

收費站模擬(TPS)模式之改良與應用

Improvements and Applications of Toll Plaza Simulation (TPS) Model

曾平毅 Pin-Yi Tseng¹
林豐博 Feng-Bor Lin²
張瓊文 Chiung-Wen Chang³
蘇振維 Cheng-Wei Su⁴
鄭嘉盈 Chia-Ying Cheng⁵

摘要

本研究探討交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)於2010年研究之臺灣高速公路收費站特性車流特性、收費車道容量、改良且納入電子收費特性的收費站模擬(TPS)模式及其應用。這些研究成果用於修訂2001年臺灣地區公路容量手冊之第八章,已納入2011年臺灣地區公路容量手冊。而且,改良後的收費站模擬軟體(TPS-v2.exe)置放於運研所之網頁,可免費下載。

關鍵詞：收費站、車流特性、公路容量分析、收費站模擬模式

Abstract

This paper presents the traffic and capacity characteristics at toll plaza on the freeway in Taiwan based on the results of a study conducted by the Institute of Transportation (IOT) in 2010. Moreover, the paper also introduces the modified Toll Plaza Simulation (TPS) model with electronic toll collection feature and its applications. All the study results have been amended to the Chapter 8 of 2011

¹ 中央警察大學交通學系教授兼系主任(聯絡地址:333桃園縣龜山鄉大崗村樹人路56號,電話:03-3281991, E-mail: una139@mail.cpu.edu.tw)。

² 美國Clarkson大學土木與環境工程學系教授。

³ 交通部運輸研究所運輸計畫組簡任研究員兼副組長。

⁴ 交通部運輸研究所運輸計畫組組長。

⁵ 交通部運輸研究所運輸計畫組管理師。

Taiwan Highway Capacity Manual, and the simulation software (TPS-v2.exe) is available for free download on the IOT website.

Keywords: Toll plaza, Traffic flow characteristics, Highway capacity analysis, TPS model

一、前言

目前臺灣國道 1 號、3 號及 5 號高速公路設有收費站，這些收費站皆設有傳統的收費車道及收費亭。此種收費站常造成嚴重塞車，而且其硬體設施及營運之成本昂貴，因此歐美國家已開始採用開放式收費(open-road tolling)系統(Samuel, 2009; Smyth, 2009; Jai, 2009)。這種系統不需在車道上設置分隔島及收費亭，其辨識通過收費地點之車道的設備裝在橫跨整個公路之高架結構體上，一般使用的設備包括電子收費(Electronic Toll Collection, ETC)及牌照自定辨識(Automatic License Plate Recognition, 簡稱 ALPR)系統。車輛可以正常的速率通過收費地點，臺灣也計畫將採用開放式收費。

但目前臺灣絕大多數的國道收費站皆設在主線，因此收費站之作業對高速公路之服務水準有相當大的影響。2001 年臺灣地區公路容量手冊(以下簡稱臺灣 HCM)第八章已提供一分析方法及「收費站模擬模式(Toll Plaza Simulation Model, 簡稱 TPS Model)」來分析收費站之作業(運研所, 2001)。但該章沒有國道電子收費(ETC)作業特性的資料，而 2006 年 2 月 10 日起臺灣高速公路收費站開始使用電子收費，而且其他收費車道之作業方式也有變更，因此第八章沒有可靠的資料來分析目前的收費站作業。第八章的現場資料也很有限，TPS 模式也沒有估計油耗量(fuel consumption)及空氣汙染(air pollution)之功能，因此 TPS 模式需要改良，第八章也須加以修訂。

因此，運研所乃於 2010 年進行一研究計畫(運研所, 2011a)，以改良高速公路收費站容量分析工具，並用於修訂 2001 年臺灣 HCM 之第八章。其工作內容主要包括：(1)蒐集國 1、國 3 及國 5 等高速公路之大、小型收費站的車流型態、收費亭之容量及收費車道之使用特性；(2)利用現場資料微調與校估收費站模擬(TPS)模式；(3)利用運研所之耗油與空氣汙染實驗資料(運研所, 2009)建立估計模式；(4)發展與改良分析收費站容量之方法論；(5)修訂 2001 年臺灣 HCM 之第八章及修訂 TPS 使用者手冊。目前第八章修訂版及 TPS 模式修訂版均已完成，且已納入 2011 年臺灣 HCM。本研究主要說明收費站之車流特性、各類收費車道之容量、TPS 模式之改良與應用。

二、收費站之車流特性

本研究之收費站資料係於 2010 年廣泛地蒐集與收費站運作有關之車流

特性資料，主要用於進一步了解實際的運作特性及作為改良 TPS 模式之用。以下說明流量隨一天中時間的變化型態、尖峰小時係數、尖峰流量係數、流量之方向係數、車種組成及收費車道之使用。

2.1 流量型態

收費站流量型態受收費站所在地及車流是否為平常日車流或假日車流所影響。因此不同收費站有不同之流量型態，如圖 1 及圖 2 所示。本研究在 4 個收費站所蒐集並列於表 1 的資料，亦顯示一天中之尖峰小時通常隨收費站地點及日期不同而變化。因此如欲了解一特定收費站尖峰小時內的作業狀況，則須先了解該收費站流量隨時間的變化型態。

表 1 的收費站車流資料，主要利用高速公路局之收費站通過車輛數資料；至於收費站之選取，則考慮收費站之大小、所在位置及時間，其中收費站之規模區分為大型（泰山、樹林）、普通（頭城）及小型（汐止）等三種，所在位置包含國 1、國 3 及國 5 等高速公路，時間則包括平常日 (weekday)、一般假日 (weekend) 及連續假日 (holiday)。

每個收費站之車流特性可能不同，但本研究蒐集與分析不同收費站之車流量資料，主要用以了解臺灣地區高速公路收費站之車流特性範圍，尤其是隨時間的變化情形，例如尖峰小時、尖峰流量係數、方向係數、尖峰小時係數、車種組成、車道使用情形等。本研究在分析過程，也初略觀察其他收費站的特性，發現其與表 1 各收費站之資料差異並不大。

表 1 尖峰小時之分佈樣本

收費站	2010/4/4 日(假日)	2010/4/5 日(假日)	2010/4/6 日(平常日)
汐止北上	10:15~11:15	10:30~11:30	17:00~18:00
泰山北上	10:45~11:45	13:30~14:30	7:20~8:20
泰山南下	10:25~11:25	6:15~7:15	7:30~8:30
樹林北上	17:00~18:00	16:00~17:00	17:00~18:00
樹林南下	10:00~11:00	6:00~7:00	7:00~8:00
頭城北上	15:00~16:00	11:10~12:10	16:55~17:55
頭城南下	6:40~7:40	6:05~7:05	9:50~10:50

資料來源：運研所(2010)。

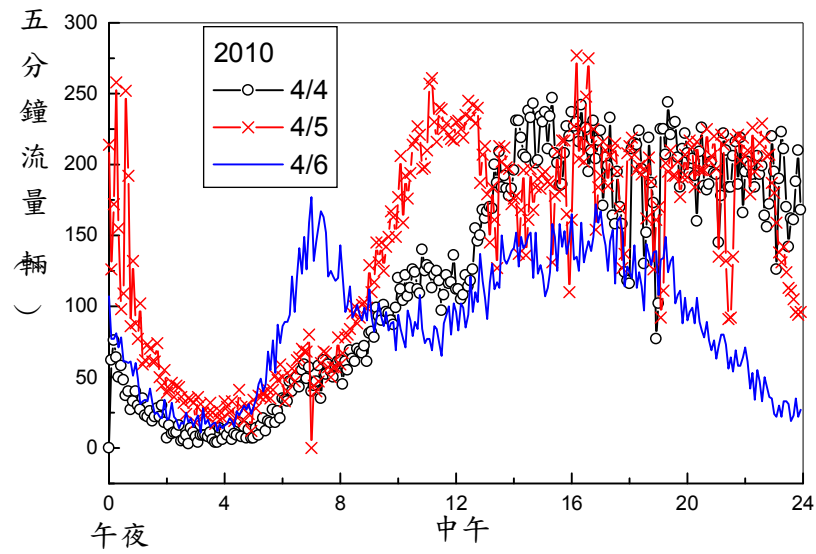


圖 1 泰山收費站北上全天車流型態

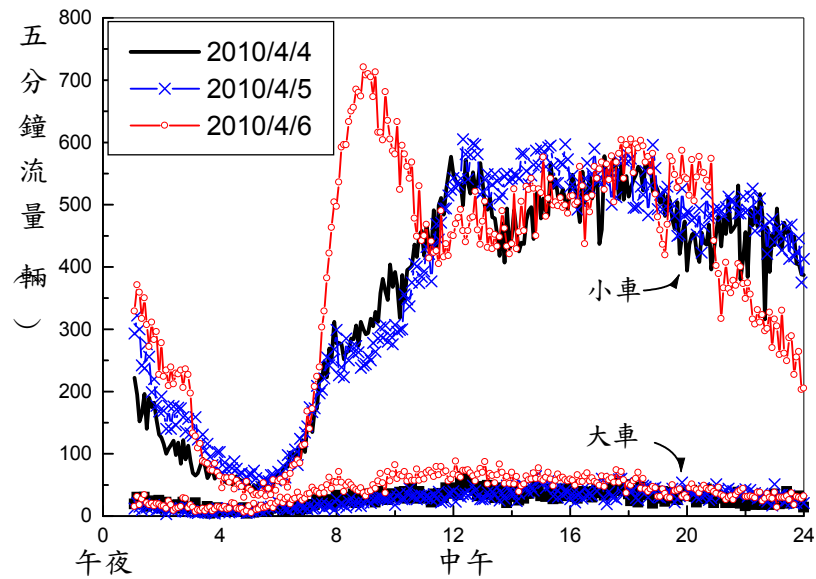


圖 2 頭城收費站北上全天車流型態

2.2 尖峰流量係數及方向係數

尖峰流量係數代表尖峰小時車流占全天車流之比例。方向係數指流量較高方向之尖峰流量占雙向尖峰流量之比例。表 2 顯示除了頭城收費站因觀光車輛較多而有較高之尖峰流量係數之外，其他 3 個收費站之尖峰流量係數在 0.065~0.077 間。所以規劃非觀光性質之高速公路設施可將尖峰流量係數訂為 0.075，觀光性車流的設施則約有 0.085 左右之尖峰流量係數。至於方向係數，表 2 顯示其值在 0.50 及 0.60 之間，觀光性車流及非觀光性車流設施之方向係數可別訂為 0.60 及 0.55。

表 2 尖峰流量係數及方向係數

收費站	尖峰流量係數		方向係數	
	假日	非假日	假日	非假日
汐止	0.074	0.077	--	--
泰山	0.065	0.072	0.53	0.50
樹林	0.070	0.076	0.56	0.52
頭城	0.085	0.086	0.60	0.58

註：假日資料為 2010 年 4/4 及 4/5 兩日之平均值，樹林平常日資料為 2010 年 4/6、4/7 及 4/8 日之平均值，其他收費站平常日資料為 4/6 日之值。

2.3 尖峰小時係數 (Peak-Hour Factor, 簡稱 *PHF*)

分析或設計公路設施時，常用尖峰小時係數來估計尖峰 15 分鐘之流率。此係數代表尖峰小時流率與尖峰 15 分鐘流率之比例。從圖 3 可知尖峰小時係數有隨尖峰流量之增高而上升之現象。

2.4 車種組成

表 3 顯示在尖峰小時及全天中通過 3 個收費站車輛之車種組成。從此表可知，大車比例在 14% 以下。此外，在平常日之全天車流中，大車比例隨收費站之變化很少，在 10%~11% 左右。尖峰及假日車流中大車比例隨收費站的變異則比較顯著。

2.5 收費車道使用率

表 4 及表 5 各顯示 4 個收費站平常日及假日尖峰車流使用各種類型收費車道之百分比。表 6 為不分收費車道類型全天車流中，使用電子收費車道之百分比。從這些表可知使用回數票及電子收費車道的車輛占大多數，但是全天電子收費使用率不超過 42%。因此採用開放式收費之後，有一半以上車輛必須使用牌照自動辨識系統，或其他非收發器的自動收費系統來辨識。這些系統的精確度沒目前使用收發器(transponder)之電子收費系統高，因此開放式收費仍會面臨人工處理資料及執法的問題。

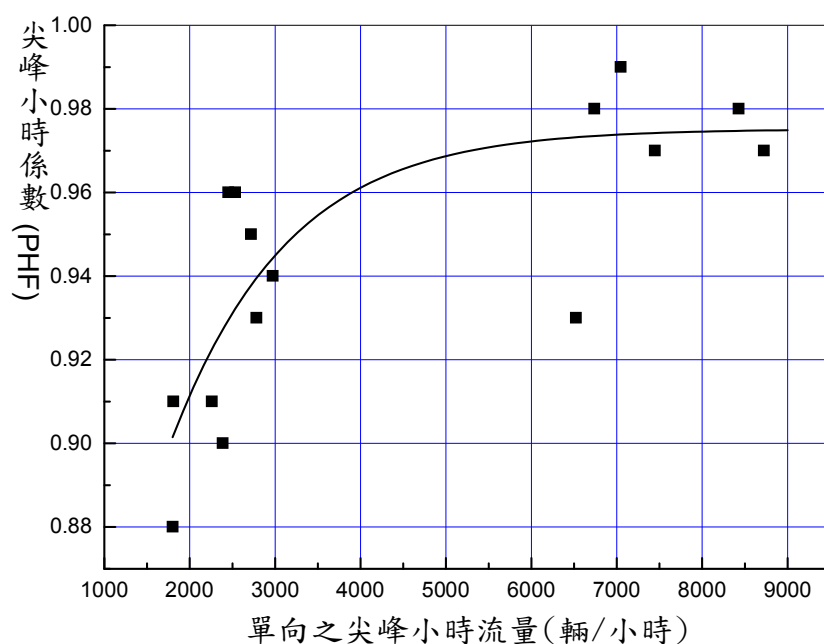


圖 3 尖峰小時流量與尖峰小時係數之關係

根據圖 3，尖峰小時係數可估計如下：

$$PHF = 0.013 + \frac{0.962}{1 + e^{-\frac{Q+1380}{1270}}} \quad (1)$$

式(1)中， Q 為單向尖峰小時流量（輛）。

表 3 尖峰小時及全天車流之車種組成

收費站	假日				非假日			
	尖峰小時		全天		尖峰小時		全天	
	大車	小車	大車	小車	大車	小車	大車	小車
汐止北上	13.3	86.7	11.7	88.3	12.3	87.7	11.0	89.0
泰山北上	8.1	91.9	7.1	92.9	5.9	94.1	9.9	90.1
泰山南下	6.1	93.9	6.7	93.3	6.9	93.1	9.8	90.2
樹林北上	3.2	96.8	3.5	96.5	8.6	91.4	10.8	89.2
樹林南下	2.8	97.2	3.5	96.5	9.9	90.1	11.2	88.8

註：本表資料整理同表 2。

表 4 假日尖峰小時中收費車道之使用率(%)

收費站	收費車道類型					
	大車 找零	小車 找零	小車 回數票	小車 ETC	大車 ETC	大小車 找零/回數票
汐止北上	6.8	40.9	30.2	15.6	6.5	--
泰山北上	3.7	14.4	48.2	29.3	4.4	--
泰山南下	1.9	16.6	52.3	25.0	4.2	--
樹林北上	1.3	20.7	52.1	24.0	1.9	--
樹林南下	1.0	22.0	53.5	21.7	1.8	--
頭城北上	--	44.0	29.3	24.8	1.9	--
頭城南下	--	--	28.0	27.6	1.7	42.6

註：本表整理自 2010 年 4/4 日及 4/5 日之資料。

表 5 平常日尖峰小時中收費車道之使用率(%)

收費站	收費車道類型					
	大車 找零	小車 找零	小車 回數票	小車 ETC	大車 ETC	大小車 找零/回數票
汐止北上	6.8	32.6	23.0	28.4	9.2	--
泰山北上	1.0	12.1	41.4	40.6	4.9	--
泰山南下	1.6	11.8	44.1	37.8	5.7	--
樹林北上	2.6	15.5	46.9	29.2	5.8	--
樹林南下	2.8	14.6	43.8	31.7	7.1	--
頭城北上	--	42.6	28.0	27.6	1.7	--
頭城南下	--	--	27.8	21.1	10.4	40.7

註：樹林資料為 2010 年 4/6、4/7 及 4/8 日現場資料，其他為 2010 年 4/6 日現場資料。

表 6 全天車流中 ETC 車輛占總車輛之百分比(%)

收費站	大車		小車		大小車總和	
	假日	平常日	假日	平常日	假日	平常日
汐止北上	6.7	14.6	14.6	17.1	21.3	31.7
泰山北上	5.3	7.6	27.7	33.1	33.0	40.7
泰山南下	5.2	7.6	27.2	33.8	32.4	41.1
樹林北上	2.1	6.9	23.7	29.2	25.8	36.1
樹林南下	2.5	7.9	23.0	29.1	25.5	37.0
頭城北上	1.1	1.3	26.9	27.4	28.0	28.7
頭城南下	6.5	10.3	13.2	16.4	19.7	23.5

註：本表整理自 2010 年 4/4 日及 4/5 日資料。

2.6 減速區進口自由速率及電子收費車道自由速率

車輛接近傳統收費站時須減速。高速公路系統之速限是 90 公里/小時或 100 公里/小時之情況下，平均自由速率大約在 100 公里/小時及 110 公里/小時之範圍內。但車輛抵達收費站減速區之上游端點時，通常自由速率已在主線之自由速率以下，以小車為例，這現象如圖 4 所示。

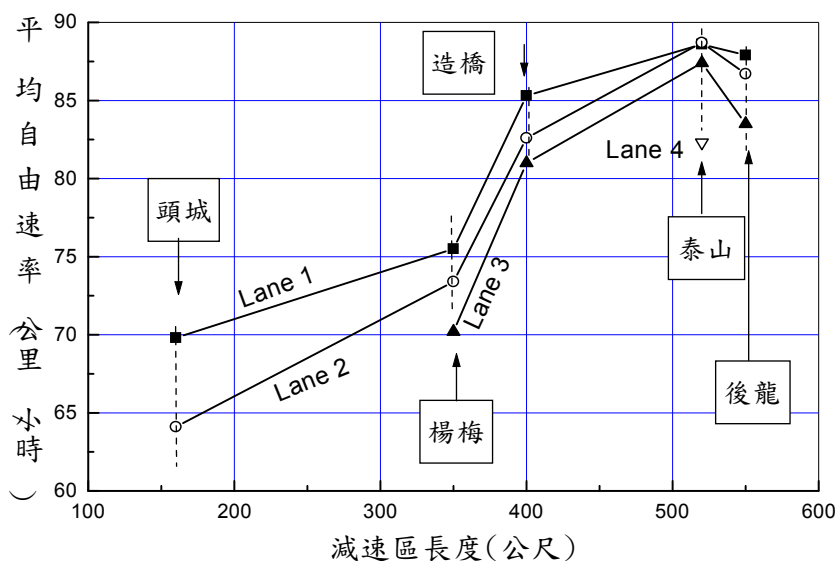


圖 4 小車在收費站減速區起點之平均自由速率

個別車輛之自由速率的機率分布(probability distribution)，可用下列模式來代表：

如 $V_f \leq 0.8$ ，

$$F(V_f) = 0.0 \quad (2a)$$

如 $0.8 < V_f \leq 1.3$ ，

$$F(V_f) = -0.033 + \frac{1.034}{1 + e^{\frac{V_f - 0.993}{0.059}}} \quad (2b)$$

如 $V_f > 1.3$ ，

$$F(V_f) = 0.0 \quad (2c)$$

式(2)中， V_f 為個別車輛自由速率與平均自由速率之比例， $F(V_f)$ 為個別車輛自由速率與平均自由速率之比例小於或等於 V_f 之比例。

目前 ETC 收費車道之速限為 50 公里/小時（高公局預計陸續拓寬收費車道，以提高速限至 70 公里/小時），至於電子收費車輛通過收費亭地點時之自由速率，本研究蒐集的現場資料顯示，大車之平均自由速率為 50 公里/小時，小車的平均自由速率為 52 公里/小時。這些平均自由速率比 70 公里/小時之收費站減速區速限低很多，通過電子收費車輛在收費亭地點之自由速率的分布也可以式 2 代表。

三、收費車道與地磅站之服務時間及容量

在 2010 年時，臺灣高速公路上之收費車道有下列類型：(1)小車回數票專用車道，(2)小車電子收費車道，(3)大車電子收費車道，(4)小車找零車道（允許回數票小車使用），(5)大車找零車道（允許回數票大車使用），(6)大、小車找零/回數票共用車道。因為本研究從找零車道所蒐集到資料也可用來估計只有找零或是只有回數票車輛時之平均服務時間，所以本研究分析方法也可用來估計下列類型車道：(1)大車回數票專用車道，(2)小車找零專用車道，(3)大車找零專用車道。

此外，現場之找零車道事實上是找零/回數票共用之車道。為了避免困擾，本研究將容許回數票使用之找零車道通稱為找零/回數票共用車道。上述大小車找零/回數票共用車道只有在頭城收費站使用。因雪山隧道在 2010 年底之前仍禁行大貨車或聯結車，所以通過頭城收費站之大車只有大客車。

通常各方向的車道安排是將小車 ETC 車道放在內側，然後從內側到外側依次設置小車回數票車道，小車找零/回數票車道，大車 ETC 車道及大車

找零/回數票車道。各類型車道之車道數隨收費站之所在地而變。頭城收費站因為有上匝道及下交流道之車流，所以車道類型的安排比較特殊。

3.1 容量及服務時間之定義

收費車道之容量指在某車流、收費站幾何設計、收費作業及其他相關天候及路面狀況下，在不短於 15 分鐘之時段內經常能從收費車道通過之最高流率。容量並不是一固定值，也不是最高的觀察值，而是一期望值 (expected value)。以傳統收費車道為例，其容量相當於在有持續的停等車輛時，相同長度時段（如 15 分鐘）內能穿過收費車道之流率的平均值。

收費車道之服務時間指穿過收費車道之流率等於容量時各車輛之車距 (headway)。如平均服務時間為 5 秒，則收費車道之容量為 $3600/5 = 720$ 輛/小時。傳統收費站上之車輛必須停靠或以相當低的速率通過收費亭，所以其收費車道之服務時間等於在有不斷的停等車輛時，一車後輪通過收費亭之一參考線到下一車後輪通過同一參考線時之時間。停等車指停止或與前車距離約在 2 小車車長之內，而且車行緩慢，速率約在 12 公里/小時以下之車輛。量測服務時間用的參考線位於收費亭下游約 2 公尺之處，服務時間包括停車付費時間及跟進時間。找零車輛有顯著的停車付費時間。回數票小車之停車付費時間微不足道，因為通常駕駛員不必停車。回數票大車有很短暫之停車付費時間，電子收費車輛則沒有停車付費時間。

3.2 服務時間及容量之範圍

表 7 顯示除了大小車找零/回數票共用車道之外，從現場資料估計而得之各類型車道的平均服務時間及容量。在頭城收費站之大小車找零/回數票共用車道的大車數量很少，所以缺乏該類型車道有大小車混合等著付費之資料。此外，小車找零/回數票車約有 75% 是找零車輛，大車找零/回數票車道上的找零車輛則只約占 25%。這兩類型的容量值隨回數票（或找零）車輛之比例而變。根據 TPS 模式之模擬結果，小車專用或大車專用之找零/回數票車道的容量可從圖 5 或式(3)、式(4)來估計。

表 7 收費車道之服務時間及容量特性

車道類型	平均服務時間 範圍(秒)	容量範圍 (輛/小時/車道)	容量代表值 (輛/小時/車道)
A.專用車道			
小車回數票	3.58~3.95	910~1,005	960
大車回數票	6.19~6.28	580~575	580
小車電子收費	2.04~2.18	1,650~1,760	1,715
大車電子收費	3.09~3.32	1,085~1,165	1,120
小車找零	6.43~8.41	430~565	470
大車找零	13.1(19 樣本)	275	275
B.共用車道			
小車找零/回數票 (回數票百分比：21~28%)	6.01~7.32	490~600	隨回數票百 分比而變
大車找零/回數票 (回數票百分比：70~82%)	7.51~7.81	460~480	隨回數票百 分比而變

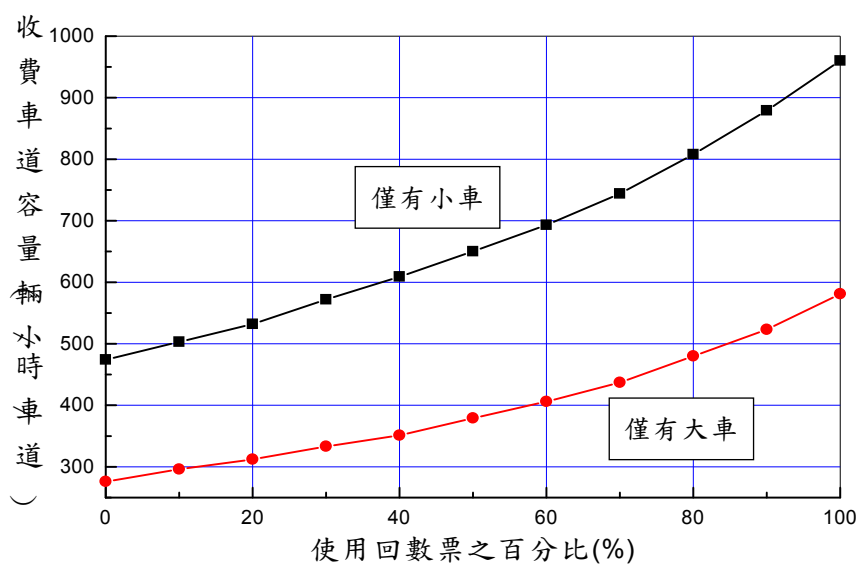


圖 5 回數票及找零共用之小車車道及大車車道之容量 (TPS 模式模擬值)

小車找零／回數票車道容量

$$C_{ms} = 480 + 198.16P_{st} + 274P_{st}^2 \quad (3)$$

大車找零／回數票車道容量

$$C_{mb} = 283 + 86.48P_{bt} + 204P_{bt}^2 \quad (4)$$

此兩式中， C_{ms} 為小車找零/回數票車道之容量(小車/小時/車道)， C_{mb} 為大車找零/回數票車道之容量(大車/小時/車道)， P_{st} 為小車中使用回數票之比例， P_{bt} 為大車中使用回數票之比例。

如找零/回數票車道讓大車及小車共用，則其容量可用下式來估計：

$$C_{mbs} = \frac{3600}{f_b[P_{bt}T_{bt} + (1-P_{bt})T_{bc}] + f_s[P_{st}T_{st} + (1-P_{st})T_{sc}]} \quad (5)$$

此式中， C_{mbs} =大小車找零/回數票共用車道之容量(輛/小時)， f_b =大車比例， f_s =小車比例， P_{bt} =大車中使用回數票之比例， P_{st} =小車中使用回數票之比例， T_{bt} =回數票大車平均服務時間， T_{st} =回數票小車平均服務時間， T_{bc} =找零大車平均服務時間， T_{sc} =找零小車平均服務時間。

式 5 中各項平均服務時間的代表值如表 8 所示。如將服務時間改為服務時間與平均服務時間之比例，則不論收費車道之類型，此正常化服務時間的分布可用圖 6 之分布來代表。此分布可用式(6)來替代。

如 $t \leq 0.62$ ，

$$F(t) = 0.0 \quad (6a)$$

如 $0.62 < t \leq 1.41$ ，

$$F(t) = -0.029 + \frac{1.050}{1 + e^{-\frac{t-0.995}{0.107}}} \quad (6b)$$

如 $t > 1.41$ ，

$$F(t) = 1.0 \quad (6c)$$

此式中， t =服務時間與平均服務時間之正常化比值， $F(t)$ =正常化服務時間小於或等於 t 之比例。

表 8 找零及回數票共用車道之代表性服務時間

車種及付費方式	代表性服務時間(秒)
回數票小車	$T_{st} = 4.3$
回數票大車	$T_{bt} = 6.2$
找零小車	$T_{sc} = 7.7$
找零大車	$T_{bc} = 13.1$

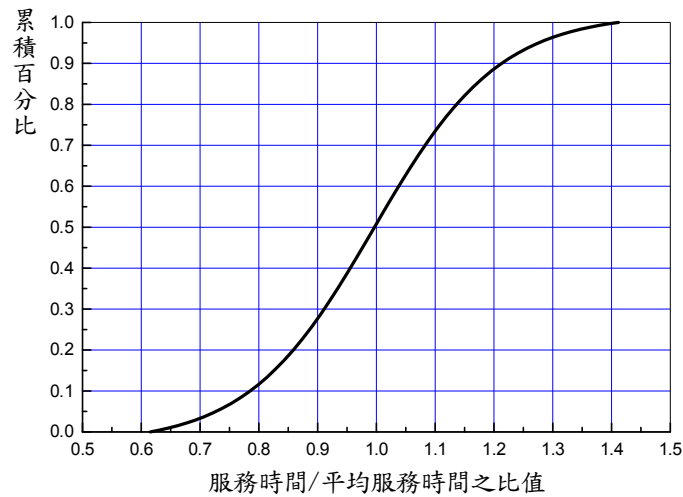


圖 6 正常化服務時間之代表性分布

3.3 地磅站服務時間及容量

地磅站服務時間指在有連續不斷之車輛等著進入地磅時，後輪通過地磅的車距。表 9 顯示不同地磅站的平均服務時間的變異性不大，容量在 300 輛/小時左右。

表 9 地磅站之平均服務時間及容量

地磅站及代號	樣本數 (輛)	服務時間(秒)		容量 (輛/小時)
		平均	標準差	
W1：新營北上	160	13.1	3.0	275
W2：泰山北上	232	11.8	3.1	305
W3：泰山南下	102	12.3	3.7	293
W4：楊梅南下	141	11.1	3.6	324
W5：樹林南下	100	11.2	3.1	321

四、TPS 模式之改良及微調

運研所建立 TPS 模式第一版時，可用於微調模擬邏輯之現場資料很有限，而且當時臺灣還沒有實施電子收費，因此第一版之電子收費作業之相關車流特性係根據假設之狀況。本研究所蒐集之收費站作業資料對改良 TPS 模式很有幫助。這些資料中，一部分可直接用來模擬車流行為，其他資料則可用來調整模擬邏輯。以下說明 TPS 模式改良及微調之工作。

4.1 變換車道之邏輯

本研究進行微調工作時，發現變換車道之邏輯有時造成兩車互讓而持久不前進，造成嚴重塞車。這現象發生於大車通過收費車道之後須在短距離內交織變換車道之情況下。為了消除這不合理的現象，本研究將變換車道之邏輯修改，讓車頭在前之併行車輛有優先行進之權利。

4.2 減速區進口自由速率

由現場資料顯示，車輛進到減速區起點時之平均自由速率隨減速區的範圍而變。減速區長度超過 400 公尺時，減速區長度對起點之平均自由速率的影響比較小。減速區長度在 350 公尺及 400 公尺時，平均自由速率隨減速區長度之變化相當顯著。減速區起點平均自由速率隨減速區長度之變化，可用下式來代表：

$$V_f = 67.5 + \frac{21.09}{1 + e^{\frac{S-373.3}{32.976}}} \quad (7)$$

此式中， V_f = 減速區起點車輛之平均自由速率（公里/小時）； S = 減速區之長度（公尺）。

在減速區起點之個別車輛自由速率大約在平均自由速率之 75% 及 130% 之間。正常化自由速率的分布可轉換成下式，用來模擬個別車輛之自由速率：

$$V_{fi} = V_f \left[0.993 - 0.059 \ln \left(\frac{1.034}{R + 0.033} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

此式中， V_{fi} = 車輛 i 在減速區起點之自由速率（公里/小時）； V_f = 車輛在減速區起點之平均自由速率（公里/小時）； R = 均勻分布之隨機亂數(0~1)。

改良後之 TPS 模式讓主線車輛在接近收費站時逐漸減速來模擬式 7 所估計之平均自由速率，個別自由速率則根據式 8 所代表之分布來訂定。

4.3 電子收費車道之自由速率

如前所述，大車及小車通過電子收費車道時之平均自由速率各為 50 及 52 公里/小時左右。個別車輛自由速率之分布與減速區起點自由速率的分布相似。本研究根據式現場調查的資料來模擬車輛通過電子收費車道時之自由速率，如式 9：

$$V_{ei} = V_e [0.984 - 0.087 \ln(\frac{1.094}{R + 0.074} - 1)] \quad (9)$$

此式中， V_{ei} = 個別車輛 i 通過電子收費站時之自由速率（公里/小時）； V_e = 車輛通過電子收費站時之平均自由速率（小車：52 公里/小時；大車：50 公里/小時）； R = 均勻分布之隨機亂數(0~1)。

4.4 收費車道服務時間

4.4.1 小車回數票車道服務時間及容量

表 7 顯示小車回數票車道之平均服務時間在 3.58 秒及 3.95 秒之間，其相關容量在 919 小車/小時及 1,006 小車/小時之間。這些容量值比 2001 年容量手冊第八章所提供之值約高 50 小車/小時。此外，本研究蒐集之個別服務時間在平均值的 60% 及 140% 之間。這範圍比 2001 年手冊所指出的 50% 到 210% 之範圍小。因為服務時間之變異性會影響收費站之作業績效，所以舊版 TPS 模式之相關模擬邏輯須修改。

TPS 模式利用一跟車邏輯來設定在每秒鐘內每一車應有之加速率。此邏輯假設每一車輛跟隨另一車輛時，後車車頭與前車車尾應保持適當的間距。修正後之 TPS 模式利用下列兩式訂定後車車速等於或高於前車時應保持之間距。

小車

$$S_a = S_{\min} + \beta_1 [0.95(0.5 + 1.0R)V_1 + 0.0041V_1^2 - (V_1^2 - V_2^2)/6.1] \quad (10a)$$

大車

$$S_a = S_{\min} + \beta_2 [1.27(0.4 + 1.2R)V_1 + 0.0041V_1^2 - (V_1^2 - V_2^2)/6.1] \quad (10b)$$

上兩式中， S_a = 後車速率等於或高於前車速率時，兩車欲保持之間距（車尾到車頭，公尺）； $S_{\min}$ = 前車與後車皆停住時，兩車之最小間距（平均約 2 公尺）； β_1, β_2 = 小車及大車之間距調整係數； R = 均勻分布之隨機亂數(0~1)； V_1 = 前車之速率（公尺/秒）； V_2 = 後車之速率（公尺/秒）。

如前車的速率高於後車之速率，修定後之 TPS 模式假設兩車欲維持之間距如下：

小車

$$S_b = S_{\min} + \beta_1 [0.95(0.5 + 1.0R)V_2 + 0.0041V_1^2] \quad (11a)$$

大車

$$S_b = S_{\min} + \beta_2 [1.27(0.4 + 1.2R)V_1 + 0.0041V_1^2] \quad (11b)$$

上兩式中， S_b =前車速率高於後車速率時，兩車欲保持之間距（公尺）。

根據式 4.4、式 4.5 及在每秒開始瞬間之速率、加速率及車輛之位置，TPS 模式估計個別車輛應採用之加速率或減速率。但加速率不能超過個別車輛之最高加速率，此最高速率訂為：

小車

$$a_{\max} = 2.74 - 0.75V \quad (12a)$$

大車

$$a_{\max} = 1.52 - 0.042V \quad (12b)$$

上兩式中， $a_{\max}$ =最高加速率（公尺/秒²）； V =車速（公尺/秒）。

此外，修訂後之 TPS 模式亦採用一付費後加速率調整係數來調高或調低回數票大車及小車駛離收費亭之起始加速率。回數票小車車道之付費後加速率之代表值為 1.45 公尺/秒²。此代表值之相關調整係數為 100%，如調整係數高於 100%時，則小車會以較快的速率離開收費車道，因此車道之容量會增高。如表 10 所示，現場觀察到之小車找零車道之容量（919~1,006 小車/小時），可用 85%到 110%左右之付費後加速率調整係數來模擬。圖 7 顯示新版 TPS 模式所產生之回數票小車服務時間與現場服務時間有相當近似之分布。

表 10 回數票小車收費車道付費後加速率調整係數與容量模擬值之關係（20 次模擬平均值）

調整係數(%)	容量模擬值(小車/小時)
75	822
77	830
80	848
85	878
90	903
95	933
100	960
105	992
110	1,019

4.4.2 電子收費車道服務時間及容量

表 7 顯示小車電子收費車道之平均服務時間在 2.04 秒及 2.18 秒之間，其相關容量在 1,654 及 1,762 小車/小時之間。大車電子收費車道之容量則在 1,084 及 284 大車/小時之間。根據假設之車流行為，舊版 TPS 模式所估計之容量為 1,748 小車及 1,237 大貨車、989 聯結車或 1,204 大客車。這些估

計值近似本研究之現場觀察值。但舊版 TPS 模式所產生之小車服務時間的分布與現場服務時間之分布有顯著的不同，如圖 8 所示。

新版之 TPS 模式用前述之式 10~式 12 模擬跟車行為，式 10 及式 11 之 β_1 及 β_2 之代表值為 1.0，但新版之 TPS 模式讓使用者在輸入檔中設定此兩調整係數，來調整電子收費車道之容量。表 11 顯示此間距調整係數對電子收費車道容量模擬值之影響。TPS 模式修訂版所產生之電子收費車道服務時間之分布，很接近現場服務時間之分布。

表 11 式 10 及式 11 中間距調整係數 β_1 及 β_2 與電子收費車道容量模擬值的關係 (20 次模擬平均值)

小車		大車	
β_1	容量(小車/小時)	β_2	容量(大車/小時)
0.90	1,851	0.90	1,210
0.95	1,780	0.95	1,167
1.00	1,714	1.00	1,126
1.05	1,652	1.05	1,091
1.10	1,598	1.10	1,058

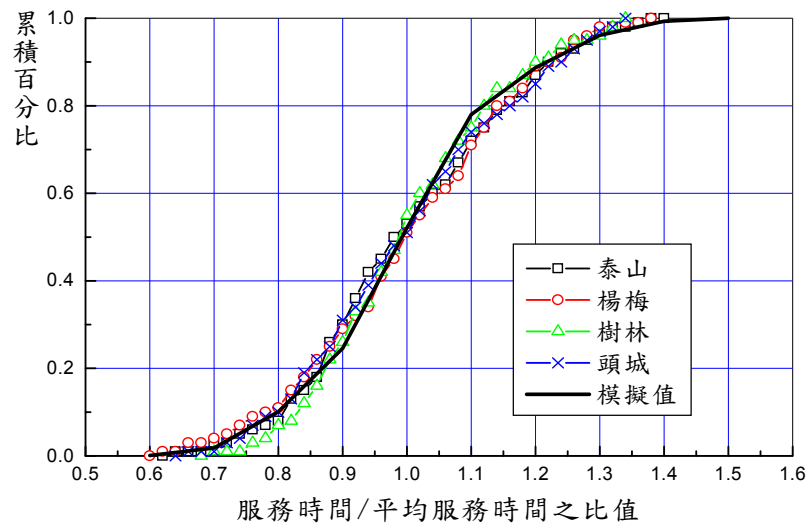


圖 7 回數票小車收費車道服務時間之分布

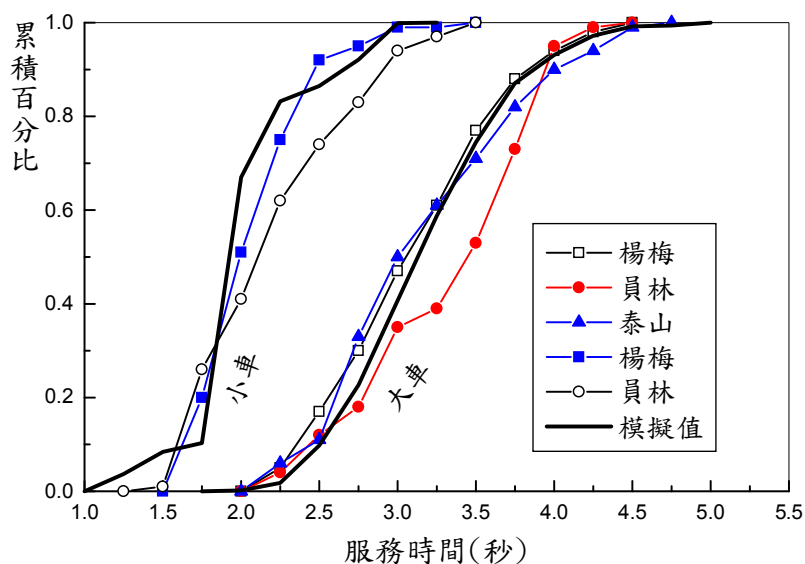


圖 8 舊版 TPS 模式之電子收費車道服務時間之分布與現場分布之比較

4.4.3 小車找零車道服務時間及容量

小車找零車道事實上讓找零及回數票車輛共用。找零車輛之服務時間比回數票車輛之服務時間長，因此可推論，如找零車輛之比例增高，收費車道之容量可能下降。為了估計只有找零小車時之容量，本研究將現場資料中找零車輛跟隨找零車輛，所造成之服務時間加以分析，結果如表 12 所示。四個收費站只有找零小車時之平均收費車道容量為 479 小車/小時。

表 12 只有找零小車時收費車道之容量

收費站	樣本數	服務時間(秒)		容量 (小車/小時)
		平均值	標準差	
樹林	76	8.41	1.56	428
頭城	192	6.43	1.76	560
泰山	140	7.43	1.99	485
楊梅	127	8.15	2.64	442

因為找零車道之服務時間大部分是付費時間，其餘是車輛跟進時間，所以新舊版之 TPS 模式皆讓使用者用輸入檔設定平均付費時間。表 13 顯示平均付費時間輸入值與容量模擬值之關係。因為平均付費時間等於 4.2 秒時之容量模擬值（472 小車/小時）接近現場容量之平均值，所以新版之 TPS 模式將 4.2 秒之找零時間訂為代表值。

表 13 小車找零平均付費時間與容量模擬值之關係 (20 次模擬平均值)

平均付費時間(秒)	容量(小車/小時)
3.0	567
3.5	519
4.0	484
4.2	474
4.5	455
5.0	429
5.5	403

現場資料亦顯示如表 14 所示之找零小車跟隨回數票小車，以及回數票小車跟隨回數票或找零小車的平均服務時間。從表 14 可知，在四個收費站之找零小車跟隨回數票小車的總平均服務時間為 7.84 秒。從表 12 也可知，在同樣的四個收費站上，找零小車跟隨找零小車之總平均服務時間為 7.6 秒。可見找零小車跟隨回數票小車時的平均服務時間稍高。以對等容量而言，兩者之差距只有 3% 左右。因此在分析或模擬找零及回數票共用之收費車道時，可不必考慮找零小車之前方是否有找零或回數票小車。從表 14 也可知，在共用之收費車道上，回數票前方是找零小車或回數票小車，對回數票小車之服務時間沒有實質的影響。

表 14 之回數票小車跟隨回數票小車之總平均服務時間是 4.33 秒，此平均值比表 8 回數票小車專用收費車道之總平均服務時間 (3.78 秒) 高出 0.55 秒。換言之，在回數票及找零共用之收費車道上，回數票小車跟隨回數票小車之對等容量只有回數票小車專用之收費車道之 87%。所以在分析回數票及找零共用之收費車道時，須提高回數票小車之服務時間。用 TPS 模式模擬共用車道時，可用回數票小車付費後加速率之調整係數。適當之調整係數為 77%。

根據新版的 TPS 模式，表 15 顯示小車找零車道有混合付費方式時之容量現場值及模擬值。此表所列之輸入找零時間的平均值為 4.6 秒。如用此平均找零時間模擬各收費站之小車找零車道的容量，則估計誤差在 5% 之內。表 15 所列之平均找零時間輸入值相當於平均服務時間減掉付費時之跟進時間。此跟進時間大約在 2.3 秒左右。

表 14 找零小車收費車道在不同跟車狀況時之平均服務時間

跟車狀況	項目	收費站			
		樹林	頭城	泰山	楊梅
找零小車跟隨回 數票小車	樣本數	23	37	53	37
	平均服務時間(秒)	8.42	6.79	7.50	8.66
	標準差(秒)	1.67	1.86	1.90	2.21
回數票小車跟隨 找零小車	樣本數	21	38	53	37
	平均服務時間(秒)	4.67	4.33	4.40	4.04
	標準差(秒)	0.89	0.94	0.84	0.64
回數票小車跟隨 回數票小車	樣本數	12	19	22	12
	平均服務時間(秒)	4.21	4.17	4.75	4.20
	標準差(秒)	0.55	0.79	0.91	0.47

表 15 小車找零車道在混合收費方式下之現場及模擬容量值

收費站	現場值			模擬值	
	回數票百 分比(%)	找零百分 比(%)	容量 (小車/小時)	平均找零 時間(秒)	容量 (小車/小時)
樹林	28.3	71.7	492	5.4	493
頭城	21.3	78.7	599	3.3	598
泰山	28.0	72.0	542	4.5	540
楊梅	25.1	74.9	499	5.0	500

註：回數票小車付費後加速率調整值=0.73。

4.4.4 大車找零車道之服務時間及容量

現場資料顯示，大車找零車道之大部分(70%以上)車輛為回數票車輛。若只考慮回數票大車跟隨另一回數票大車之情況，則只有回數票大車時之服務時間及容量如表 16 所示。找零大車跟隨找零大車之可用樣本只有 19 個，其平均服務時間為 13.06 秒，服務時間之標準差為 5.06 秒。根據這些資料，只有找零大車時的容量為 276 大車/小時。

表 16 只有回數票大車時收費車道之容量

收費站	樣本數	服務時間(秒)		容量(大車/小時)
		平均值	標準差	
樹林	67	6.19	1.67	582
泰山	68	6.28	1.51	573

新版 TPS 模式亦讓使用者利用付費後加速率調整係數來調整回數票大車車道之容量。此調整係數代表付費後大車之代表性加速率之百分比。表 17 顯示調整係數與容量模擬值的關係。回數票大車服務時間之模擬分布，相當近似現場服務時間之分布。

至於找零大車之服務時間，新版 TPS 模式也讓使用者利用輸入檔設定付費時間。輸入之平均付費時間為 7.5 秒時，只有找零大車之收費車道的服務時間接近現場觀察到之容量（276 大車/小時）。輸入之平均付費時間與容量的關係，如表 18 所示。

表 17 回數票大車收費車道付費後加速率調整係數與容量模擬值之關係
(20 次模擬平均值)

調整係數(%)	容量模擬值
85	569
90	574
95	578
100	581
105	584
110	586

表 18 只有找零大車時收費車道容量模擬值與輸入平均付費時間的關係
(20 次模擬平均值)

付費時間(秒)	容量(大車/小時)
6.5	300
7.0	286
7.5	276
8.0	266
8.5	255
9.0	250

現場資料顯示大車找零收費車道在混合付費方式下之容量如表 19 所示。此表亦顯示模擬之容量及相關之輸入平均找零付費時間。表中兩輸入平均找零時間的平均值為 8.2 秒。在實際之平均付費時間不知之情況下，如用此平均找零時間執行模擬，則誤差大約在 7% 左右。

表 19 大車找零車道在混合收費方式下之現場及模擬容量值

收費站	現場值			模擬值	
	回數票百分比(%)	找零百分比(%)	容量(小車/小時)	平均找零時間(秒)	容量(小車/小時)
樹林	82.1	17.9	461	9.5	463
泰山	70.1	29.9	479	5.1	479

現場資料亦顯示在回數票及找零共用之收費車道上，回數票大車之平均服務時間不受前車付費方式之影響。回數票大車跟隨回數票大車之平均服務時間是否會因車道是回數票大車專用或回數票及找零大車共用而顯著不同，則不能斷論，因為臺灣目前沒有回數票大車專用之收費車道。大車找零之比例不高，本研究現場取得之大車找零樣本也很少。從容量分析應用而言，回數票大車之服務時間及相關容量可根據表 16。找零大車之容量可設定在 576 大車/小時左右。

4.4.5 地磅站之服務時間及容量

表 9 顯示地磅站之服務時間在 11 秒及 13 秒之間，相當於 270~310 大車/小時之容量。因為舊版 TPS 模式模擬所得之容量接近現場觀察到之容量，所以本研究沒有修改地磅站之模擬邏輯。表 20 顯示根據不同平均服務時間模擬所得之容量。

表 20 地磅站容量模擬值

平均服務時間(秒)	容量(大車/小時)
11	329
12	303
13	279

4.5 耗油量及 CO₂ 排氣量之估計

4.5.1 耗油量之估計

新版 TPS 模式在模擬收費站作業時，產生下列之估計值：

1. V_l ：收費站上游高速公路主線上，車流尚未受收費站所影響時之平均速率（公里/小時）。
2. V_{2i} ：車輛通過收費車道 i 時在收費亭附近之平均速率（公里/小時）。
3. D_i ：通過收費車道 i 之車輛的平均停等時間（秒/輛）。
4. Q_i ：通過車道 i 之流率（輛/小時）。

TPS 模式根據這些估計值及運研所(2009)研究之耗油特性，估計通過收費站車輛每小時之總耗油量。總耗油量包括怠速狀況下之耗油量，以主線未受收費站影響時之速率通過收費站之耗油量，及加減速所造成之額外耗油量。各項目耗油量之估計方法如下所述：

1. 怠速狀況下之總耗油量 F_l （公克/小時）

運研所(2009)指出小車在停等(怠速)狀況下之耗油量為每秒 0.317 公克，所以下式可用來估計怠速狀況下每小時之總耗油量。

$$F_1 = \sum_i 0.317 Q_i D_i \quad (13)$$

2. 以穩定速率 V_1 通過收費站之總耗油量 F_2 (公克/小時)

如果沒有收費站，則車輛可以穩定速率 V_1 行走 S_a 之距離。在這期間每秒之耗油量可根據運研所(2009)之資料來估計。所以每小時之總耗油量可用下式來估計。

$$F_2 = \sum_i 3600 Q_i \left(\frac{S_a}{V_1} \right) (0.127 + 0.193 e^{\frac{V_1}{51.839}}) \quad (14)$$

此式中， S_a =收費亭上、下游附近一特定之行車距離(公尺)。

3. 從 V_1 減速到 V_{2i} 所增加之總耗油量 F_3 (公克/小時)

車輛減速時耗油量可能減少，也可能增加。因減速所造成之額外耗油量可根據運研所(2009)資料來估計。TPS 模式用下列之公式估計總額外耗油量。

$$F_3 = \sum_i Q_i \Delta F_d \quad (15)$$

此式中， ΔF_d 代表因減速所增加之總耗油量，其值可正可負，負值表示減速會減少耗油量。 ΔF_d 可估計如下。

$$\begin{aligned} \text{如 } V_{2i} - V_1 \leq -60 \\ \Delta F_d = 33 + 0.55(V_{2i} - V_1) \end{aligned} \quad (16a)$$

$$\begin{aligned} \text{如 } -60 < V_{2i} - V_1 \leq -40 \\ \Delta F_d = 6 + 0.1(V_{2i} - V_1) \end{aligned} \quad (16b)$$

$$\begin{aligned} \text{如 } -40 < V_{2i} - V_1 \leq -16 \\ \Delta F_d = -7 - 0.225(V_{2i} - V_1) \end{aligned} \quad (16c)$$

$$\begin{aligned} \text{如 } -16 < V_{2i} - V_1 \leq 0 \\ \Delta F_d = 0.125(V_{2i} - V_1) \end{aligned} \quad (16d)$$

4. 從 V_{2i} 加速回到 V_1 所增加之總耗油量 F_4 (公克/小時)

加速期間所增加之總耗油量可估計如下。

$$F_4 = \sum_i Q_i \Delta F_a \quad (17)$$

此式中， ΔF_a 代表每輛車從 V_{2i} 加速到 V_1 所增加之總耗油量，其值為：

$$\text{如 } V_1 - V_{2i} > 75$$

$$\Delta F_a = 3.477 e^{\frac{V_1 - V_{2i}}{38.189}} \quad (18a)$$

$$\text{如 } V_1 - V_{2i} \leq 5$$

$$\Delta F_a = 0.8(V_1 - V_{2i}) \quad (18b)$$

收費站每小時作業期間之車流總耗油量，等於 F_1 ， F_2 ， F_3 及 F_4 之和。

4.5.2 CO₂ 排氣量之估計

每公克之汽油可產生 3.167 公克之 CO₂，因此如果總耗油量是 $(F_1 + F_2 + F_3 + F_4)$ ，則 CO₂ 之總排氣量為每小時 $3.167(F_1 + F_2 + F_3 + F_4)$ 公克。

4.6 績效指標

收費站之作業績效可從許多角度以評估之。改良後之 TPS 模式分析方法所考慮之績效評估指標(measure of effectiveness)包括：平均路段延滯(average approach delay)，平均停等延滯(average stopped delay)，平均車隊長度，通過收費站之平均速率，耗油量及 CO₂ 排放量。這些指標中，通過收費站之平均速率是用以評估收費站作業在整個高速公路系統之服務品質。其他的指標是用以評估收費站及地磅區內部作業的服務品質。

如一收費站只有傳統之找零及回數票作業，則平均車隊長度可作為劃分服務水準之指標，其原因在於車隊長度是駕駛員與收費站管理人員最容易了解的績效評估指標。未實施電子收費前，國道高速公路局即根據車隊長度來決定何時須機動執行收費車道調撥作業。美國佛羅里達州的運輸廳(Ceballos and Curtis, 2004)也利用車隊長度作為收費站規劃與設計的重要考慮因素。但當一收費站有電子收費車道時，因停等車隊很可能只在塞車時才存在，因而車隊長度不適合用以評估電子收費之作業品質，所以臺灣 HCM (運研所，2001；2011b) 利用收費亭上游之平均路段延滯做為劃分服務水準之績效指標。服務水準之等級劃分如表 21 所示。

表 21 服務水準評估準則

服務水準	平均路段延滯(秒/輛)
A	0.0 ~ 10.0
B	10.1 ~ 20.0
C	20.1 ~ 30.0
D	30.1 ~ 40.0
E	40.1 ~ 50.0
F	> 50

資料來源：運研所(2001；2011b)。

五、TPS 模式之應用

經改良過之 TPS 模式第二版，可用於臺灣收費站之作業分析或規劃分析。此兩種分析的手續相同，但作業分析的對象一般是既有設施的作業，因此有詳細車流及幾何設計等資料。規劃分析則須依靠預測的車流狀況。

評估收費站作業必須先選擇一分析時段。規劃公路設施時常根據尖峰 15 分鐘之車流狀況。但是臺灣收費站之尖峰流率持久維持在一相當小的範圍內。如果需求流率接近或超過容量，則同一需求流率持續的愈久，車輛之平均延滯愈高。為了反映收費站在尖峰時之作業績效，分析時段必須最少 15 分鐘。

模擬分析之流程如圖 9 所示。在這流程中，TPS 模式的使用必須事先設定欲模擬的狀況。此狀況包括分析時段、分析時段中之車流特性、各類型車道之設置、付費方式之分布及地磅作業等。根據欲模擬的狀況，TPS 模式在每一模擬作業(Simulation run)時利用一系列的隨機亂數來代表駕駛員之特性，車輛的屬性（如車種、車長、最大加速率等），個別車距及個別付費時間。一模擬作業的結果相當於在欲模擬狀況下收費站各績效指標值之一樣本。模式的使用者可一次執行一模擬作業，也可同時執行多次的模擬作業。一般在規劃分析及作業分析時應同時執行 10 次以上的模擬作業，並從各模擬作業之輸出值來估計績效指標之平均值。

TPS 模式執行檔之檔名為 TPS-v2.exe，此執行檔只接受檔名為 TPS.txt 之輸入檔。執行檔及輸入檔須放在電腦之同一子目錄(folder)。執行模擬時只要迅速敲擊 TPS-v2.exe 兩次(double-click)，模擬輸出檔會出現在同一子目錄，其檔名為 TPSout.txt。運研所的網站(<http://www.iot.gov.tw/mp.asp?mp=1>)可讓使用者下載執行檔及一檔名為 TPS-Sample.txt 之輸入檔範例，使用者可將該範例存成 TPS.txt，然後依欲模擬的狀況加以修改。TPS-Sample.txt 所模擬的收費站有雙向作業，每方向各有 6 個收費車道，從右到左，依序為 1 大車找零/回數票車道，1 大車電子收費車道，1 小車找零/回數票車道，2 小車回數票車道及 1 小車電子收費車道。模擬範圍包括收費亭上、下游各 1,000 公尺之路段及在收費亭上游之地磅站。高速公路主線有 3 車道，其自由速率為 100 公里/小時。

運研所的網站另提供一附錄「TPS 收費站模擬模式第二版使用者手冊」，對於 TPS-sample.txt 所代表之模擬收費站及模擬狀況，有比較詳細的說明。

5.1 例題一：模擬收費站作業

圖 10 顯示一模擬收費站系統之設置，此模擬系統及模擬狀況之主要性質如下：

- 1.以不同之隨機亂數重複模擬 6 次來估計績效指標。
- 2.設定熱機時間為 200 秒。熱機之後有 2 個模擬時段，每時段長 900 秒。
- 3.兩行車方向之收費車道安排相同，總共有 12 個收費車道，各方向有 6 個。從右而左各車道之型態如下。

<u>車道</u>	<u>車種</u>	<u>收費方式</u>
1	大車	回數票或找零
2	大車	ETC 收費
3	小車	回數票或找零
4	小車	回數票
5	小車	回數票
6	小車	ETC 收費

- 4.行車方向 1 有一地磅站，其平均服務時間為 12 秒（檔型 26）。
- 5.行車方向 1 有 90%小車，行車方向 2 有 80%小車。各方向皆有找零、回數票及 ETC 車輛。

上述輸入值之檔名為 TPS.txt，並執行 TPS-v2.exe，即可獲得如表 22 之模擬結果。表中各項績效指標與各車道服務水準，可作為分析收費站作業之基礎。

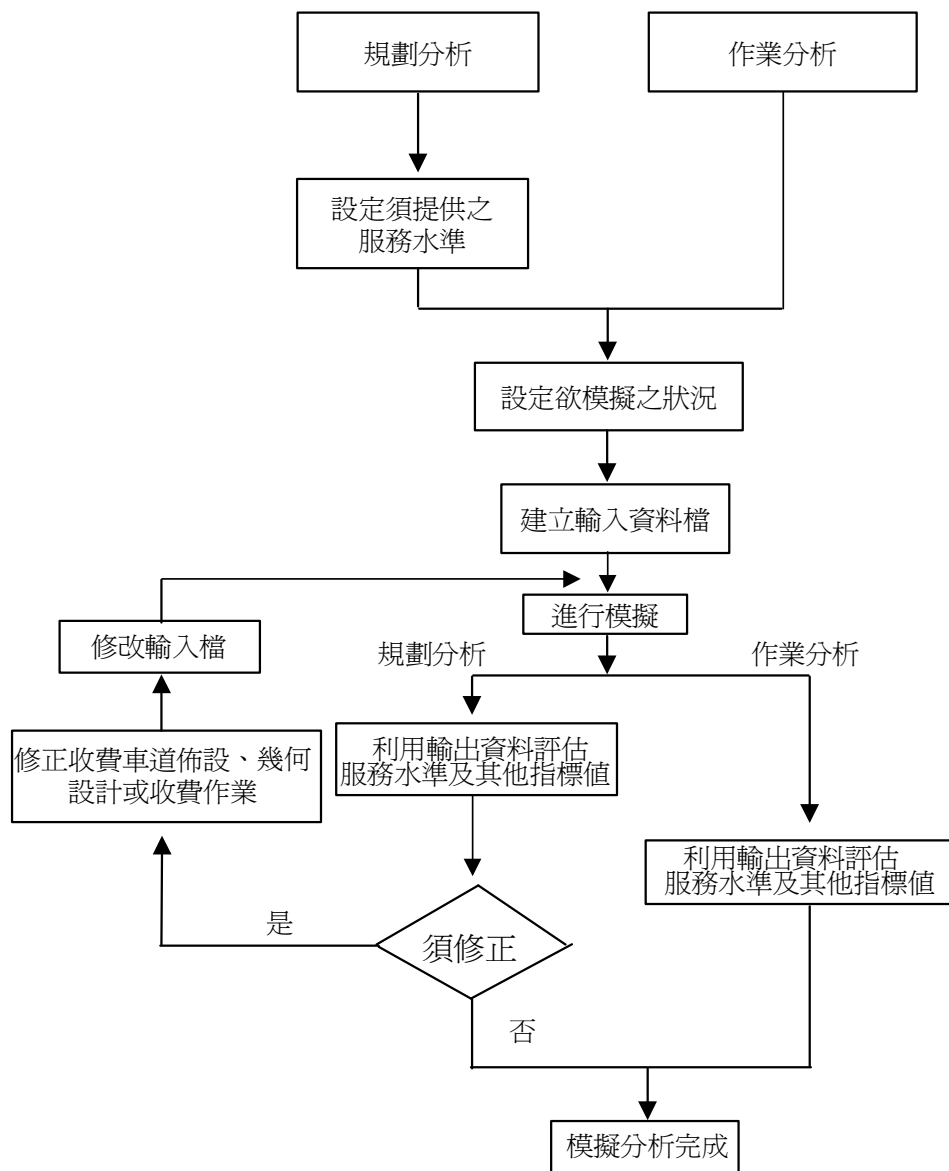


圖 9 模擬分析之流程

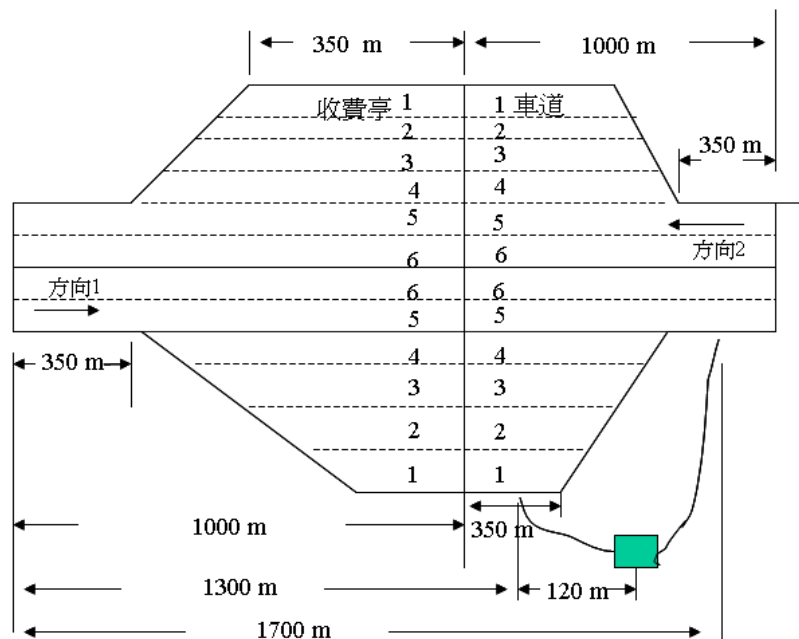


圖 10 收費站模擬系統範例

表 22 TPS 模式模擬之輸出資料

```

SECTION=1 is upstream of toll gates
SSECTION=2 is downstream of toll gates
****OUTPUT AT TIME (seconds)=    2062
*****AGGREGATED STATISTICS FOR ALL CASES*****
DIRECTION=          1
Sample Size=        6

                                DELAY(s/veh)
SECTION LANE FLOW(VPH)  Total    Stopped    QUEUE(VEH)  LOS
1           1      110.5    18.3       5.4         0.20        B
1           2       88.8     11.0       0.0         0.02        B
1           3     205.2     18.7       6.3         0.38        B
1           4     264.0     13.0       1.6         0.17        B
1           5     492.5     13.5       1.9         0.35        B
1           6     851.3     11.3       0.0         0.07        B
2           4     364.8     19.0       0.4         0.07
2           5     634.8      8.2       0.5         0.18
2           6    1000.5      6.2       3.2         0.83

TOLL LANE  Flow Rate    Fuel Consumption    CO2
              (vph)          (kg)          (kg)
1              110          16.72          52.95
2               88          12.30          38.95
3              205          62.89         199.17
4              264          38.86         123.08
5              492          72.58         229.87
6              851         117.60         372.44
TOTAL fuel consumption (kg) over 2400m = 320.95
TOTAL CO2 emission (kg) over 2400m    =1016.46

```

AVERAGE SPEED OVER PLAZA SYSTEM= 77.9 KPH						
Mean Flow Rate at Weigh Station= 198.8veh/h						
Average Delay on Weigh Station Access Road= 31.7 s/veh						
*****AGGREGATED STATISTICS FOR ALL CASES*****						
DIRECTION=		2				
Sample Size=		6				
			DELAY(s/veh)			
SECTION	LANE	FLOW(VPH)	Total	Stopped	QUEUE(VEH)	LOS
1	1	120.5	19.4	6.6	0.16	B
1	2	80.6	11.1	0.0	0.02	B
1	3	164.9	19.0	6.7	0.31	B
1	4	90.3	12.4	1.3	0.06	B
1	5	228.6	13.5	1.5	0.14	B
1	6	323.4	9.2	0.0	0.03	A
2	4	213.9	3.7	0.3	0.02	
2	5	273.0	3.3	0.7	0.07	
2	6	518.3	3.7	2.1	0.30	
TOLL LANE	Flow Rate	Fuel Consumption	CO2			
	(vph)	(kg)	(kg)			
1	120	18.30	57.96			
2	80	11.16	35.34			
3	164	122.35	387.47			
4	90	13.34	42.25			
5	228	33.62	106.49			
6	323	44.58	141.19			
TOTAL fuel consumption (kg) over 2400m					= 243.35	
TOTAL CO2 emission (kg) over 2400m					= 770.70	
AVERAGE SPEED OVER PLAZA SYSTEM= 78.1 KPH						

5.2 例題二：更細部的模擬分析

例題一熱機之後須模擬兩時段，每時段長 900 秒。如果熱機之後須模擬 3 時段，每時段長 5 分鐘，而且在各行車方向及各模擬時段的流率（輛/小時）如下：

方向	5 分鐘時段		
	1	2	3
1	2500	3500	2800
2	1800	2400	2200

此時只要作以下修改，即可進行模擬分析：

1. 檔型 1 之資料須改為：1 0 200 3 300

2. 檔型 22 之資料須改為：

22 1 2500 3500 2800

22 2 1800 2400 2200

5.3 例題三：地磅站位置之影響

圖 10 模擬的狀況是地磅站在收費亭下游的情境，如果為了避免通過收費站大車依序進入地磅站所造成回堵情形，擬將地磅站移到收費亭上游，並讓地磅站路段進口及出口各離模擬範圍起點 500 公尺及 700 公尺。輸入檔之檔型 16 作以下修改即可：

16 1 500 700 120

5.4 例題四：主線車道數不同

例題一模擬高速公路主線有 3 車道之情形，如果因為施工，第一行車方向的主線只有 2 車道，其他狀況不變，則輸入檔應作以下修改，即可進行模擬：

1. 檔型 19 有關第一方向之資料須改為：

19 1 2 6 2

2. 檔型 20 有關第一方向，收費亭上下游的資料須改為：

20 1 1 1 2 350

20 1 2 1 -2 350

這兩套資料表示收費亭上游主線右側在進入收費站之後增加 2 車道。車道開始增加的地點距模擬範圍起點 350 公尺。此外，收費亭下游 350 公尺處，開始將車道數逐漸減少 2 車道。

5.5 例題五：收費車道配置之改變

例題一之輸入檔在各行車方向設定了 2 個供小車使用之回數票車道。如果將第一行車方向之一個小車回數票改為找零及回數票共用之車道，如何進行模擬分析？由於回數票之代號為 2，找零之代號為 3。所以如讓第一行車方向之第 4 車道讓找零及回數票小車共用，則檔型 7 有關第 4 車道之資料須改為：

7 4 2 3

5.6 相關的應用

新版 TPS 模式已可作為模擬分析高速公路收費站之研究工具，除前述簡介之相關應用之外，尚有很多重要議題可利用此模擬工具進行相關的研究，舉例如下：

1. 根據不同流率之變化，如何配置不同的人工收費車道配置。
2. 改變收費車道之收費方式（例如由回數票改為回數票/找零共用）之影響。
3. 當 ETC 車流率增加時，擴增 ETC 車道之策略分析。
4. 評估不同管理策略下之油耗與空污指標。
5. 車輛付費方式組成不同對於現行收費車道配置之影響。
6. 地磅站作業方式調整對於現行收費站作業之影響。

六、結 語

本研究根據在 2010 年於國 1（汐止、泰山、楊梅、造橋、員林）、國 3（樹林）、國 5（頭城）等收費站蒐集之資料，以微調及測試 TPS 模式，詳細內容可參見運研所(2011a)，相關的研究成果已用於修訂容量手冊第八章及 TPS 模式使用者手冊之修訂版（運研所，2011b）。

本研究亦根據運研所提供有關 Honda Civic Lx 小客車的資料，建立一估計耗油量及 CO₂ 排氣量的估計模式。此小客車所用每公克之汽油產生 3.167 公克之 CO₂。在怠速狀況下，此小客車的耗油率大約為 0.317 公克/秒。耗油率深受速率及加減速之影響。

由 2010 年之收費站現場資料，顯示下列車流及作業特性：

1. 尖峰小時係數有隨尖峰流率而增加的趨勢。大型收費站（如泰山）的尖峰小時係數在 0.93~0.99 之範圍，小型收費站（如汐止）之係數在 0.94~0.96 之範圍。頭城收費站因有大量觀光性車流，所以有較低的尖峰小時係數，一般在 0.88~0.95 之範圍。
2. 尖峰小時流量大約占全天流量之 7~8%。
3. 車流之方向係數大約在 0.5~0.6 之範圍。
4. 除了汐止收費站在尖峰小時內有大約 20%之大車外，其他收費站之大車比例很少超過 11%。
5. 目前最普遍的付費方式是使用回數票。在全天車流中，使用電子收費車道之車輛很少超過 41%。因此臺灣使用開放式收費之後，大部分的

車輛不能用目前之電子收費系統來辨識。自動車牌辨識系統及其他科技的準確度沒有目前的電子收費系統高，所以人工作業及執法之需求，可能是未來之一大挑戰。

6.地磅站之容量大約為 300 輛/小時。

7.不同類型之收費車道的代表性容量（輛/小時）如下：小車回數票：960 輛/小時；大車回數票：580 輛/小時；小車電子收費：1,715 輛/小時；大車電子收費：1,120 輛/小時；小車找零專用：470 輛/小時；大車找零專用：275 輛/小時；找零/回數票共用：隨大車及找零比例而變。

雖然目前 TPS 模式已經利用臺灣地區高速公路收費站之現場資料進行改良，且納入耗油及空污估計功能，亦可用於收費站作業分析及規劃作業。惟目前有關公路車流耗油量及污染排氣量特性之詳細資料仍有待進一步蒐集與分析，因此，本研究所建立用於估計耗油量及 CO₂ 排放量之模式，未來須配合新資料加以改良。

參考文獻

- 交通部運輸研究所(2001)，2001 年臺灣地區公路容量手冊，90-16-1183。
- 交通部運輸研究所(2009)，能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究(2/2)，98-71-1257。
- 交通部運輸研究所(2011a)，高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究(1/3)，100-78-1292。
- 交通部運輸研究所(2011b)，2011 年臺灣地區公路容量手冊，100-132-1299。
- Ceballos, G., and Curtis, O. (2004), "Queue Analysis at Toll and Parking Exits Plazas: A Comparison between Multi-Server Queuing Models and Traffic Simulation," *Proceedings of ITE 2004 Annual Meeting and Exhibit, CD-ROM*, Lake Buena Vista, Florida, August 1-4.
- Jai, F. L. (2009), "Call of the Open Road," *Tolltrans 2009, A Traffic Technology International Supplement*, p. 80.
- Samuel, P. (2009), "Electronic Avence," *Tolltrans 2009, A Traffic Technology International Supplement*, pp. 15-18.
- Smyth, L. (2009), "Capital Injection," *Tolltrans 2009, A Traffic Technology International Supplement*, pp. 25-27.

(收稿 2012/1/3，第一次修改 2012/2/13，定稿 2012/4/18)