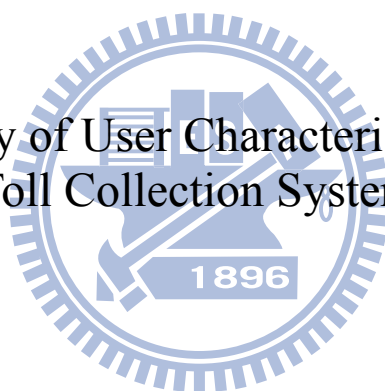


國立交通大學
運輸科技與管理學系

碩士論文

高速公路電子收費系統使用族群特性之探討

A Study of User Characteristics for
Electronic Toll Collection System in Taiwan.



研究生：沈怡如

指導教授：王晉元 教授

中華民國九十九年六月

高速公路電子收費系統使用族群特性之探討

A Study of User Characteristics for
Electronic Toll Collection System in Taiwan.

研究生：沈怡如

Student：Yi-Ju, Shen

指導教授：王晉元

Advisor：Jin-Yuan, Wang

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文



Submitted to Department of Transportation Technology and Management
College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

高速公路電子收費系統使用族群特性之探討

學生：沈怡如

指導教授：王晉元

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘 要

收費站回堵為造成高速公路車輛壅擠之主要原因之一，透過電子收費系統，可有效改善收費站回堵之問題，車輛可迅速通過收費站，有效節省人力與設備，降低旅行時間及車輛油耗。車上單元設備(OBU)之裝機率為影響電子收費系統成敗的關鍵因素，因此本研究主要針對 OBU 使用者的特性來加以研究，期待透過本研究所獲得的成果，可作為未來推動 OBU 裝機率的重要參考。

本研究提出利用存活理論來分析 OBU 使用民眾群組之特性，參考與電子收費系統使用相關之文獻，研擬與使用族群有所關聯之問項，將解釋變數分為車輛屬性變數、使用者社經變數及旅次特性變數三面向，透過問卷調查收集相關資料後進行分析。

研究分析結果顯示，系統初開通時，使用率呈現緩慢上升的情況，約過了 250 天(約 8 個月)之後，使用率上升的速度才漸漸增快。在研究進行之問卷調查期間內(95 年 ETC 開通至 98 年底研究結束)，台灣地區電子收費系統之平均存活時間約為 1133 天左右，且第一年之使用率上升速度比起第二及第三年之上升速度較為平緩。

解釋變數部分發現三類變數中，旅次特性變數為影響使用族群之重要的因素之一，顯著影響電子收費系統使用族群存活模式之變數包含：使用之回數票價格、車種、車齡、職業(軍警、公務員及專業人員)、習慣行車速度及平均每月經過之收費站個數為顯著之變數。

研究結果歸納可知，目前台灣地區電子收費之主要使用族群為習慣購買 38 元回數票之使用者、使用國產車、車齡較低、職業為軍警、公務員或專業人員(包含教師、律師或研究員等)者、習慣之行車速度偏高以及每月平均通過之收費站個數較多者。

關鍵詞：電子收費系統、存活分析

A Study of User Characteristics for Electronic Toll Collection System in Taiwan.

Student : Yi-Ju, Shen

Advisor : Jin-Yuan, Wang

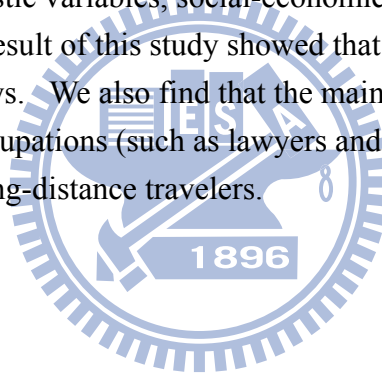
Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

Abstract

Electronic Toll Collection (ETC) system can significantly reduce the queue occurred in front of the highway toll stations which is one of the causes of traffic jam. The success of ETC heavily rely on the amount of on-board-unit (OBU) installations. The purpose of this research is to examine the characteristics of users and non-users of ETC. The findings of this research can be used to promote the OBU installation rate.

The survival analysis is proposed for this study considering three variable classifications, which are vehicle characteristic variables, social-economic variables and trip characteristic variables to analysis. The result of this study showed that the average waiting time of the OBU installation is 1133 days. We also find that the main ETC user group is civil servants, people with professional occupations (such as lawyers and technicians), domestic vehicles owners, young people, or long-distance travelers.



Keywords : Electronic Toll Collection, Survival Analysis

誌 謝

在運管所兩年的學習過程，隨著論文的付梓，即將劃上句點。首先要感謝指導老師王晉元老師，在完成論文的過程中，協助我解決許多問題；並且在參與計畫的過程中，也培養了許多不同的能力。老師不論是在學習上或是待人處事上，帶給我的影響相當大，也給予我極大的幫助，於此獻上最深的敬意與謝意。同時也感謝系上的張新立老師及中華大學謝玲芬老師於論文口試期間的鼓勵與疏漏處之指正，讓我順利完成論文。

兩年的研究生生活，感謝實驗室的大家，東凌、彥佑、小松、思文、佳儒、小惠、Anigi、阿芬、大哥、聰儒、程詠、忠憲、岱暘、呂璇等；還有學長姐及同學，HOHO、藍博士、貽婷學姐、小朱、R胖、凱開等許多人，一起完成計畫互相學習，一起吃吃喝喝四處玩樂，謝謝大家的陪伴，讓我在偶爾感到挫折跟煩悶的時刻，帶給我支持和歡笑。

最重要的，要感謝我的家人，給我無限的支持與信賴，讓我永遠可以做想做的事；在漫長的求學生涯中，在經濟與精神上的支持，讓我有堅強的後盾，能專注於課業研究中，也希望我可以讓你們感到驕傲。也謝謝 Ford 在大學及研究生涯的陪伴，讓我的生活豐富不少。

由衷感謝一直以來身邊所有愛我疼我幫助我的人，謝謝你們，在此與大家一同分享論文完成之喜悅。



沈怡如 謹誌
2010年8月于新竹交大

目 錄

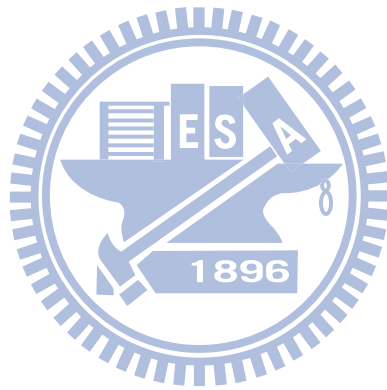
中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
一、 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究對象	4
1.4 研究步驟與流程	4
二、 文獻回顧	6
2.1 電子收費系統概述	6
2.2 國外電子收費系統概述	7
2.3 台灣地區電子收費系統建置	11
2.4 國內外電子收費系統相關研究	13
2.5 存活分析法之相關研究	17
三、 研究方法	20
3.1 存活分析之原理與特色	20
3.2 Kaplan-Meier Estimate	23
3.3 Cox 等比率危險模式	24
3.4 解釋變數選擇	26
3.5 概似比檢定	27
3.6 存活分析法應用於本研究之問題定義	27
四、 資料收集	29
4.1 問卷設計與內容	29
4.2 問卷調查方式	31
4.3 解釋變數之預期相關性	31
4.4 受訪者基本資料分析	33
五、 資料分析	37
5.1 Kaplan-Meier 分析	37
5.2 Cox 等比率危險模式分析	38
5.3 小結	44
六、 結論與建議	45
6.1 結論	45
6.2 建議	46

參考文獻	47
附錄一	50
簡 歷	52



圖目錄

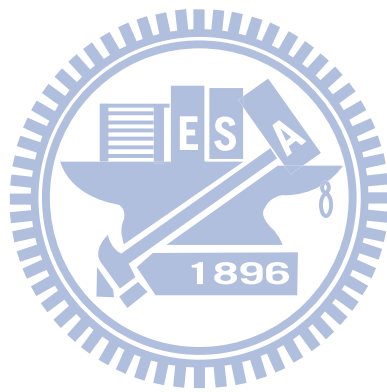
圖 1.1 ETC 使用率比較圖	2
圖 1.2 研究流程	5
圖 2.1 台灣地區電子收費系統示意圖	12
圖 3.1 設限資料示意圖	21
圖 3.2 申裝 ETC 資料示意圖	28
圖 5.1 Kaplan-Meier 存活曲線圖	38



表目錄

表 1.1 ETC 使用率目標量	2
表 1.2 ETC 使用率統計量	2
表 1.3 高速公路通過收費站交通量	4
表 4.1 解釋變數與定義	30
表 4.2 解釋變數之預期相關性	33
表 5.1 樣本調查資料基本統計表	37
表 5.2 模式一與模式二之結果比較	39
表 5.3 參數校估之結果	40
表 5.4 解釋變數之預期相關性與校估結果	42
表 5.5 變數選擇後之校估結果	43





一、緒論

1.1 研究背景與動機

高速公路車輛產生擁擠之原因包含發生事故、路段施工、車流量大、道路縮減及收費站回堵等等因素，其中收費站回堵為一重要的影響因素，人工收費方式之效率為造成後方車輛回堵的主要原因之一。

收費站回堵除造成用路人之旅行時間增加、車輛耗油及排放較多廢氣外，若遇假日或連續假期時，高速公路車流量較大，收費站造成回堵之情形更加嚴重。

電子收費系統之優點為車輛可迅速通過收費站，有效節省人力與設備，降低旅行時間及車輛油耗，未來亦可透過系統配合道路訂價(Road Pricing)，調節尖離峰車流量，並有效提高高速公路收費站之服務水準。

台灣地區近年來高速公路通行量快速成長，目前的主線柵欄式收費方式，包含人工回數票或現金收費方式對用路人收取高速公路通行費的方式，在車輛接近收費站前需減速至收費亭，完成回數票或現金收費後再離開，花費時間及效率都較低。

智慧型運輸系統(Intelligent Transport System, ITS)中之電子收費系統(Electronic Toll Collection, ETC)為運用先進之通信與資訊科技，應用於道路交通系統管理之系統。透過電子收費系統，能有效增加收費車道之容量，根據研究[民 86, 中華電信研究所]指出電子收費系統能使傳統人工找零車道每小時容量為 600 輛至回數票車道每小時 900 輛提升為每車道容量達 1450~2200 輛小型車。且結合電腦、通訊等科技，達到無現金且不需停車之收費方式，並可提升用路人安全、節省能源、於管理層面能減少目前人工收費之管理、維護成本等優點。政府於民國 91 年規劃採取 BOT 方式與民間企業合作，民國 93 年正式簽約由遠通電收進行建置和營運，ETC 於民國 95 年 2 月 10 號全面開通，目前收費站收費方式採用電子收費系統與傳統人工收費方式兩者並行。

台灣地區採用之電子收費系統，採用 IC 卡儲值付費，有別於傳統之回數票或現金收費，用路人需於車輛上安裝車內設備單元(On Board Unit, OBU)才可使用。目前政府積極推廣電子收費系統之使用，希望可有效提升 OBU 之裝機率，培養高速公路用路人使用電子收費之習慣。目前雖然

採人工收費與電子收費並存之計次收費，未來依規劃將成為全面以電子收費系統取代人工收費之作業方式，且為依里程計費之費率制度，不論使用目前計次之收費方式或未來之計程收費方式，用路人皆需於個人車輛上安裝 OBU 才可使用此收費方式。

另外，政府採用 BOT 方式委託民間企業經營，希望能整合民間企業的優勢，遠通電收初期以系統普及率為目標，且必須確保每年達到高公局之要求，如表 1.1。遠通電收自 95 年 2 月電子收費系統全面開通後，ETC 使用率統計至 99 年 3 月約為 38.42%，如表 1.2。將高公局所訂定之目標與目前營運狀況進行比較，如圖 1.1，可發現使用率之上升速度驅緩，為目前遠通電收之隱憂。

表 1.1 ETC 使用率目標量

民國(年)	95	96	97	98	99	100	101	102	103	~契約終止
利用率(%)	15	30	45	60	65	70	75	80	85	90

資料來源：國道電子收費招商文件

表 1.2 ETC 使用率統計量

時間	95 年	96 年	97 年	98 年	99/1	99/2	99/3
使用率(%)	11.16%	19.10%	28.24%	33.94%	36.94%	33.42%	38.42%

資料來源：遠通電收 <http://www.fetc.net.tw/>

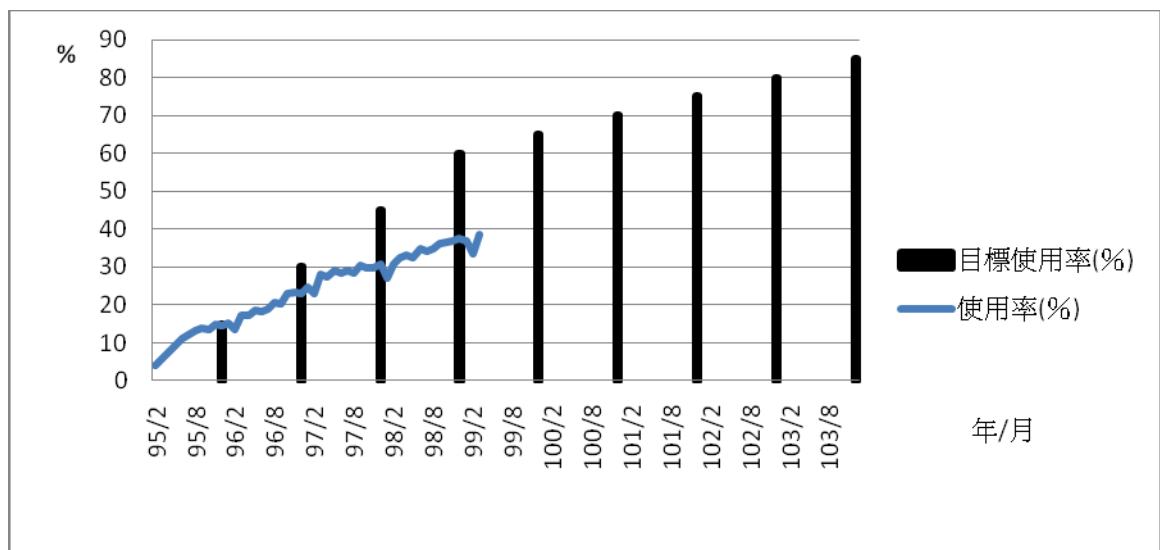


圖 1.1 ETC 使用率比較圖

資料來源：本研究整理

OBU 之裝機率不足，對於營運業者或政府而言都帶來一定的影響，遠通電收若未達合約規定門檻，除限期改善、罰款外，還可能面臨廠商撤換，投入之系統成本耗費的情形，對於政府而言，若裝機率遲遲無法提升，對於未來電子收費系統規劃之計程收費階段之推行，將更不易推動，且政府若因為遠通電收之違約而接管目前之系統，其額外的支出是否又由民眾買單亦是一顧慮。

本研究預計針對高速公路用路人進行研究，根據目前之使用情形，分析出電子收費系統使用意願較高之用路人群組，可針對申裝及未申裝之用路人皆進行調查，調查車輛相關變數、使用者相關社經變數及旅次特性變數，並使用調查結果分析出相關性較高的因子，希望能有效地分析出台灣地區高速公路電子收費系統之主要使用群組。並透過研究之分析結果，提供政府及營運單位目前電子收費系統使用情況之主要族群，讓未來推動電子收費系統時，可由對於電子收費系統較有興趣之民眾開始，有效提升電子收費系統之使用率。

1.2 研究目的

為了解目前台灣地區電子收費系統之使用情形與主要使用群組，研擬適用於電子收費系統使用群組相關之變數，透過調查與分析幫助政府及營運業者了解較易接受電子收費系統之用路人群組等，提供參考，有效提高高速公路電子收費系統之使用率，提昇 OBU 之裝機率，未來可有效提昇高速公路收費之服務效率，提昇用路人安全及達到節省能源等效果。

本研究之研究目的為使用存活理論分析對於申裝電子收費系統較有吸引力之用路人群組。

針對研究課題，本研究之工作項目包含以下三點：

- (1) 探討國內、外電子收費系統之發展。
- (2) 研究車輛屬性變數、社經變數與使用者變數對於申裝電子收費系統之影響。
- (3) 使用問卷調查方式針對小型車用路人進行資料收集。

1.3 研究對象

本研究之研究對象為小型車使用者，表 1.3 為民國 90 年至 97 年之高速公路通過收費站交通量，其中小型車佔總車輛之百分比皆大於 80%，由此可知台灣地區使用高速公路之車輛，仍以小型車為主，推動電子收費系統之對象，小型車用路人亦為主要之族群。研究範圍由於時間及成本之限制，選擇新竹地區鄰近之三到五個休息站為分析之對象。

表 1.3 高速公路通過收費站交通量

年份	小型車	客貨車	聯結車	合計	小型車佔總車輛百分比
90	375,777,088	55,336,086	33,588,677	464,701,851	80.86%
91	395,709,620	55,804,880	34,382,771	485,897,271	81.44%
92	435,632,839	54,137,373	34,954,139	524,724,351	83.02%
93	467,876,262	57,254,601	38,037,516	563,168,379	83.08%
94	479,143,420	56,480,534	38,185,268	573,809,222	83.50%
95	480,594,647	55,241,451	38,877,139	574,713,237	83.62%
96	475,502,719	54,347,929	39,791,876	569,642,524	83.47%
97	453,931,505	50,347,601	39,268,902	543,548,008	83.51%

資料來源：高速公路局 <http://www.freeway.gov.tw/>

1.4 研究步驟與流程

本研究之研究流程如圖 1.1，每一階段之工作項目與內容簡述如下：

1. 確認研究問題

首先確立本研究之問題、目的、範圍與對象，作為後續工作之準則。

2. 文獻回顧

首先針對電子收費系統進行概述，進行國外電子收費系統之回顧，並回顧與整理國內電子收費系統使用之相關技術、相關論文研究及存活分析法等相關文獻。

3. 研究設計與方法

配合研究問題之特性，定義研究問題之相關變數，探討問卷所需之車輛與使用者解釋變數，以便進行後續之問卷調查工作。

4. 資料收集與分析

利用前測問卷進行問卷問項之調整、所需樣本數等；正式問卷完成後針對研究相關之對象進行問卷發放與回收，收集完成剔除無效問卷後，進行相關之資料分析與檢定。

5. 結論與建議

對於分析之結果，撰寫研究發現、結論與建議並提出行銷策略之參考。

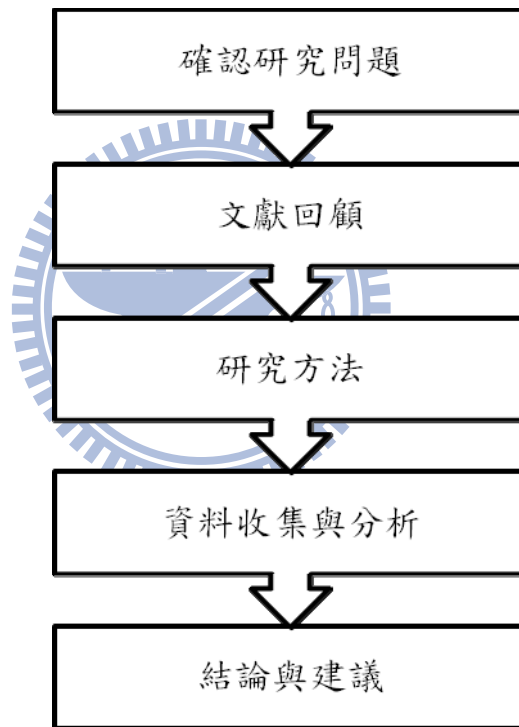


圖 1.2 研究流程

二、 文獻回顧

本章首先針對電子收費系統使用的相關技術進行概述，由於電子收費已經是相當成熟的技術，國外地區之電子收費系統也大多行之有年，包含歐美許多國家，亞洲地區日本、新加坡、香港等許多國家也都已經裝設了 ETC 系統，本研究整理國外目前電子收費系統之發展概況，並且說明台灣地區的電子收費系統使用的技術與建置內容，亦針對國內外電子收費系統之相關研究進行文獻回顧，最後一部分則針對欲使用之研究方法－存活分析法，進行相關文獻之回顧。

2.1 電子收費系統概述

所謂的電子收費系統就是駕駛者需先於車內安裝車上單元系統(On Board Unit, OBU)，並將高速公路電子收費卡插入裝置，當車輛通過高速公路電子收費車道時，架設於路側之系統 (Road Side Unit, RSU) 會以無線通信方式進行感應，自動扣除收費卡內之現金完成付費，讓車輛在行經收費站等繳費定點時，不需減速停車，以有效節省交通時間，舒緩交通狀況。

完整之電子收費系統包含前端之電子、通訊等技術，包含自動車輛辨識 (Automatic Vehicle Identification, AVI)、自動車輛分類 (Automatic Vehicle Classification, AVC) 以及影像執法系統 (Video Enforcement System, VES) 等及後端的營收管理、帳務稽核及客戶服務等子系統。後端系統大部分由各國依循本土化需求自行建置，因此僅說明前端系統之相關技術。

2.1.1 自動車輛辨識系統(AVI)

自動車輛辨識系統之主要功能為偵測進入收費區域的車輛以便收取通行費，目前所發展出來的系統包含特定短距通訊技術 (Dedicated Short Range Communication, DSRC)，以及車輛定位系統 (Vehicle Positioning System, VPS) 兩種技術。

DSRC 分為紅外線與微波兩種系統，紅外線的波長從 1mm 至 800nm，是利用 OBU 和有儲值與加值功能的 IC 卡組合對車輛進行通訊

和扣款動作，OBU 能感應到 RSU 傳送出來的訊號，再對內裝 IC 卡進行自動扣款動作，當動作完成時，再由 OBU 回傳訊號給 RSU 的收發器；微波則是利用無線電波的形式發送訊號到車上的收費標籤（Tag）進行感應。我國採取的技術為紅外線系統。

相對於 DSRC，VPS 採用不同的通信與定位方式，VPS 是以具有定位能力的車內設備單元隨時進行車輛定位之動作，當車輛進入收費區域時，費用可直接由車內設備單元自動扣款或以行動通訊的方式傳送到服務中心，再轉由帳戶扣款。VPS 之主要優勢為不需要在收費區內設置門架式設備，而 DSRC 需要大量的路側設備。

2.1.2 自動車輛分類系統(AVC)

自動車輛分類系統是可分辨通過收費站車輛的不同車種，不同的車輛有不同的收費標準，利用各種不同的感應器來偵測出其載重、車型等，如小型車、大型車、貨車等，以便能確實收取適當的通行費。一般建置如軸測器、動態地磅、光柵等，以分辨車輛的軸數、重量與通過的車輛數等。國內系統則是使用影像辨識的方式來判斷車型。

2.1.3 影像執法系統(VES)

影像執法系統是使用攝影機拍攝並且利用影像處理技術，針對未申裝車內設備單元或因其餘原因造成未成功付費的車輛，拍攝其車牌並自動辨識車牌號碼，提供政府或相關單位進行取締及收費的工作，可大量節省人力與成本。其系統之關鍵技術在於光學字體辨識（Optical character recognition, OCR），能夠從影像中辨別出文字及數字，但容易受到部份非技術性的影響，如車牌損毀、車牌不潔及位置異常等狀況。

2.2 國外電子收費系統概述

最早使用電子收費系統之國家為挪威，挪威於 1987 年啟用，近年來隨著技術的成熟，電子收費慢慢的在許多國家取代人工收費，本節將就各國推動道路電子收費系統之經驗及歷程，依序說明分析。

2.2.1 歐洲地區

(1) 挪威－AutoPASS系統

挪威卑爾根市於1986年實施道路收費，其後奧斯陸與特隆赫姆等二市也分別於1990年跟進。卑爾根市之系統為人工收費車道，奧斯陸與特隆赫姆之收費系統則包含了人工與電子收費車道。奧斯陸與特隆赫姆之收費系統通訊技術是採 845 MHz的通訊頻率，加上1990年所建置之電子收費技術設施老舊及功能有限，與歐盟所訂新的DSRC 標準(5.8 GHz系統)不相容，故於1999年推動更新該系統計畫，稱為AutoPASS，透過同一個車內單元設備能使用全挪威的道路電子系統，並統一全國的收費費率。

(2) 德國－Toll Collect系統

由於德國之高速公路系統過於複雜(長度約13000公里，共3000路段)，難以適用傳統電子收費系統收費，再加上交通流量高，德國交通部評估規劃、建造及操作適用之電子收費系統以取代以往之Euro vignette(通行證)，並採用人工票務及GPS-GSM為基礎之自動系統等雙系統，並讓偶爾使用道路之駕駛亦可使用，且可與鄰近國家之收費系統相容。德國之Toll Collect系統於2000年7月開始進行招標，首批車輛所需裝載之車內設備單元於2001年1月開始裝設，用路人需先支付500歐元，但可抵作通行費；預估到達經濟規模後，車內設備單元的價格可降到200歐元。

以GPS-GSM為基礎之電子收費系統為一較新式之付費方式。此模式須於車上裝設OBU，其主要之配件為一應用GPS之導航系統(由地圖對應技術支援，在GPS無法涵蓋之區域則採特定短距通訊方式定位)以及一只GSM通信設備。OBU可偵測車輛所在路段、計算收費，並在儲存量滿載時傳送至收費中心。

2.2.2 美洲地區

(1) 美國加州橘郡－FasTrak系統

美國加州橘郡(Orange County)91號公路位於加州南部，為連接Orange及Riverside兩郡間之高速公路，為一雙向八車道之道路，尖峰時

端每車延滯約為20至40分鐘，為解決此問題，將91號公路之中央分隔帶增建為雙向二車道之自動電子收費道路，屬於主線多車道收費系統，並於1995年通車。

此系統之通訊方式為採用902-925MHz之微波通訊技術，車輛須裝設車內設備單元方可使用此電子收費公路，在流量上，此系統可達到每車道 2500 輛/小時，且自動車輛辨識之精確度可達至 99.9 %。系統已納入擁擠費之概念，通行費率依不同車重急時段亦有所不同，通行費為0.75美元至3.5美元。系統開通後，下午尖峰時段之延滯時間由每旅次30至40分鐘降低至每旅次8分鐘。

(2) 美國紐約—E-Z pass系統

紐約都會區之E-Z pass計畫主要使用於紐約都會區之橋樑、隧道及高速公路之收費站，E-Z pass系統設置多種不同收費方式之車道供用路人使用，包含E-Zpass 專用車道、E-Zpass 與投幣兩用車道，E-Zpass 與現金專用車道、不找零車道及混用車道，另最內側兩車道亦規劃為調撥車道，供上下班尖峰時刻調度使用。目前E-Z pass系統已成為美國最多應用的收費系統。根據統計，E-Z pass系統之市佔率達45%，交易金額達70%以上，為美國最大的電子收費系統。

(3) 加拿大多倫多—407 ETR計畫

加拿大為了解決通過多倫多都會區及401號道路之車流所產生之道路擁擠問題，於1993年興建407號高速通路，於1998年9月全線完工，全數車道均裝設多車道電子收費設備，無人工收費車道，透過車內設備單元進行扣款，採計程收費方式，並依車種及時段之不同收取不同費用。

407 ETR計畫之通訊方式是以 900 MHz 為通訊頻率，車輛偵測與分類則採用雷射式偵測器，車輛能以正常速度行駛，無車內設備單元者亦能使用該公路，由影像辨識系統紀錄車牌，事後郵寄帳單。使用情形部分，目前約有65%之車輛已安裝車內設備單元，該系統為鼓勵民眾申裝車內設備單元，對於未裝設者，每旅次額外收取2加幣之影像處理費，大於5噸之車輛，加收25加幣之費用。

2.2.3 澳洲地區


(1) 澳洲墨爾本—City Link計畫

墨爾本市為改善進出市中心區道路交通之擁擠狀況，而提出 MCL (Melbourne City Link) 之計畫，採用BOT方式配合民間參與進行建置。MCL 為一長22 公里之電子收費公路，其連接了墨爾本市三條主要高速公路，分為南段及西段二個系統，該道路於1999 年通車，於 2000 年收費，並於 12 月全面營運。

MCL採用主線多車道收費系統，用路人可以正常駕駛之方式通過，扣款方式依照不同車種進行收費，不考慮旅行距離，並訂有收費上限。電子收費技術採用 SAAB / Combitech 的 PREMID 系統，通信技術為 5.8 GHz 微波的特定短距通訊方式。目前每日交易次數約為 65萬車次。

2.2.4 亞洲地區

(1) 新加坡—ERP系統



ERP計畫配合原本之道路擁擠費計畫，將原有之人工收費方式改為電子收費方式，車輛必須完成車內單元設備之裝設才可使用，收費對象包含所有車輛，依照不同車種及時段收取不同費率，透過車內設備單元扣取通行費，採用多車道的收費系統，利用一跨軌式框架構成之收費站，各種車輛可同時通過收費區，屬於主線多車道收費系統。通訊方式使用2.54GHz微波通訊技術，扣款時並利用影像辨識執法系統進行車輛辨識，車內智慧卡可記錄使用者之帳目資訊包含金額、交易紀錄等。此計畫自1998年9月正式營運以來，目前新加坡已有97%的車輛裝設車內設備單元。

(2) 日本

日本曾對於本身之高快速道路產生交通擁塞之原因進行分析，研究發現約有三分之一來自於收費方式的問題，由於日本之高快速道路系統分屬四個不同組織所管轄，收費方式也分為單一費率之主線收費方式以及里程收費之匝道收費方式兩種，管理上較不便。日本政府於1994年開始進行ETC系統之發展，目的為發展全國統一之收費方式，並解決主線收費之交通延遲，以及匝道收費影響都會區交通情況之狀況。

日本於1997年開始進行測試，最後於2000年由東京都會區開始進行部分收費道路之建置於營運，採用5.8 GHz之DSRC規格，目前之發展狀況如同當地政府所預期並順利改善其原先之交通擁擠問題。

(3) 馬來西亞－SmarTAG系統

馬來西亞原先之收費方式包含開放式主線收費及封閉式匝道收費兩種，採用人工收費方式，由政府與民間合作採BOT方式建置，由民間負責營運，在交通量逐漸增加之情形下，收費站路段之車流量大導致擁塞現象發生，馬來西亞政府故於1995年開始建置ETC收費系統，共有五條高速公路及橋梁設置ETC系統，但分屬不同公司，故導致通訊技術及收費方式皆不相同，各系統間亦不相容，造成用路人使用上之不便，因此馬來西亞政府於1998年7月起規定與實施不論在哪一電子收費區，需裝設至少一車道之統一規格系統，此系統之名稱為SmarTAG系統，採用紅外線之DSRC技術。

(4) 香港－ERP計畫

香港政府於1997年委託顧問公司進行電子道路收費(ERP)之可行性研究，研究目的為探討香港實施ERP之可行性，評估是否需要採用該系統來達到交通之改善，包含ERP之主要元素、成本效益、影響、系統技術及公眾接受程度等。並於1998年進行DSRC及VPS之系統測試，測試結果為DSRC及VPS系統皆適用於香港之ERP系統，其中VPS具有較好之適應能力及靈活度為較佳之選擇。

根據香港運輸署對於ERP效益評估之研究報告，如實施此計畫，收費區之車流量可減少5%至36%，搭乘大眾運輸往返收費區之民眾人數會增加1%至15%。計畫實施後可使民眾在時間、燃油費、汽車維修成本方面產生效益，但此計畫於2001年4月遭到擱置，政府宣布根據未來十年內之估計，平均車速不會有嚴重惡化，並且將有多項措施改善空氣品質，故未來十年內不會實施該計畫。

2.3 台灣地區電子收費系統建置

台灣地區電子收費系統是一完整的電子收費系統，包含前端的電子、自動車輛辨識、影像執法系統及後端之收費帳務服務系統等，其中

台灣地區電子收費系統之通訊技術採用紅外線技術。

使用電子收費系統需要申購 e 通機 (ETC 讀卡機) 及 e 通卡 (ETC 卡), e 通機為安裝於車上的通訊設備, 為先前所提及之 OBU。e 通卡可分為兩種, 一種為使用 ETC 之專用卡, 只能用來支付高速公路通行費, 儲值後即可使用; 另一種為整合型之智慧卡, 除可用來支付通行費外, 亦有電子錢包及一般信用卡功能等。目前台灣地區電子收費系統之相關設備由遠通電收獨家提供。

圖 2.1 為台灣地區電子收費系統之示意圖, 車輛通過時之大致之扣款流程如下列說明:

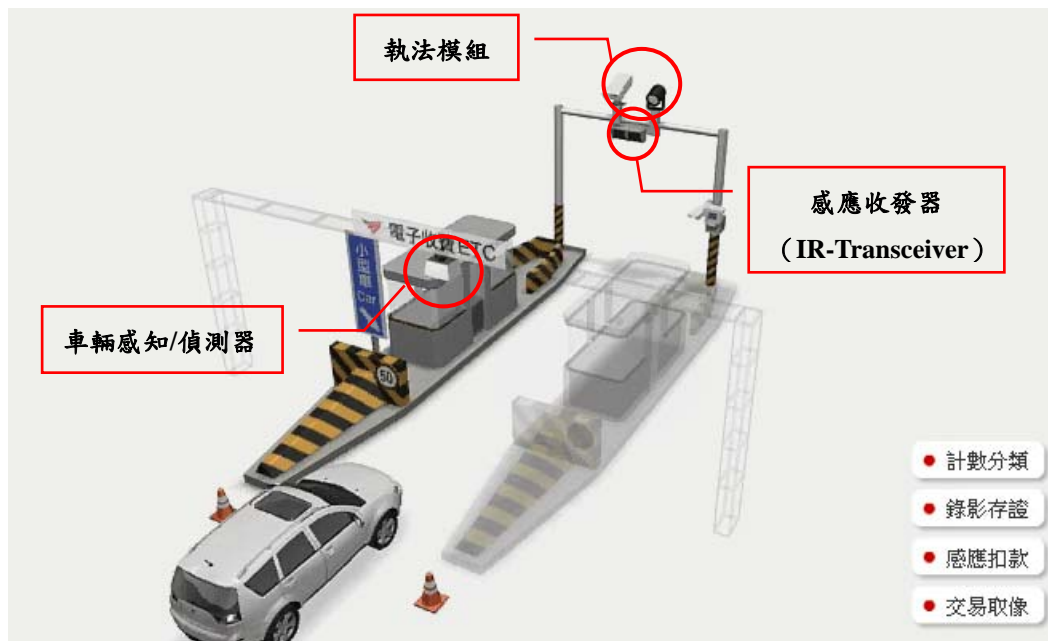


圖 2.1 台灣地區電子收費系統示意圖

資料來源: 遠通電收 <http://www.fetc.net.tw/>

- (1) 車輛進入電子收費系統感應區, 透過感應收發器喚醒車上之 OBU。
- (2) 通過車輛感知/偵測器, 雷射區域之涵蓋範圍為整個車道, 進行車種辨識, 以便收費。
- (3) 執法模組使用照相機配合拍照, 辨識系統完成車型辨識。
- (4) 車輛通過交易區, 感應收發器進行扣款動作, 車輛通過收費站。

2.4 國內外電子收費系統相關研究

林繼國、邱裕鈞與陳佩棻[民 91]研究高速公路匝道收費系統之通行費率研擬，以通行費總收入固定不變及償本原則兩種情境，分別試算各種收費方式之通行費率。在通行費總收入固定之情境中，不考慮成本回收，以高速公路旅次起迄型態，進行通行費試算，以掌握不同收費方式通行費之變化趨勢；而償本原則之情境，即考量高速公路交通量未來三十年之成長及高速公路未來三十年各項成本與其他收入之分類與變化，進行通行費試算，以作為未來費率研訂之參考。最後針對各種收費方式進行公平性分析。據研究結果顯示，以匝道閉闔式（里程費率）較現行之主線欄柵式（計次收費）為佳，但費率下降的幅度有限，然而在公平性與交通資訊之蒐集方面則有所助益。

交通部運輸研究所[民 92]在先進交通管理資訊系統規劃、設計與設置準則研究中，提及收費區位之替選方案主要由收費位置之基本類型所衍生出來，各種收費方案可依使用者付費、里程計費、免費通行比例、抑制短程交通、疏解短程交通、用地取得成本、建造成本、主線上之延滯成本、擴/增建收費站困難度、對主線交通之衝擊、對地區交通之衝擊及管理困難度等方面作定性比較。

陳榮明、張淑娟、沈瑄瑄[民 92]針對高速公路未來若採匝道收費對於都會區交通之影響進行研究；研究假設高速公路採用匝道收費對用路人運具之使用行為不變，僅與路徑選擇相關產生的交通影響，並以台北市為例。依國外實施匝道收費之研究，此種收費方式會轉移管制範圍內約 40%的交通旅次至非收費的道路，而對於國內高速公路未來若將現行主線人工收費改為匝道收費下，初估其於交通尖峰小時將有 4,255 輛之車旅次會移轉到台北市市區道路，並提出相對應之配套措施。

張學孔等人[民 93]針對主線門架式高速公路電子收費之用路人車道選擇模式，建立了成本效益評估的分析架構，並且使用此架構建議自動收費時車道的配置數量，研究認為一般用路人選擇使用電子收費之影響因素包含通過收費站時間、OBU 安裝成本、用路人所得及各收費方式車道數等有關。最後並發現，當電子收費車道擁擠增加時，有部份裝置電子收費之車輛會改以人工收費車道通過，故電子收費車道需經由合理規劃以進行車道配置。

戴怡芸[民 93] 為了瞭解在 ETC 促銷活動策略之下，小型車用路人對於 ETC 的需求變化，利用問卷調查取得所需要的訊息，利用分析與控制原理運用在運輸市場佔有率的控制上。收集之資料包括民眾使用高速公路的習慣及付費方式、通行費率的變動、車內設備單元價格的可接受程度及使用 ETC 的意願，求得 ETC 需求函數，即為價格與數量之關係曲線。研究中亦納入民眾不使用 ETC 之原因進行探討。研究發現費率、時間節省、車內設備單元成本、個人偏好、所得等因素皆會影響用路人之意願。

蔡甲申[民 94]針對我國電子收費系統之計次與計程兩階段收費方式進行研究，該研究認為無論在哪一個階段，用路人對於車內設備單元之接受程度為影響電子收費系統營運成敗之關鍵因素，故利用敘述性偏好法設計問卷，建構用路人對於車內設備單元之選擇行為模式，在不同階段進行不同之情境假設，分析出在計次與計程兩階段會顯著影響消費者對於車內設備單元選擇行為之變數。研究結果顯示在計次收費階段，車內設備單元之安全性、通過收費站可節省時間、購置費用、產品可使用年限、用路人使用高速公路頻率、每月平均所得及教育程度為顯著之影響變數；在計程收費階段，購置費用、租用車內設備單元之租金、租用車內設備單元之保證金、產品可使用年限、用路人使用高速公路頻率及每月平均所得為顯著之影響變數。

陳敦基、曾淑玲[民 94]進行國道高速公路通行費之收費制度之探討，並研擬短、中、長期的費率調整模式，依據運輸效率性、社會公平性、財政平衡性及推動可行性等原則研擬通行費調整模式，進而採用層級分析法（AHP）進行模式之評選。

黃上原[民 95]從消費者特性、新產品特性及環境因素三方面來探討影響消費者對於台灣地區電子收費系統之使用意願，並透過結構方程模式(Structural Equation Modeling, SEM)驗證研究假設，研究結果顯示產品特性及環境因素對使用意願有正向影響，而消費者特性對使用意願並無顯著影響。

何基鼎[民 95]使用行為理論作為研究民眾對於申裝電子收費系統影響因素之理論基礎，配合「創新擴散理論」、「知覺風險理論」及「程序公平理論」，研究民眾認知使用電子收費系統的「相對優勢」、「知覺易用

性」與「程序公平」是否影響民眾的「態度」及「行為意向」；民眾使用電子收費系統可能的「財務風險」與「績效風險」是否影響民眾的「態度」及「行為意向」等等，最後結果發現「態度」、「主觀規範」、「知覺行為控制」、「知覺風險」為民眾使用電子收費系統「行為意向」之影響因素，而「程序公平」為影響「態度」對「行為意向」之調節因素。

張學孔[民 95]評估台灣地區公共運輸運用先進技術提昇系統服務績效的現況，並分析智慧型運輸系統運用於公共設施的技術及潛在效益，並以層級分析法為評估方法，考慮各項 ITS 子系統的效益與限制。

交通部運輸研究所曾對運輸業者進行車內設備單元需求調查，運輸業者對車內設備單元在短程（未來五年內）可接受價格為 2,000~4,000 元，而在中長程（未來五到十年內）可接受價格為 1,000 元。

Parish[1994]針對電子收費系統、蜂巢式網路及自動車輛辨識/定位進行市場調查，在電子收費系統方面，發現不同層級之消費者有不同的需求，而消費者願意支付一定的金錢來節省時間，但是必須注意過度承諾，產品必須符合消費者之預期。

AI-Deek 等人 [1997]使用美國奧蘭多市為例探討使用電子收費系統之營運優勢，收集服務時間、到達時間與離開時間等資料，比較系統使用前與系統使用後的結果，研究顯示使用電子收費車道之車輛之服務時間每輛車可減少約 5 秒，最大等候延遲每輛車可減少 2.5 至 3 秒等，使用電子收費系統及一般收費之混合車道則沒有顯著的改善。

Ogden[2001]探討個人隱私權在電子收費中的議題。該研究認為電子牌照具有唯一性，透過電子牌照可收集到用路人的旅運行為資料，若將這些資料加以整理分析，則可能會對個人隱私權造成危害。另外，研究中亦探討執法單位是否有權取得用路人牌照攝影的結果等執法議題，以及個人資料安全性等相關問題。

Levinson 與 Chang[2003]探討 ETC 車道最佳的配置方式以及建構社會福利最大的模式，並進行敏感度分析。該研究認為用路人對於電子收費之接受度與個人的社經特性、人口統計特性及地理特性有關。在建構車道選擇模式方面，該研究把通行費率、通過收費站時間當共生變數，而把車內設備單元取得成本、使用收費站的頻率、不需要準備回數票與

零錢的便利性、車內設備單元的延伸功能等當成因素方案特定變數進行模式建構。

Teruaki 與 Tomoyuki[2005]以日本為對象，使用模擬方式針對電子收費系統於收費站可能遭遇的問題提供解決方式，並應用實際資料於模式中，此研究最後提出兩種方法，一為閘門管理(gate management)，結合電子收費及一般收費之收費閘門，找出閘門轉換的最佳時間，另一為收費站的重新設計(layout redesign)，使收費站達到最佳使用配置，有效減少擁擠現象。

Chen 與 Fan 等人[2007]使用科技接受模型(TAM)及行為理論(TPB)預測台灣地區電子收費系統之接受度，針對未申裝電子收費系統之使用者進行問卷調查，研究結果發現系統屬性、知覺感知之可用性及易用性等對於使用者有較高的吸引力。

回顧台灣地區電子收費系統之相關研究之文獻，發現多數研究之進行時間為民國 95 年前，研究內容大多針對電子收費系統之選擇行為。由於當時電子收費系統並未開通，大多使用情境假設或模擬方式進行研究，且當時大多數民眾並未充分了解電子收費系統之相關資訊。

目前台灣地區電子收費系統已開通一段時間，但仍有許多民眾未申裝，過去研究之情境假設或模擬方法可能較不適用於目前電子收費系統之研究。其研究之對象具有以下特性：

- (1) 電子收費系統已施行一段時間，民眾對於相關資訊已有足夠的瞭解。
- (2) 先前研究雖以提出對於選擇電子收費系統之影響因素，但無法得知目前之實際使用族群是否有相同特性。
- (3) 目前收費方式採人工收費與電子收費並行，對象包含申裝與未申裝之民眾，針對未申裝之民眾，無法得知何時會申裝。

根據以上特性，發現存活分析具有可處理不完整資料之特性，適合本研究之問題，故選擇存活分析做為研究之方法，透過存活分析，亦可對於研究之問題帶來許多幫助，包含下列幾點：

- (1) 對於收集之不完整的資料，可納入統計分析，有效防止部份資料無法分析之問題，減少資料之偏誤。

- (2) 可知在不同時間下之累積使用率及其趨勢，觀察使用者在各時點之申裝電子收費系統使用率的變化。
- (3) 分析出目前電子收費系統使用率之中位壽命等資料。
- (4) 存活分析於運輸領域中之應用慢慢增加，透過本研究，可在 ITS 領域之應用有所貢獻。
- (5) 透過收集存活時間之長短，也可有效分析出目前高速公路電子收費系統之主要使用族群。

綜合以上之文獻回顧、資料與存活分析方法之特性，可知大部分相關研究使用之研究方法較不適用於目前實際使用狀況，透過存活分析之特性，配合本研究欲探討之問題特性，可有效分析出目前台灣地區電子收費系統使用之主要族群，且透過分析結果可提供政府或相關營運單位有效之策略建議。

2.5 存活分析法之相關研究

Hensher 與 Mannering[1994]提出存活理論在運輸領域上之應用，由於在運輸領域中，有許多與時間因子相關的研究；舉例而言，如汽機車使用年限、旅行者使用新運輸模式之平均時間等，而 Cox 針對存活分析法提出的 Hazard-Based duration model [30]，已經在其他領域，如醫學、生物等廣泛運用。此文章將 Cox 之 Hazard-Based duration model 作一介紹，說明設限資料、危險函數及存活函數之意義，及其數學模式及資料結構，配合機率分配模型進行解釋，亦探討其異質性及狀態依賴性之不同情況；證明其在運輸領域中之適用性，並且對先前運輸領域中應用存活分析法之相關研究進行回顧與探討。

Doohee 與 Mannering[1998]使用華盛頓州 1994 年及 1995 年之高速公路事故的資料進行分析，使用 Hazard based duration models 來分析；且利用概似比檢定(Likelihood ratio test)來分析事故處理時間之穩定性，針對 detection/report- ing time、response time 及 clearance time 三方向進行討論，分析出此三方向各自對於事故處理時間的影響因子。

Debbie 與 June[1996]利用存活分析，研究男性及女性之旅次產生持續時間，調查包含家戶相關之活動、私人商務活動及休閒時間活動等，

研究結果發現，女性在家戶相關之活動上花費的時間比男性長約 1.32 倍，且女性花費在家戶相關活動上的時間大多與工作旅次相結合。

張新立、葉祖宏[民 94]使用存活分析法進行機車持有年限之研究，結合交通部統計處之調查樣本及監理車籍資料設計研究方法，取得機車持有期間之相關資料；利用存活分析法探討機車持有之存活時間，並進一步討論影響持有行為結束之危險因子之間的關聯性。此研究以 Cox 迴歸模式建構機車持有年限與相關解釋變數間之存活模式，且由於車主終止持有之事件分為報廢及過戶兩類，報廢往往表示機車已不堪使用，而過戶則代表機車本身仍有其殘餘價值可供利用，而這兩種不同之風險原因所造成的結束持有，可能有不一樣的解釋因子及不同之影響力，故利用競爭風險(competing risk)存活模式加以探討。分別進行單一事件與競爭風險之參數校估。

林志棟、姚志廷[民 94]提出鋪面養護決策支援分析模式之研究，道路鋪面完工後，其使用年限與設計年限實際上並不相同，所以在決定進行路面養護時，利用有效的使用年限扣除目前壽命，來評估路面的殘餘壽命，是非常重要的。此研究以存活分析法對研究對象進行 Kaplan-Meier 存活分析，再利用 Cox 迴歸分析探討影響鋪面存活函數差異之因子，並分析結果。針對影響道路鋪面存活率之危險因子如交通量、道路幾何等因子進行討論，最後利用中位存活時間來推估劣化趨勢，除正確推估有效使用期限外，可對於鋪面劣化的趨勢有所掌握。

Chang 與 Yeh[2006]年基於老舊的運輸工具可能導致空氣汙染排放物的增加，結合了機車使用年限之調查，配合台灣監理單位，主要研究機車報廢時的使用年限與機車定期檢驗與維護計畫 (inspection and maintenance program ; I/M Program) 之關係。國內外許多研究都曾經證明不論是汽車或機車，排放物確實與使用年限有高度的相關性，原因可能來自於缺乏維護或是機車生產當時的科技發展程度。且排放量較大之機車能夠很容易的鑑別出來，但是實際上地區性的檢驗與維護政策對於機車使用年限是有一定的影響的。因此研究中透過檢驗率、CO 排放量、HC 排放量等因子來探討兩者之間的關係。訂定出五個衡量指標並使用 Cox 迴歸模式進行分析。

Chang 與 Yeh[2008]年針對台灣地區青少年無照騎乘機車之年齡與其

他影響因子進行分析與研究。採取追溯式的研究方法，調查對象為高中學生，利用問卷，調查性別、學校型態(如：高中、高職、專科等)、年齡、是否為單親家庭、家中擁有幾部機車以及是否騎乘過機車，若有則加以說明當時就讀於國小、國中或是其他階段及當時之年齡。事件定義為無照騎乘機車，而 duration 則為從出生到第一次發生無照駕駛的時間，設限資料則代表，到現在為止（當時年齡）從為無照騎乘機車的時間；並利用問卷之結果構建 Cox 之迴歸模型，並且進行分析。研究中為了比較不同階段的起始年齡，利用修正過之存活曲線加以分析，將資料分為三部分，包含年齡 14 歲以下、16 歲以下及 18 歲以下，分別再針對先前的影響因子作分析；並且計算出 Median age。研究結果顯示，設限資料之比例為 47.8%，代表有超過一半的樣本資料有無照騎乘機車之經驗；包含就讀職業學校之學生、男性、家裡沒有機車者危險率較高，學生若與雙親同住及父母採取較嚴格教育者、居住於大台北地區者及大眾運輸較為發達之城市，危險率會降低。

Jie Lin 等人[2008]針對北美伊利諾州政府提出的車輛汰舊計畫與長期對排放量的影響進行分析，使用存活模式進行分析，包含時間相依變數如：車輛年齡及汽油價格等，研究結果發現，此車輛汰舊計畫，短期而言對於排放量的效益是有的，但是長期而言，對於排放量效益則高度取決於經濟因素，如：汽油價格的波動。

後續將針對本研究使用之研究方法-存活分析法之數學模式以及本研究之問題定義，進行說明。

三、 研究方法

3.1 存活分析之原理與特色

存活分析法一開始主要應用於醫學領域，用來分析如癌症病人之存活時間，比較兩組使用不同藥物病患之存活率，但目前以廣泛發展在各種領域上，如：違約風險計算、產品功能持續時間...等等。於運輸領域上，亦可應用於如汽機車使用年限、鋪面養護決策、事故處理時間...等。

存活分析又稱為事件-時間分析 (time-event analysis)，是用來研究或分析樣本所觀察到的某一段時間長度之分配的方法，一段時間長度通常是從一特定事件 (event) 起始之起始時間點算起，計算到某一特定事件發生的時間點為止，在經過此特定時間後，會發生某種特定事件的機率，通常稱此特定時間為事件時間或存活時間 (survival time)，若發生特定事件則稱為失敗 (failure)。事件時間之資料常存在於不同領域中，最常見的為在醫學或流行病學常以死亡、疾病發生、疾病復發代表特定事件；反之若在特定時間上並未發生特定事件則稱為設限 (censored)；另外也出現於工程學中之產品可靠度分析、商業研究中之客戶忠誠度、企業存活時間、經濟學上之失業時間及再就業時間等等。由上述說明可發現，存活時間是存活分析中最主要的分析變數，因此定義存活時間時，必須要有以下三項基本要求：

- (1) 明確定義存活時間測量的起點 (start time)
- (2) 明確定義存活時間測量的終點，亦即失敗事件 (event)
- (3) 定義存活時間之量測單位

在收集存活時間時，並非所有觀察對象都可以收集到完整的資料，或追蹤足夠長的時間，針對這些不完整的資料，稱為設限資料，例如：針對病人進行癌症復發時間之研究，但在實驗結束時，部分觀察對象並未發生復發的情形，但在研究結束之後仍可能復發。設限資料為存活分析中考量之關鍵問題，資料對於存活時間僅提供部份資訊，但是透過存活分析，即可將這些擁有不完整資訊的設限資料有用的部份納入分析，避免刪除不完整資料時發生的偏誤現象，一般而言產生設限資料的原因大致包含下列三點，設限資料之示意圖如圖 3.1 所示，個體 A、C 及 E 為設限資料之範例，個體 B 及 D 為完整資料之範例。

- (1) 研究結束時，個體未發生失敗事件。(圖 3.1 之 A 個體)
- (2) 研究途中，因為不同原因使得無法繼續追蹤個體。(圖 3.1 之 C 個體)
- (3) 個體於研究期間內脫離。(圖 3.1 之 E 個體)

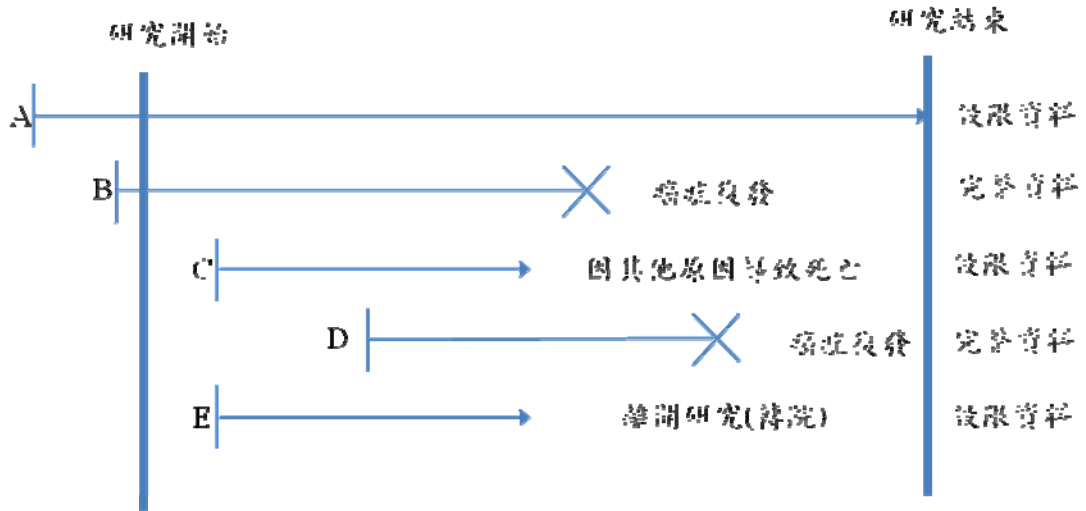


圖 3.1 設限資料示意圖

本研究主要透過資料調查方式，了解目前民眾申裝之情形，將失敗事件定義為已申裝電子收費系統，因此對每一樣本而言，可能產生個體未發生失敗事件情形之設限資料，民眾於進行調查時未申裝電子收費系統，因不同原因無法繼續追蹤以及個體離開之情形造成之設限資料，由於收費方式只有人工及電子收費兩類，並不會產生由於不同原因導致無法追蹤或離開之情形。

下列根據存活時間所構成之存活函數及危險函數等加以定義，假設 T 為某群體中單獨個體之存活時間，其為連續且非負之隨機變數， $f(x)$ 為機率密度函數，則 T 之累積分配函數 (cumulative distribution function) 之機率模式如式(3.1)所示：

$$F(t) = Pr(T \leq t) = \int_0^t f(x) dx, \forall t \geq 0 \quad (3.1)$$

而「個體研究事件存活時間超過某特定時間 t 之機率」即為存活函數 (survival function)，其機率模式如式(3.2)所示：

$$S(t) = Pr(T > t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx, \forall t \geq 0 \quad (3.2)$$

存活函數為一單調遞減的函數且 $S(0) = 1, \lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0$ ，存活曲線下的面積則代表特定事件的平均壽命，如式(3.3)所示：

$$\mu = E(T) = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} S(t)dt \quad (3.3)$$

若對 $F(t)$ 做一階微分，可獲得當個體以時間為軸演變時，在任一個 t 至 $t + \Delta t$ 之時間內，發生死亡機率的大小，以 $f(t)$ 表示，如式(3.4)所示：

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dS(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{Pr(t < T < t + \Delta t)}{\Delta t}, \forall t \geq 0 \quad (3.4)$$

在存活分析中，上述之概念可用另一方式描述，也就是危險函數 (hazard function)。相對於存活函數觀念，危險函數指的是「個體存活的時間至少有 t ($T \geq t$)，但個體在下一瞬間 ($t + \Delta t$) 立即失敗的風險」，也就是瞬間失敗率或稱條件失敗率，危險函數亦可透過機率密度函數及存活函數之計算得到。危險函數如式(3.5)所示：

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Pr(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{S(t)}, \forall t \geq 0 \quad (3.5)$$

由式(3.3)可得 $f(t) = -S'(t)$ ，則式(3.5)可轉換為：

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = -\frac{dS(t)/dt}{S(t)} = -\frac{d \ln S(t)}{dt}, \forall t \geq 0 \quad (3.6)$$

將式(3.6)兩邊同時積分並取指數形式，可得存活函數如式(3.7)所示：

$$\int_0^t h(x)dx = -\ln S(t)$$

$$\Rightarrow S(t) = \exp\left(-\int_0^t h(x)dx\right), \forall t \geq 0 \quad (3.7)$$

則個體在時間點 t 之機率密度函數可得：

$$f(t) = h(t)S(t) = h(t) \exp\left(-\int_0^t h(x)dx\right), \forall t \geq 0 \quad (3.8)$$

一般而言，常見的存活函數推估方法為 1958 年由 Kaplan 與 Meier 提出的 Product-Limit Estimate (或稱為 Kaplan-Meier Estimate) 估計方法，是屬於無母數 (Non-parametric) 的統計分析方法。另外，較常見的危險函數推估方法是為由 Cox 於 1972 年所提出的 Cox 等比率風險模型 (Proportional Hazard Model)，又稱為 Cox 迴歸模型 (Cox's Regression Model)。此兩種模式將於接下來進行詳細介紹。

3.2 Kaplan-Meier Estimate

Kaplan 與 Meier 於 1958 年提出使用無母數的方法來估計存活函數，將個體區分為完整資料與設限資料；在完整資料所觀察到的失敗時間點，可進行該時間點之存活率的估計，對於設限資料所觀察到的設限時間點，因為無法確定其失敗時間，無法針對該設限時間點進行存活率之估計，但仍可提供於估計存活時間長度小於設限時間長度的存活率，可觀察個體在不同存活時間之累積存活率，了解特定事件發生之存活經驗。也就是說，Kaplan-Meier estimate 是以順序統計量為基礎，將失敗時間點排序，利用各時點上的存活機率之乘積來估計下一時點的存活機率，不需要對資料分佈做假設。

Kaplan 與 Meier 的想法為針對每一筆完整資料，計算在該個體存活時間長度之前，有多少個體已經死亡，將仍未死亡之個體放入一集合中，此集合可稱為風險集合 (Risk Set)。自起始時間開始，對應至該完整資料所觀察到的存活時間之存活率，在該個體之存活時間前每一筆完整資料估計而得的存活率乘積 (Product) 估計，延伸至最後一個完整資料，即可得到整體的存活曲線。

若有一組隨機資料為 $(Y_1, \delta_1), (Y_2, \delta_2), \dots, (Y_i, \delta_i), \dots, (Y_n, \delta_n)$ ， Y_i 為觀察到的失敗時間 (t_i) 或設限時間 (C_i)，若個體發生事件則記錄其失敗時間，未發生事件則記錄其設限時間， δ_i 為設限指標：

$$Y_i = \min(t_i, C_i), \quad \delta_i = \begin{cases} 1, & \text{事件發生} \\ 0, & \text{事件未發生} \end{cases}$$

設 k 為相異的失敗時間點，亦即完整資料之發生失敗事件時相異的時間點， $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ ； n 為樣本數， d 為總失敗數，則 $k \leq d \leq n$ 。 n_i 為在 t_i^- 時有失敗風險的人數， d_i 為在 t_i 時失敗的人數， w_i 為 $[t_i, t_{i+1})$ 時設限的人數，則 $n_{i+1} = n_i - d_i - w_i$ 。則存活函數之計算如式(3.9)所示：

$$\begin{aligned} S(t) &= \Pr(T \geq t) = \Pr(T \geq t+1) \\ &= \frac{\Pr(T \geq t+1)}{\Pr(T \geq t)} \times \frac{\Pr(T \geq t)}{\Pr(T \geq t-1)} \times \dots \times \frac{\Pr(T \geq 2)}{\Pr(T \geq 1)} \\ &= \frac{n_i - d_i}{n_i} \times \frac{n_{i-1} - d_{i-1}}{n_{i-1}} \times \dots \times \frac{n_1 - d_1}{n_1} \\ &= \prod_{t_i \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i} \right) \end{aligned} \quad (3.9)$$

3.3 Cox 等比率危險模式

個體之存活時間會受其他風險因子的影響，存活分析常運用危險函數探討特定危險因子或變數與存活時間之關聯性，如果以之為危險率的型態，則可使用指數分配(Exponential distribution)、韋伯分配(Weibull distribution) 或對數常態分配 (Lognormal distribution)來配式模型，但是通常我們並無法確定函數正確的型態，因此可利用 Cox 等比率危險模式 (proportional hazard model) 來建構存活模式。Cox Model 之意義為不同

個體之危險函數是成比例的，在以基準危險函數為基礎下，受對應風險因子間差異的影響，不會隨著時間 t 而產生變化。

Cox 等比率危險模式 (proportional hazard model) 之型態如式(3.10)：

$$h(t|x) = h_0(t) \times e^{\sum_{i=1}^p \beta_i X_i} \quad (3.10)$$

Cox 模式可分為兩部份， $h_0(t)$ 及 $e^{\sum_{i=1}^p \beta_i X_i}$ ，其中 $h_0(t)$ 稱為基準風險率 (baseline hazard rate)，通常在模式中不須指定 $h_0(t)$ 為何種分配；另一部份為 $e^{\sum_{i=1}^p \beta_i X_i}$ ， X_i 為解釋變數， β_i 為對應解釋變數的參數，此部份包含母數性質，所以 Cox 模式為半母數模型 (semi-parametric model)。

Cox 模式之參數校估使用最大概似法 (Maximum Likelihood Method, MLE) 進行校估，其概似函數 (Likelihood function) 如式(3.11)所示：

$$L(\beta, h_0) = \prod_{j=1}^n f(t_j|x_j)^{\delta_j} S(t_j|x_j)^{1-\delta_j} \quad (3.11)$$

其中， δ_j 為指標變數， $\delta_j = 1$ 時代表發生失敗事件，則 $S(t_j|x_j)^{1-\delta_j}$

為 1， $f(t_j|x_j)^{\delta_j}$ 為失敗資料對概似度的貢獻，若 $\delta_j = 0$ 則代表未發生

失敗事件，此筆資料為設限資料 $f(t_j|x_j)^{\delta_j}$ 為 1， $S(t_j|x_j)^{1-\delta_j}$ 為設限資料對概似度的貢獻。

在模式應用上，常利用危險比 (Hazard Ratio, HR) 來比較事件風險之差異性，也就是兩個個體間的相對風險比率，HR 之公式如式(3.12)所示：

$$\frac{h(t|x_1)}{h(t|x_2)} = \frac{h_0(t)e^{\beta'x_1}}{h_0(t)e^{\beta'x_2}} = e^{\beta'(x_1-x_2)} \quad (3.12)$$

可知危險函數之比值與存活時間 t 無關，代表危險函數的比例關係不會受到時間變化的影響而改變，給定 $X=x$ 下，若 X 變數增加一單位，則失敗風險增加的比例為：

$$\frac{h(t|X=x+1)}{h(t|X=x)} = \frac{h_0(t) \times e^{\beta_0 + \beta_1(x+1)}}{h_0(t) \times e^{\beta_0 + \beta_1(x)}} = e^{\beta_1} \quad (3.13)$$

則 $e^{\beta_1} > 1$ 時，表示 X 變數增加一單位，失敗風險會增加；但若 $e^{\beta_1} < 1$ 時，則表示 X 變數增加一單位，失敗風險會降低。

3.4 解釋變數選擇

林建甫[16]認為，在建立 Cox 存活迴歸模型時，利用一般迴歸技巧是很有用的，當研究本身沒有任何事前的統計假設，要從一些解釋變數中取出某些重要之解釋變數時，可利用逐步選取法來進行，逐步選取法可分為以下三種方法：

1. 向前選取法 (Forward Selection Procedure)：

一開始模型中無解釋變數，在每個步驟中，逐步加入變數，此模型選擇之規則為，每次加入一個解釋變數，逐次不斷執行，直至達到特定之停止準則才停止建立模型，某一解釋變數一旦加入模型，就不會再被移除。

2. 向後選取法 (Backward Selection Procedure)：

一開始模型中含有所有的解釋變數，在每個步驟中，逐步移除模型內最不顯著的一個變數，此模型選擇之規則為，每次不斷剔除變數，直到達到特定之停止準則才停止建立模型，某一解釋變數一旦從模型中剔除，就不會再被加入。

3. 逐步選取法 (Stepwise Selection Procedure)：

結合向前選取法及向後選取法的步驟，每個階段中，解釋變數透

過一規則，不是增加就是移除，或是與其他變數交換，直到達到特定之停止準則，才停止建立模型。

本研究變數選擇方面使用逐步迴歸分析中的逐步選取法(Stepwise)，逐步進行至模式中選擇之所有變數均顯著的情形下停止，作為最後選擇之模式。

3.5 概似比檢定

概似比檢定(Likelihood ratio test)主要是用來檢定模式所估計出來的參數 β 是否等於 0 的假說，以確定參數所對應的解釋變數對模式的解釋能力是有貢獻的；假設 Y 代表實際觀察資料， $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ 表解釋變數， $L(\beta : Y)$ 表概似函數或部份概似函數， $\hat{\beta}(Y) = \hat{\beta}$ 為最大概似估計值(maximum likelihood estimator)。則概似比統計量如式(3.14)所示：

$$\chi_{LRT}^2 = -2[\ln L(\beta_0; Y) - \ln L(\hat{\beta}; Y)] \quad (3.14)$$

β_0 表示模式未加入解釋變數之最大概似估計量， $\hat{\beta}$ 模式包含所有解釋變數之最大概似估計量，設共有 k 個參數需估計，若 $\chi_{LRT}^2 > \chi_{\alpha}^2(k)$ ，在顯著水準 α 下，拒絕虛無假設。

3.6 存活分析法應用於本研究之問題定義

以本研究之電子收費系統相關研究而言，失敗事件指的是申裝電子收費系統，故若是在研究期間內發生事件者則可得到存活時間，設限資料則是指研究對象在研究結束時仍舊未申裝電子收費系統者，由於本研究是以問卷方式針對民眾進行相關調查，且台灣地區之收費方式只有人工及電子收費兩類，並不會產生由於不同原因導致無法追蹤或離開之情形。

本研究之存活時間之起點為 95 年 2 月 10 號，也就是高速公路電子收費系統之開通日，而失敗事件為申裝電子收費系統，也就是說，從電

子收費系統開始實施後，經過某特定時間後民眾申裝電子收費系統，則該樣本則稱為失敗資料，此特定時間稱為存活時間；反之，若民眾經過某特定時間後仍未申裝電子收費系統，未發生失敗事件，則該筆樣本稱為設限資料，此特定時間則稱為設限時間。如圖 3.1。

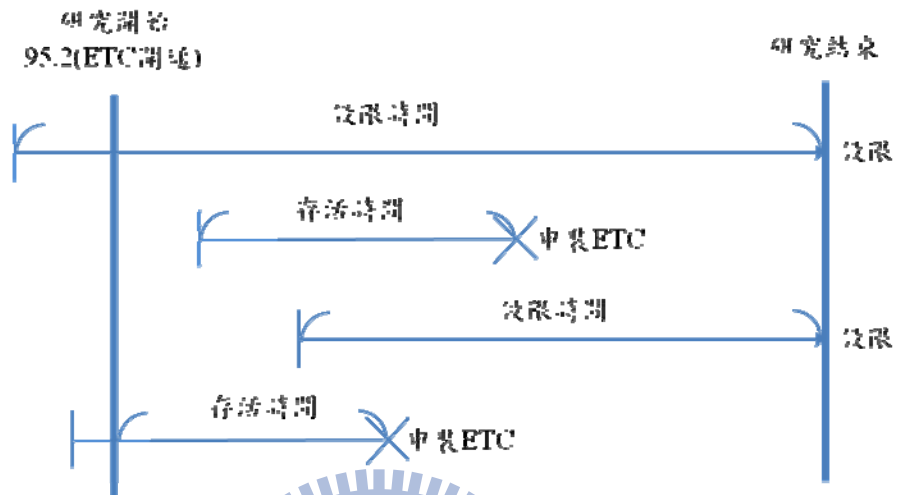


圖 3.2 申裝 ETC 資料示意圖



四、 資料收集

本研究進行問卷調查之目的為收集高速公路用路人對於選擇申裝電子收費系統之相關影響因素與顯著特性。進行問卷設計時，將影響因素大致分為車輛變數、使用者相關變數及旅次特性三類，分別設計適用於存活分析法之各個問題，並利用問卷調查之結果進行後續資料分析。本章將陸續介紹本研究問卷設計之各項解釋變數、調查方式、模式參數之預期及進行受訪者調查資料之基本分析。

4.1 問卷設計與內容

本研究參考部份與電子收費系統使用意願相關之文獻，研擬與使用族群有所關聯之問項，並針對存活分析所必須收集之資料進行問項之設計。問卷之前測採用網路調查方式進行，針對填答困難度及有效度進行問項之修改與刪減。

問卷主要分為三部分，第一部分為探討使用者之車輛相關變數，收集關於車輛本身的相關資訊；第二部分為使用者相關社經變數之收集，根據使用者本身的個人相關資料，觀察是否有特定使用者群組或特定屬性；第三部份則針對使用者之旅次特性進行調查。透過三方面不同面向之調查，分析與申裝電子收費系統之意願是否有顯著之相關性。各屬性的變數說明如下：

1. 車輛屬性變數

- (1) 駕駛之車輛：是否為小型車。
- (2) 車輛是否為營業用：調查使用車輛是否為營業用之車輛。
- (3) 是否申裝電子收費系統：針對申裝電子收費系統者，進而調查其申裝之日期及申裝時之金額等相關資料。
- (4) 使用之回數票價格：用路人通常採取之儲值或購買回數票之金額，一般為單次 40 元，一次儲值或購買 100 張可以一張 38 元之優惠價購得。
- (5) 車輛排氣量：車輛之排氣量為幾 c.c。
- (6) 車種：車輛屬於進口車或國產車。
- (7) 車輛出廠年份：推算車齡

2. 使用者社經變數：
 - (1) 性別
 - (2) 年齡：使用者自行填寫。
 - (3) 教育程度：分為高中職以下及大專以上。
 - (4) 職業：分為學生及無固定工作、軍警公務員及專業人員與工商服務業。
 - (5) 個人平均所得：除學生或無固定收入者，其餘以萬元為單位讓使用者自行填寫。
 - (6) 家戶車輛數：使用者自行填寫。

3. 旅次特性變數：
 - (1) 駕駛高速公路之習慣行車速度：使用者自行填寫。
 - (2) 高速公路使用頻率：平均每個月使用高速公路之次數。
 - (3) 通過之收費站個數：使用高速公路時，平均一趟通過之收費站個數。

旅次特性變數中之高速公路使用頻率及通過收費站之個數等兩變數，為了分析之需要，合併為平均每月經過之收費站個數。

解釋變數中，部份含有時間變動性之變數，如使用者於研究期間內進行電子收費系統之申裝，但是進行問卷調查時仍未申裝，或是所得及職業的變動等，本研究假設受訪者為車輛之主要使用者，受訪者於受訪時之相關資料至研究結束前不會改變。存活模式引用之解釋變數與定義整理如表 4.1：

表 4.1 解釋變數與定義

解釋變數	定義
車輛屬性變數	
使用之回数票價格	40 元為 1；38 元為 0
車輛排氣量(組合 1)	1800~2399 c.c 且不含 2400 c.c 以上為 1；1800c.c 以下為 0
車輛排氣量(組合 2)	2400 c.c 以上為 1；其他為 0
車種	進口車為 1；國產車為 0
車齡	車輛之年齡（歲）

個人社經變數	
性別	男性為 1；女性為 0
年齡	使用者年齡（歲）
教育程度	大專以上為 1；高中職以下為 0
職業（組合 1）	工、商、服務業從業人員且不包含軍警、公務員及專業人員者為 1；其餘為 0
職業（組合 2）	軍警、公務員或專業人員者為 1；其餘為 0
平均所得	每月平均所得（萬）
家戶車輛數	家戶擁有之車輛數（輛）
旅次特性變數	
平均每月經過之收費站個數	個數（個）
駕駛高速公路之習慣行車速度	速度（km/hr）

4.2 問卷調查方式

本研究之調查方式使用面對面調查法(face-to-face interview)，以提高有效問卷之比例。問卷調查之進行於民國 98 年 10 月至 12 月間進行，礙於時間及成本之限制，訪問方式主要針對新竹地區鄰近之國道一號及三號之高速公路服務區進行問卷發放，包含國道一號之湖口、泰安服務區以及國道三號之關西、西湖及清水服務區，以簡單隨機抽樣方式對年滿 18 歲以上之高速公路用路人進行問卷調查。

4.3 解釋變數之預期相關性

回顧使用存活分析之相關研究及文獻[1][8][15]，大部分使用此統計方法進行之研究，研究者會先以主觀方式分析各解釋變數之預期方向性，以便於資料收集分析後，進行比較與討論，本研究亦採用相同方式進行。

表 4.1 為研究中解釋變數之預期相關性，依據本研究之存活時間定義，若使用者已申裝電子收費系統，則代表失敗事件；到研究結束為止，未申裝車上單元設備者，則代表設限資料。表 4.1 中參數預期相關性之符號，”+”號代表此解釋變數對於申裝車上單元設備之意向較高，較容

易發生失敗事件，其存活率較低，”-”號則反之，”？”則代表變數為 0/1 變數或是目前對於此變數之預期無顯著偏向，待資料分析後，續觀察其結果。

(1) 車輛屬性變數

排氣量及車輛出廠年份兩者之預期相關性皆為正號，一般而言，車輛之排氣量較大者，其耗油量相對較大，申裝電子收費系統可減少油耗，估計對於使用者而言會較容易發生失敗事件；在車輛出廠年份部份，目前大部分購置新車時，車輛經銷商大多與遠通電收有相關車上單元設備之優惠專案，故預期較新之車輛，對於申裝電子收費系統之意願較高。

(2) 使用者社經變數

年齡之預期相關性為負號，由於對於新產品之接受度，一般而言，年紀較輕之使用者相對於年齡較高者接受度可能較高；教育程度部份，預期相關性為正號，推測教育程度較高者，對於系統、產品及相關議題之資訊了解程度較高，嘗試使用的意願亦可能偏高；針對所得較高的使用者預測亦為正號，車上單元設備之支出占可支配所得比例低，有較高機率願意申裝。

(3) 旅次特性變數

使用者旅次可能為影響申裝電子收費系統的重要因素，使用高速公路平均每月經過之收費站個數較高者，其參數之預期相關性為正，可能由於個人需求且電子收費系統之方便性較高而有較高意願申裝，發生失敗事件之機率較高；對於習慣行車速度偏高之使用者，其參數之預期相關性為正，推測其對於時間之價值較為在意，其所願意支付的代價相對較大，透過系統能有效節省時間。

表 4.2 解釋變數之預期相關性

解釋變數		參數之預期相關性
車輛屬性變數	使用之回數票價格	?
	車輛排氣量	+
	車種	?
	車輛出廠年份	+
個人社經變數	性別	?
	年齡	-
	教育程度	+
	職業	?
	平均所得	+
	家戶車輛數	?
旅次特性變數	平均每月經過之收費站個數	+
	駕駛高速公路之習慣行車速度	+

4.4 受訪者基本資料分析

本研究調查過程中總計共發放 420 份問卷，扣除不符合之調查對象及不完整問卷等無效問卷共 33 份，有效樣本數為 387 份，樣本回收率為 92%。以下將針對有效樣本中，受訪者車輛屬性變數、個人社經變數之基本資料及使用者屬性等相關變數之統計資料進行簡單分析，並利用社經變數之樣本資料進行母體代表性之檢驗。

(1) 性別

性別	樣本數	問卷百分比	行政院主計處 統計資料
男性	255	66%	70.9%
女性	132	34%	29.1%

(2) 年齡：區分為 19-29 歲、30-39 歲、40-49 歲及 50 歲以上。

年齡	樣本數	問卷百分比	行政院主計處 統計資料
18-29 歲	122	32%	10%
30-39 歲	119	31%	30%
40-49 歲	90	23%	32%
50 歲以上	56	14%	28%

(3) 教育程度：區分為國中小、高中職及大專以上

教育程度	樣本數	問卷百分比	行政院主計處 統計資料
高中職	109	28%	44%
大專以上	278	72%	56%

(4) 所得：區分為四個區間，分別為 2 萬元以下及無固定收入者、2 至 5 萬元、6 至 10 萬元及 10 萬元以上。

所得	樣本數	問卷百分比	行政院主計處 統計資料
2 萬元以下、 無固定收入	91	24%	22%
2-5 萬元	142	37%	56%
5-8 萬元	108	28%	19%
8 萬元以上	46	12%	4%

由以上性別、年齡、教育程度及所得等資料，配合主計處之小型車駕駛人人口統計資料，可發現本研究所收集之樣本資料除教育程度之外大致符合主計處之統計資料，故樣本具有母體代表性。

- (5) 職業：大致區分為三種類，分別為學生、退休或家管人員、從事工商或服務業者以及軍警或專業人員。

職業	樣本數	問卷百分比
學生、退休或家管	94	24%
工、商及服務業	185	48%
軍警及專業人員	108	28%

- (6) 通行費使用之價格：一次購買 100 次可打 95 折，每次之通行費可分為 38 元及 40 元兩種。

儲值價格	樣本數	問卷百分比
38 元	169	44%
40 元	218	56%

- (7) 車輛排氣量：區分為 1799 c.c 以下、1800~2399 c.c 及 2400 c.c 以上三類。

車輛排氣量	樣本數	問卷百分比
~1799 c.c	121	31%
1800~2399 c.c	228	59%
2400 c.c~	38	10%

- (8) 車種：區分為國產車及進口車兩類。

車種	樣本數	問卷百分比
國產車	294	76%
進口車	93	24%

(9) 使用高速公路之頻率：以月為單位，並區分為 0-4 次、5-9 次、10-14 次及 15 次以上四區間。

頻率	樣本數	問卷百分比
0-4 次	255	66%
5-9 次	40	10%
10-14 次	24	6%
15 次以上	68	18%

(10) 來回一趟通過之收費站個數：分為 0 個、1-2 個、3-5 個、6-9 個及 10 個以上五個區間。

收費站	樣本數	問卷百分比
0 個	30	8%
1-2 個	160	41%
3-5 個	105	27%
6-9 個	50	13%
10 個以上	42	11%

五、 資料分析

5.1 Kaplan-Meier 分析

表 5.1 為所有有效樣本之基本資料分析，在所收集之 387 份有效樣本中，有 39 個失敗事件，也就是說，有 98 名使用者已經申裝電子收費系統，設限事件共 289 個，代表共有 289 名使用者截至調查結束為止，仍未申裝電子收費系統，設限比例為 74.68%，整體資料中有 74.68% 的資料是未申裝電子收費系統的。

表 5.1 樣本調查資料基本統計表

已申裝 ETC (N of events)	未申裝 ETC (N of censored)	Percent Censored
98	289	74.68 %
Total : 387		

透過 Kaplan-Meier 之計算結果顯示於圖 5.1，其中橫座標代表存活時間（單位為天），縱座標代表存活函數值，透過存活曲線圖，可以看出不同時間點下之累積存活率與走勢。由圖可看出，一開始曲線之下降幅度較小，代表一開始之使用率呈現緩慢上升的情況，約過了 250 天（約 8 個月）之後，曲線之下降幅度才慢慢變大，代表使用率上升的速度較快。透過存活曲線也可估計平均壽命，依據存活函數中平均壽命的定義計算（式(3.3)），在研究進行之問卷調查期間內（95 年 ETC 開通至 98 年底研究結束），申裝電子收費系統之平均存活時間是 1133.09 天，代表截至調查結束為止，其平均約過了 1133.09 天會進行申裝。

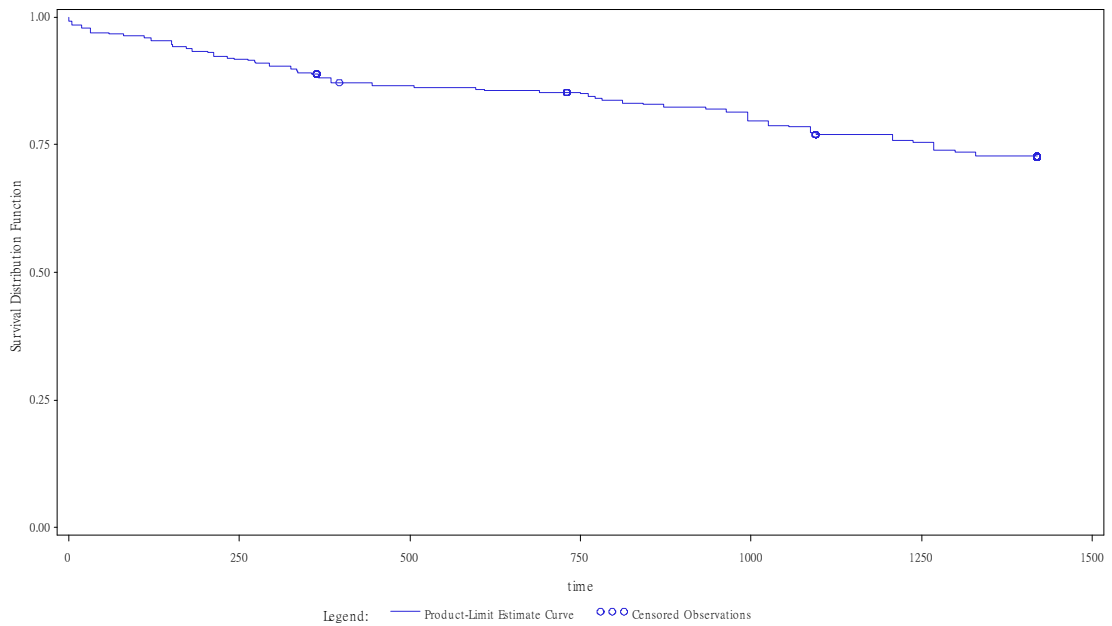


圖 5.1 Kaplan-Meier 存活曲線圖

5.2 Cox 等比率危險模式分析

本研究將分析模式分為模式一及模式二，模式一為包含車輛屬性變數與個人社經變數之模式，模式二則加入旅次特性屬性變數，由於車輛屬性變數及個人屬性變數為較不可變動的，車輛購買時其屬性就已經決定，個人屬性也是固定的，旅次特性變數是變動性較高的，可能會因為工作或是其他目的而影響，透過兩模式，可瞭解旅次特性變數對於申裝電子收費系統之族群是否具有一定程度之影響。

本研究使用 SAS 統計軟體作為存活分析之分析工具，表 5.2 為兩模式之分析結果。模式一及模式二之結果比較如表 5.2 所示，模式一之解釋能力如表 5.2 之結果顯示，概似比統計量 $-2(LL(0) - LL(\beta))$ 為 47.2682 $> \chi^2_{(12,0.05)} (=21.026)$ ，故模式一之所有參數值不全為 0，故整體模式為顯著。模式二之部份，概似比統計量為 82.1280 $> \chi^2_{(14,0.05)} (=23.685)$ ，故模式二之所有參數值不全為 0，故整體模式為顯著。

從結果可發現，加入旅次特性變數之模式二，對於整體模式之顯著性改善具有顯著之效果，故後續分析續以模式二之結果進行整體模式之主要分析，模式二之校估結果如表 5.3 所示。

表 5.2 模式一與模式二之結果比較

Analysis of Maximum Likelihood Estimates				
解釋變數	模式一		模式二	
	β	e^{β}	β	e^{β}
使用之 回數票價格	-0.40497	0.667	-0.38715	0.679
車輛排氣量(中)	0.15759	1.171	0.25220	1.287
車輛排氣量(高)	0.32922	1.390	0.34938	1.418
車種	-0.80414	0.447	-0.67855	0.507
車齡	-0.11514	0.891	-0.08685	0.917
性別	-0.04102	0.960	-0.24182	0.785
年齡	-0.00685	0.993	-0.00436	0.996
教育程度	0.09387	1.098	0.04382	1.045
職業 (類別一)	0.54183	1.719	0.40808	1.504
職業 (類別二)	0.99001	2.691	0.87022	2.387
平均所得	-0.00483	0.995	-0.00463	0.995
家戶車輛數	0.03550	1.036	-0.07524	0.928
習慣 行車速度	—	—	0.06541	1.068
平均每月經過之收 費站個數	—	—	0.00129	1.001
樣本數	387		387	
設限樣本數 (百分比)	289 (74.68%)		289 (74.68%)	
概似比統計量 $-2(LL(0) - LL(\beta))$	47.2682		82.1280	
自由度	12		14	
顯著度	<.0001		<.0001	

表 5.3 參數校估之結果

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
解釋變數	自由度	β 估計值	β 標準誤	卡方值	P值	Hazard Ratio(e^{β})
使用之回數票價格	1	-0.38715	0.21333	3.2936	0.0696*	0.679
車輛排氣量(中)	1	0.25220	0.24650	1.0467	0.3063	1.287
車輛排氣量(高)	1	0.34938	0.43828	0.6355	0.4254	1.418
車種	1	-0.67855	0.31768	4.5622	0.0327**	0.507
車齡	1	-0.08685	0.02960	8.6109	0.0033**	0.917
性別	1	-0.24182	0.22950	1.1102	0.2920	0.785
年齡	1	-0.00436	0.01166	0.1395	0.7087	0.996
教育程度	1	0.04382	0.26761	0.0268	0.8699	1.045
職業(類別一)	1	0.40808	0.31611	1.6666	0.1967	1.504
職業(類別二)	1	0.87022	0.33026	6.9432	0.0084**	2.387
平均所得	1	-0.00463	0.00896	0.2669	0.6054	0.995
家戶車輛數	1	-0.07524	0.10850	0.4809	0.4880	0.928
習慣行車速度	1	0.06541	0.01296	25.4672	<.0001**	1.068
平均每月經過之收費站個數	1	0.00129	0.0004949	6.8003	0.0091**	1.001

註: *在顯著水準 0.1 下顯著之變數; **在顯著水準 0.05 下顯著之變數

參數估計結果如表 5.3，包含解釋變數之參數估計值、標準誤、卡方值、P 值以及涉險比例(Hazard Ratio)，由 P 值之結果可知解釋變數是否顯著，觀察可得顯著之解釋變數，共有六個解釋變數之校估結果為顯著，包含使用之回數票價格、車種、車齡、職業(類別二)、習慣行車速度及

平均每月經過之收費站個數等。

個別參數校估結果之正負向關係與研究假設之預期相關性大多相同，兩者之比較整理如表 5.4 所示，參數校估之正負向關係可由表 5.3 中之 Parameter Estimate(β)估計值得到，由表 5.4 可知，在車輛屬性變數部份，校估結果與參數之預期相關性相符，車輛排氣量為正號，顯示車輛排氣量越大，會使得發生失敗事件之機率增加，排氣量大之車輛，因耗油量相對較大，使用者可能考慮節能而選擇申裝；車齡方面，車輛之年齡越大顯示其發生失敗事件之機率越低，反之我們可得之，車輛越新者發生失敗事件之機率較高，與預期之結果相同，因為 ETC 營運者有與部份車廠進行新車申裝車上設備單元之優惠專案產生效果。

在使用者個人社經變數部份，預期之結果除所得變數外，與校估結果皆為相同，年齡較輕之使用者發生失敗事件之機率較高，在新產品接受度上，年齡較小使用者相對於年齡較大之使用者可能接受度較高，其結果相符；教育程度方面與預期結果相同，教育程度偏高使用者發生失敗事件之機率較高；所得部份，校估結果與預期不同，平均所得較低之使用者發生失敗事件之機率亦較高，原因可能是收集之資料，所得偏高的樣本數偏少所造成。

在旅次特性屬性部份，與預期結果亦完全相符，每月經過之收費站個數較多及行駛時習慣之行車速度偏高的使用者，對於失敗事件都有較高的危險率。

表 5.4 解釋變數之預期相關性與校估結果

解釋變數		參數之預期相關性	校估之結果
車輛屬性 變數	使用之回數票價格	?	—
	車輛排氣量	+	+
	車種	?	—
	車齡	—	—
個人社經 變數	性別	?	—
	年齡	—	—
	教育程度	+	+
	職業	?	+
	平均所得	+	—
	家戶車輛數	?	—
旅次特性 變數	平均每月經過之收費站個數	+	+
	駕駛高速公路之習慣行車速度	+	+

使用逐步選取法進行變數之選擇，最後所選擇之 6 個變數結果如表 5.5 所示，而模型選擇之檢定如下：

$$H_0 : M_6 = M_{14}$$

$$H_1 : M_6 \neq M_{14}$$

$$\text{檢定統計量 } \chi^2 : -2(M_6 - M_{14}) = 9.7218 < \chi^2_{(8,0.05)} = 15.5073$$

檢定結果：不拒絕 H_0 ，選擇過後的模式與原本納入 14 個變數的模式相同有效。

表 5.5 變數選擇後之校估結果

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
解釋變數	自由度	β 估計值	β 標準誤	卡方值	P值	Hazard Ratio(e^β)
使用之回數票價格	1	-0.42946	0.20837	4.2478	0.0393	0.651
車種	1	-0.64807	0.29993	4.6688	0.0307	0.523
車齡	1	-0.09633	0.02877	11.2104	0.0008	0.908
職業 (類別二)	1	0.56487	0.20974	7.2536	0.0071	1.759
習慣行車速度	1	0.06161	0.01217	25.6062	<.0001	1.064
平均每月經過之收費站個數	1	0.00124	0.0004599	7.2430	0.0071	1.001
概似比統計量 $-2(LL(0) - LL(\beta))$				77.2671		
自由度				6		
顯著度				<.0001		

經變數選擇後之參數估計結果如表 5.5，顯著之解釋變數有使用之回數票價格、車種、車齡、職業（類別二）、習慣行車速度及平均每月經過之收費站個數，觀察並分析結果如下：

使用之回數票價格部份，習慣購買 40 元回數票之使用者與習慣購買 38 元回數票之使用者有顯著差異，兩者之危險比為 0.651 ($=e^{-0.42946}$)，亦即在其他條件不變下，習慣購買 40 元回數票之使用者發生失敗事件之機率比起習慣購買 38 元回數票之使用者減少 34.9%，代表習慣購買 38 元回數票之使用者較願意申裝電子收費系統。

車種部份，進口車與國產車對於發生失敗事件有顯著的差異，進口車與國產車之危險比為 0.523，亦即在其他條件不變下，進口車擁有者發生失敗事件之之失敗率比起國產車擁有者減少 47.7%，代表國產車之使用者比進口車之使用者願意申裝電子收費系統。車齡的部份，車齡每增

加一年，失敗率減少 1.92%，車輛之年齡越高，車輛擁有者申裝電子收費系統之機率越低。

職業部份，軍、警、公務員及專業人員發生失敗事件之危險率增加達 175.9%，顯示軍、警、公務員及專業人員之發生失敗事件的危險率高於工、商、服務業人員及退休或家管等人。

在旅次特性屬性部份，在使用者行駛高速公路之習慣行車速度上，速度每增加一公里，其發生失敗事件之危險率增加 6.4%，對於習慣行駛速度偏高之使用者，申裝電子收費系統之機率較高。在平均每月經過之收費站個數上，每增加一個收費站，發生失敗事件之危險率增加 0.1%，代表當使用者經過的收費站越多時，電子收費系統對使用者之吸引力也越大。

5.3 小結

經過 Kaplan-Meier 及 Cox 等比例危險模式之分析，由分析結果可知整體結果之設限率為 74.68%，依調查結果之目前之使用情形約只有 25% 之民眾申裝電子收費系統，大部分民眾仍未申裝，平均存活時間為 1133 天，代表對於申裝之民眾，其平均約在系統開通後 1133 天申裝，由存活曲線亦可看出，一開始之存活率呈現較平緩之曲線下降，直到系統開通二至三年後，存活率呈較為快速之下降，顯示系統剛開通時，民眾對於系統之申裝較有疑慮，直到開通二年後，使用率亦慢慢呈穩定平緩上升之情形。

由 Cox 迴歸模式之結果，可得知使用之回數票價格、車種、車齡、軍警公務員與專業人員、習慣之行車速度及每月平均通過之收費站個數等解釋變數為顯著影響模式之變數。習慣購買 38 元之回數票、國產車、車齡較低、職業為軍警、公務員或專業人員（包含教師、律師或研究員等）者、習慣之行車速度偏高以及每月平均通過之收費站個數較多者，為電子收費系統之主要使用族群。

透過資料分析之結果，已經得到顯著影響電子收費系統之解釋變數以及申裝電子收費系統之主要族群，透過這些結果，可提出對於提高電子收費系統使用率有效之建議，提供 ETC 營運者及政府單位在推動系統上的幫助，後續則為本研究之結論與建議。

六、 結論與建議

本研究為分析目前高速公路電子收費系統之使用族群，首先對於國內外之電子收費系統進行回顧與分析，並研擬適用於調查使用族群與存活分析法之相關問卷問項，將解釋變數分為車輛屬性變數、使用者社經變數及旅次特性變數三類，透過問卷調查之結果，建構存活模式並進行結果分析，根據分析結果，藉以研擬適用於 ETC 營運者之行銷策略，作為 ETC 營運者推動台灣地區電子收費系統之參考。

綜合上述各章節，本研究提出下列之結論與建議。

6.1 結論

1. 存活理論原先為醫學領域中重要的研究方法之一，近年來，有許多領域開始應用此方法進行問題分析，包含如產品使用持續時間、失業情況、企業違約預測及顧客關係管理等等，在運輸領域上也包含如汽機車年限、師故處理時間、肇事分析及新產品上市等，本研究應用於分析電子收費系統之使用族群上，且模式亦適用。
2. 研究結果發現，台灣地區電子收費系統之平均存活時間約為 1133 天左右，且第一年之使用率上升速度比起第二及第三年之上升速度較為平緩。
3. 進行 Cox 等比例危險模式分析時，將分析模式分為模式一（包含車輛屬性個人社經變數）及模式二（模式一加入旅次特性變數），分析結果顯示，模式二之顯著性比模式一來的好，代表旅次特性變數為影響使用族群之重要的因素之一。
4. 分析結果顯示，使用之回數票價格、車種、車齡、軍警公務員與專業人員、習慣之行車速度及每月平均通過之收費站個數等解釋變數為顯著影響使用族群存活模式之變數。
5. 研究結果歸納可知，目前台灣地區電子收費之主要使用族群為習慣購買 38 元回數票之使用者、使用國產車、車齡較低、職業為軍警、公務員或專業人員（包含教師、律師或研究員等）者、習慣之行車速度偏高以及每月平均通過之收費站個數較多者。

6.2 建議

本研究針對台灣地區電子收費系統之使用族群進行分析，並使用運輸領域中漸廣泛應用之存活分析法，進行模式建構與分析，並提出初步之研究結果。然而，研究受限於時間、人力與成本之限制，研究過程中仍有疏漏或是需要補強之處，以下提出對於研究之心得與建議。

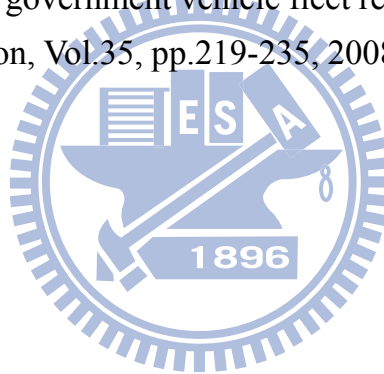
1. 本研究進行問卷調查之高速公路服務區以北部地區為主，但根據許多研究可知，北部地區之使用者對於電子收費系統之接受度普遍高於南部地區之使用者，故建議後續研究可進行台灣地區全區之相關調查，提高研究結果之準確性。
2. 研究無法得知電子收費系統之車內設備單元之成本，但根據結果可知民眾大多會配合促銷活動，並且以較低價格進行申裝，如在符合成本之情形下，降低車內設備單元之價格，為迅速提高使用率的方法之一。
3. ETC 之營運者可配合車廠之新購車輛進行促銷，由於電子收費為未來高速公路主要之收費趨勢，使用者購車時可能會納入考慮，且根據研究結果亦可發現車齡較低之使用者為主要使用族群之要素。
4. 電子收費系統可有效減少旅行時間，在促銷活動方面可以針對有較高時間價值之族群為目標，如：專業人員包含醫師、律師等、中高階經理人等所得高之族群、因工作目的常須往返各地者。
5. 根據政府政策規劃，高速公路收費未來將採計程收費，營運者可針對此類訊息加強民眾對於電子收費系統實用性及必要性之觀念。
6. 本研究於進行問卷之問項研擬時，可能有未考慮到的部分，後續研究可針對車輛屬性、使用者個人屬性、旅次特性屬性部分或其他屬性進行更多探討。
7. 存活理論中亦有復活模型、時間相依模型及加速模型等，後續研究可針對不同之研究問題特性，配合不同之模型進行探討。

參考文獻

1. 中華電信公司研究所，「高速公路自動收費系統研發營運規劃書」，民國八十六年。
2. 林繼國、邱裕鈞、陳佩棻，「高速公路匝道收費系統通行費率之研擬與試算」，交通部運輸研究所運輸經營管理組，民國九十一年。
3. 交通部高速公路局，「民間參與高速公路電子收費系統建置及營運」招商規劃成果報告書，民國九十二年。
4. 陳榮明、張淑娟、沈瑄瑄，「高速公路匝道收費對地區交通之影響—以台北市為例」，中華民國運輸協會第十八屆論文研討會，民國九十二年。
5. 劉士豪，「高速公路電子收費之收費模式研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國九十三年六月。
6. 戴怡芸，「高速公路ETC施行下將區段收費改為里程收費之過度市場調控機制研究」，國立台灣大學土木系研究所碩士論文，民國九十三年六月。
7. 張學孔、賴禎秀、吳清慈，「高速公路電子收費系統之車道配置及其成本效益分析」，運輸計畫季刊，第三十三卷第一期，頁29-58，民國九十三年三月。
8. 陳敦基、曾淑玲，「國道高速公路通行費及徵收方式之檢討」運輸學刊，第十六卷第一期，民國九十四年。
9. 張新立、葉祖宏，「存活分析法應用於機車持有年限之研究」，運輸計畫季刊，第三十四卷，第三期，頁443-468，民國九十四年九月。
10. 林志棟、姚志廷，「鋪面養護決策支援分析模式之研究」，國立中央大學土木工程研究所博士論文，民國九十四年。
11. 遠通電收，<http://www.fetc.net.tw/>。
12. 蔡甲申，「高速公路用路人使用電子收費系統選擇行為之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十四年。
13. 黃上原，「探討影響消費者使用國道電子收費系統意願之因素」，國立成功大學電信管理研究所碩士論文，民國九十四年。
14. 何基鼎，「影響民眾申裝國道電子收費系統行為意向之研究」，國立中央大學資訊管理研究所碩士論文，民國九十五年。
15. 張學孔，「高速公路電子收費系統決策與技術迷思」，台灣營建研究院「營建知訊」三月號，民國九十五年。
16. 林建甫，存活分析，民國九十七年。
17. 蕭羽媛，「存活分析法應用於機車紅燈熄火行為之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國九十八年。

18. AutoPASS Web Site, <http://www.vegvesen.no/autopass/english>.
19. Fela Web site, <http://www.fela.ch/elektronikteleme/en/news/>.
20. 91 Express Lanes Web Site, <http://www.91.expresslanes.com/>.
21. ETTM Web Site, “ETC In Focus: The Port Authority of NY & NJ, Michael Kolb”, <http://www.ettm.com/>”.
22. 407 ETR Web Site, <http://www.407tr.com/>.
23. Horton, J., “Overview of the Highway 407 ETCS”, 5th ITS World Congress, 1998.
24. Kloot, G., “Melbourne’s Arterial Travel Time System”, 6th ITS World Congress, 1999.
25. LTA Web Site, <http://www.lta.gov.sg/erp/>.
26. LTA, “Electronic Road Pricing System”, Land Transport Authority, 1998.
27. Masukata, M., “Electronic Toll Collection System (ETC) of Japan”, 1999.
28. ETTM Web Site, “Malaysia Attempts to Merge Infrared , Microwave and Smart Card Toll Collection”, <http://www.ettm.com/>
29. Hensher, D. A. and Mannering, F. L., “Hazard-Based Duration Models and Their Application to Transport Analysis”, *Transportation Review*, Vol. 14, No. 1, pp.63-82, 1994.
30. Cox, D. R., "Regression Models and Life Tables", *Journal of the Royal Statistical Society Series B34 (2)* pp.187–220, 1972.
31. Thomas R. Parish, “Case Studies of Market Research for Three Transportation Communication Products” ,U.S Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, 1994.
32. Debbie A. Niemeier, P.E & June G. Morita, “Duration of trip-making activities by men and women” , *Transportation*, Vol.23, pp.353-371, 1996.
33. H.M. Al-Deek, Member, ASCE, A.A. Mohamed, and A.E. Radwan, “Operational Benefits of Electronic Toll Collection: Case study” , *Journal of transportation engineering*, November/December, pp.467-477, 1997.
34. Doohee Nam, Fred Mannering, “An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration ” , *Transportation Research Part A*, Vol.34, pp.85-102, 2000.
35. K.W Ogden, “Privacy issues in electronic toll collection.” , *Transportation Research Part C*, Vol.9, pp. 123-134, 2001.
36. Jerald F. Lawless, *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*, 2nd Edition, 2003.

37. David Levinson and Elva Chang, "A model for optimizing electronic toll collection systems." , Transportation Research Part A, Vol.37, pp. 293-314, 2003.
38. Hsin-Li Chang, Tsu-Hung Yeh, "Regional motorcycle age and emissions inspection performance A Cox regression analysis", Transportation Research Part D, Vol.11, pp.324-332, 2006.
39. Teruaki Ito and Tomoyuki Hiramoto, "A general simulator approach to ETC toll traffic congestion", Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 17, Number 5, pp. 597-607, 2006.
40. Chun-Der Chen, Yi-Wen Fan and Cheng-Kiang Farn, "Predicting electronic toll collection service adoption: An integration of the technology acceptance model and the theory of planned behavior", Transportation Research Part C, Vol.15, pp. 300-311, 2006.
41. Jie Lin, Cynthia Chen and Debbie A. Niemeier, "An analysis on long term emission benefits of a government vehicle fleet replacement plan in northern Illinois", Transportation, Vol.35, pp.219-235, 2008.



附錄一

「高速公路電子收費系統使用族群之探討」問卷

調查日期：民國 98 年____月____號

地點：_____休息站

您好，此份問卷主要用來調查高速公路用路人對於國道電子收費系統之使用意願。填答時間約 2 分鐘，您的意見對本研究而言十分重要，懇切的希望能夠獲得您寶貴的建議與看法，問卷之所有內容純為學術研究使用，不對外洩漏，請安心填寫。感謝您的協助，祝您身體健康、順心如意。

國立交通大學運輸科技與管理學系 碩士班
研究生：沈怡如

問卷內容說明

本問卷內容共分為二大部分，請您詳讀每一部分的問題後，在適當的空格內打勾，或在__中填寫適當的數字。

第一部分：

1. 請問您目前駕駛之車輛為
小客車 小貨車 大客車 大貨車 聯結車
 2. 請問您使用之車輛是否為營業用
是 否
 3. 請問您使用之車輛是否有申裝電子收費系統(ETC)
是 否(請至第 4 題，下列問題不需填答)
 - 3.1 電子收費系統於民國 95 年 2 月全面開通，請問您大約於何時申裝
民國__年__月
 - 3.2 申裝時 e 通機之價格為_____元
 - 3.3 申裝系統前最常使用之收費機制為
電子收費 人工回數票收費 人工現金收費
 - 3.4 請問您通常儲值之價錢為
每張 38 元 40 元
- 請至第 6 題**
4. 目前最常使用之收費機制為 (申裝電子收費系統者不需填寫)
人工回數票收費 人工現金收費
 5. 請問您通常購買回數票之價錢為
每張 38 元 40 元
 6. 請問您的車輛排氣量為_____C.C

7. 請問您的車輛屬於
 進口車 國產車
8. 請問您車輛的出廠年份為民國_____年
9. 請問您的車籍位於_____
10. 請問您常行駛之高速公路區域為(可複選)
 北部(苗栗以北) 中部(台中、彰化、南投、雲林)
 南部(嘉義以南) 全省
11. 請問您駕駛於高速公路時，習慣之行車速度大約為_____公里/小時
12. 請問您平均收到之罰單次數為(請依情況選填一個)
 每星期____次 每個月____次 每年____次
 從未收過罰單

第二部分：基本資料

1. 性別	<input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女
2. 年齡	_____歲
3. 開始開車之年齡	_____歲
4. 教育程度	<input type="checkbox"/> 國中及以下 <input type="checkbox"/> 高中、高職 <input type="checkbox"/> 大學、專科及以上
5. 職業	<input type="checkbox"/> 學生 <input type="checkbox"/> 軍警、公務員 <input type="checkbox"/> 工、商、服務業等 <input type="checkbox"/> 專業人員(教師、醫師、律師、研究員...等) <input type="checkbox"/> 退休/家管/待業 <input type="checkbox"/> 其他_____
6. 個人平均所得	每月約_____萬元 <input type="checkbox"/> 學生或無固定收入
7. 家中擁有之車輛數	_____輛
8. 家中有申裝電子收費系統之車輛數	_____輛 (若皆無申裝請填 0)
9. 平均而言，您使用高速公路的頻率為 (請依情況選填一個)	每星期____次 每個月____次 每 年____次
10. 平均而言，您來回一趟會經過幾個收費站	_____個收費站

簡 歷



姓名：沈怡如

籍貫：臺灣省嘉義市

生日：民國75年3月3日

學歷：民國九十九年七月國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班畢業

民國九十七年七月國立交通大學運輸科技與管理學系學士班畢業

電子郵件信箱：ohyadaisy@gmail.com

