

高速公路因應電子收費需求提升之 收費車道配置準則

Criteria of Toll Gate Allocation to Meet the Increase of Electronic Toll Traffic in Freeway

曾平毅 Pin-Yi Tseng¹
張瓊文 Chiung-Wen Chang²
吳韋志 Wei-Chi Wu³

摘要

我國高速公路使用 ETC 系統之初，每個收費站均配置 1 小車 ETC 車道及 1 大車 ETC 車道。伴隨著裝設車上單元(OBU) 或 e-tag 之車輛增加後，目前已有幾個收費站增設為 2 個或 3 個小車 ETC 車道，但是增設 ETC 車道的同時，亦將排擠其他人工收費車道的使用。換言之，因應高速公路車流量以及 ETC 車輛之增加，如何評估增設小車 ETC 車道之時機及如何配置其他的人工收費車道，實為一重要的研究課題。本研究以新版收費站模擬(Toll Plaza Simulation, TPS)模式進行模擬分析得知，小型及中/大型收費站在小車 ETC 車道之流率分別達 1,450 及 1,600 輛/小時/車道以上時，宜增開 1 個小車 ETC 車道；增開 1 小車 ETC 車道時，以縮減 1 小車回數票車道來因應；當小車 ETC 使用率達 55% 以上時，其小車 ETC 車道數，以上游主線車道數減 1 來設置，收費站可獲得較好的整體服務績效。

關鍵詞：電子收費系統、交通需求、收費站模擬(TPS)模式、收費車道配置

Abstract

In the beginning of ETC system operation in Taiwan, each toll plaza has 1 small-vehicle ETC gate and 1 large-vehicle ETC gate. With the increments of

-
- 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 交通部運輸研究所綜合技術組組長。
 - 3 中央警察大學交通管理研究所碩士。

vehicles with on-board unit, some toll plazas have added to 2 or 3 ETC gates. However, this may affects the employment of the manual toll collection gates. In other words, it is a critically study issue of when to add small-vehicle ETC gates and how to allocate other manual toll collection gates with the increasing highway traffic volume and ETC vehicles. This study employs new Toll Plaza Simulation Model (TPSM) and reveals the findings: 1. One small-vehicle ETC gate should be added when the traffic volume reaches 1,450 veh/hr/ln and 1,600 veh/hr/ln respectively. 2. One small-vehicle manual collection gate should be closed when one small-vehicle ETC gate added. 3. The small-vehicle lines can be added by reducing 1 upstream main lane when the usage rate of small-vehicle ETC reaches 55% and the toll plaza acquires better overall service performance.

Keywords: Manual toll collection, Traffic demand, Toll plaza simulation model, ETC gate allocation

一、前言

高速公路電子收費(Electronic Toll Collection, ETC)系統的使用，可以增加收費站容量、縮短收費時間、提高用路人的安全及便利，並具有節省能源及降低污染等多項優點。我國高速公路自 2006 年 2 月 10 日開始使用 ETC 系統，每個收費站均配置 1 小車 ETC 車道及 1 大車 ETC 車道。伴隨著裝設車上單元(OBU)或 e-tag 之車輛增加後，目前已有幾個收費站增設為 2 個或 3 個小車 ETC 車道，但是增設 ETC 車道的同時，亦將排擠其他人工收費車道的使用。換言之，因應高速公路車流量以及 ETC 車輛之增加，如何評估增設小車 ETC 車道之時機，以及如何配置其他的人工收費車道，實為一重要的研究課題。

依照高速公路局（以下簡稱高公局）與遠通電收（ETC 廠商）之「民間參與高速公路電子收費系統建置及營運」契約規定，ETC 營運時須視 ETC 車道通行量之成長狀況，由內車道往外逐步增開小型車電子收費車道。原則上是以小型車 ETC 車道通行量是否接近服務容量而定。其契約規範採用 1,600 輛次/小時/車道連續兩小時連續兩天，或小型車電子收費車道之一週平均尖峰服務流量達到 1,200 輛次/小時/車道以上，或當 ETC 車道之平均服務流量達到該收費站總通行量 16%以上，連續 5 天或於 1 個月內出現 15 天時，得增開 ETC 車道。然而，這些原則的訂定相當粗略，且增設 1 小型車 ETC 車道時，也需要評估收費站整體服務水準之影響。事實上，增開 ETC 車道不但涉及了總流量與 ETC 使用率之比例，更涉及其他車道該如何配置之問題，且依照建置營運契約約定，當 ETC 使用率超過 65%後，將從現行的計次收費改為全面計程收費。有鑑於此，本研究乃針對高速公路因應電子收費需求提升之收費車道配置準則，進行研究。

由於收費站系統的運作相當複雜，受到如需求流率隨時間的變化、不同車種組成、收費方式、收費車道數等諸多因素所影響，本研究透過交通

部運輸研究所（以下簡稱運研所）於「2011 年臺灣公路容量手冊」（以下簡稱 2011 臺灣 HCM）（交通部運輸研究所，2011）第八章所提供改良版的 TPS 收費站模擬模式（Toll Plaza Simulation Model，簡稱為 TPS 模式），針對通過高速公路收費站區之車流量與 ETC 小型車使用率等兩重要變數，運用模擬分析來反映收費站作業與服務績效的方式，歸納並研擬出不同規模之收費站 ETC 車道配置準則，以提供主管機關政策擬定與管理之參考。雖然國際上高速公路柵欄式收費車站使用 ETC 收費車道之案例甚多，但要積極推展至主線全面 ETC 收費之案例不多，在民主法治國家可能還必須透過立法的程序才能達成。本研究主要利用 TPS 模式之分析成果，以提供此進程規劃（各收費車道重新配置原則）之參考。

本研究之進行，有以下假設與限制：

1.各選取一大型、中型、小型收費站進行分析模擬

目前的高速公路主線柵欄式收費站設置，可區分成大型（如泰山、樹林等）、中型（如楊梅、后里等）、小型（如汐止、頭城）等三類，本研究分別選取樹林（大規模）、楊梅（中規模）、汐止（小規模且單向收費）等收費站，作為分析之對象。

2.以小型車為主要分析對象

根據高公局近五年之統計資料顯示，高速公路小型車與大型車比例約為 84：16，經常行駛高速公路之大型車多裝置 OBU 或 e-tag，且已有 1 個 ETC 車道及 1 回數票/人工收費車道，故分析重點在於小型車的流量與各種不同收費方式比例，也是增開 ETC 車道的重要參數。

3.不進行總車流量及 ETC 小車使用率之預測

由於預測通過收費站之交通量及使用 ETC 車輛之流量，是另一項重要的研究議題，本研究將「總車流量」與「小車 ETC 使用率」作為外生變數，其他相關模擬的參數，則以高公局歷年統計資料做為輸入之依據。

4.不考量地磅站對收費站作業及車流之影響

臺灣高速公路的地磅多設置在收費站附近（交通部運輸研究所，2011），且可能影響收費站作業，為簡化模擬作業分析，本研究暫不考量地磅站對收費站作業及車流之影響。

5.小型車 ETC 車道配置由內向外增設

依據遠通電收與高公局所簽訂的建置及營運契約規定，現行 ETC 車道的配置方式是由內往外設置，並視電子收費車道通行量之成長狀況來逐步增開小型車之電子收費車道。

6.不進行調撥車道作業之模擬

當小車 ETC 車道建置在內側車道後，已使得收費站區最內側車道無法進行調撥作業，因此本研究亦無調撥車道作業之模擬。

7.不進行大、小車混合車道收費作業之模擬

我國高速公路收費站作業，以往並無有混合車道的作業方式，係因為大、小型車混合車道的收費方式，會在減速段產生大、小型車輛交織併流的情形，且大、小車收費費率的不同且車流特性差異甚大，不利於人工收費之作業。因此本研究亦不進行大、小車混合車道作業之模擬。

二、文獻回顧

2.1 電子收費系統

我國 ETC 系統的發展，始於 1989 年 3 月由交通部科技顧問室提出「高速公路採用電子收費系統」構想，同年 8 月至 12 月針對「單向式」IC 卡進行技術及行政之可行性評估，認為經濟可行而且能提高收費站容量，建議應先做實地測試。爾後「雙向式」IC 卡之研發技術已漸成熟而有取代「單向式」IC 卡的趨勢。高公局為使高速公路用路人可在不停車、不用現金與更有效率及安全環境下完成繳交通行費，於 2003 年 8 月 20 日公告徵求「民間參與高速公路電子收費系統建置及營運」案，冀望透過 BOOT (Build, Operate, Operation-Transfer) 興建、營運、經營權移轉精神，由民間投資、建置與營運高速公路 ETC。該獎勵民間參與電子收費系統案最後由遠傳電信、東元電機、精業電腦及神通電腦等公司，及以色列之 Appian Group 所組成遠東聯盟（現稱遠通電收公司）負責建置和營運。遠通電收公司乃於 2004 年 12 月 3 日展開國道全線收費站電子收費系統之建置工作，並於 2006 年 2 月 10 日正式啟用計次 ETC，使電子收費建置及營運正式進入營運測試期。初期於國道 1 號、國道 3 號各收費站、各方向開放各一大、一小型車電子收費車道，未來將視電子收費使用率，採漸進式增加電子收費車道，滿足更多用路人需求。

ETC 之應用，在國外已有許多成功案例，例如 Li *et al.* (1999) 的研究指出，ETC 最主要直接的效益為旅行時間的節省，其他效益包含節省能源、降低廢氣排放，以及增進收費站服務效率等。

2.2 收費站模擬分析研究

2001 年 3 月，運研所出版之「2001 年臺灣地區公路容量手冊」中（交通部運輸研究所，2001），第八章「高速公路收費站」所附錄之「TPS 收費站模擬模式（TPS 模式）」乃一時間推進之微觀電腦模擬模式，可用於模擬收費站在不同幾何設計、交通狀況及作業方式時之服務水準及容量，應用將更為廣泛。該模式經運研所於 2010 年，已利用現場資料進一步改良與微調，並納入耗油量與 CO₂ 排放量之估計功能（林豐博、曾平毅，2011）。讀者可從運研所的網址：<http://www.iot.gov.tw/mp.asp?mp=1> 下載模擬模式執行檔(TPS-v2.exe)、使用者手冊及一檔名為 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。使用者手冊之內容詳細說明收費站基礎資料設定、輸入變數（包括總車流率、車種組成、付費組成、付費服務時間、過磅時間等）及輸出資料格式等操作說明。

TPS 第二版與第一版的主要差異如下：

1. 第二版之車輛只分成大車及小車，第一版的車輛則包括小車、大客車、大貨車、聯結車。
2. 第二版不讓使用者改變檔型 4（僅使用公制輸入）及檔型 17（輸入地磅數量，目前臺灣單向只有 1 地磅，可開放或關閉）的輸入資料來設定模擬狀況。
3. 第二版輸入檔增設檔型 27, 28, 29 及 30 之資料，讓使用者調整收費車道之效率。
4. 第二版根據運輸研究所在 2010 年期間蒐集之現場資料，模擬電子收費及其他收費之作業。第一版之電子收費乃根據假設之行為，其他收費方式已跟 2010 年期間之收費方式有差異。
5. 第二版增加耗油量及二氧化碳(CO₂)排放量。

運研所已將 TPS 模式第二版上網，使用者可以從運研所之網頁下載相關的使用者手冊、執行檔及輸入檔等相關檔案。本研究以此新版 TPS 模式進行研究。事實上，國內已有許多研究曾運用本土化的 TPS 模式，進行多項收費站的研究，本研究按年期整理如表 1。

表 1 國內高速公路收費站研究與使用 TPS 模式之研究

文 獻	研究內容摘述
黃承傳等人 (1996)	1.針對泰山、楊梅及造橋之調查各類收費道之服務時間，據以推估各類收費車道之容量。 2.提出以平均延滯作為評估收費站服務水準之績效指標。
賴炳榮(1999)	1.探討 ETC 系統佈設的車道位置、使用者比例與佈設車道數之多寡等因素變動時，對收費站服務績效 (MOE's) 之影響。 2.推估 ETC 容量約在 1579 輛/小時/車道及 1538 輛/小時/車道之間，ETC 車道服務容量確較一般人工收費車道之服務容量為高。 3.在僅設置一線電子收費車道之情況下，當置於最內（或外）側時，其收費站服務績效最佳、並隨著車道移設於中間車道而遞減。 4.隨著 ETC 系統使用者與建置車道數量之增加，其服務績效亦將隨之提高。
謝霖霆(2001)	1.利用系統模擬方法，針對電子收費設置位置、設置數量與車輛比例等變數進行模擬測試。 2.以平均旅行時間、平均延滯時間，以及平均速率等三項績效指標，以及車道變換總次數與平均每車變換次數兩項安全性指標來分析。 3.ETC 車道以內側車道為佳；而在不同的電子收費車輛比例下，依據各種不同評估指標則可得到不同的最適電子收費車道設置數量，決策者可依照不同的考量重點，據以制定適當的 ETC 車道設置數量。
廖惠卿(2002)	1.以 TPS 模式分析及評估高速公路收費站在既有幾何條件不變下，實施電子收費時，其 ETC 車道配置位置、數量在不同使用者比例與不同交通量下，對收費站整體服務績效（通過模擬系統之平均速率）之影響情形。 2.泰山收費站的 20 個收費車道群中，ETC 使用率約在 40%以上時，其收費站整體績效始優於現況。在目前尖峰時段流量及上游主線達飽和流率下，ETC 使用率在 40-60%時，以配置 1 個 ETC 車道為佳；ETC 使用率在 65%時，以配置 2 個 ETC 車道為佳；而當 ETC 使用率達 70%以上時，則須配置 3 個 ETC 車道。
曾平毅等人 (2002)	1.以 TPS 模式作為分析收費站區車流延滯之工具。 2.透過實際蒐集高速公路收費站區的車流與延滯資料之驗證，在 V/C 比值小於 1.4 的情況下，估計誤差皆在 10%以內，確認該研究所建立的收費站延滯模式，可以達到一定的可信度。
曾平毅、王俊成(2003)	1.以 TPS 模式評估收費站區前的地磅作業之進口路段平均延滯時間，探討地磅站進口路段之所需長度與尖峰時段收費站大型車通過車數，以確保收費站區與地磅作業的整體服務績效。 2.TPS 模擬所得的地磅站區之平均延滯時間可以合理與準確的反應實際平均延滯時間。 3.應用 TPS 模式可以評估地磅站過磅容量以及最適服務流率，以泰山收費站北磅為例，分別為 288 輛/小時與 240 輛/小時。
張學孔等人 (2004)	1.探討高速公路電子收費系統之車道配置與成本效益。 2.當自動收費車道擁擠增加時，部分裝有電子收費設備的車輛將選擇由人工收費車道通過，比率約為 13.95%。 3.ETC 車道須經由合理規劃決定適當的車道配置，否則實施 ETC 不一定能改善收費站區的交通擁擠的情況，相關影響因素包括車流量、車道分配、收費方式，以及電子收費設備裝設率等。

表 1 國內高速公路收費站研究與使用 TPS 模式之研究（續）

文 獻	研究內容摘述
胡守任、楊慧華(2009)	1.運用泰山收費站 ETC 車道每日通行量歷史資料，以時間序列法建立需求預測模式，並與實際通行量作比較，驗證模式可靠程度。 2.運用 TPS 模式分析 ETC 車道配置數量及使用率對收費站整體服務績效之影響。 3.僅以 ETC 車道使用率作為增設 ETC 車道的標準，恐無法達成改善收費站區整體績效之終極目標。

2.3 綜合評析

由前述之文獻回顧，綜合評析如下：

- 1.高速公路收費站系統之運作相當複雜，其作業分析不易利用分析性模式，利用系統模擬作為分析工具為一適切的研究方法。
- 2.運研所發展之 TPS 模式，係利用臺灣本土性資料與交通行為來構建，已陸續運用於臺灣高速公路收費站之相關研究。
- 3.第二版 TPS 模式已經改良，除已納入耗油量及二氧化碳(CO₂)排放量之估計外，更納入 ETC 之作業特性，可以更詳細地評估收費站之作業(林豐博、曾平毅，2011；曾平毅等人，2012)。
- 4.目前各臺灣高速公路收費站之小車 ETC 車道係配置在最內側第一車道，但隨著 ETC 小車數與總車流率之增加，如何增設適當的小車 ETC 車道，為一重要的研究課題。

三、收費站服務時間特性分析

3.1 收費站收費方式與車道配置

臺灣高速公路收費車道分成以下五種類型：小型車電子收費專用車道、小型車回數票專用車道、小型車現金/回數票車道（允許持現金或回數票之小型車使用）、大型車電子收費專用車道、大型車現金/回數票車道。而臺灣高速公路收費車道設置現況，是將小型車電子收費車道放在最內側，然後從內側到外側依次設置小型車回數票車道、小型車現金/回數票車道、大型車電子收費車道、大型車現金/回數票車道。而各類型收費車道數的配設，則是隨著收費站所在地區及其交通需求量而有所不同。目前規模大、中、小型等三種類型收費站中之樹林、楊梅與汐止收費站，其單向車道配置狀況如表 2。

表 2 樹林、楊梅與汐止收費站之收費車道配置

收費站	小車 ETC	小車 回數票	小車 現金/回數票	大車 ETC	大車 現金/回數票	合計
樹林	2	4	3	1	1	11
楊梅	1	3	1	1	1	7
汐止	1	1	2	1	1	6

3.2 收費車道服務時間及容量

2011 臺灣 HCM (交通部運輸研究所, 2011) 之定義, 收費車道之服務時間係指穿過收費車道之流率等於容量時各車輛之車距(headway)。而收費車道之容量(capacity)則是指在某車流、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。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。停等車係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。而傳統收費車道之服務時間(service time)主要係受到車輛跟進時間(move-up time)及收(付)費時間(paying time)的影響 (交通部運輸研究所, 2011)。

臺灣高速公路收費站之收費車道服務時間及容量特性如表 3 所示 (交通部運輸研究所, 2011), 係運研所依據現場資料分析估計而得之, 可做為模擬作業之參考。

表 3 收費車道之服務時間及容量特性

收費車道類型		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）
小型 車	電子收費	2.04~2.18	1,650~1,760	1,715
	回數票	3.58~3.95	910~1,005	960
	現金（找零）	6.43~8.41	430~565	470
	現金/回數票 ¹	6.01~7.32	490~600	隨回數票百分比而變
大型 車	電子收費	3.09~3.32	1,085~1,165	1,120
	回數票	6.19~6.28	575~580	580
	現金（找零）	13.1（19 樣本）	275	275
	現金/回數票 ²	7.51~7.81	460~480	隨回數票百分比而變

註 1：小型車現金/回數票收費車道，回數票百分比：21~28%。

註 2：大型車現金/回數票收費車道，回數票百分比：70~82%。

3.3 收費站車種組成

高速公路的車種組成包括小型車（小客車及小貨車）、大貨車、大客車、聯結車等車種，由於各車種的機械與行駛特性不盡相同，因此車種組成將是影響道路容量與交通特性等重要的因素。本研究將 2006 至 2011 年之國道各收費站年交通量與車種組成統計資料整理後，如表 4 所示。由表可觀察到各型車種所佔之比例均變化不大，而將各型車種交通組成資料予以平均後，乃以小型車佔 84%、大客貨車約 9%、聯結車佔 7%之車種組成比例，作為後續模擬作業時，參數輸入之依據。

表 4 國道各收費站年交通量與車種組成統計

年度	小型車		客貨車		聯結車		合計
	交通量（輛）	比例	交通量（輛）	比例	交通量（輛）	比例	
2006	480,594,647	83.6%	55,241,451	9.6%	38,877,139	6.8%	574,713,237
2007	475,502,719	83.5%	54,347,929	9.5%	39,791,876	7.0%	569,642,524
2008	453,931,505	83.5%	50,347,601	9.3%	39,268,902	7.2%	543,548,008
2009	457,101,033	84.7%	48,560,851	9.0%	33,906,389	6.3%	539,568,273
2010	464,818,752	83.7%	51,797,383	9.3%	38,444,179	6.9%	555,060,314
2011	479,549,205	84.0%	52,564,731	9.2%	39,114,848	6.9%	571,228,784
總計	2,330,903,214	83.9%	257,618,495	9.3%	190,526,194	6.9%	2,779,047,903

資料來源：本研究整理自 2007 年至 2011 年高速公路年報。

3.4 收費車道使用率

高速公路收費方式可分為人工收費、半自動收費與全自動收費等方式；若從用路人（駕駛員）的角度來分，則可分為停車與不停車收費方式（黃承傳，2004）。目前臺灣地區高速公路實施的收費方式有兩種，分別為人工收費（持回數票、現金/回數票）屬停車收費，以及電子收費屬不停車收費。

我國電子收費自 2006 年 2 月正式通車後，至隔年 2007 年高公局才開始有正式的電子收費相關統計資料，故本研究蒐集之電子收費車道交通量與使用率，是從 2007 起至 2011 年之資料，經整理後得圖 1。由圖 1 可觀察到，近年大型車之電子收費比例相當高，至 2011 年為止，電子收費之比例約佔大型車總收費量的 83%，而且有逐年增加的趨勢。其中，電子收費與回數票收費方式約佔大型車總收費量的 97%，且當電子收費增加時，回數票之收費比例則相對明顯的減少，而現金付費方式的比例則變化不大，顯示大部份電子收費方式比例的增加係由回數票之付費方式所改變。此現象亦在小型車的收費方式中可發現，而小型車電子收費與回數票收費方式約佔小型車總收費量的 85%，電子收費之比例約佔小型車總收費量的 36%，並有逐年增加的趨勢。

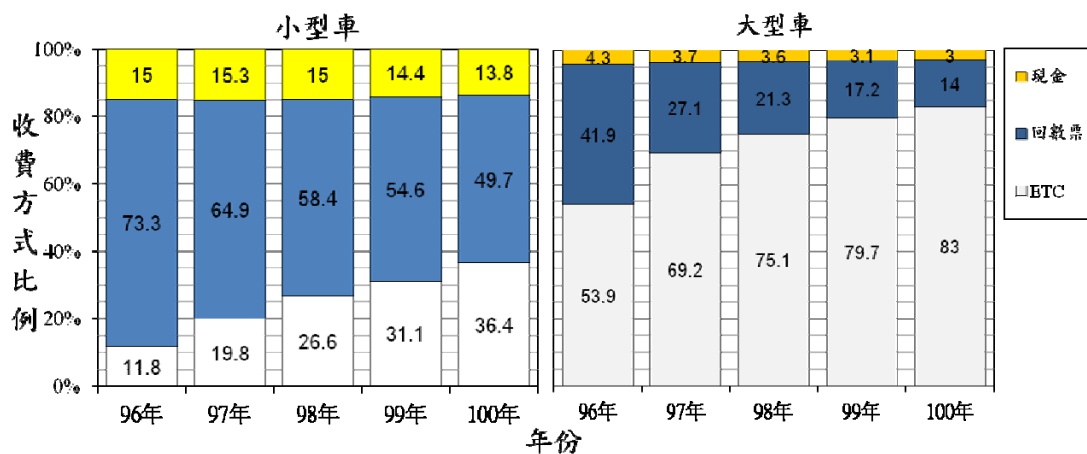


圖 1 國道各收費站小型車與大型車收費方式分佈比例

由表 4 顯示近五年「總流量」有下降後再上升的情形，此狀況與總體經濟因素較為有關。本研究經測試各種變數關係及考量總體車流量數之守恒關係後發現，比較具體的關係是以小車 ETC 車數與其他收費方式車輛有較好的推估關係式。因此本研究利用線性迴歸式，以 2007 至 2011 年之小型車 ETC 流量資料做為自變數(x)，而各車種收費方式之流量做為依變數(y)，可得表 5 之迴歸關係式。從表 5 迴歸式可發現，當小型車 ETC 流量增加時，小型車及大型車回數票、現金收費之車流量是呈下降的趨勢，而大型車 ETC 流量則呈現增加趨勢。本研究乃以表 5 之各線性迴歸式所求得之值，作為後續模擬作業時，各車種收費方式比例參數的輸入依據。

表 5 小型車 ETC 流量與各車種收費方式之流量迴歸關係式

車種	收費方式	迴歸式	R^2
小型車	回數票	$y = -0.7594x + 357889395$	0.91
	現金	$y = -0.0154x + 68056719$	0.72
大型車	ETC	$y = 0.2279x + 36319226$	0.95
	現金	$y = -0.0086x + 4043437$	0.87
	回數票	$y = -0.1930x + 43011549$	0.87

四、收費車道配置之模擬方案設計

本研究主要以 TPS 模式的「總車流量」與「ETC 比率」為控制變數，TPS 模式之檔型 1「流率」、檔型 23「車種組成」、檔型 24「付費方式組成」，必須依據各種模擬情境來設定參數進行模擬分析。

TPS 模式的主要輸入變數包括總車流量、車種組成、付費組成、付費服務時間、過磅時間等，對於操作有興趣之讀者，可至運研所網站下載使用者手冊。本研究考量車流以小車為主體及大型車裝機率呈穩定狀況，乃以「車流量增加」與「小車 ETC 比率」為主要控制變數，操作 TPS 模式進行模擬分析時，必須系統性地設定檔型 1「流率」、檔型 23「車種組成」、檔型 24「付費方式組成」，來進行各種情境之模擬分析。當然，不同規模之收費之幾何條件乃為已知條件，必須於進行模擬分析前，依據實際狀況來設定。

4.1 收費車道數配置原則

本研究進行模擬分析之前，考量小車 ETC 車輛逐步成長、大車 ETC 比例已成長至一穩定比例、以及如增設 1 小車 ETC 車道必定排擠其他車道之配置，以及高公局之基本增設策略，因此，增闢小車 ETC 車道之方案研擬主要考量於可行之車道配置情境，如有相關的限制或考量，可能會限縮方

案之數量或內容。事實上，在不縮減大車通過收費站之車道空間狀況下，又考慮增設 1 小車 ETC 車道會排擠回數票或回數票/找零車道狀況，以及中、小型收費車隨小車 ETC 車輛逐漸增加狀況之收費車道佈置。

表 6、表 7 與表 8 分別為汐止、楊梅、樹林收費站之收費車道配置方案設計。收費車道配置設計是依據收費站現況設置為基礎，每一方案以逐步增開 1 個 ETC 車道的方式為前提，而本研究收費車道配置方案之設計係參考了廖惠卿(2002)之研究成果，在 ETC 車道數量開設的部分，以「主線加一」個 ETC 車道數為止，按其定義之「主線加 1」係指「主線車道數之小型車 ETC 車道及一個大型車 ETC 車道」。

本研究收費車道配置方案的設計流程為增開 1 個 ETC 車道後，便縮減 1 個回數票車道或是 1 個現金/回數票車道為原則；當設計方案中，若再增開 1 個 ETC 車道，但面臨到回數票專用車道與現金/回數票車道各別都只剩下 1 個車道數時，則選擇關閉回數票車道來做為開設 ETC 車道之設置；而大型車均維持 ETC 車道及現金/回數票車道各 1 個收費車道之配置數。

以汐止收費站為例，其現況 (A_1 方案) 有 1 個小型車 ETC 車道、1 個小型車回數票車道、2 個小型車現金/回數票車道、1 個大型車 ETC 車道及 1 個大型車現金/回數票車道。在增開 1 個小型車 ETC 車道後，新的方案有 2 個小型車 ETC 車道的配置，在 A_2-1 方案是以減少 1 個小型車現金/回數票車道來搭配；而在 A_2-2 方案則是以減少 1 個小型車回數票車道來因應。在此原則下，汐止收費站共有 4 種設置方案 (含現況車道配置方案)；楊梅收費站共有 5 種設置方案 (含現況車道配置方案)；樹林收費站共有 3 種設置方案 (含現況車道配置方案)。

表 6 汐止收費站車道配置方案設計

方 案	類別	小型車				大型車	
A_1 E1-1-2 (現況)	車道編號	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	回數票	現金/回	現金/回	ETC	現金/回
A_2-1 E2-1-1	車道編號	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	回數票	現金/回	ETC	現金/回
A_2-2 E2-0-2	車道編號	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	現金/回	現金/回	ETC	現金/回
A_3 E3-0-1	車道編號	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	ETC	現金/回	ETC	現金/回

表 7 楊梅收費站車道配置方案設計

方 案	類別	小型車					大型車	
B_1 E1-3-1 (現況)	車道編號	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	回數票	回數票	回數票	現金/回	ETC	現金/回
B_2-1 E2-2-1	車道編號	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	回數票	回數票	現金/回	ETC	現金/回
B_2-2 E2-1-2	車道編號	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	回數票	現金/回	現金/回	ETC	現金/回
B_3-1 E3-1-1	車道編號	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	ETC	回數票	現金/回	ETC	現金/回
B_3-2 E3-0-2	車道編號	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	ETC	現金/回	現金/回	ETC	現金/回

表 8 樹林收費站車道配置方案設計

方案	類 別	小型車									大型車	
C_1 E2-4-3	車道編號	LANE 11	LANE 10	LANE 9	LANE 8	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	回數票	回數票	回數票	回數票	現金/回	現金/回	現金/回	ETC	現金/回
C_2-1 E3-4-2	車道編號	LANE 11	LANE 10	LANE 9	LANE 8	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	ETC	回數票	回數票	回數票	回數票	現金/回	現金/回	ETC	現金/回
C_2-2E 3-3-3	車道編號	LANE 11	LANE 10	LANE 9	LANE 8	LANE 7	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
	收費方式	ETC	ETC	ETC	回數票	回數票	回數票	現金/回	現金/回	現金/回	ETC	現金/回

4.2 ETC 使用率設定

小型車 ETC 使用率在模擬方案的設計是一變動參數。而表 9 是依據表 5 的迴歸關係式而得之數量。從小型車 ETC 流量與以迴歸關係式而得的其他人工收費方式之車流量相加總後可得總車流量，在以各別收費方式之車流量除以總車流量，即可得到各別收費方式之使用比例。由表 9 可得到大、小型車之 ETC 使用率及其他人工收費方式使用率的比例。本研究以小型車 ETC 使用率現況 36% 為基礎，從小型車 ETC 使用率達 40% 後，以每 5% 的使用率增加，直至小型車 ETC 使用率達 90% 為止。大型車使用 ETC 比率在實施電子收費之後，很快地即達到很高的使用比例，經本研究之觀察，其使用比例並沒有造成收費站運作之影響，因此本研究之模擬分析係將之列為外部參數，主要模擬分析的變數為小車 ETC 比例及總車流率。

表 9 小型車 ETC 使用率與其他人工收費關係比較

小型車					
ETC	比例	回數票	比例	現金	比例
172,163,635	36%	235,169,863	50%	65,415,483	14%
187,249,530	40%	215,692,102	46%	65,173,076	14%
213,269,561	45%	195,932,491	41%	64,772,367	14%
239,997,620	50%	175,635,203	37%	64,360,755	13%
267,404,205	55%	154,822,642	32%	63,938,694	13%
295,489,318	60%	133,494,807	27%	63,506,183	13%
324,341,460	65%	111,584,490	22%	63,061,860	13%
353,990,135	70%	89,069,287	18%	62,605,270	12%
384,376,338	75%	65,994,004	13%	62,137,323	12%
415,647,577	80%	42,246,625	8%	61,655,746	12%
447,744,848	85%	17,871,957	3%	61,161,448	12%
671,865,225	90%	--	--	57,709,994	10%
大型車					
ETC	比例	回數票	比例	現金	比例
75,108,323	83%	12,668,867	14%	2,707,627	3%
78,993,394	89%	6,872,390	8%	2,433,091	3%
84,923,359	95%	1,850,525	2%	2,209,319	3%
91,014,683	98%	--	--	1,979,458	2%
97,260,644	98%	--	--	1,743,761	2%
103,661,241	98%	--	--	1,502,229	2%
110,236,645	99%	--	--	1,254,101	1%
116,993,577	99%	--	--	999,122	1%
123,918,593	99%	--	--	737,801	1%
131,045,309	99%	--	--	468,868	1%
138,360,277	99%	--	--	192,831	1%
189,437,311	100%	--	--	--	--

(交通量單位：輛)

4.3 需求流量設定

根據 2011 臺灣 HCM (交通部運輸研究所, 2011), 高速公路車道的最大容量, 最內側為 2,300 輛/小時/車道; 其他車道則是 2,000 輛/小時/車道。故本研究係以收費站上游主線車道數來做為需求流量之估計。以主線 3 車道而言, 最內側車道最大容量為 2,300 輛/小時, 加上中間與外側此兩車道共 4,000 輛/小時之容量, 所以其容量上限值為 6,300 輛/小時; 而主線 4 車道之容量上限值則為 8,300 輛/小時。

表 10 為不同規模收費站之需求流量設定, 而需求流量之設定係以主線車道容量上限值的 50% 為起始, 直至容量上限值為止。以主線 3 車道為例, 其容量上限值 (6,300 輛/小時) 的 50% 為 3,150 輛/小時; 而主線 4 車道容

量上限值（8,300 輛/小時）的 50%則為 4,150 輛/小時。此外，需求流量的級數同時也參考了前節所述之不同規模收費站的小時尖峰流量來設定，例如汐止與楊梅收費站現況最高的小時尖峰流量分別為 3,150 輛/小時與 4,350 輛/小時，以主線 3 車道之需求流量的設定而言，從級數 1 至 10 的需求流量則是以每級數 150 輛車次（每車道 50 輛，3 車道共 150 輛）增加；而樹林收費站現況最高的小時尖峰流量為 6,550 輛，以主線 4 車道之需求流量的設定而言，從級數 6 至 13 的需求流量則是以每級數 200 輛車次（每車道 50 輛，4 車道共 200 輛）增加。

4.4 模擬情境說明

由表 6 至表 8 之收費車道配置原則，可進一步發展成不同規模收費站之模擬情境。主要是由現況之配置方案開始依序進行模擬，以表 9 不同 ETC 使用率及表 10 不同收費站之需求流量來做為輸入參數。經綜合歸納後，汐止收費站含現況共有 4 種車道配置方案，15 種交通量與 11 種 ETC 使用率，共有 660 個組合狀況之模擬；楊梅收費站含現況共有 5 種配置方案，15 種交通量與 11 種 ETC 使用率，共 825 個組合狀況之模擬；而樹林收費站含現況共有 3 種配置方案，15 種交通量與 11 種 ETC 使用率，共 495 個組合狀況之模擬。

表 10 不同規模收費站之需求流量設定

級數	汐止收費站	楊梅收費站	樹林收費站
	主線 3 車道需求流量設定		主線 4 車道需求流量設定
01	3,150	3,150	4,150
02	3,300	3,300	4,350
03	3,450	3,450	4,750
04	3,600	3,600	5,150
05	3,750	3,750	5,550
06	3,900	3,900	5,950
07	4,050	4,050	6,150
08	4,200	4,200	6,350
09	4,350	4,350	6,550
10	4,500	4,500	6,750
11	4,800	4,800	6,950
12	5,100	5,100	7,150
13	5,400	5,400	7,350
14	5,850	5,850	7,750
15	6,300	6,300	8,300

（交通量單位：輛/小時）

五、模擬分析討論與收費車道配置準則

由於增開 1 小車 ETC 車道會減少其他車道之利用，故評估時宜以整體收費站服務績效來衡量。TPS 模式能提供的績效評估指標包括：平均路段延滯(Average Approach Delay)、平均停等延滯(Average Stopped Delay)、平均車隊長度(Average Queue Length)、通過收費站之平均速率(Average Speed Over Plaza System)、耗油量及 CO₂ 排放量。本研究利用收費站整體平均路段延滯作為評估之績效指標。在分析各車道服務品質時，必須利用類似圖 2 之關係圖，亦即在同一需求流率之下，如需求流率很接近或已超過容量，則平均延滯時間隨需求流率持續的時間而變。圖 2 亦顯示持續時間越長，平均延滯隨著增長。一般而言，收費車道之流量/容量比超過 0.9 時，就可能進入不穩定狀況。

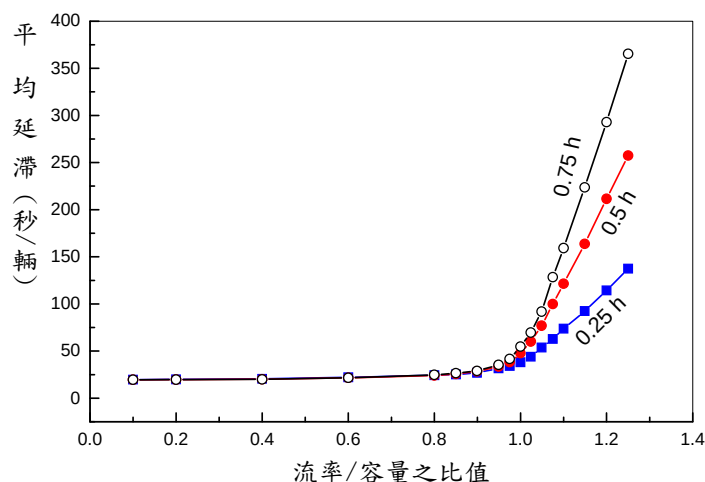


圖 2 平均延滯時間隨流率/容量比值變化與模擬時段之示意圖

基此，本研究利用前述收費站服務時間特性、模擬方案設計及收費車道配置模擬情境，以分別建立 TPS 模式輸入資料之參數。依據各代表性收費站車道配置現況，以不同小型車 ETC 使用率、總車流量做為變數，來模擬其對收費站整體服務績效之影響，並由此現況做為基礎來比較各模擬方案之差異，藉由收費站整體平均路段延滯之績效指標來評估，討論現有高公局與遠通電收之契約規範基礎下，並歸納出明確且適當的 ETC 車道增設方案。分析的過程，本研究利用類似表 11 之分析表及圖 3 之流率與平均延滯圖進行比較分析。圖 3 之平均路段延滯在流量逐漸增大而接近容量時，會大幅增加，由此可以作為不同方案間之比較。

表 11 模擬結果之舉例：汐止收費站 A_1 方案尖峰小時 (3,150 輛/時) 各車道平均路段延滯 (秒/輛)

車種	小型車				大型車	
車道	LANE 6	LANE 5	LANE 4	LANE 3	LANE 2	LANE 1
收費方式	ETC	回数票	現金/回	現金/回	ETC	現金/回
ETC 36%	12.7	18.7	26.3	25.3	13.7	21.4
ETC 40%	13.5	17.8	25.5	24.9	13.8	21.6
ETC 45%	15.1	16.6	24.4	24.7	13.8	25.2
ETC 50%	17.0	16.1	23.2	24.6	13.0	26.6
ETC 55%	19.6	15.3	22.7	24.6	13.2	25.9
ETC 60%	25.6	15.3	22.8	23.9	12.9	26.9
ETC 65%	41.8	14.9	22.1	24.2	12.9	29.8
ETC 70%	122.0	19.2	25.1	25.3	16.3	33.0
ETC 75%	242.2	86.3	95.4	75.9	83.5	100.7
ETC 80%	357.5	181.1	189.0	215.3	182.3	205.8
ETC 90%	495.8	—	390.7	214.5	383.8	—

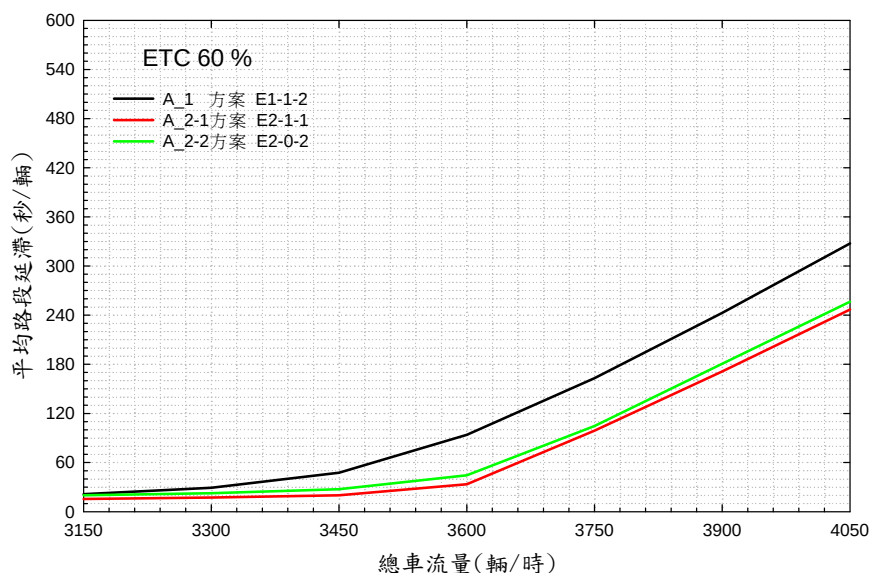


圖 3 各方案模擬結果比較之舉例：汐止站現況與增開 1 個 ETC 車道在 60% 使用率之路段延滯比較

5.1 汐止收費站之分析結果

本研究模擬分析與評估汐止站之作業，並檢視高公局與遠通電收之契約規範，歸納以下小型車 ETC 車道之增設準則：

- 1.當 ETC 車道之流量達 1,450 輛次/小時/車道，可申請再增開 1 個 ETC 車道。

根據契約規範 I，連續兩小時連續兩天達 1,600 輛/小時/車道，得向高公局申請增開 ETC 車道。但本研究模擬分析發現，流率達 1,600 輛/小時/車道時，ETC 車道的平均路段延滯明顯高於其他人工收費車道，不僅違背 ETC 使用理念，收費站整體服務績效亦較現況差。而 ETC 車道流率達 1,450 輛/小時/車道後，其服務績效明顯下降。

另外，根據契約規範 II，一週平均尖峰服務流量達到 1,200 輛/小時/車道以上，得向高公局申請增開 ETC 車道。然而，尖峰服務流量達到 1,200 輛/小時/車道以上時（流量/容量比值約 0.7），相當於 ETC 使用率介於 45%至 0%之間，本研究模擬發現該使用率尚未達到需增設 ETC 車道之需求。因此，建議修正為當小車 ETC 車道之流量達 1,450 輛/小時/車道（流量/容量比值約 0.85），得向高公局申請增開 ETC 車道。

- 2.「當 ETC 車道之平均服務流量達到該收費站總通行量 16%以上，得向高公局申請增開 ETC 車道。」不適用於汐止站。

ETC 招商時，契約規範 III 以「當 ETC 車道之平均服務流量達到該收費站總通行量之 16%以上」作為增開小型車車道條件之一，並未考量各收費站小型車收費車道數不一（5 個或 6 個），以及電子與人工收費車道之差異性。以汐止站而言，其小型車收費車道有 4 個，依上述契約規範對 ETC 車道增開之原則，意即每個車道需疏解 1/4（約 25%）的交通量，與上述 16%的規範不合。換言之，契約規範 III 不適於汐止收費站或小型收費站。

- 3.汐止站在 ETC 使用率達 55%以上時，從 1 個小型車 ETC 車道改配置 2 個小型車 ETC 車道的 A_2-1 方案，整體服務績效較佳，而該方案在小型車人工收費車道種類的配置為 1 個回數票及 1 個現金/回數票收費車道，在此配置下即可滿足尚未全面實施電子收費前，ETC 使用率持續增加時的情況。而 A_2-2 方案在使用率達 65%以上時，服務績效才優於現況，其人工收費車道種類的配置為 2 個現金/回數票收費車道。

5.2 楊梅收費站之分析結果

楊梅收費站之模擬分析，可歸納以下小型車 ETC 車道之增設準則：

- 1.楊梅收費站在車流量達 1,600 輛/小時/車道時，得申請增開 ETC 車道。

根據契約規範 I，連續兩小時連續兩天達 1,600 輛/小時/車道，得向高公局申請增開 ETC 車道。此條件相當於楊梅收費站現況 1 個小型

車 ETC 車道之配置，在尖峰流量下 ETC 使用率約為 55%時所提供的服務流率。在此使用率下，配置 2 個小車 ETC 車道的 B_2-2 方案，收費站整體服務績效優於現況。

- 2.楊梅收費站在一週 ETC 車道平均尖峰服務流量達到 1,600 輛/小時/車道（其流量/容量比值約 0.93），得申請增開 ETC 車道。

契約規範 II 的規範是平均尖峰服務流量達到 1,200 輛/小時/車道，但此狀況相當於通過楊梅站的車輛 ETC 使用率約 40%。此狀況下的使用率尚未達到需增設 ETC 車道之需求。因此，建議修正為 1,600 輛/小時/車道。

- 3.「當 ETC 車道之平均服務流量達到該收費站總通行量 16%以上，得向高公局申請增開 ETC 車道。」亦不適用於楊梅站。

楊梅收費站之小型車收費車道有 5 個，本研究之模擬分析亦發現，契約規範 III 亦不適用。

- 4.楊梅站在 ETC 使用率達 55%以上時，從現況 1 個小型車 ETC 車道改配置 2 個小型車 ETC 車道的 B_2-2 方案，整體服務績效較佳，而該方案在小型車人工收費車道種類的配置為 1 個回數票及 2 個現金/回數票收費車道，在此配置下即可滿足尚未全面實施電子收費前，ETC 使用率持續增加時的情況。而 B_2-1 方案在使用率達 60%以上時，服務績效才優於現況，其人工收費車道種類的配置為 2 個回數票及 1 個現金/回數票收費車道。由此可知，當中型規模的楊梅收費站其 ETC 使用率達到需再增開 1 個 ETC 車道時，人工收費之回數票專用車道只需保留 1 個，收費站整體服務績效較佳。

5.3 樹林收費站之分析結果

遠通電收於 2008 年 10 月向高公局提出樹林收費站增開 ETC 車道之申請，當時通過樹林收費站之 ETC 車輛約佔 23%（平均為 1,266 輛/小時），已達契約規範 I 所訂之 1,200 輛/時，故於 2009 年 1 月 6 日增開雙向小型車第 2 個電子收費車道。以 100 年樹林收費站相關統計資料顯示，該收費站 ETC 車道的使用率已達 40%，平均每 1 個 ETC 車道在尖峰流量下有 1,100 輛/時通過，仍在 ETC 車道飽和容量範圍內，尚不需要再增開車道。

經本研究之模擬分析，隨著 ETC 使用率增加至 60%時，將會有 3,300 輛使用 ETC 的小型車通過現況 2 個 ETC 車道，平均 1 個 ETC 車道要消化 1,650 輛/時，此將造成 ETC 車道服務能量的飽和，因此有必要再增開 1 個 ETC 車道來紓解車流量。其中又以 C_2-2 方案對收費站整體服務績效較好，

該方案在小型車人工收費車道的配置為 3 個回數票專用及 3 個現金/回數票車道。

而當使用率達到 85%時，相當於尖峰小時流量下有 4,677 輛（尖峰流量 6,550 輛/時 $\times$ 0.84（小車組成比例） $\times$ 0.85（ETC 使用率）=4,677 輛/時）通過 ETC 車道，以 3 個 ETC 車道的配置而言，平均每個車道要消化 1,558 輛/時，接近了前述模擬分析所歸納 ETC 車道 1,600 輛/時可增開車道的服務容量值。若已達到此使用率，仍尚未實施全面電子收費時，則有必要再增開一個 ETC 車道來因應。當需要再增開 ETC 車道時，以人工收費之回數票專用車道來替換，對收費站整體服務績效較現金/回數票車道為佳。

5.4 綜合討論

目前高公局與遠通電收的增開 ETC 車道準則，過於簡化，且沒有考慮不同規模收費站之特性，尤其是影響小車使用 ETC 車道之重要變數至少包括總車流量之增加、小車比例及小車使用 ETC 比例，並沒有適當考量，以致於實際運用時可能造成是否增開小車 ETC 車道過程中收費站運作效率之降低。

2012 年 8 月 30 日起，國 1 之造橋、后里、員林、斗南、新營、新市、岡山收費站，以及國 3 之樹林、後龍、大甲、名間等 11 個收費站，均增開 1 小車 ETC 車道，其增開的準則相當簡單，如表 12 所示。而且，樹林及岡山收費站增設前之 ETC 車道已經過於飽和，而其他收費站之 ETC 車輛百分比已經遠超過 16%，還好是總交通量較低，故 ETC 車道還沒有過於飽和。

表 12 2012 年 8 月 30 日增開小車 ETC 車道之收費站及其增開車道標準

增開車道標準	符合增開車道標準項目
當小型車電子收費車道之一週平均尖峰服務流量達到 1,200 輛次/車道-小時以上。	樹林（北向：2,938；南向：2,836）
	岡山（北向：1,390；南向：1,462）
當電子收費車道之平均服務流量達到該收費站總通行量之 16%以上，連續達 5 天或於 1 個月內出現 15 天時，得增開電子收費車道。	造橋(45%)、后里(44%)、員林(44%)、斗南(46%)、新營(48%)、新市(45%)、岡山(44%)、樹林(49%)、後龍(57%)、大甲(45%)、名間(48%)

註：觀察期間為 2012 年 7 月 1 日至 7 日，括弧內之數值為 ETC 小車佔總通行量之百分比，此次增開車道之收費站均連續五天達到該站總通行量 16%以上。

增開 ETC 車道不但涉及了通過收費站之車流量與 ETC 使用率之比例，更涉及了其他車道該如何配置之問題，本研究以收費站整體平均路段延滯做為衡量服務水準之績效指標，將模擬分析結果歸納後可得，當收費站達到需要再增開小型車 ETC 車道之條件時，在人工收費類型的回數票與現金

/回數票車道均各別有 2 個以上的車道配置下，選擇以回數票專用之人工收費車道來替換，相對於以現金/回數票車道對收費站有較佳的整體服務績效。

六、結 語

以目前高公局與遠通電收營運契約之規定，ETC 車道佈設數量與增開原則主要考量的因素，乃視收費站實際車流需求及車道負荷平衡此兩經驗數值為主，對於 ETC 車道的增設於收費站整體服務績效之影響，尚無系統化的評估方式來做為政策實施之依據。本研究以運研所發展之 TPS 模式，針對通過高速公路收費站之車流量與小型車 ETC 使用率等兩重要變數，分別選取一大型、中型、小型收費站，運用模擬分析的方式以平均路段延滯來評估收費站整體服務績效，以現有高公局與遠通電收增開 ETC 車道之契約規範為基礎，經由模擬結果歸納出不同規模收費站在不同小型車 ETC 使用率下，以提出的 ETC 車道的增設準則。本研究獲致以下結論與建議：

1. 小車 ETC 車道增開之時機；以小型收費站汐止站為例，當小車 ETC 車道之車流量達 1,450 輛次/小時/車道以上時，增開 ETC 車道有利於收費站整體服務績效；另以中型收費站楊梅站及大型收費站樹林站為例，當 ETC 車道之車流量達 1,600 輛次/小時/車道以上時，增開 ETC 車道有利於收費站整體服務績效。
2. 當收費站達到需要再增開小車 ETC 車道之條件時，在人工收費類型的回數票與現金/回數票車道均各別有兩個以上的車道配置下，選擇以回數票之人工收費車道來替換，相對於以現金/回數票車道對收費站有較佳的整體服務績效。
3. 當小車 ETC 使用率達 55% 以上時，不同規模收費站如樹林、楊梅及汐止站等，其小車 ETC 車道的配置數量，最終以該收費站之上游主線車道數減 1 之配置，可獲得較佳的收費站整體服務績效。
4. 當 ETC 使用率達到一定比例以上時，對收費站整體服務績效有較佳的表現。隨著 ETC 使用率的增加，人工收費車道的使用比例則相對減少，建議可針對人工收費車道在大、小型車混合收費的情況下，探討 ETC 使用率超過何種比例時，以大、小車混合車道之收費作業方式對收費站整體服務績效有較佳的結果，亦可據此適當的關閉部分大型車及小型車之人工收費車道，除節省人力資源外，也可做為實施全面電子收費方式前的過渡配置策略。

致 謝

本研究接受行政院國家科學委員會（編號：NSC100-2410-H-015-013）專題研究計畫經費補助，特此致謝。

參考文獻

- 中華智慧型運輸系統協會(2007)，電子收付費系統，擷取日期：2010 年 12 月 1 日，網站：<http://www.its-taiwan.org.tw/>。
- 交通部運輸研究所(2001)，2001 年臺灣地區公路容量手冊。
- 交通部運輸研究所(2004)，臺灣地區智慧型運輸系統綱要計畫－2003-2010。
- 交通部運輸研究所(2011)，2011 年臺灣公路容量手冊。
- 林豐博、曾平毅(2011)，高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究(1/3)，交通部運輸研究所委託研究。
- 胡守任、楊慧華(2009)，「時間序列與收費站模擬模式應用於電子收費車道使用需求預測與車道配置：以泰山收費站為例」，*運輸學刊*，第 21 卷第 1 期，頁 145-178。
- 張學孔、賴禎秀、吳清慈(2004)，「高速公路電子收費系統之車道配置及其成本效益分析」，*運輸計劃季刊*，第 33 卷第 1 期，頁 29-58。
- 曾平毅、王俊成 (2003)，「中山高速公路地磅站作業評估之研究」，*運輸計劃季刊*，第 32 卷第 1 期，頁 103-130。
- 曾平毅、林豐博、張瓊文、蘇振維 (2002)，「高速公路收費站延滯模式之研究」，*運輸計劃季刊*，第 31 卷第 4 期，頁 795-816。
- 曾平毅、林豐博、張瓊文、蘇振維、鄭嘉盈(2012)，「收費站模擬(TPS)模式之改良與應用」，*交通學報*，第 12 卷第 1 期，頁 23-54。
- 黃承傳(2004)，高速公路電子收費車道最適配置之研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 黃承傳、蔡義清、郭詩毅(1996)，「高速公路收費站服務水準等級界定之研究」，*運輸*，第 27 期，頁 35-62。
- 廖惠卿(2002)，高速公路電子收費車道配置對收費站服務績效影響之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- 賴炳榮(1999)，電子收費系統收費站服務績效之研究：TTPS 模式之運用，交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- 謝霖霆(2001)，高速公路收費站電子收費車道設置之研究，中央大學土木工程學系碩士論文。

Li, J., Gillen, D., and Dahlgren, J. (1999), “Benefit-cost Evaluation of the Electronic Toll Collection System: A Comprehensive Framework and Application,” *Proceedings, 78th Transportation Research Board Annual Meeting*, Jan. 10-14, Washington, D.C.

(收稿2012/9/17，第一次修改2013/3/5，定稿2013/3/21)

