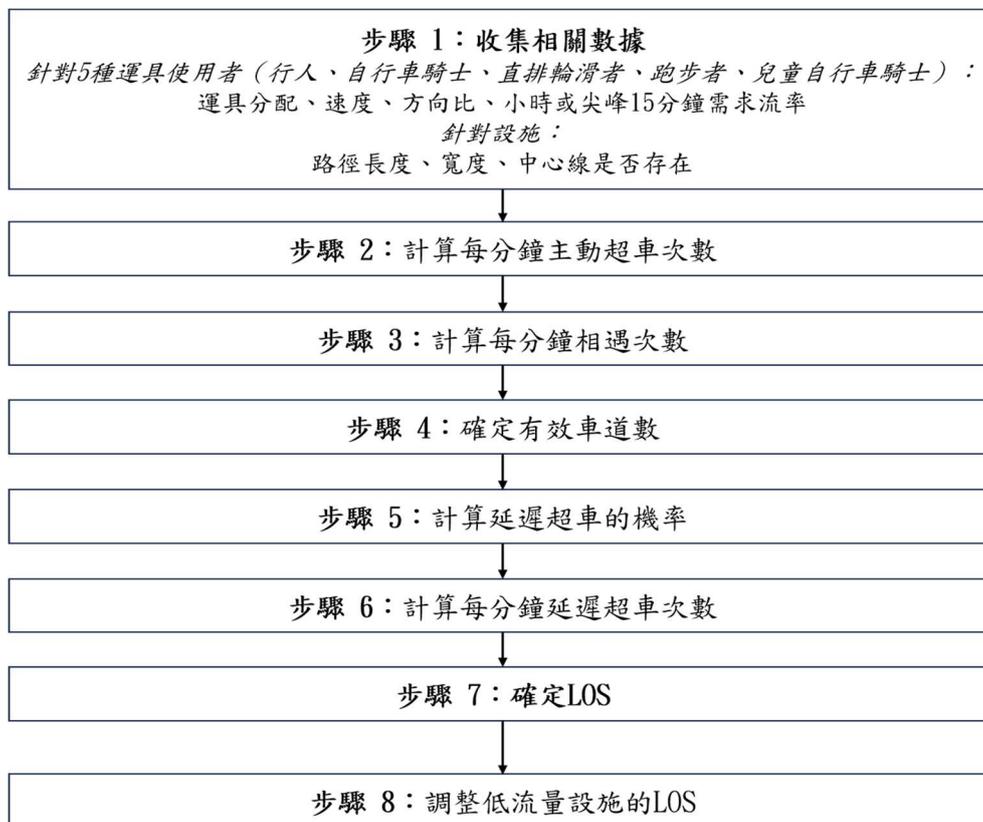


圖 2 路外自行車設施的服務水準評估步驟

由於計算方式複雜，本節以美國 HCM 第 35 章之範例進行說明。一路外共用道路尖峰小時的使用者總量為 340 人，尖峰小時因子為 0.90，方向分配為 50/50。若規劃設施寬度為 10 英尺，沒有障礙物或中心線，路徑長度為 3 英里，試評估其自行車騎乘之服務水準。

## 步驟 1: 收集輸入數據

本設施及其整體需求數據已知，但缺乏使用者的運具分配與平均速度，這些數據於美國 HCM 提供預設值。根據尖峰小時的使用者總量為 340 人、方向分配(0.5)、預設的運具分配與尖峰小時因子(0.9)，可得各運具的單向流率如下：

- 自行車： $(340 \times 0.5 \times 0.55)/0.90 = 104$  輛/小時；
- 行人： $(340 \times 0.5 \times 0.20)/0.90 = 38$  人/小時；
- 跑步者： $(340 \times 0.5 \times 0.10)/0.90 = 19$  人/小時；
- 直排輪滑者： $(340 \times 0.5 \times 0.10)/0.90 = 19$  人/小時；
- 兒童自行車騎士： $(340 \times 0.5 \times 0.05)/0.90 = 9$  輛/小時。

而美國 HCM 提供之各運具平均速度 $\mu$ 和標準差 $\sigma$ 預設值如下：

- 自行車： $\mu = 12.8$  mi/h,  $\sigma = 3.4$  mi/h
- 行人： $\mu = 3.4$  mi/h,  $\sigma = 0.6$  mi/h
- 跑步者： $\mu = 6.5$  mi/h,  $\sigma = 1.2$  mi/h
- 直排輪滑者： $\mu = 10.1$  mi/h,  $\sigma = 2.7$  mi/h
- 兒童自行車騎士： $\mu = 7.9$  mi/h,  $\sigma = 1.9$  mi/h

## 步驟 2: 計算每分鐘的主動超車次數

本步驟計算自行車騎士每分鐘超越同向其他 5 種運具使用者的次數。假設自行車騎士以平均速度  $U$  行駛，而其他運具  $i$  的速度呈常態分布平均值為  $\mu_i$ 、標準差為  $\sigma_i$ 。

對於某一運具  $i$  而言，其被自行車騎士超越的機率如以下公式：

$$P(v_i) = P\left[v_i < U\left(1 - \frac{x}{L}\right)\right]$$

各參數意義如下，而其關係如圖 3 所示。

$P(v_i)$  = 超過運具  $i$  的機率

$U$  = 自行車騎士平均速度(英里/小時)

$v_i$  = 運具  $i$  的速度(英里/小時)

$L$  = 設施長度(英里)

$x$  = 平均自行車騎士到運具  $i$  之間的距離(英里)

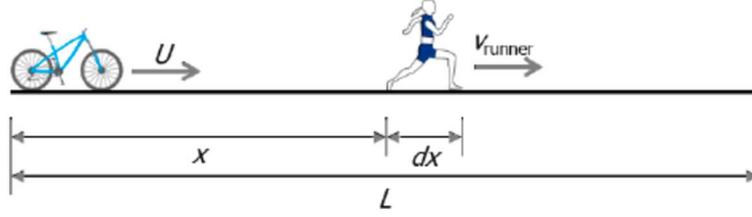


圖 3 自行車騎士超越運具*i*之關係示意圖

由於 $v_i$ 服從常態分佈，上述公式的機率可以從標準常態分布曲線下的積分計算得出。經由將路徑全長 $L$ 分成 $n$ 個小段，每小段 $j$ 的長度為 $d_x$ ，可估計於每小段 $j$ 內超越的平均機率，即於每小段 $j$ 的起點和終點超越機率的平均值，計算公式如下：

$$P(v_i) = 0.5[F(x - dx) + F(x)]$$

其中， $F(x)$ 是具有平均值 $\mu$ 和標準差 $\sigma$ 的常態分布的累積機率函數。且相關研究發現，可將 $d_x$ 設置為 0.01 英里。

而自行車騎士在整個路徑上每分鐘超越運具  $i$  的期望次數 $A_i$ ，係將路徑中所有小段 $j$ 之 $P(v_i)$ 與運具  $i$  的密度 $(q_i/\mu_i)$ 及每小段的長度 $dx_j$ 相乘，並求和，再除以自行車騎士穿越路徑所需的分鐘數  $t$ ，公式如下：

$$A_i = \sum_{j=1}^n P(v_i) \times \frac{q_i}{\mu_i} \times \frac{1}{t} dx_j$$

接著針對每個運具  $i$  重複上述公式計算並求和，以求得自行車騎士每分鐘超越同向其他 5 種運具使用者的次數 $A_T$ 。

以本範例而言，自行車騎士在整個路徑上每分鐘超越其他自行車的期望次數計算過程如下：

$$F(x) = P\left[v_{bike} < U\left(1 - \frac{x}{L}\right)\right] = P\left[v_{bike} < 12.8\left(1 - \frac{0.01}{3}\right)\right]$$

$$F(x) = P[v_{bike} < 12.76] = 0.4950$$

$$F(x - dx) = P\left[v_{bike} < U\left(1 - \frac{x - dx}{L}\right)\right] = P\left[v_{bike} < 12.8\left(1 - \frac{0.01 - 0.01}{3}\right)\right]$$

$$F(x - dx) = P[v_{bike} < 12.8] = 0.5000$$

$$P(v_{bike}) = 0.5[F(x - dx) + F(x)]$$

$$P(v_{bike}) = 0.5[0.5000 + 0.4950] = 0.4975$$

$$A_{bike,1} = 0.4975 \times \frac{104}{12.8} \times \frac{1}{14} (0.01) = 0.0029$$

將前列方程式對  $n = 1$  到  $n = 300$  每小段重複並累加，可得每分鐘主動超越自行車次數  $= 0.0029 + A_{bike,2} + \dots + A_{bike,n} = 0.18$

其他運具依據同樣的過程，每分鐘主動超車次數分別為：行人 1.74、跑步者 0.31、直排輪滑者 0.09、兒童自行車騎士 0.10。5 種運具加總之每分鐘主動超車次數  $A_T$  為 2.42。

### 步驟 3: 計算每分鐘相遇次數

相遇是指在路徑上與自行車騎士騎乘方向相反的使用者。對於已在路徑上的使用者，每分鐘的相遇次數  $M_1$  計算公式如下：

$$M_1 = \frac{U}{60} \sum_i \frac{q_i}{\mu_i}$$

尚未進入路徑的使用者也可能在該路徑內與自行車騎士相遇，其關係如圖 4 所示，機率為：

$$P(v_{0,i}) = P\left(v_i > X \frac{U}{L}\right)$$

其中，

$P(v_{0,i})$  = 與對向運具  $i$  相遇的機率

$X$  = 使用者超出路段末端的距離(英里)

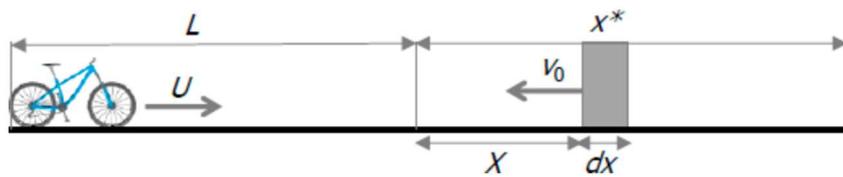


圖 4 自行車騎士與其他運具相遇之關係示意圖

由於  $v_{0,i}$  服從常態分布，分析路徑外之長度  $x^*$  設為  $L$  就足以確保至少捕捉到 99% 的相遇事件，且亦可分割成  $n$  個小段、每小段長度為  $d_x$ ，因此可參照步驟 2 計算  $P(v_{0,i})$ 。且類似於計算主動超車次數的過程，自行車騎士與尚未進入路徑之運具  $i$  相遇次數  $M_{2,i}$  為：

$$M_{2,i} = \sum_{j=1}^n P(v_{0,i}) \times \frac{q_i}{\mu_i} \times \frac{1}{t} dx_j$$

每分鐘的總期望相遇次數 $M_T$ 是將 $M_1$ 加上其他5種運具之 $M_{2,i}$ 加總計算得出。若路徑限制為單向使用，沒有對向的使用者可相遇，則因此 $M_T$ 為零。

以本範例而言，自行車騎士與其他運具每分鐘相遇次數計算過程如下：

$$M_1=(12.8/60) \times [(104/12.8)+(38/3.4)+(19/6.6)+(19/10.1)+9(7.9)]=5.36$$

$$F(X) = P(v_{bike} > X \frac{U}{L}) = P\left(v_{bike} > 0.01 \times \frac{12.8}{3}\right)$$

$$F(X) = P(v_{bike} > 0.4267) = 0.99992$$

$$F(X - dx) = P\left(v_{bike} > (X - dx) \frac{U}{L}\right) = P\left(v_{bike} > 0 \times \frac{12.8}{3}\right)$$

$$F(X - dx) = P(v_{bike} > 0) = 1.00000$$

$$P(v_{bike}) = 0.5[F(X - dx) + F(x)]$$

$$P(v_{bike}) = 0.5[0.99992 + 1.00000] = 0.99996$$

$$M_{2,bike,j} = \sum_{j=1}^n P(v_{O,bike}) \times \frac{q_{bike}}{\mu_{bike}} \times \frac{1}{t} dx_j$$

$$M_{2,bike,1} = 0.99996 \times (104/12.8) \times (1/14) \times 0.01 = 0.0058$$

將前列方程式對  $n=1$  到  $n=300$  每小段重複並累加，可得每分鐘與自行車相遇次數 =  $0.0058 + M_{2,bike,2} + \dots + M_{2,bike,n} = 1.55$

其他運具依據同樣的過程，每分鐘相遇次數分別為：行人 0.63、跑步者 0.32、直排輪滑者 0.31、兒童自行車騎士 0.16。則每分鐘相遇次數 =  $5.36 + 1.55 + 0.63 + 0.32 + 0.31 + 0.16 = 8.33$ 。

#### 步驟 4: 確定有效車道數

依據表 9 可知，本範例路徑寬度為 10 英尺，具有 2 條有效車道。

表 9 路徑寬度與有效車道數

道路寬度(英尺)	有效車道數
8.0-10.5	2
11.0-14.5	3
15.0-20.0	4

### 步驟 5: 計算延遲超車的機率

當前方有一名使用者阻擋了自行車騎士的超車路線，且對向也有其他使用者，使得自行車騎士無法立即執行超車動作，就會發生延遲超車。延遲超車的機率取決於所需的超車距離，而這又取決於超車和被超車的運具，自行車騎士在超越其他運具所需的超車距離如表 10 所示。

表 10 自行車超車所需的距離

被超車運具	超車所需距離(英尺)
自行車	100
行人	60
直排輪滑者	100
跑步者	70
兒童自行車	70

根據表 10，可使用卜瓦松分布(Poisson distribution)估算在所需的超車距離 $p_i$ 內不存在其他運具的機率。在超車路段中存在至少一個運具的機率是此路段為空(即無使用者)的機率的補集。因此被運具 $i$ 阻擋超車的機率 $P_{n,i}$ 為：

$$P_{n,i} = 1 - e^{-p_i k_i}$$

其中，

$P_{n,i}$  = 被運具 $i$ 阻擋的機率

$p_i$  = 超越運具 $i$ 所需的距離(英里)

$k_i$  = 運具 $i$ 的密度(使用者數量/英里) =  $q_i/\mu_i$

以下依序說明雙車道、三車道、四車道之延遲超車機率計算公式：

1. 雙車道道路上，在完成超車所需的距離 $p$ 內遇到以下狀況之一時就會發生延遲超車：兩個方向都有交通量，且各方向的車道均被阻擋；或者，同向無交通量，但對向交通正被另一名對向的自行車騎士超越。需要注意的是，這些情況是互斥的。而同向和對向的延遲超車機率分別為：

$$P_{ds} = \frac{P_{no}P_{ns} + P_{no}(1 - P_{ns})^2}{1 - P_{no}P_{ns}(1 - P_{no})(1 - P_{ns})}$$

$$P_{do} = P_{no}P_{ns} + P_{ns}(1 - P_{no})(1 - P_{ds})$$

其中，

$P_{ds}$  = 同向延遲超車機率

$P_{do}$  = 對向延遲超車機率

$P_{no}$  = 被對向運具阻擋超車的機率

$P_{ns}$  = 被同向運具阻擋超車的機率

2. 三車道的延遲超車發生於以下兩種情況：(a)同向運具阻擋了最右邊的車道，同時對向運具佔據其他兩條車道；或者(b)運具並排使用阻擋了同向最右邊的兩個車道。而同向和對向的延遲超車機率分別為：

$$P_{ds} = \left[ P_{qs} (P_{bo} + P_{qo}(1 + D)) + P_{bs} \right] / (1 + P_{qs}P_{qo})$$

$$P_{do} = P_{ds} - D$$

$$D = \left[ (P_{bs} - P_{bo}) + (P_{qs}P_{bo} - P_{qo}P_{bs}) \right] / (1 - P_{qs}P_{qo})$$

各參數意義及計算方式說明如下。

$P_{qs}$  = 同向運具阻擋單 1 車道超車的機率

$P_{bo}$  = 對向運具阻擋 2 條車道超車的機率

$P_{qo}$  = 對向運具阻擋單 1 車道超車的機率

$P_{bs}$  = 同向運具阻擋 2 條車道超車的機率

對向或同向運具*i*阻擋 2 條車道的機率( $P_{bo,i}$ 或 $P_{bs,i}$ ) = 運具*i*阻擋 2 條車道的頻率 $F_i$  × 被對向或同向運具*i*阻擋的機率 $P_{no,i}$ 或 $P_{ns,i}$ 。  $P_{bo}$ 或 $P_{bs}$ 即為合計上述不同運具 $P_{bo,i}$ 或 $P_{bs,i}$ 之值。而運具*i*阻擋 2 條車道車的頻率 $F_i$ 如表 11 所示。

單一車道被同向或對向運具*i*阻擋的機率 $P_{qs,i}$ 和 $P_{qo,i}$ ，可由雙車道至少有一條車道被阻擋的機率 $P_{ns,i}$ 和 $P_{no,i}$ ，減去 2 條車道被阻擋的機率 $P_{bo,i}$ 或 $P_{bs,i}$ 得出。  $P_{qs}$ 和 $P_{qo}$ 即為合計上述不同運具 $P_{qs,i}$ 和 $P_{qo,i}$ 之值。

3. 四車道之運作假設類似於分隔的四車道公路，超車僅發生在右側兩條車道上，而不涉及最左側車道，因此延遲超車的機率與對向使用者無關。因此，僅需計算雙車道之同向延遲超車機率 $P_{ds}$ 。

表 11 不同運具阻擋 2 條車道的頻率

運具	阻擋頻率 $F_i$ (%)
自行車	5
行人	36
直排輪滑者	8
跑步者	12
兒童自行車騎士	1

### 步驟 6: 確定每分鐘的延遲超車次數

步驟 5 的延遲超車機率 $P_{ds}$ 僅適用於單一運具對(pair)的路徑使用者（例如，自行車騎士超越行人，並被對向的跑步者阻擋）。延遲超車的總機率 $P_{Tds}$ 必須從所有運具對(pair)中計算得出。由於共有 5 種運具，因此需要計算 $5 \times 5 = 25$ 種運具對(pair)的機率。總延遲超車機率 $P_{Tds}$ 計算公式如下：

$$P_{Tds} = 1 - \prod_m (1 - P_{m,ds})$$

其中， $P_{m,ds}$ 是運具對(pair)  $m$  的延遲超車機率，運算符號  $\prod$  表示一系列變數的乘積。

最後，每分鐘延遲超車次數  $DP_m$  可以由每分鐘主動超車次數  $A_T$  乘以總延遲超車機率  $P_{Tds}$  計算得出。由於  $DP_m$  是根據尖峰小時流量進行校準的，因此需要以尖峰小時係數 (PHF) 將  $A_T$  從尖峰 15 分鐘流量轉換為尖峰小時流量，公式如下：

$$DP_m = A_T \times P_{Tds} \times PHF$$

由步驟 4 可知，計算範例為寬度為 10 英尺的路徑，視為具有 2 條有效車道。因此，以雙車道的延遲超車機率計算公式，分別計算 25 種運具對(pair)超車關係，計算每分鐘的延遲超車次數。例如，自行車騎士超越自行車又被對向行人阻擋之延遲超車機率為：

$$P_{n,i} = 1 - e^{-p_i k_i}$$

$$P_{n,bike} = 1 - e^{-\left(\frac{100}{5,208}\right) \times \left(\frac{104}{12.8}\right)} = 1 - 0.8574 = 0.1426$$

$$P_{n,ped} = 1 - e^{-\left(\frac{100}{5,280}\right) \times \left(\frac{38}{3.4}\right)} = 1 - 0.8092 = 0.1908$$

$$P_{bike-ped,ds} = \frac{P_{n,ped}P_{n,bike} + P_{n,ped}(1 - P_{n,bike})^2}{1 - P_{n,ped}P_{n,bike}(1 - P_{n,ped})(1 - P_{n,bike})}$$

$$= \frac{0.1908 \times 0.1426 + 0.1908(1 - 0.1426)^2}{1 - (0.1908 \times 0.1426)(1 - 0.1908)(1 - 0.1426)}$$

$$= 0.1707$$

$$P_{Tds} = 1 - \prod_m (1 - P_{m,ds})$$

$$= 1 - (1 - 0.1707) \times (1 - P_{bike-run,ds}) \times \dots \times (1 - P_{m,ds})$$

$$= 0.8334$$

$$DP_m = A_T \times P_{Tds} \times PHF = 2.42 \times 0.8334 \times 0.90 = 1.82$$

### 步驟 7: 計算 LOS

BLOS 是由使用者觀看攝錄影像反應之調查結果所建立的迴歸模型，依據下列公式計算得分後，再依據表 12 決定服務水準等級。

$$BLOS = 5.446 - 0.00809E - 15.86RW - 0.287CL - DP$$

其中，

$$E = \text{每分鐘相遇次數} + 10 \times (\text{每分鐘主動超車次數})$$

$$RW = 1/\text{道路寬度(英尺)}$$

$$CL = \text{如果有中心線，則為 1；如果沒有中心線，則為 0}$$

$$DP = \min[0.5 \times DP_m, 1.5]$$

表 12 路外自行車設施服務水準等級

服務水準	BLOS 分數	評論
A	> 4.0	最佳條件，有足夠能力容納更多騎士。
B	> 3.5 - 4.0	條件良好，具備一定能力吸引容納更多騎士。
C	> 3.0 - 3.5	滿足當前需求，僅有有限的能力吸引容納更多的騎士。
D	> 2.5 - 3.0	存在許多衝突，導致自行車行駛速度有所降低。
E	> 2.0 - 2.5	非常擁擠，自行車行駛速度明顯降低
F	≤ 2.0	使用者嚴重衝突，體驗顯著下降

## 步驟 8:調整低流量設施之服務水準(LOS)

對於較窄（例如 8 英尺寬）的設施，依步驟 7 不可能達到 LOS A 或 B。然而，對於流量非常低的道路，預期會有服務水準較高的感受，因此對 LOS 結果進行以下調整：

- 每分鐘加權事件數 $\leq 5$ 的設施，均指定為 LOS A。
- 每分鐘加權事件數為 5~10 之間的設施，均指定為 LOS B，除非依步驟 7 分析的結果為 LOS A。

範例寬度為 10 英尺，因此以步驟 7 評估服務水準。

$$BLOS = 5.446 - 0.00809E - 15.86RW - 0.287CL - DP$$
$$BLOS = 5.446 - 0.00809[8.33 + (10 \times 2.42)] - 15.86\left(\frac{1}{10}\right) - 0.287(0) - (\min[DP_m \times 0.5, 1.5]) = 2.69$$

對照表 12，範例規劃之設施服務水準為 D 級，顯示設施之運作已接近其功能性容量。若再增加一些寬度，使該設施具備 3 條有效車道，即可提供更好的服務水準。

## 七、結論與建議

- (一)文獻回顧發現，國外對自行車道容量值之探討結果，差異性頗大，容量值之探討應用於自行車道設計，然並未應用於服務水準評估。
- (二)國外研究及美國公路容量手冊，係以自行車騎士之觀點探討自行車騎乘感受以評估服務水準。於路側自行車設施，影響自行車騎乘體驗的關鍵因素，包括車道寬度、交通流量、行人數量、機動車速度、路面條件及設施類型，並藉由關鍵影響因素發展不同的自行車服務水準評估模型。
- (三)而於路外自行車設施，美國公路容量手冊之方法為評估共同使用路外設施之 5 種非機動運具使用者之間的相互影響，包括：自行車騎士、行人、跑步者、直排輪滑者和兒童自行車騎士，並使用了 5 個變數：每分鐘相遇次數、每分鐘主動超車次數、步道寬度、是否設有中心線，以及延遲超車次數，計算服務水準得分。此計算方法非常繁複，且其中許多參數（如運具分配、不同運具之平均速度和標準差、自行車超越其他運具所需的超車距離、不同運具阻擋車道的頻率...等）係直接

引用手冊中提供之預設值。

- (四)臺灣於路側且無實體分隔之自行車騎乘空間，可參考美國公路容量手冊於公路或市區道路路側之評估方法；而於河濱自行車道、公路路側實體分隔之自行車道(如台 2 線石城-福隆路段)或人行道共用、專用等自行車騎乘空間，可參考美國公路容量手冊路外設施之自行車騎乘服務水準評估方法。然不論路側或路外自行車服務水準評估方法之發展基礎皆為騎乘者之主觀感受，需就臺灣自行車騎士之騎乘感受以及本土交通環境數據進行調查及研究，以掌握關鍵影響因素，建立適用於臺灣的自行車道服務水準評估模型、相關參數之參考值及服務水準分級標準。
- (五)臺灣之道路是否設置自行車騎乘空間，根本原因為車輛、自行車、行人及路邊停車等空間使用之資源分配問題。自行車騎乘空間係於尚有調整餘裕之路權範圍內設置，是否依據服務水準評估結果進而拓寬行駛空間，可能尚無強烈需求。相較公路建設計畫之可行性評估、綜合規劃或市區道路之建築物開發交通衝擊評估等應用公路容量手冊頻繁之公路設施，且於研究經費與人力皆有限之情形下，自行車騎乘並非最需優先辦理之公路容量及服務水準研究對象。

## 參考文獻

1. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2022.
2. Sebastian, S., Rodrigo, F., and Esteban, H., "Experimental study for estimating capacity of cycle lanes" European Transport Conference 2014, Transportation Research Procedia, Vol.8, 2015, pp.192-203.
3. Dan, Z., Cheng, X., Dianhai, W., and Jin S., "Estimating Capacity of Bicycle Path on Urban Roads in Hangzhou, China" The 94<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.(2015)
4. Poul, G., and Buch, T., "Capacity and Behavior on One-way Cycle Tracks of Different Widths" Transportation Research Procedia, Vol 15, 2016, pp.122-136.
5. Mekuria, M.C., Furth, P.G., and Nixon, H. (2012), "Level of Traffic Stress," Low-stress Bicycling and Network Connectivity, pp. 11-29.

6. Kang, K., and Lee, K. (2012), "Development of a Bicycle Level of Service Model from the User's Perspective," *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.16, No. 6, pp.1032-1039.
7. Okon, I. E., and Moreno, C.A. (2019), "Bicycle Level Of Service Model For The Cycloruta, Bogota, Colombia," *Romanian Journal of Transport Infrastructure*, Vol.8, No. 1, pp.1-33.
8. Kazemzadeh, K., Lareshyn, A., Hiselius, L. W., and Ronchi, E. (2020), "Expanding the Scope of the Bicycle Level-of-Service Concept: A Review of the Literature," *Sustainability*, Vol.12, pp.1-30.
9. Landis, B.W., Vattikuti, V.R. and Brannick, M.T. (1997), "Real-Time Human Perceptions Toward a Bicycle Level of Service," *Transportation Research Record*, Vol.1578, pp.119-126.
10. Harkey, D. L., Reinfurt D.W. and Knuiman M. (1998), "Development of the Bicycle Compatibility Index," *Transportation Research Record*, Vol.1636, pp.13-20.