

衝突行人對停等車隊疏解之影響分析

張瓊文¹ 曾平毅² 詹丙源³

摘要

號誌化路口若無行人專用時相，則右轉及左轉車流可能與行人有衝突。目前「2001年臺灣地區公路容量手冊」係利用「右轉調整因素(IR)」來估計衝突行人之影響，此調整因素考量了右轉比例(PR)、衝突行人及車輛之尖峰15分鐘總流率(Q0，人·車/小時)等兩個變數。但此調整因素沒有考慮到紅綠燈時段長度對人、車衝突的影響，而且不適用於評估左轉車流受行人的影響。事實上，衝突行人對左轉或右轉車流疏解之影響，可能受到車流行進方向、號誌之時相設計、行人流率及行人進入路口之型態、及行人與駕駛員在路口之衝突行為的影響。因此，本研究乃利用臺北市三個地點之現場調查資料，以訂定在有不同數目之衝突行人時，右轉停等車與前車之車距，以及在無行人衝突時右轉停等車之車距。利用這些基本資料，本研究進一步利用模擬方法(simulation approach)探討衝突行人對號誌化路口容量之影響。藉由模擬分析之成果，本研究分別建立不同衝突情境下之停等車隊疏解的「衝突行人調整因素(IP)」，最後並利用一(3×4×1)之類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)模式，用以估計行人調整因素(IP)。

關鍵詞：行人、停等車、容量、類神經網路(ANN)模式

壹、前言

都市的號誌化路口通常有行人穿越，如果沒有立體之行人穿越設施（如行人天橋或地下道），則行人必須平面通過號誌化路口。為了與車道之車輛行進管制作適當區隔，在行人穿越需求較高之路口，常另外設置行人穿越號誌，但一般會與行車號誌管制號誌相互配合。但在大量的行人穿越需求或是特殊考量（如要避免車輛與行人之衝突）下，有時會考慮設置行人專用時相。通常行人專用時相啟亮時，各方向之車輛必須在停止線前停等，以供行人能安全地穿越路口。一般而言，當號誌化路口無立體行人穿越設施或是行人專用時相時，則右轉及左轉車流可能與行人有所衝突。

¹ 交通部運輸研究所運輸計畫組研究員。

² 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所教授。

³ 中央警察大學交通學系教官。

目前「2001年臺灣地區公路容量手冊」[1]（以下簡稱2001臺灣HCM）係利用「右轉調整因素(fR)」來估計衝突行人之影響；此調整因素考量了右轉比例(PR)、衝突行人及車輛之尖峰15分鐘總流率(Q0, 人·車/小時)等兩個變數。但此調整因素沒有考慮到紅綠燈時段長度對人、車衝突的影響，例如行人流率及號誌週期相同時，如果綠燈時段很短，則行人可能用掉大部分的綠燈，結果車流之疏解非常困難而導致容量的大幅下降；如果綠燈很長，則容量降低之程度會相對的減少。而且，目前的調整因素不適用於評估左轉車流受行人的影響。

事實上，衝突行人對左轉或右轉車流疏解之影響，可能受到車流行進方向、號誌之時相設計、行人流率及行人進入路口之型態、及行人與駕駛員在路口之衝突行為的影響[2]。因此，本研究乃利用臺北市三個地點之現場調查資料，以探討在有不同數目之衝突行人時，右轉停等車與前車之車距(headway)，以及在無行人衝突時右轉停等車之車距。本研究並利用這些基本資料，以模擬方法探討衝突行人對號誌化路口容量之影響；藉由這些模擬分析成果，本研究嘗試建立不同衝突情境下之停等車隊疏解的「衝突行人調整因素(fP)」估計模式。

貳、文獻回顧

2.1 2001年臺灣HCM估計容量之替代方法

目前分析號誌化路口容量主要是利用飽和流率(saturation flow rate)以估計容量，飽和流率代表在綠燈開始之後，停等車疏解率達到一穩定最高值之疏解率。美國公路容量手冊(Highway Capacity Manual, HCM)[3]認為在綠燈開始之後，停等車大約在第4部車子疏解之後就會達到一穩定之最高值。所以該手冊將第4部停等車疏解之後的平均流率當做飽和流率。

根據傳統飽和流率觀念，號誌化路口之車道或車道群的容量可估計如下：

$$c = S \frac{G_e}{C} = S \frac{(G+Y-L)}{C} = \frac{S}{C} (G - L_s + Y - L_y) \quad (1)$$

其中，

- c = 車道群在基本狀況下之容量(輛/小時)；
- S = 飽和流率(輛/小時)；
- G_e = 有效綠燈長度(秒)；
- G = 綠燈時段長度(秒)；
- Y = 燈號轉換時段(包括黃燈與全紅時段，秒)；
- L_s = 啟動損失時間(秒)；
- L_y = 燈號轉換損失時間(秒)；
- L = 損失時間(秒) = $L_s + L_y$ ；
- C = 號誌週期長度(秒)。

在應用式(1)時，飽和流率及損失時間通常是估計值，而非從現場資料直接訂

定之值。一般估計飽和流率之工作乃根據下式：

$$S = S_0 f_1 f_2 \dots f_n \quad (2)$$

此式中，

S_0 = 基本狀況下之飽和流率（小車/小時）；

f_1, f_2, \dots, f_n = 有關車種組成、車道寬等影響因素之調整係數。

1991 年版臺灣地區公路容量手冊[4]基本狀況下之 S_0 訂為 2,000 小車/小時，美國 2000 年 HCM 之 S_0 訂為 1,900 小車/小時[3]，英國分析方法之 S_0 為 2,080 小車/小時[5]，加拿大之分析方法[6]則指出，不同城市有不同之 S_0 ，其值在 1,550 到 1,850 小車/小時之間。至於損失時間，目前沒有模式可用以估計。美國之容量手冊建議在沒有實際資料之情況下，可假設損失時間為 4 秒。

事實上，估計飽和流率及損失時間皆會有誤差，這些誤差會連帶的造成估計延滯時間的誤差，而且這些誤差以百分比為單位時很可能比飽和流率及損失時間之誤差還大[7]。因為目前時制設計主要係利用延滯來訂定，故根據飽和流率的觀念所訂定之服務水準可能很不可靠。

為了避免利用飽和流率時可能遭遇到的困擾，2001 臺灣 HCM[1]建議在無現場資料或模擬模式可用時，利用下式以估計容量：

$$c = \frac{3600}{C} \left[\sum_{i=1}^n (M_{gi} + M_{ti}) \right] N f_{HV} f_R f_L f_g f_i f_p f_b f_s \quad (3)$$

此式中，

c = 車道群在基本狀況下之容量(輛/小時)；

C = 定時控制之週期長度或觸動控制之平均週期長度(秒)；

M_{gi} = 在基本狀況下，第 i 個可用時相之綠燈時段中能疏解之平均停等車輛數(輛)；

M_{ti} = 在基本狀況下，第 i 個可用時相之燈號轉換時段中能疏解之平均停等車輛數(輛)；

n = 可用之時相數；

N = 車道群之車道數；

f_{HV} = 車種調整因素；

f_R = 右轉調整因素；

f_L = 左轉調整因素；

f_g = 坡度調整因素；

f_i = 安全島或護欄調整因素；

f_p = 交叉路口地點調整因素；

f_b = 公車站調整因素；

f_s = 路邊停車調整因素。

2.2 衝突行人之調整因素

目前 2001 臺灣 HCM[1]係利用「右轉調整因素(f_R)」來估計衝突行人之影響；左轉調整因素(f_L)並沒有考量到行人衝突之影響。美國 1998 年公路容量手冊[8]採

用 $f_R=0.85$ 作為在無衝突之情況下右轉小客車之調整因素，這相當於假設右轉小客車之直行小客車當量(passenger car equivalent, pce)為 1.18。臺灣文獻[9,10,11]指出右轉小客車之當量在 1.15 與 2.01 之間，其中之高當量可能是在有衝突的情況下之值（見圖 1）。民國 72 年國內專家曾建議訂定右轉小客車之當量為 1.3[12]，2001 臺灣 HCM 建議採用此數值[1]，所以在無衝突之狀況下右轉調整因素等於 $f_R=1/1.3=0.77$ 。

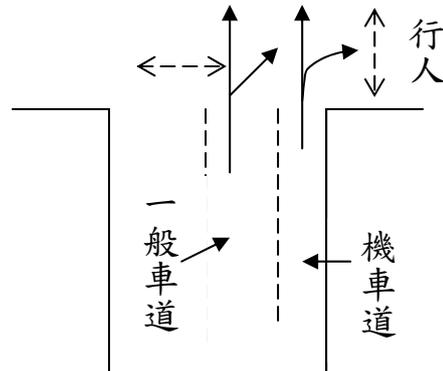


圖 1 衝突右轉示意圖

臺灣在交叉口右轉之車流常有如圖 1 所示機車、汽車及行人之間的衝突。美國 1998 年公路容量手冊認為每小時 21 人之行人流率可降低容量 1%，在臺灣的研究[13]發覺行人對車流有相似之影響。目前對內、外側直行及右轉車輛互相干擾程度的了解不足，所以目前 2001 臺灣 HCM[1]乃建議暫時利用下式，以估計右轉調整因素：

$$f_R = 1.0 - P_R \left(0.23 + \frac{Q_0}{2000} \right) \quad (4)$$

$$f_R \geq 0.05$$

此式中，

P_R = 右轉比例；

Q_0 = 衝突行人及車輛之尖峰 15 分鐘總流率(人輛/小時)。

從式 4 中所得之 f_R 如小於 0.05，則 f_R 訂為 0.05。式 4 中之 Q_0 可估計如下：

$$Q_0 = \frac{Q_m + Q_p}{PHF} \quad (5)$$

此式中，

Q_m = 尖峰小時在機車道之直行機車流率(輛/小時)；

Q_p = 尖峰小時之衝突行人流率(人/小時)；

PHF = 尖峰小時係數。

綜言之，目前 2001 臺灣 HCM[1]係利用「右轉調整因素(f_R)」來估計衝突行人之影響，此調整因素考量了右轉比例 (P_R)、衝突行人及車輛之尖峰 15 分鐘總流率(Q_0 ，人·車/小時)等兩個變數。但此調整因素沒有考慮到紅綠燈時段長度對人、車衝突的影響，而且不適用於評估左轉車流受行人的影響。事實上，衝突行人對左轉或右轉車流疏解之影響，可能受到車流行進方向、號誌之時相設計、行人流率及行人進入路口之型態、及行人及駕駛員在路口之衝突行為的影響。

參、現場調查與初步分析

行人在路口中時，對右轉及左轉之車流的疏解會有影響。本研究在下列臺北市三個路口調查行人對右轉停等車疏解的影響：

- 一、忠孝東路/光復南路（西往北）。
- 二、光復南路/忠孝東路（南往東）。
- 三、敦化南路/市民大道（北往西）。

調查之工作包括錄影及人工整理，以訂定在有不同數目之衝突行人時，右轉停等車與前車之車距。錄影資料亦用以取得在無行人衝突時右轉停等車之車距。

根據現場資料，在無衝突行人時各地點右轉停等車之平均疏解車距及標準差，如表 1 所示。圖 1 顯示一右轉車須停車以讓行人先行時，其車距與行人數有線性關係。

表 1 無衝突行人時右轉停等車之疏解車距特性

車道地點	疏解車距 (秒)		樣本數
	平均值	標準差	
忠孝東路/光復南路 (西往北)	2.43	0.51	60
光復南路/忠孝東路 (南往東)	2.34	0.46	30
敦化南路/市民大道 (北往西)	2.33	0.38	89

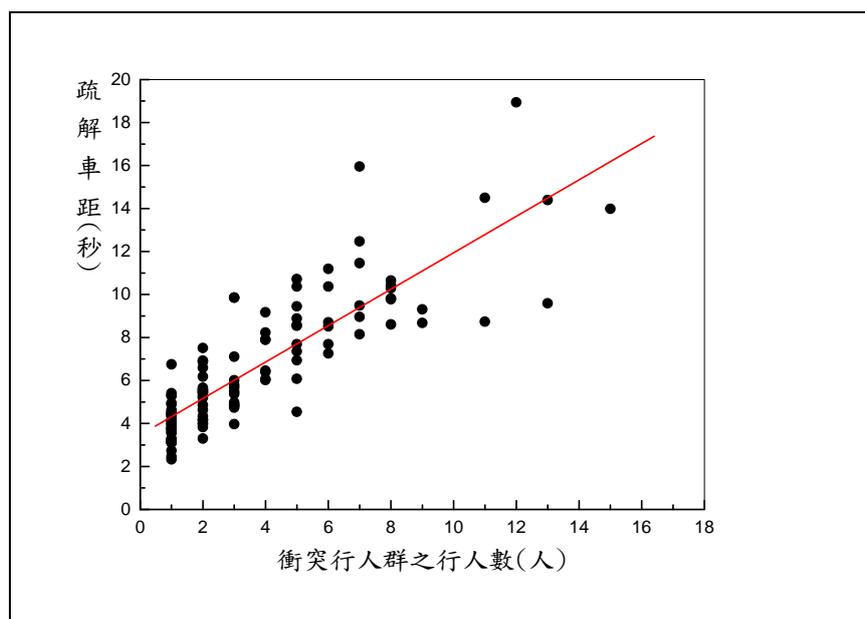


圖 1 右轉停等車與衝突行人群中行人數之關係

圖 1 之關係可用下式來代表（其 $R^2 = 0.72$ ，其標準估計誤差為 1.65 秒）：

$$H = 3.46 + 0.847 N_p \quad (6)$$

此式中，

H = 右轉停等車之車距（秒）；

N_p = 右轉車所遭遇到的衝突行人數（人）。

從式 6 及表 1 可知，衝突行人數對右轉車輛之疏解有不可忽視之影響。無衝突行人時，平均右轉疏解車距在 2.4 秒左右；只有 1 衝突行人時，預期之疏解車距增高到 4.31 秒。式 6 顯示每增加 1 衝突行人，則疏解車距會大約增加 0.85 秒。

衝突行人之存在會縮短右轉停等車可用之綠燈，而降低車道容量。利用式 6 以協助估計有衝突行人之右轉疏解率時，須先估計在每週期中預期之行人群數及每群之行人數，然後利用下式以估計損失之綠燈長度（秒）：

$$G_r = (3.46 + 0.847 N_p - H_0) M_g \quad (7)$$

此式中，

G_r = 右轉車因衝突行人存在而損失之可用綠燈時段長度（秒）；

N_p = 每衝突行人群之平均行人數（人）；

H_0 = 無衝突行人時右轉車之平均疏解車距（秒）；

M_g = 每週期平均衝突行人群數。

肆、衝突行人影響因素之探討

號誌化路口若無行人專用時相，則右轉及左轉車流可能與行人有衝突。2001 臺灣 HCM 之右轉調整因素用式 4 之右轉調整因素 fR ，以估計衝突行人之影響。此調整因素之一弱點是沒有考慮到紅綠燈時段長度對人、車衝突的影響。例如行人流率及號誌週期相同時，如果綠燈時段很短，則行人可能用掉大部分的綠燈，結果車流之疏解非常困難而導致容量的大幅下降。如果綠燈很長，則容量降低之程度會相對的減少。此外，式 4 不適用於評估左轉車流受行人的影響。

衝突行人對左轉或右轉車流疏解之影響，可能受到許多因素之影響。這些因素包括：車流行進方向、號誌之時相設計、行人流率及行人進入路口之型態、及行人及駕駛員在路口之衝突行為。經本研究之探討知，右轉車流在有衝突行人時，所損失之可用綠燈時間可利用式 7 來估計。事實上，式 7 也可用以估計保護時相中左轉車流之疏解受行人衝突而損失之綠燈時間。但如何利用此式在不同情況下估計衝突行人對容量之影響，是將來宜進一步探討的課題。例如 M_g 及 N_p 之分布型態必須利用不同情況下之現場資料來訂定。本研究考慮下列簡化之情形，以提供評估衝突行人對容量影響之參考：

- 一、假設綠燈開始之後，在紅燈時段中已抵達之行人開始進入路口，在綠燈開始之後才到達之行人也加入原來的人群。換言之，式 7 中之 M_g 值為 1。
- 二、式 7 中 N_p 值等於每週期之平均行人數。
- 三、左轉車流有保護時相。右轉及保護左轉車流遭遇衝突行人時會停在停止線下游之停等空間。能在此空間停等而不影響上游車輛之疏解的右轉或左轉車數等於 N_s 。如果被行人阻擋之車輛數超過 N_s ，則上游車輛不能行進。
- 四、行人及車輛之衝突發生在綠燈開始第一輛左轉或右轉車進入路口之瞬間。右轉或左轉車被阻擋而不能疏解的時間等於 $3.46 + 0.847 N_p$ (見式 6)，機車不受行人之影響。
- 五、綠燈開始後第一停等車駕駛員的反應時間為 1.5 秒，直行車輛之平均疏解車距為 1.7 秒，右轉或左轉車輛在無衝突行人狀況時的平均疏解車距為 1.87 秒。
- 六、停等車隊長度為 20 輛小車，右轉或左轉之百分比為 P 。

在上述之情況下，疏解 20 輛不受行人影響之小車所須之時間可估計如下：

$$T_0 = 1.5 + 20 [1.87P + 1.7 (1 - P)] \quad (8)$$

此式中，

T_0 = 無衝突行人時，疏解 20 輛停等小車所須時間 (秒)；

P = 右轉或左轉車輛百分比。

有衝突行人時，疏解同樣 20 輛小車所須之時間 T_p 可經由模擬(simulation)來估計。衝突行人調整因素 f_{cp} 可訂為：

$$f_{cp} = \frac{T_0}{T_p}$$

模擬結果如圖 2、圖 3 及圖 4 所示。圖 2 及圖 3 是各根據 1 輛及 2 輛左轉或右轉車停等時不會阻擋上游車輛之疏解的假設，這情形在右轉時較常見。保護左轉之車道若遭遇到行人之阻擋而須停等，則較多輛的車子可能已偏離原來的車道，因此對上游車輛之疏解沒有影響，所以圖 4 可能較適用於此種車流之分析。

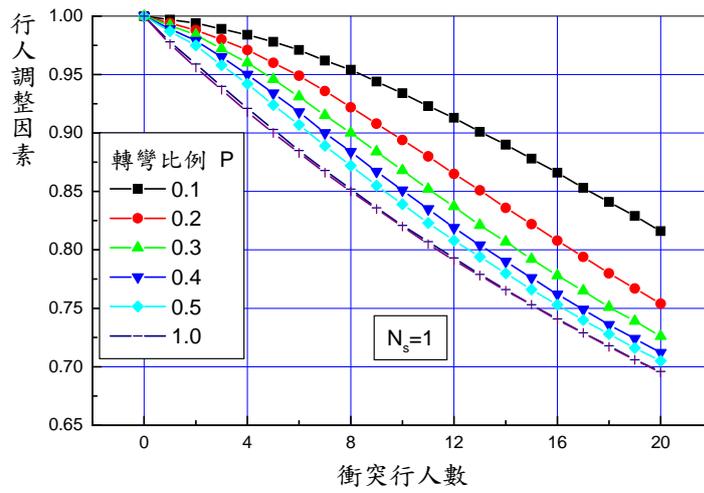


圖 2 衝突行人數與行人調整因素($N_s=1$)

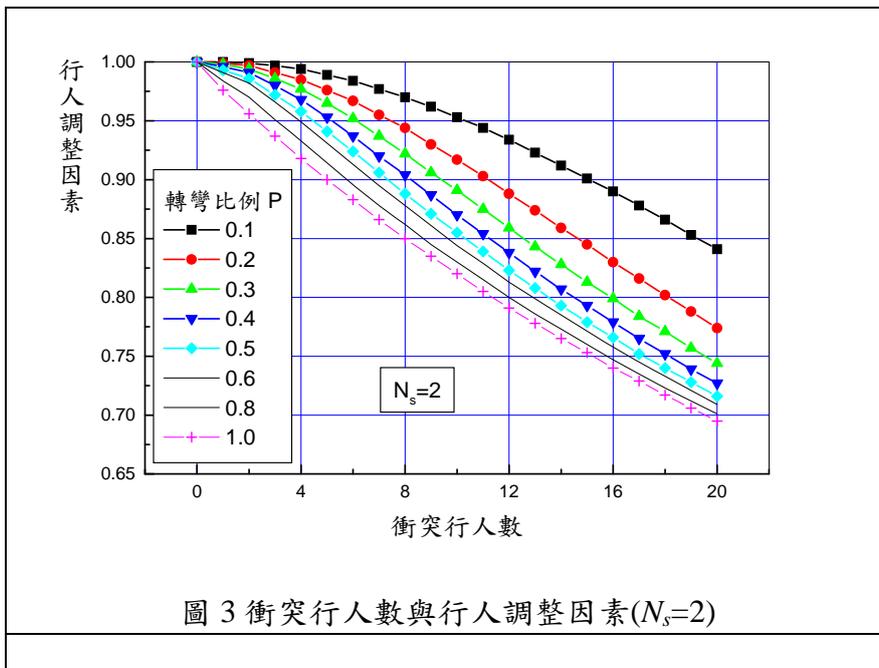


圖 3 衝突行人數與行人調整因素($N_s=2$)

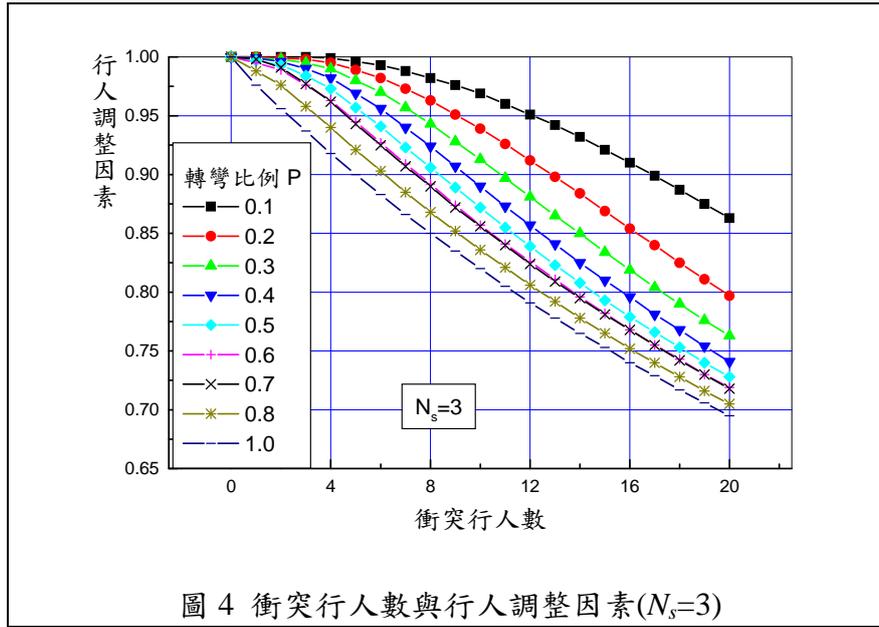


圖 4 衝突行人數與行人調整因素($N_s=3$)

上述模擬資料顯示一(3×4×1)之類神經網路模式，可用以估計行人調整因素(f_p)。此模式可用下列之公式來代表：

$$f_p = \frac{1}{1 + e^{-Y}} \quad (10a)$$

$$Y = \frac{8.2713}{1 + e^{-S_1}} - \frac{5.9589}{1 + e^{-S_2}} + \frac{3.4030}{1 + e^{-S_3}} + \frac{5.4736}{1 + e^{-S_4}} + 6.3693 \quad (10b)$$

$$S_i = \left[\sum_{j=1}^3 A_{ij} X_j \right] + A_{i4} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (10c)$$

此式中，

- f_p = 衝突行人調整因素；
- X_1 = 左轉或右轉比例；
- X_2 = 衝突行人數(行人)除以30；
- X_3 = 轉角可儲存之車輛數(輛)除以5。

式 10c 中之 A_{ij} 列於表 2 中。

表 2 式 10c 之 A_{ij} 值

i	j			
	1	2	3	4
1	1.8081	-2.5380	-2.7374	-1.2222
2	-0.9694	1.7523	14.4753	-0.2346
3	0.4917	-13.6406	-0.3872	-0.3203
4	-0.3436	0.1258	-2.5778	-0.4996

伍、結語

目前 2001 臺灣 HCM 係利用「右轉調整因素(f_R)」來估計衝突行人之影響，但此調整因素僅考量右轉比例 (P_R)、衝突行人及車輛之尖峰 15 分鐘總流率 (Q_0 ，人·車/小時) 等兩個變數，欠缺考量紅綠燈時段長度對人、車衝突的影響，而且不適用於評估左轉車流受行人的影響。

本研究考量衝突行人對左轉或右轉車流疏解之影響，可能受到車流行進方向、號誌之時相設計、行人流率及行人進入路口之型態、及行人與駕駛員在路口之衝突行為的影響，乃利用三個臺北市之現場調查資料，以了解右轉車輛與衝突行人之互動關係，結果發現當右轉車輛遭遇到衝突行人時，其疏解車距與衝突行人數有明顯的線性關係，這關係可用以估計衝突行人對容量之影響。

本研究更進一步利用臺北三個地點之現場調查資料，以訂定在有不同數目之衝突行人時，右轉停等車與前車之車距，以及在無行人衝突時右轉停等車之車距。並利用模擬方法以探討衝突行人對號誌化路口容量之影響。藉由模擬分析之成果，本研究分別建立不同衝突情境下之停等車隊疏解的「衝突行人調整因素(f_P)」，最後並利用一 (3x4x1) 之類神經網路模式，可用以估計行人調整因素(f_P)。這些研究成果可以作為修訂 2001 臺灣 HCM 第十三章之參考。

致 謝

本研究在此特別感謝交通部運輸研究所之經費與資料提供。

參考文獻

- 1.林豐博，2001 年臺灣地區公路容量手冊，交通部運輸研究所，90-16-1183，民國 90 年 3 月。
- 2.林豐博，市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究(1/2)，交通部運輸研究所，95-113-1235，民國 95 年 7 月。
- 3.Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- 4.龍天立等人，臺灣地區公路容量手冊交通部運輸研究所，79-27-160，民國 80 年。
- 5.Kimber, R. M., McDonald, H., and Hounsell, N. B., "The Prediction of Saturation Flow for Road Junctions Controlled by Traffic Signals", *TRRL Research Report*, No.67, 1986.
- 6.Teply, S., Allingham, D. I., Richardson, D. B. and Stephenson, B. W., "Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections," Institute of Transportation Engineers, District 7, 1995.
- 7.Lin, F. B., and Thomas, D., "Headway Compression during Queue Discharge at Signalized Intersections," *Transportation Research Record 1920*, pp. 81-85, 2005.
- 8.Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D.C., 1998.
- 9.龍天立等人，研擬臺灣地區公路容量手冊技術報告(市區街道部分)，交通部運輸研究所，75-49-117，民國 75 年 7 月。
- 10.何志宏等人，號誌化交叉路口飽和流率之估計，交通部運輸研究所，民國 83 年 7 月。
- 11.鄭賜榮，混合車流狀況下交叉路口容量研究，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國 65 年 6 月。
- 12.何志宏等人，號誌化交叉路口飽和流率之估計，交通部運輸研究所，民國 83 年 7 月。
- 13.張學孔，「右轉流動容量之分析」，*運輸計劃季刊*，第十四卷二期，民國 74 年 6 月。

