

公路收費方法與服務時間特性

曾平毅¹
張瓊文²

摘要

臺灣國道1號、3號及5號公路設有收費站，這些收費站皆設有傳統的收費孔道及收費亭。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。雖然過去臺灣曾探討各類收費車道之服務時間特性與容量，但自2006年2月10日起，臺灣開始使用電子收費，而且其他收費孔道之作業方式也有變更，因此有必要透過現場資料，以進一步了解各類收費車道之服務特性，即使是交通部預計於2013年全面使用電子收費，其收費服務特性與亦有須探討。因此，本研究主要說明目前世界各國所使用的公路收費方式與概況，並以現場資料說明目前臺灣各種收費車道之服務時間特性。

關鍵字：高速公路、收費站、電子收費、服務時間。

一、前言

目前高速公路的各收費站，均設有不同的收費孔道，並於分隔島上設有收費亭，以提供人工收費。此外，自2006年2月10日起，臺灣開始使用電子收費，這些特定收費車道，在收費亭上空有裝設電子收費(Electronic Toll Collection, 簡稱ETC)系統來辨識車輛裝有詢答/接收器(transponder)之車輛。

上述傳統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，臺灣也即將採用開放式收費。

因為收費站的作業對高速公路車流量運作有很大的影響，所以收費站作業的分析深受注意。有些研究探討收費車道之容量及服務時間的特性(Zarrillo and Radwan, 2009; Hatb, et al., 2010)，其他研究則著重於模擬分析(Lieberman, et al., 2004)或分析性模式之建立(Lin, 2001; Ozmen-Ertekin, et al., 2008; Ceballos and Curtis, 2004; Aycin, et al., 2009)。2001年臺灣地區公路容量手冊第八章提供了一分析高速公路收費站的分析方法(交通部運輸研究所，

¹ 中央警察大學交通系教授兼系主任 (聯絡地址：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 交通部運輸研究所運輸計畫組簡任研究員兼副組長。

2001)。該方法利用包括一簡化分析性模式及「收費站模擬模式」(Toll Plaza Simulation Model, 簡稱 TPS Model)來分析收費站的作業。但是 2001 年之前收費站的作業與目前的作業有許多不同的地方。例如 2001 年時臺灣收費站並未設有電子收費之系統，而目前每一個高速公路收費站都有電子收費作業。其他類型收費車道之運作也有變更，因此 2001 年之分析方法不適用於目前之收費作業。為了彌補這些缺陷並提供一評估收費站之基準。交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)於 2010 年進行一研究計畫(交通部運輸研究所 2010)來修訂 2001 年容量手冊之第八章。而且，交通部一再重申臺灣所有高速公路，將於 2013 年全面實施電子收費。於此之際，本研究主要探討公路收費之目的與收費方式，並進一步利用最新的現場資料，探討各類收費車道之服務時間特性，尤其是國內尚未深入了解之 ETC 收費車道。

二、公路收費之目的

公路設施之建設、運作及養護須要大量資金，因此在用路人須付費之原則下，世界各國常在特殊之公路設施上(如高速公路、快速公路、橋梁、隧道等)收費。臺灣在 2010 年 4 月時，只有國道 1、3 及 5 號高速公路設有收費站。國 1 有 11 個收費站，其中月眉收費站設在匝道上，其他收費站為主線收費站。國 3 有 10 個主線收費站。國 5 則只有 1 主線收費站，位於在雪山隧道東南端附近之頭城。

如果所有收費站皆設在匝道上，或一收費公路之兩端點，則用路費可依據車輛之里程來收費。因為車輛對一公路之損壞程度隨車種(或車重及軸重)及里程而變，所以按照里程及車種收費是一比較公平的策略。相對而言，收費站若設在主線上，則兩收費站之間可能有數個匝道。在這種情形之下，用路人通過一收費站前後的里程可能不同，但須付同樣的過路費。因此主線收費站之收費難以達到公平之原則。此外，主線收費站很可能在大都會區附近造成嚴重塞車。

隨著人口及車輛之快速成長，市中心常有嚴重塞車現象，連帶的造成空氣品質的惡化。為鼓勵民眾使用大眾運輸，並抑制市區車流，有些城市已開始對進入特定區域的車輛收費。新加坡是第一個實施壅塞費(Congestion toll or Congestion Charge)的城市。新加坡在 1975 年起開始使用人工收費之 Area Licensing System (ALS)(區域牌照系統)限制車輛進入管制區(Traffic Technology International, 2008; Commission for Integrated Transport, 2006)，並在 1988 年 9 月起採用 Electronic Road Pricing (ERP)之系統根據車流狀況彈性收費。ALS 實施之後在 1988 年時將進入限制區之車流量降低了 31%，同一期間內，市區之就業人口增加了 33%，車輛數則增加了 77%(Traffic Technology International, 2008)。ERP 系統實施之後，進入市中心之車輛比 ALS 策略下之流量又低了 10~15%(Traffic Technology International, 2008)。在 2008 年時，只要快速道路平均速率維持在 45~60 公里/小時，其他主要道路之平均速率維持在 20~30 公里/小時，則使用這兩類公路之用路人不必付費。但新加坡政府可能將平均速率改為第 85 百分位速率做為收費及不收費之界限。

其他城市也有收壅塞費之策略，例如英國之 Durham，義大利之 Rome 及 Milan，Norway 之 Trondheim, Oslo 及 Bergen (Litman, 2006)。但規模比較大而且比較受注意的策略實施在英國之 London 及瑞典之 Stockholm (Litman, 2006; Schockley, 2009)。London 從 2003 年開始設立擁擠收費區(Congestion Charge Zone)，並用影像處理之牌照自動辨識(Automatic License Plate Recognition or ALPR)科技記錄進入收費區之車輛。此系統相當昂貴，光設備費就花了 1 億 8 仟萬英鎊。如加上作業及養護費，平均每年須花 1 億英鎊 (Litman, 2006)。但這系統將尖峰之平均延滯降低了 30%，公車延滯及計程車費也各下降了 50% 及 20~40%。

瑞典 Stockholm 在 2006 年測試擁擠費之策略，在 2007 年 8 月正式實施。此系統用無線射頻識別系統(Radio-frequency Identification, RFID)及 ALPR 之科技來辨識車輛。裝有異頻雷達收發器(transponder)之車輛可由 RFID 系統之讀取機(reader)辨識及記錄。沒有異頻雷達收發器之車輛則用牌照之影像來辨識。此策略實施之後，市區流量減少了 18%，市中心之 CO₂ 排氣量也減少了 14~18%(Richard, 2009)。

英國之 London 在 2008 年 4 月時更進一步設立低排氣區(Low Emission Zone)(Smyth, 2009)。排氣高的車輛進入低排氣區必須每天付相當於美金 \$200 ~ \$400 之汙染費。此策略使用 ALPR 辨識車輛。

另一方面，美國有些機構已陸續建立高乘載收費(High Occupancy Toll, HOT)車道。設立這種車道之一原因是目前的高乘載車輛(High Occupancy Vehicle, HOV)車道常常車輛很少，但是在旁邊的其他車道則相當擁擠。因此 HOT 車道之構想是不僅讓高乘載車輛免費使用，也讓願意付費的人使用，以期提高整條公路之運作效率。根據這構想，加州 Orange County 在 1995 年時首先在加州公路 SR91 設立 HOT 車道(Ji and Mwalwanda, 2009)。目前北美洲公路上之 HOT 車道總共約有 2,400 車道—英哩(Goodlin and Wikander, 2009)，其中比較受注意的 HOT 公路包括(Ji and Mwalwanda, 2009; Smyth, 2009)：(1) 華盛頓州之州公路 SR167(北上 11 公里；南下 8 公里)，(2) 德州 Fort Worth 市北方之 North Tarrant Expressway(36 英哩長；造價約 20 億美元)，(3) 維吉尼亞州北部華盛頓外環之 Capital Beltway 之新設施(14 英哩長；造價約 19 億美元；2013 年通車)。

HOT 車道的效益如何尚難定論，因為 HOT 車道之作業隨各公路所在地之人為因素、交通狀況、執法程度等條件而變化。實施 HOT 策略之一大難題是如何訂定費率以讓整條公路之作業效益達到最佳化(Hollander, 2009)。費率太高時很少人會使用 HOT 車道，費率訂得太低，則 HOT 之壅塞程度可能與其他車道相近，因而失去了鼓勵高乘載之功能。以華盛頓州之州公路 SR167 為例，此公路上 HOT 車道之費率隨擁擠程度而變，最快可每分鐘調整一次以期 HOT 車道能維持接近自由旅行之狀況(流率不超過 1,600 輛/小時/車道)。在 2008 年五月通車後第一年 3 萬多單獨的駕駛員付了平均大約 1 美元以使用這些 HOT 車道((Traffic Technology International, 2009a)。但是相關之 HOT 車道流率很少超過 1,050 輛/小時/車道(Liu, et al., 2010)，除了訂定費率的問題之外，HOT 車道也有與 HOV 車道相似之執法問題，其中一難於解決的問題是

如何辨識高乘載車輛。目前唯一辨識高乘載車輛之方法是用人工觀察車內人數，此方法不太可靠且花大筆經費設置執法場所，用路人及執法人員之安全也有疑慮。所以美國有 10 州聯合展開一研究計畫以探討利用新科技來辨識高乘載車輛(Goodlin and Wikander, 2009)。這計畫考慮路旁及車內之偵測系統，路旁偵測系統可利用近紅外線(波長 800nm~2,500nm)、熱紅外線(波長 3.5 μ m~20 μ m)、超寬頻雷達(>500MHz)、微波(300 MHz~300 GHz)等電磁波。但目前為止尚無可靠的路旁偵測儀器可以辨識車內人數。車內偵測器可利用空氣囊(airbag)、電波(electric field)、重量偵測器或生物偵測(biometric)之相關科技。發展及運用車內偵測器可能比發展及運用路旁偵測器有效益。

目前大多數國家之交通建設所需的財源來自稅收，如車輛購買稅、牌照稅、油料稅、財產稅、所得稅等。在這種用稅收建設交通設施(tax financing)之政策下，既使很少上公路的人也須負擔交通設施建設及保養之費用。比較公平的做法是改用使用者付費(user financing)之政策。因此歐美有幾個國家在最近 15 年來已陸續考慮改用使用者付費。

1995 年時比利時、丹麥、德國及盧森堡開始共同使用歐洲 Euro vignette 讓重達 12 噸以上之大型車在幾個國家的主要道路上通行。Euro vignette 是一貼在擋風玻璃之貼紙(sticker)以表明該車已付費，費率隨時間而變。荷蘭及瑞典也各在 1996 及 1997 年加入使用 Euro vignette 之會員國家(Kossak, 2009)。

德國政府於 1999 年成立 High Commission on Financing the Federal Transport 來探討建設交通設施所需資金之來源。這委員會建議逐步從使用一般性預算轉移為使用者付費。在 2003 年 1 月德國政府決定使用高速公路(autobahns)之重車必須根據里程收費(mileage tolling)，此政策在 2005 年正式實施，但是只有 50%之里程收費的收入撥給公路建設之用，因此失掉了使用者付費之原則(Kossak, 2009)。

因為使用者付費較公平而且有潛力成為交通管理之一有效工具，英國政府在 2004 年成立的 Commission for Integrated Transport 建議儘快從稅收付費(tax financing)轉移為使用者付費。但是在民眾反應不佳之情況下，英國政府沒有進一步推動使用者付費之政策。瑞典也在 2004 年成立一委員會探討如何實行使用者付費之政策。到 2009 年為止，該委員會所考慮的替代方案皆太貴(Kossak, 2009)。

美國在 2008 年 4 月開始展開經費達美金 16.5 百萬元之實驗以探討里程收費之作業。此實驗牽涉到 Texas(德州)、Maryland(馬里蘭州)、Idaho(愛達荷州)、North Carolina(北卡羅萊州)及 California(加州)的幾個城市(Glaskin, 2008)。目前 Netherlands(荷蘭)是使用者付費政策走得最前進的國家。荷蘭在 2007 年決定全國實施里程收費(Kossak, 2009; Glaskin, 2008)，費率將隨時間、地點及環境因素而改變。此政策將在 2011 年從貨運先開始執行，然後在 2016 年遍及所有車輛。

三、公路收費方法

傳統的收費方法用人工或自動投幣機(automatic coin machine)。在這種收費方式下，匝道收費站最少須有一收費車道，而且人工收費也須在車道旁設

置收費亭。因為每小時能通過傳統性收費車道的車輛數遠低於從上游移向收費站之車輛數，所以在主線上之大型收費站常有需要 20 幾個收費車道之情形。

車輛通過傳統性收費之車道之前必須停車或將速率降到幾乎停車之狀況，因此在尖峰時段內，傳統性收費站常有嚴重塞車之現象。為了改善收費站之交通作業，世界各國之交通機構已經普遍採用電子收費(ETC)。歐洲及美國各在 1987 及 1990 年開始使用 ETC(Liu, 2010)。日本也在 2001 年開始使用 ETC(Kissak, 2009)。目前歐美及日本使用 ETC 付費的車輛常佔通過一收費站總車輛之 70% 以上。

ETC 利用 RFID 之科技來辨識車輛。每一車輛需裝置異頻雷達收發器(transponder)以接發資訊。收費車道上則須裝置讀取器(reader 或稱 antenna)從異頻雷達收發器取得資訊。目前在美國普遍使用之公路 RFID 系統利用 915MHZ 附近(902~928 MHz)之頻寬(frequency band)(Liu, 2010)。這種雷達頻率(radio frequency)之功能有限，其通訊距離通常只有 15~20 公尺(最多 90~100 公尺)，通訊率只有 500 Kbps，而且通訊沒有保安(security)之保障。

美國 915 MHz 之 ETC 系統沒有單一通訊標準。不同製造儀器之廠商使用其特有之標準，另一些廠商則採用加州訂定 Title 21 之公開標準。通訊標準不一造成收費設備不能到處都可用(interoperability)。歐洲也有相似的困擾。

美國在 1999 年 10 月將 5.9 GHz(5.850~5.925 GHz)之頻寬開放給商業界及保安(security)機構使用於專用短距離無線通信系統(Dedicated Short Range Communications, DSRC)(Glaskin, 2008)。5.9 GHz DSRC 之通訊距離可達 1,000 公尺。通訊率最高為 2700 Kbps，而且資訊安全有保障(Liu, 2010)。所以 5.9 GHz DSRC 不僅可用於公車收費，也可提供其他智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS) 之應用(如警告駕駛員前面路況)。

日本及歐洲所採用的 ETC 利用 5.8 GHz 之頻寬(Worrall, 2009)。這種 RFID 之通訊距離只有 10 公尺。日本將異頻雷達收發器(transponder)敏感度改善以增長通訊距離。但是異頻雷達收發器必須連接到車輛之電池(battery)。歐洲在 2008 年九月也將 5.9 GHz 附近之 30 MHz 之頻寬開放給 DSRC 之運用(Tsutsumi, 2009)。

一般廠商宣稱 ETC 的精確度達 99.99%。澳州 Melbourne(墨爾本市)用在 City Link Toll Road(22 公里長)之 ETC 系統的精確度達 99.9%(Federal Communications Commission, 1999)。在 2008 年時美國一廠商在丹佛市市之 E-470 公路上測試 5.9 GHz DSRC 之收費系統。此公路有 5 個收費站。在 2008 年期間通過收費站之車輛中有 72% 利用 ETC 付費，但現鈔付費已在 2009 年七月廢除。測試結果達到 100% 之精確度(OmniAir Consortium, 2008)。

將來歐美國家之 ETC 系統可能會逐漸採用 5.9GHz DSRC。目前多數之 ETC 作業是將原有收費站之一些車道改為 ETC 車道，或 ETC 與現鈔收費共用車道。但是因為行車安全之考量或 ETC 系統通訊率之限制，通過收費車道之前車輛仍須大幅降低速率。例如美國東部普遍使用之 E-Z Pass 系統將收費車道之速限訂為 5 英哩/小時(8 公里/小時)。

臺灣高速公路上 ETC 車道之速限原訂為 40 公里/小時，但在民國 97 年時提高到 50 公里/小時。歐美國家有些收費站將 ETC 及現鈔作業實體分隔，讓 ETC 車道能使用專用車道以高速度通過收費站。因為人工收費成本高而且交通作業效率低，所以歐美的交通機構已逐漸廢除收費站而改用開放式收費(open-road tolling)，這些收費方式只須在收費地點設立高架結構體(gantry)來架設車輛辨識儀器。車輛可以正常之速率通過收費地點，因此不會造成交通瓶頸。開放式收費另一優點是在高工資之國家可降低收費成本。美國賓州 Pennsylvania Turnpike Authority 估計，完全採用自動收費之收費成本只有人工收費成本之 20%~25%(OmniAir Consortium, 2008)。North Carolina(北卡羅萊州)Turnpike Authority 在考慮新建收費公路應採用什麼收費系統時曾做詳細的財務分析，其結論是不設收費站時減少購買土地及建造收費站的費用，就可省下 6 千萬美金(European Telecommunications Standards Institute, 2008)。

完全用自動收費系統之一問題是有些車輛沒有異頻雷達收發器(transponder)，故不能只依靠 RFID 之辨識系統。為了解決這問題，交通機構已普遍使用影像處理之牌照自動辨識(ALPR)之科技。ALPR 是英國 Police Scientific Development 在 1976 首創之產品(European Telecommunications Standards Institute, 2008; Commission for Integrated Transport, 2006)。此科技是利用影像處理辨識車輛之牌照號碼。ALPR 系統之精確度隨許多因素而變，但廠商常表示其產品之精確度在 99% 以上。根據英國及北愛爾蘭利用 4,105 車輛之測試結果(Glaskin, 2009)，ALPR 能抓讀牌照而且正確辨識牌照號碼之精確度可達 97.02%。在抓得到之牌照中，沒有讀錯之百分比為 97.22%，如果容許讀錯一個字，則辨識率(recognition rate)增高到 99.46%。

瑞典之 Stockholm 在 2006 年上半期測試 ALPR 及異頻雷達收發器(transponder)合用之一收費系統(Commission for Integrated Transport, 2006)。測試結果發現 ALPR 之精確度達 96~97%。在下雪時，精確度降到 85%，但沒有被 ALPR 辨識之車輛仍可用人工閱讀牌照號碼。後來將錄影鏡頭隨時保持乾淨而且將 OCR(Optical Character Recognition)之演算法(algorithm)改良之後，ALPR 在不良天候狀況之精確度達 93%~94%。大部分不能辨識的車輛來自國外，因為 ALPR 之精確度適合斯德哥爾摩擁擠收費(Congestion Charge)系統之需要，而且 ALPR 單獨使用比與異頻雷達收發器合用的成本低，所以斯德哥爾摩將異頻雷達收發器廢除不用。在理想的狀況下，美國新型 ALPR 系統一般的精確度在 90%~94% 左右，而舊的系統之精確度則只有 60%~80%(European Telecommunications Standards Institute, 2008)。ALPR 及 RFID 科技不適用於大規模之公路收費。如果欲實施全面性的公路收費，則極不可能在所有或大多數之公路裝 ALPR 及 RFID 所需設備。目前較成熟之替代系統是利用全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System，或簡稱 GNSS)。這種系統利用衛星接收到裝在車上接收器來估計車輛的位置。美國目前維持 24~32 個 GPS(Global Positioning System)之衛星。俄羅斯之 GLONASS 系統有 20 個在運轉，另 3 個在保養或備用(Mack, 2008)，其定位精確度在 100 公尺內(Wordsworth, 2008)。歐洲聯盟國家也正在發展其 Galileo(伽利略)GNSS。此系統將有 33 個衛星(3 個備用)，預期在 2014 年開始運轉(Noble, 2008)，其定位精度為 1 公尺。

美國軍方將民間所用之 GPS 訊號的精確度降低，但目前有幾套系統可改善訊號之精確度(Russian Space Agency, 2010)。這些系統中用於公路及水路運輸之 National Differential GPS (NDGPS) 之定位精確度一般在 1~3 公尺之範圍。為了達到這精確度，美國在全國各地設立地面站(ground station)發播調整訊號，越接近地面站之地位精確度越高。目前美國正在改良 NDGPS。改良後之高精度 NDGPS 的精確度在 10~15 公分之範圍內。

GNSS 的訊號有時因隧道或高樓之存在而接收不到或被扭曲，因此實際定位的精確度隨地點而變。在英國倫敦及西班牙馬德里市區測試結果顯示有 50% 機會精確度在 10 公尺之內(Jet Propulsion Lab, 2010)。新加坡陸運局(Land Transport Authority)曾考慮應用 GNSS 收費以替代 ETC 收費，因此使用 10 輛汽車進行 GNSS 定位測試。該計畫發現在空曠地區(如快速公路)之定位精確度超過 90%，但在市區內精確度只有 30%(European Union Portal, 2010)。有些 GNSS 定位系統使用套圖(map matching)之技術來彌補衛星訊號之偏差，但這方法仍無法避免定位錯誤(U.S. Coast Guard Navigation Center, 2010)。

德國用在里程收費的系統是利用 GNSS(Olagul, 2008; Grush, 2008)。美國還在測試中里程收費系統也是利用 GNSS(Noble, 2008)，但是這系統只估計一車輛從一收費區進入另一區之時間，車輛之里程則從車上之里程表來記錄，其目的在於蒐集資料以將所收到之資金公平的分配到各收費區。Netherlands 之全國性里程之收費也將利用 GNSS(European Union Portal, 2010)。

大規模使用 GNSS, ETC 或 ALPR 科技收費之系統相當貴。美國隨油收稅之政策花在收稅作業之費用相當於稅收之 1.01%。比較之下，德國重車之里程收費系統花在收稅之費用相當於總收入之 20%，倫敦之擁擠費(congestion charge)系統的相關費用是總收入之 40%(Kirchmann, 2009)。因此有些機構已在考慮使用到處都有的行動電話(cell phone or mobile phone)作為收費之工具。在 1996 年時美國之聯邦通訊委員會(Federal Communication Commission)規定行動電話服務之公司必須能知道打 911 緊急電話之行動電話的位置。如果利用 cell tower 找行動電話之位置，則 66% 的行動電話定位之精確度必須在 100 公尺之內，此外，95% 之行動電話定位之精確度必須在 300 公尺之內。如果用裝在行動電話之通訊軟體定位，則 66% 之行動電話定位之精確度必須在 50 公尺之內，而且 99% 之行動電話定位之精確度必須在 120 公尺之內(Traffic Technology International, 2009b)。這規定帶動不少有關行動電話定位之研究。絕大多數的研究重點在於探討利用行動電話蒐集有關車流之資料，如速率或旅行時間(Cayford and Guthrie, 2010; Rose, 2006; Wasson, 2008; Yim, 2003; GPSWorld, 2010)。

行動電話定位可利用 GNSS，2008 年 11 月美國交通部及 Caltrans(加州交通部)撥款 12.4 百萬美元進行利用行動電話蒐集資料之計畫就是利用 GPS(Yim, 2003)。但是行動電話定位可不必依靠 GNSS，因為行動電話之位置可直接利用基地臺(cell tower)從行動電話收到之訊號去推估，也可以在行動電話上裝定位之軟體(Traffic Technology International, 2009b)。行動電話定位之精確度比 GPS 定位低，但其好處是定位系統之成本低，而且其訊號比較不容易受到干擾。瑞典在開始測試一利用行動電話定位來收費的系統。測試結

果顯示該系統有高度精確度，且在併行道路時，比 GPS 定位系統較不會誤判車輛所用之道路(Tarnoff, 2009)。

四、各類收費車道容量之回顧

收費站之作業特性受收費車道容量、交通需求(traffic demand)、收費車道之安排及其他許多因素之影響。收費車道之容量又受駕駛人行為、收費方式、車種組成等因素之影響。因此，收費車道之容量可能隨地區或收費站而變。美國 Transportation Research Board 之一研究(Mileros, 2008)指出：

1. 人工收費之平均車道容量為 350 輛/小時。
2. 使用自動投現機器，則平均車道容量為 500 輛/小時。
3. 人工、自動投現機器及電子收費混合車道之平均容量為 700 輛/小時。
4. 在傳統收費車道之間，但電子收費專用車道平均容量可達 1,200 輛/小時。
5. 如將電子收費及傳統收費之作業分開，並且讓車輛使用沒有護欄(barrier)之車道，則平均容量可達 1,800 輛/小時。

在個別收費站觀察到的容量常常異於前述之平均值。例如美國巴爾的摩(Baltimore)都會地區 2 個收費站觀察到的 ETC(平均速率為 16 公里/小時)及人工收費車道容量大約各為 1,025 輛/小時及 408 輛/小時(Pietrzyk and Mierzejewski, 1993)。在美國佛羅里達州 4 個收費站蒐集到的資料顯示人工收費車道的容量在 202~366 輛/小時之間，自動投現機收費車道之容量為 350 輛/小時左右，估計的 ETC 車道容量(速率為 35 小時/小時)則為 1,697 輛/小時(交通部運輸研究所，2008)。Hatb 等人(2010)指出即使同樣是現金付費，付費金額的大小及是否找零皆可影響收費車道之容量。他們亦指出：(1)外側車道有較長收費時間之機會比內側車道高；(2)下午尖峰有較長收費時間之機會比上午尖峰高；(3)需求流率增高時，付費時間有減短之現象。其他文獻(Mileros, 2008)亦指出電子收費車道有柵欄(gate)時，收費時間會增加 1 到 1.5 秒，因而降低容量。

臺灣交通界對收費站容量之研究很有限。表 1 顯示 2001 年臺灣地區公路容量手冊第八章所列，在泰山收費站所觀測到之平均收費時間。根據泰山收費站之資料，更早期在民國 80 年出版之臺灣地區公路容量手冊(交通部身研研究所，2001)及國外電子收費之資料(Mileros, 2008)，2001 年之容量手冊建議參考如表 2 所示之容量來分析傳統收費車道之作業。

表 1 單一車種之平均服務時間(秒/輛)

車種及車道型式	收費方式	
	回數票	找零
小型車車道	3.81	7.72
大型車車道	聯結車	20.0 ¹
	大貨車	11.2 ¹
	大客車	13.1 ¹

¹ 樣本數小於 15，可能不具代表性。資料來源：Hatb 等人(2010)。

表 2 天候良好狀況下收費車道之容量

車道型式	容量(輛/小時/車道)
小型車回數票車道 ¹	850 ~ 950
小型車找零車道	350 ~ 550
大型車車道 ²	420 ~ 530
電子收費車道 ³	1,800

¹ 不收現金

² 混合車種

³ 只含小車；車速 ≥ 40 公里/小時

資料來源：Hatb 等人(2010)。

收費站之交通作業除了要考慮車道之平均收費時間之外，也必須考慮個別車輛付費時間之分布。但是現有文獻很少討論收費時間之分布。根據 2001 年臺灣容量手冊，泰山收費站找零及回數票車輛之收費時間的分布呈現常態分布，找零之個別收費時間在平均收費時間之 25%~210%之範圍，回數票收費時間則在平均收費時間之 50%~390%之間。

五、臺灣收費車道之服務時間及容量

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收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，所以本研究的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。

5.1 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很短，駕駛員通常不必停車。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。

5.2 收費車道服務時間

5.2.1. 回數票車道服務時間

2010 年期間回數票車道只讓小車單獨使用，一般回數票車輛很少在收費亭完全停車。本研究在泰山、楊梅、樹林及頭城收費站蒐集回數票小車之服務時間。根據現場資料，表 3 顯示，回數票車道大約只需要 3.6 秒到 3.9 秒就可以讓一小車通過，其相對容量大約在 900~1,000 輛/小時之範圍。

表 3 小車回數票車道服務時間特性

收費站	樣本數 (輛)	服務時間(秒)		容量 (輛/小時)
		平均	標準差	
泰山	212	3.90	0.63	923
楊梅	210	3.95	0.66	919
樹林	206	3.58	0.51	1,006
頭城	260	3.68	0.60	982

至於服務時間之變異性，正常化服務時間之分布不因為收費站不同，而有顯著變化。個別服務時間大約在平均服務時間之 60% 及 140% 之間。根據早期在泰山收費站蒐集的資料，2001 年公路容量手冊指出，回數票作業服務時間在平均服務時間之 50% 及 210% 之間，所以 2010 年服務時間之變異性較小。

5.2.2 電子收費(ETC)車道服務時間

通過 ETC 車道之車輛不必停車，其平均自由速率在 50 公里/小時左右。車流密度從低逐漸增高時，流率增高，速率則逐漸下降。密度增高到某一程度時，流率達到最高點(亦即容量)，如果密度再增高，則流率不升反降。在這情形下，ETC 車道上游有壅塞情況，車輛形成慢行車隊或甚至必須停止。同時車輛以類似停等車疏解之方式通過收費車道，其相關的疏解率可能接近容量。因為 ETC 車道上的偵測器沒有蒐集流率及速率資料之功能，錄影調查又受到收費車道附近結構物之阻礙，所以本研究在 ETC 車道上游有明顯且不斷的慢行車輛時，蒐集疏解車距來估計服務時間。資料蒐集地點包括楊梅及員林收費站。表 2 顯示小車之 ETC 車道的平均服務時間將近 2.1 秒，其相關之容量大約是 1,710 輛/小時。大車之 ETC 車道的平均服務時間在 3.2 秒左右，其相關之容量大約是 1,130 輛/小時。

表 2 ETC 車道之平均服務時間及容量

收費站	車種	樣本數(輛)	服務時間(秒)		容量 (輛/小時)
			平均	標準差	
楊梅	小車	194	2.04	0.34	1,762
員林	小車	99	2.18	0.49	1,654
楊梅	大車	164	3.09	0.55	1,164
員林	大車	97	3.32	0.58	1,084
泰山	大車	98	3.15	0.60	1,144

註：本表數值係於速限 50 公里/小時、現行車道寬度下，觀察及估計而得。

5.2.3 小車找零車道之服務時間

找零車道也接受回數票車輛，所以找零車道相當於找零/回數票車道。本研究在樹林、頭城、楊梅及泰山四個收費站蒐集找零車道及找零/回數票車道之小車服務時間。從表 3 可知回數票小車之平均服務時間大約在 4.1 秒與 5.3 秒之間，這些平均服務時間比小車回數票車道之平均服務時間高(見表 1)。這是因為回數票車輛有時會被找零車輛所阻礙，若與找零小車之平均服務時間相比較，找零小車之平均服務時間比回數票小車之平均服務時間約長 2~4 秒。

表 3 找零收費車道之小車服務時間

收費站	回數票			找零		
	樣本數(輛)	服務時間(秒)		樣本數(輛)	服務時間(秒)	
		平均	標準差		平均	標準差
樹林	10	5.32	1.69	253	7.32	9.12
頭城	63	4.19	0.9	233	6.50	3.50
泰山	78	4.52	0.86	201	7.46	3.12
楊梅	56	4.09	0.68	167	8.27	4.41

5.2.4 大車找零車道之服務時間

通過大車找零車道之車輛也包括回數票車輛及找零車輛，事實上這種車道之回數票車輛占多數。本研究在樹林及泰山兩收費站蒐集服務時間之資料。表 4 顯示回數票大車之平均服務時間在 6.2 秒左右。找零大車之平均服務時間因樣本有限，比較難於準確的估計。根據在上述兩收費站所蒐集的資料，找零大車之平均服務時間大約是 11.9 秒。

表 4 找零收費車道之大車服務時間

收費站	回數票			找零		
	樣本數(輛)	服務時間(秒)		樣本數(輛)	服務時間(秒)	
		平均	標準差		平均	標準差
樹林	79	6.15	3.70	17	15.54	7.17
泰山	101	6.28	2.40	43	10.40	2.91

5.3 綜合分析

表 5 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佔 25%。這兩類型的容量值隨回數票(或找零)車輛之比例而變。本研究藉由已利用現場資料微調過的第二版 TPS 模式之模擬結果(交通部運輸研究所，2010)，小車專用或大車專用之找零/回數票車道的容量可從式(1)、式(2)來估計。

表 5 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	1,175
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

小車找零/回數票車道容量

$$C_{ms} = 480 + 198.16P_{st} + 274P_{st}^2 \quad (1)$$

大車找零/回數票車道容量

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

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：

$$C_{mbs} = \frac{3600}{f_b[P_{bt}T_{bt} + (1 - P_{bt})T_{bc}] + f_s[P_{st}T_{st} + (1 - P_{st})T_{sc}]} \quad (3)$$

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 3 中各項平均服務時間的代表值如表 6 所示。

表 6 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	$T_{bc} = 13.1$

六、結語

交通部運研所有鑑於臺灣高速公路使用 ETC 收費後的各收費車道使用情形，有必要進一步了解，以及廣泛蒐集國際上公路收費之現況與趨勢，以提供國內高速公路管理與政策研擬之參考。本研究主要蒐集了大、中、小不同規模之收費站，包括國 1(汐止、泰山、楊梅、造橋、員林)、國 3(樹林)、國 5(頭城)等收費站。其成果主要用於微調及測試 TPS 模式，並修訂容量手冊第八章。本研究乃利用各項現場調查資料與文獻，說明公路收費方法及臺灣收費車道服務特性。

收費站現場資料顯示，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%。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。

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(2008)，「機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(1/3)」，97-94-1248。
- 交通部運輸研究所(2010)，「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)」(期末報告初稿)。
- Aycin, M., Kiskel, K. Papayannoulis, V. and Davies, G., (2009) “Development of Methodology for Toll Plaza Delay Estimation for Use in Travel Demand Model Postprocessor,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2133, 2009, pp. 1~10.
- Cayford, R., and Guthrie, K., (2010) “Characteristics of Cell Phone Probe Technologies and Field Testing of Very High Volume Probe System,” *TRB 89th Annual Meeting Compendium of Papers DVD*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.
- 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.
- Commission for Integrated Transport (2006a) *Road User Charging-Charging Schemes around the World*, UK.
- Commission for Integrated Transport (2006b) *Road User Charging-Charging Schemes Around the World*, Report, U.K.

- European Telecommunications Standards Institute (2008) *News Release*, September.
- European Union Portal (2010) "Commission Awards Major Contracts to Make Galileo Operational Early 2014," January 7.
- Federal Communications Commission (1999) *News Release*, October.
- Glaskin, M., (2008) "The Serum for Our Clogged Arteries," *Traffic technology International*, April/May, pp. 26-34.
- Glaskin, M., (2009) "Super Highway-All Trial and No errors on Denver's E-470." *TollTrans*, pp. 20-23.
- Goodin, G., and Wikander, J., (2009) "Verifying Vehicle Occupancy: Prospects for an Automated Solution," *Toll Trans*, pp.44-49.
- GPSWorld (2010), "NorCal GPS Cell Phone traffic Probe Project Gets Underway," <http://www.gpsworld.com>, Accessed April 14, 2010.
- Grush, B., (2008) "Risky Business-All in on Map-Matching?" *Traffic Technology International*, August/September, pp. 24-26.
- Hatb, R., E. Radwan, X. Su, and Russo, C. (2010) "Exploring Toll-Lane Processing Times, an Empirical Analysis," *TRB 89th Annual Meeting Compendium of Papers DVD*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.
- Hollander, Y., (2009) "Down to Planning-Forecasting Demand and Revenue for Managed Lanes," *Traffic Technology International*, Annual Show Case, pp. 82-85.
- Jai, F. L.(2009), "Call of the Open Road," *Tolltrans 2009*, A Traffic Technology International Supplement, p. 80.
- Jet Propulsion Lab (2010), GLONASS, Mission and Spacecraft Library, <http://msl.jpl.nasa.gov>, Accessed April 21, 2010.
- Ji, X., and Mwalwanda, C., (2009) "Relief Mechanism-Projecting HOT Lane Travel Demand," *Toll Trans*, pp. 35-37.
- Kirchmann, H-K., (2009) "Going the Distance," *TollTrans*, pp. 76-77.
- Kossak, A., (2009) "The Politics of Tolling-the Political Wills and wants of Implementing Pay as You Drive," *Traffic Technology International*, Annual Showcase, pp. 98-101.
- Lieberman, E., Chang, J. and Andrews, B., (2004) "Applying Microsimulation to Evaluate, Plan, Design and Manage Toll Plazas," *TRB 83rd Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM*, Transportation research Board, National Research Council, Washington, D. C.
- Lin, F. B.(2001), "A Delay Model for Planning Analysis of Main-Line Toll Plazas," *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, No.

- 1776, Transportation Research Board, National research Council, Washington, D. C., pp.67-94.
- Litman, T., (2006) *London Congestion Pricing-Implications for other cities*, Victorian Transport Policy Institute.
- Liu, Y., Zhang, G., Wu, Y-J., and Wang, Y. W., (2010) "Analyzing System Performance for Washington State Route 167 High Occupancy Toll (HOT) Operations," *TRB 89th Annual Meeting Compendium of Papers DVD*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., January 10-14.
- Mack, B., (2008) "Videotolling-How the Test was Won," *Traffic Technology International*, October/November, pp.73-76.
- Mileros, M. D., (2008) "Flexible Friend," *Traffic Technology International*, June/July, p.62.
- Noble, L., (2008) "Identity Fraud? Lies, Damned lies, and License Plate Recognition," *Traffic Technology International*, October/November, pp. 21-22.
- Olagul, M. A. M., (2008) "Reading the Right Signals," *Traffic Technology International*, August/September, pp. 112-113.
- OmniAir Consortium (2008) *A comparison of the 5.8 GHz CEN to 915 MHz and 5.9 GHz DSRC through the application: Electronic Toll Collection Systems*.
- Ozmen-Ertekin, D., Ozbay, K. Mudigonda, S. and Cochran, A. M., (2008) "A Simple Approach to Estimating Changes in Toll Plaza Delays," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Number: 2047, pp. 66-74.
- Quadstone Limited (2003), *Quadstone- Paramics v4.1-System Overview*.
- Richard, M. G., (2009) "Congestion Charge Cuts Waiting Time 50% and CO₂ 18% in Stockholm," *Business & Politics*, September.
- Rose, G., (2006) "Mobile Phones as Traffic Probes: Practices, Prospects and Issues," *Transport Reviews*, Volume 26, Issue 3, May, pp.275-291.
- Russian Space Agency (2010) "GLONASS Constellation Status, 21.04.2010r," Information-Analytical Centre, <http://www.glonassianc.rsa.ru>, Accessed April 21.
- Samuel, P.(2009), "Electronic Avenge," *Tolltrans 2009*, A Traffic Technology International Supplement, pp. 15-18.
- Schockley, B., (2009) "Network Opportunity," *Traffic Technology International*, April/May, pp. 70-71.
- Smyth, L.(2009a), "Capital Injection," *Tolltrans 2009*, A Traffic Technology International Supplement, pp. 25-27.

- Smyth, L., (2009b) "Emission Control," *Traffic Technology International*, February/ March, pp.4-5.
- Smyth, L., (2009c) "Capital Injection-Higher Occupancy, Less Traffic," *Toll Trans*, pp.25-27.
- Tarnoff, P., (2009) "Made to Measure," *Traffic Technology International*, April/May, pp. 20-23.
- Traffic Technology International (2008) "Leader of the Pack," April/May, pp. 45-47.
- Traffic Technology International (2009a), "HOT Lanes Prove Popular Choice," August/September, p. 11.
- Traffic Technology International (2009b) "A Change is Gonna Come," April/May, pp.41-42.
- Tsutsumi, K., (2009) "Issues and Technical Approaches to Realize the Unmanned Tollgate System," *Proceedings of the 16th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, Stockholm, Sweden, September 21~25, CD-ROM.
- U.S. Coast Guard Navigation Center (2010) "Global Positioning System-GPS Augmentation," <http://www.gps.gov>, Accessed April 21, 2010.
- Wasson, J. S., Sturdevant, J. R., and Bullock, D. M., (2008) "Real-Time Travel Time Estimates Using MAC Address Matching," *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers Journal, Vol. 78, No.6, pp.20-23.
- Wordsworth, S., (2008) "Recognition in the Field: the Continued Rise of ALPR," *Traffic Technology International*, February/March, pp. 31-34.
- Worrall, H., (2009) "RFID's Days?" *TollTrans*, pp. 6-12.
- Yim, Y., (2003) *The State of Cellular Probes*, UCB-ITS-PRR-2003-25, California PATH Research Report, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- Zarrillo, M. L., and Radwan, A. E. (2009) "Methodology SHAKER and the Capacity of Five Toll Plazas," *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 135, No. 3, pp. 83-93.