

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：董啟崇 博士

應用馬可夫鏈探討駕駛人在車內導引
資訊下之逐點動態路徑選擇行為

Applying Markov Chain to Study the Node-to-Node Dynamic Route
Choice Behavior under the influence of In-Vehicle Guidance

研究生：姜禹辰 撰

中華民國 94 年 7 月

論文名稱：應用馬可夫鏈探討駕駛人在車內導引資訊下之逐點動態路徑選擇行為

頁數 108

校系(所)組別：私立淡江大學

運輸管理學系

運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：九十三學年度第二學期碩士學位論文提要

研究生：姜禹辰

指導教授：董啟崇 博士

論文提要內容：

馬可夫鏈為隨機過程中特殊型態，乃應用於處理動態預測分析，其基本定義包括狀態、轉移機率與轉移矩陣，將隨機過程透過轉移機率從一狀態轉移至另一狀態定義，藉由狀態間之轉移機率構成轉移矩陣，可見應用於許多領域預測分析上，如於路面工程、動態交通量指派等。

在交通資訊影響下駕駛者路徑選擇行為之研究中，過去多以個體選擇模式為基礎，通常以羅吉特模式處理靜態型式問題，或運用普羅比模式處理靜態或動態型式問題。在本研究之前系列研究中以多項式普羅比模式描述駕駛者路徑選擇行為，並定義其行為稱為逐點動態決策行為，即以無異帶的觀念構建，並延伸發展包含路網特性、用路者認路行為與空間能力等進階模式。此系列研究將駕駛者變換行為分為三類基準包括動態路徑基準、習慣（行前）路徑基準與建議路徑基準，並將實驗對象分為高能力與低能力，再依實驗地區分為熟悉與不熟悉地區等，可成功描述駕駛者在全程路徑中連續個別決策點路徑選擇機率，具有相當成果。

檢視逐點動態決策行為乃指駕駛者於整個行程中連續決策點實現路徑變換之動作，其型態表示決策對決策間關係與馬可夫鏈狀態至狀態轉換型式類似，因此描述逐點動態決策行為是否符合馬可夫鏈乃為本研究課題。

本研究以馬可夫鏈探討逐點動態決策行為可分為三階段，第一階段根據馬可夫鏈狀態定義，定義在每一個別決策點駕駛者路徑變換行為屬於馬可夫鏈之狀態，並沿用系列研究之動態模擬器實驗與模式，推算駕駛者於每一個別決策點變換或不變換路徑機率。第二階段定義馬可夫鏈，描述逐點決策狀態，並推算馬可夫鏈轉移機率而構建馬可夫鏈轉移矩陣。第三階段根據所構建之轉移矩陣作馬可夫鏈的假設檢定，以歸納分類出不同類型駕駛者在熟悉與不熟悉地區之決策型態屬於一階馬可夫鏈，最後利用馬可夫加上動態規劃方式構建駕駛者最佳路徑初步模型。

經高能力熟悉、高能力陌生、低能力熟悉與低能力陌生之實驗者所構建轉移矩陣，以馬可夫鏈檢定結果發現，利用動態路徑基準描述此類駕駛者轉移矩陣為佳，因此可說明在動態路徑基準構建前提下，逐點動態決策行為符合馬可夫鏈之型式。

關鍵詞：逐點動態決策行為、馬可夫鏈、轉移機率

Title of Thesis:

Total Pages: 108

Applying Markov Chain to Study the Node-to-Node Dynamic Route Choice Behavior under the influence of In-Vehicle Guidance

Keywords: Node-to-Node Dynamic Route Choice Behavior, Markovian Decision Process, Markov Chain, Transition Probability

Name of Institute:

Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University

Graduate Date: July 2005

Degree Conferred: Master Degree

Name of Student: Yu-Chen Chiang

姜禹辰

Advisor: Dr. Chee-Chung Tong

董啟崇 博士

Abstract:

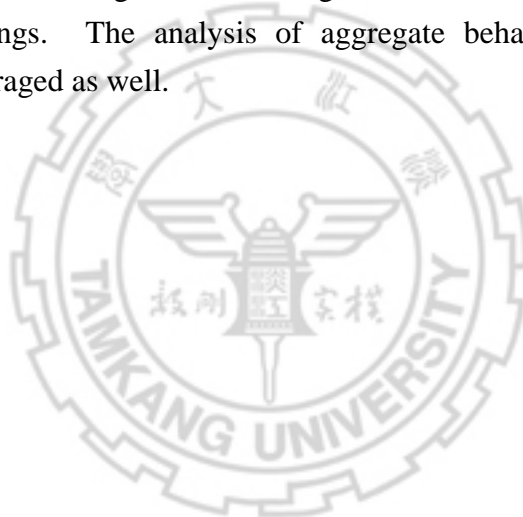
Markovian Decision Process can be referred to a series stochastic decision with a number of states. The transition probabilities between the states are described by a Markov chain. The applications of Markov Decision Process or the related concept of Markov Chain can therefore be found in wide range of problems including these in Transportation such as Dynamic Traffic Assignment (DTA), dynamic analyses in Pavement Management System (PMS) and other problems with state-dependent nature. Of particular importance is the application of dynamic programming to obtain the optimal solution of stochastic Markovian decisions.

The node-to-node dynamic route choice behavior is of the most interest to study the individual driver's route choices under the influence of the route guidance information where individual driver makes consecutive route switch decisions along with the traveling route. This particular issue has been successfully modeled with various forms and extensions under the notion of the "Indifference Bands" applied with Probit model specifications by Tong and his students at Tamkang University in recent years. The probability of "switching" or "route choice" at each decision node along the route can therefore be estimated under these model specifications.

The analogy seems quite attractive to examine the so-called "node-to-node" dynamic decision to the state-to-state Markovian Decision Process. In this thesis,

the “state” was defined at each decision node and the transition probabilities and the associated transition matrices were derived from the probabilities estimated from the node-to-node behavior model under three various definitions of dynamic switches at each node. A statistical test was performed to evaluate the hypothesis of first order Markov Chain.

The data bases for this thesis were compiled from two previous experiments under simulated environment using a special purpose in-vehicle guidance simulator applied to Taipei metropolitan area. The statistical tests results have confirmed that the node-to-node decision can be successfully referred to fit into a first-order Markovian Process at individual level. In addition, the study has also demonstrated the application of dynamic programming to obtain an optimal cause of routing decision for the individual driver. These results have suggested the further study to develop the dynamic route guidance strategies based on the current modeling treatments and findings. The analysis of aggregate behavior based on similar concept can be encouraged as well.



誌 謝

兩年的研究所生活過去了，很高興能夠順利結束這一階段的生活，而我也即將邁向下一階段兵旅生活了。

首先得感謝的是恩師 董啟崇博士，平常在生活上與做論文上不斷叮嚀，從老師您對任何事物的看法與見解，對學生我而言有深深的影響，學習到在同一件事上可以有多少個角度去看同一件事物，而學生我也知道看的東西真的是太少了，以後還有得學習呢！在此以一句話對您說：老師！謝謝您！

在論文所外口試中，承蒙 汪進財教授與 胡大瀛教授特地撥冗前來審查，給予學生許多寶貴意見與指導，使本論文得以更加完善，在此對兩位老師致上最誠摯的謝意。此外，在修課階段、進度報告與所內口試，感謝所內其他老師的教導，給予論文上的指正，謝謝！以及處理系上所有事物的張助教與孔助教，謝謝你們！

研究所生活最高興的莫過於認識了這一群研究所同學，包括打 NBA 或 MLB 每次都輸給我的老賴、同班六年的小宏、董家地下二師兄士傑、美麗華的康大姐書嫻、每次都很兇的瑋琦、每次都莫名其妙狂笑的聖偉、保齡球打得比壘球好的紅豆甫—孟甫、雖然是學長可是每次都被我虧的啟涵、每天都去工館的謝老大正宏與程式最厲害的漢瑄，感謝你們這兩年的陪伴，這兩年大家一起打籃球、壘球、排球、保齡球、唱歌與吃飯都是很開心的，其中最有趣的是每次有誰要生日時，大家都會一起寫生日卡，即使生日過去了，還是必須把生日卡給寫完成阿！這樣的堅持真不是蓋的，在未來大家都有該努力的方向，希望大家能一起努力。

此外，感謝的是董董家族的小佑與雅惠學姐，沒有你們的帶領，研一後半段進入董家的生活可能沒辦法這麼順利，感謝董董家族可愛又有趣的學弟妹包括藏著一個男朋友不敢見老師的秋如、超級愛攝影的首源、永遠都超努力超認真的佳雯與雖然什麼都可以但其實很堅持的妍妍，有你們的陪伴，我研二的生活才能更加多采多姿、有趣，祝福你們，不管是已進入或未進入研究所這個領域，未來都能更加順利。

最後感謝的是我最愛的老媽，謝謝您給予我無後顧之憂，並給予我支持與鼓勵，讓我可以好好地衝刺這一個研究所階段，最後我終於順利完成了這個學業，謝謝您！還有要感謝的是老媽的好姊妹們，也就是阿姨們都很照顧我，謝謝你們！

姜禹辰 謹誌

民國 94 年 7 月於淡江

目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	IV
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機與目的	4
1.3 研究流程	7
1.4 論文章節架構	8
第二章 文獻回顧	9
2.1 交通資訊影響下駕駛者行為之研究	10
2.1.1 利用模擬器探討交通資訊影響下駕駛者行為	10
2.1.2 逐點動態決策行為	14
2.2 馬可夫鏈應用於交通領域之研究	17
2.2.1 馬可夫鏈應用於路面工程	17
2.2.2 馬可夫鏈應用於網路流量（交通量指派）	18
2.2.3 馬可夫鏈應用於旅運行為	18
2.2.4 馬可夫鏈應用於航空運量預測	19
2.2.5 馬可夫鏈應用於交通安全	19
2.3 小結	22
第三章 研究方法	23
3.1 車內資訊系統模擬器	23
3.1.1 車內資訊系統模擬器－動態控制實驗	23
3.2 變換基準與變數定義	28
3.3 動態控制實驗於本研究之應用	31
第四章 模式基本架構	32
4.1 馬可夫鏈	32
4.1.1 馬可夫鏈定義	32
4.1.2 馬可夫鏈種類	35
4.1.3 馬可夫鏈於文獻中定義	37
4.2 定義逐點動態決策行為	41
4.2.1 馬可夫鏈定義於逐點動態決策行為	41
4.2.2 逐點變換與不變換路徑機率	44

4.2.3	轉移機率.....	54
4.3	馬可夫鏈的假設檢定.....	58
第五章	實例分析	59
5.1	駕駛者分類.....	60
5.2	構建轉移矩陣.....	62
5.2.1	類型三範例分析.....	63
5.2.2	檢定類型三範例.....	66
5.2.3	類型四範例分析.....	68
5.2.4	檢定類型四範例.....	71
5.2.5	第一個類型五範例分析.....	72
5.2.6	檢定第一個類型五範例.....	76
5.2.7	第二個類型五範例分析.....	77
5.2.8	檢定第二個類型五決策範例.....	81
5.2.9	第三個類型五範例分析.....	82
5.2.10	檢定第三個類型五決策範例.....	86
5.3	檢定分析結果.....	87
第六章	延伸研究	96
6.1	動態規劃模式.....	96
第七章	結論與建議	103
7.1	結論.....	103
7.2	建議.....	105
參考文獻	106
附錄		

圖目錄

圖 1.1.1 駕駛者動態路徑行為架構.....	2
圖 1.1.2 逐點動態決策行為圖.....	3
圖 1.1.3 馬可夫鏈狀態轉移圖.....	3
圖 1.3.1 研究流程圖.....	7
圖 3.1.1 車內資訊系統模擬器之架構圖.....	25
圖 3.1.2 車內資訊系統模擬器之顯示畫面.....	25
圖 3.1.3 實驗路網圖.....	26
圖 3.2.1 變數屬性示意圖.....	30
圖 4.1.1 馬可夫鏈狀態轉移圖.....	33
圖 4.1.2 路網範例圖.....	38
圖 4.2.1 逐點動態決策行為圖.....	41
圖 4.2.2 逐點動態決策行為轉移圖.....	43
圖 4.2.3 逐點變換與不變換路徑機率推算流程圖.....	52
圖 4.2.3 路網示意圖.....	54
圖 5-1 實例分析流程圖.....	59
圖 5-2 構建轉移矩陣流程圖.....	62
圖 6.1.1 原先路徑選擇圖.....	97
圖 6.1.2 最佳路徑選擇圖.....	101

表目錄

表 1.1-1 系列研究彙整表	1
表 1.2-1 變換基準結果整理表	4
表 1.2-2 駕駛者反應說明整理表	5
表 1.4-1 論文章節架構表	8
表 2.1-1 使用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為文獻彙整表	12
(續) 表 2.1-1 使用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為文獻彙整表	13
表 2.1-2 逐點動態決策行為文獻彙整表	16
表 2.2-1 馬可夫鏈相關文獻彙整表	20
(續) 表 2.2-1 馬可夫鏈相關文獻彙整表	21
表 3.1-1 模擬器資訊提供整理表	27
表 4.2-1 路徑決策無異帶模式定義表 (模式一)	46
表 4.2-2 路徑決策無異帶模式變數定義表 (模式二)	48
表 5.1-1 駕駛者決策分類表	60
表 5.1-2 構建轉移矩陣處理方式整理表	61
表 5.2-1 類型三範例決策條件表 (動態路徑基準)	63
表 5.2-2 類型四範例決策條件表 (動態路徑基準)	68
表 5.2-3 第一個類型五範例決策條件表 (動態路徑基準)	72
表 5.2-4 第二個類型五範例決策條件表 (動態路徑基準)	77
表 5.2-4 第三個類型五範例決策條件表 (動態路徑基準)	82
表 5.3-1 高能力熟悉檢定結果表	88
表 5.3-2 高能力陌生檢定結果表	89
(續) 表 5.3-2 高能力陌生檢定結果表	90
表 5.3-3 低能力熟悉檢定結果表	91
(續) 表 5.3-3 低能力熟悉檢定結果表	92
表 5.3-4 低能力陌生檢定結果表	93
(續) 表 5.3-4 低能力陌生檢定結果表	94
表 5.3-5 高能力熟悉直接變數與隱藏性變數檢定結果表	95
表 6.1-1 轉移矩陣表	98
表 6.1-2 報酬矩陣表	99
表 6.1-3 節省時間百分比整理表	102

第一章 緒論

1.1 研究背景

國內外 ITS 發展日趨進步，其中先進交通資訊系統（ATIS）之功能在於提供交通資訊供駕駛者參考，以幫助駕駛者能夠避開壅塞的交通路段，對於此議題衍生出駕駛者行為之研究探討，因此駕駛者路徑選擇行為成為重要之研究議題，而針對在車內資訊提供下之研究可分為行前資訊、途中資訊與利用模擬器探討，在國內外為了便於探討駕駛者行為乃利用模擬器探討在交通資訊提供下之駕駛者行為，主要透過駕駛模擬器收集駕駛者路徑選擇資料，對於旅運行為等問題，過去多以個體選擇模式為基礎，以羅吉特模式處理機率之靜態型式問題，或運用普羅比模式處理機率之靜態與動態型式問題。

在國內由淡江大學董啟崇教授所指導學生【1、2、3、4】之一系列研究針對在車內導航系統提供交通資訊下，對駕駛者路徑選擇行為進行探討，主要利用駕駛模擬器收集駕駛者途中決策之資料，以多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式，其中利用多項式普羅比模式說明逐點動態決策行為是屬於一種機率型態，以影響駕駛者行為之因素來描述駕駛者路徑選擇行為，包括利用路網特性描述與路網特性、用路者認路行為與空間能力等進行探討，故以下將系列研究整理如表 1.1-1 所示。

表 1.1-1 系列研究彙整表

作者	研究目的	模式型態	行為型態
陳士邦 (1999)【1】	構建駕駛者「逐點動態模式」	多項式普羅比模式	描述性
張貴貞 (2003)【2】	以「路網特性描述與路網特性」探討駕駛者路徑選擇行為之影響	多項式普羅比模式	描述性
張碧琴 (2004)【3】	以「用路者認路行為」探討駕駛者路徑選擇行為之影響	多項式普羅比模式	描述性
趙凌佑 (2004)【4】	以「駕駛者空間能力」探討駕駛者路徑選擇行為之影響	多項式普羅比模式	描述性

資料來源：本研究整理

其研究架構可源自於 Tong 【5】 逐日變化的動態變化出發時間與路徑選擇模式之架構稍加演變而來，利用圖 1.1.1 之架構說明，駕駛者在每一個別決策點會接收到不同交通資訊，以及目前所面對之交通狀況相關訊息，且透過不同個體之認知與學習過程，面對目前所面臨決策點之決策行為。

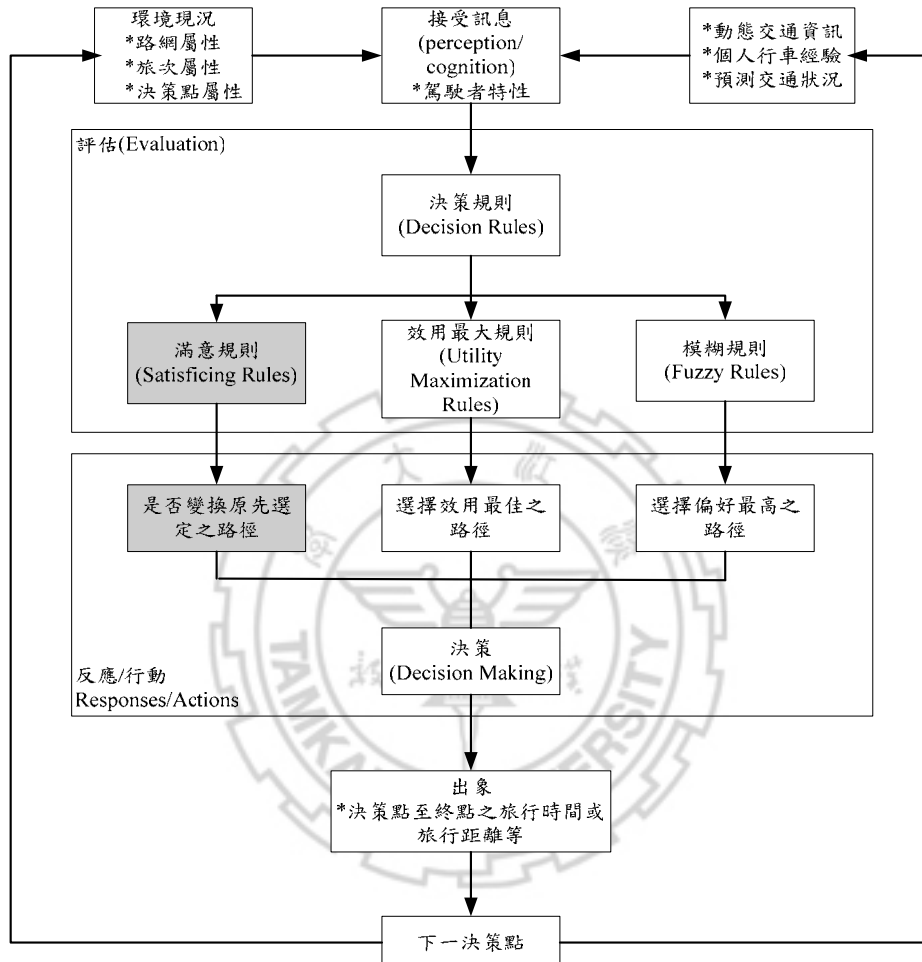


圖 1.1.1 駕駛者動態路徑行為架構

陳士邦【1】根據圖 1.1.1 滿意規則架構構建逐點動態決策模式，所謂滿意規則，即指個人對時間與路徑兩決策維度，均有其個別偏好之無異帶（indifference band，IB），而無異帶之定義則指延滯時間可接受之範圍，當通勤者目前路徑之延滯時間大於所能容忍的無異帶時，則駕駛者就會選擇路徑的變換；其中延滯時間為個人實際與期望到達時間之差距。

因此說明在整個行程中若牽扯到動態即時資訊與駕駛者的連續路徑選擇或變換的決策交互作用，由於駕駛者僅能於路口（點）實現路徑變換的動作，將此種路徑決策行為定義為逐點動態決策行為（Node-to-node Dynamics）。

透過觀察逐點動態決策行為，如圖 1.1.2 表示其為決策對決策間之關係與馬可夫鏈狀態對狀態間之關係類似，由於馬可夫鏈屬於依時性的情況，為狀態至狀態的型式，如圖 1.1.3 表示狀態之間可透過狀態之轉移矩陣（轉移機率）作狀態的轉移，而在應用馬可夫鏈的文獻中，Hazelton【6】以馬可夫鏈探討交通指派上逐日的流量變化，Goulias【7】則以馬可夫鏈探討逐日與逐年的動態旅行需求預測，Suzuki【8】以馬可夫鏈探討在曾經歷班機延誤經驗下，航空旅客是否搭乘原班機或選擇其他航空公司班機之決策問題對市場佔有率之影響，確認以馬可夫鏈可探討類似動態決策之問題，並且能說明機率之最佳型式。

根據表 1.1-1 說明逐點動態決策行為主要透過多項式普羅比模式構建，其屬於一種描述性行為型態，其本身並未探討駕駛者路徑變換機率之最佳型式，而本研究則以馬可夫鏈透過規範性的方式說明逐點動態決策行為，以馬可夫鏈加上動態規劃構建個人最佳化變換路徑選擇機率初步模型，供駕駛者參考。

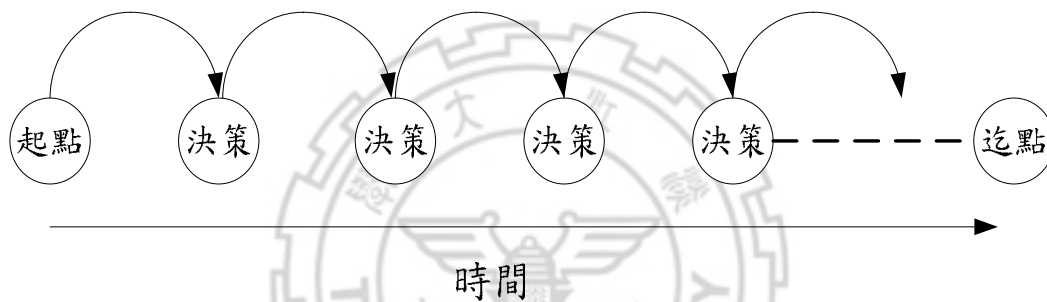


圖 1.1.2 逐點動態決策行為圖

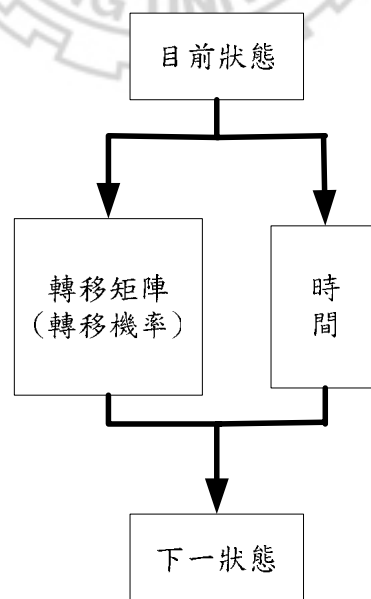


圖 1.1.3 馬可夫鏈狀態轉移圖

1.2 研究動機與目的

在系列研究當中，由陳士邦【1】根據駕駛者之途中動態決策，所構建之逐點動態決策模式，利用動態控制實驗收集逐點動態決策資料，透過此實驗收集駕駛者於每一個別決策點決定是否變換路徑之決策記錄，在駕駛者變換與不變換路徑行為當中，為能夠清楚說明駕駛者變換路徑行為之變化，將變換行為分為三類基準包括動態路徑基準、習慣（行前）路徑基準與建議路徑基準說明如下：

- （1）動態路徑基準：駕駛者以「目前行駛路徑」作為路徑變換之基準；當系統所顯示之目前行駛路徑所造成的延滯時間超過駕駛者所能接受之容忍限度時，駕駛者會傾向於不繼續行駛目前之路徑。
- （2）習慣（行前）路徑基準：駕駛者以「習慣路徑」作為路徑變換之基準；當系統所顯示之習慣路徑所造成的延滯時間超過駕駛者所能接受之容忍限度時，駕駛者會傾向於不繼續行駛習慣之路徑。
- （3）建議路徑基準：駕駛者以「建議路徑」作為路徑變換之基準；當系統所顯示之建議路徑所造成的延滯時間超過駕駛者所能接受之容忍限度時，駕駛者會傾向於不繼續行駛建議之路徑。

其後張碧琴【3】探討駕駛者後天認路行為對駕駛者路徑選擇行為之影響，利用動態控制實驗方式描述駕駛者認知的路網型態，並將實驗對象依其空間能力定義第一群樣本為高空間能力群（Good Spatial Ability，簡稱 GSA），第二群樣本為低空間能力群（Poor Spatial Ability，簡稱 PSA），再根據實驗地區分為熟悉與陌生地區兩類，之後依動態控制實驗收集駕駛者之逐點動態資料，因此將駕駛者分為四群包括高能力熟悉、高能力陌生、低能力熟悉與低能力陌生加以探討，經過模式校估後其變換基準結果整理如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1 變換基準結果整理表

駕駛者	GSA 群		PSA 群	
地區	熟悉地區	陌生地區	熟悉地區	陌生地區
最佳基準	動態路徑基準	習慣（行前）路徑基準	習慣（行前）路徑基準	動態路徑基準
次佳基準	習慣（行前）路徑基準	建議路徑基準	動態路徑基準	建議路徑基準

資料來源：【3】

其駕駛者分群之最佳基準中駕駛者反應原因如表 1.2-2 所示。

表 1.2-2 駕駛者反應說明整理表

駕駛者	GSA 群	
地區	熟悉地區	陌生地區
原因	由於具較高之空間能力對所行駛地區有一定的熟悉度，因此每當系統於決策點提供資訊時，會立即評估目前所行駛之路徑，故以「動態路徑基準」為佳。	由於為陌生地區，則會傾向自己行前所規劃之習慣路徑，因此較相信自己之經驗，故以「習慣路徑基準」為佳。
駕駛者	PSA 群	
地區	熟悉地區	陌生地區
原因	由於無法對系統提供之資訊作出判斷，則會傾向繼續行駛自己熟悉之路徑，因此不輕易離開熟悉之路徑，故以「習慣路徑基準」為佳。	由於會害怕迷路，其不確定性高，因此會逐點注意目前路徑與系統提供之路徑作比較，故以「動態路徑基準」為佳。

資料來源：【3】

爾後趙凌佑【4】探討駕駛者先天空間能力差異對駕駛者路徑選擇行為之影響，利用動態控制實驗方式觀測駕駛者路徑選擇行為，確認不同駕駛者個別空間能力差異，也將駕駛者分類成四群包括高能力熟悉、高能力陌生、低能力熟悉與低能力陌生作為探討，以 GSA 群樣本且在熟悉地區之動態路徑基準為依據，加上隱藏性變數與張碧琴【3】所述之逐點動態決策模式作一比較，其結果表示納入隱藏性變數於駕駛者屬性可使其解釋力提高。

由於系列研究中皆以多項式普羅比模式構建逐點動態決策行為，屬於描述路徑選擇行為的型態，且忽略了駕駛者最佳化路徑選擇型式之發展，故本研究以馬可夫鏈加上動態規劃方式探討逐點動態決策行為，找出符合駕駛者之最佳化路徑選擇機率。

如上所述，因此本研究以馬可夫鏈探討逐點動態決策行為，將研究目的歸納如下：

- (1) 以馬可夫鏈探討逐點動態決策行為的可行性，利用馬可夫鏈的假設檢定探討逐點動態決策行為，經此說明逐點動態決策行為是否符合馬可夫鏈。
- (2) 確認逐點動態決策行為屬於馬可夫鏈之後，根據前述系列研究駕駛者分群之定義，歸納分類出用路者決策型態
- (3) 利用馬可夫鏈與動態規劃以規範性方式找出駕駛者最佳化路徑選擇機率初步模型，供駕駛者路徑選擇之參考。



1.3 研究流程

根據研究背景與研究動機，本研究利用馬可夫鏈探討駕駛者逐點動態決策行為，本研究流程如圖 1.3.1 所示。

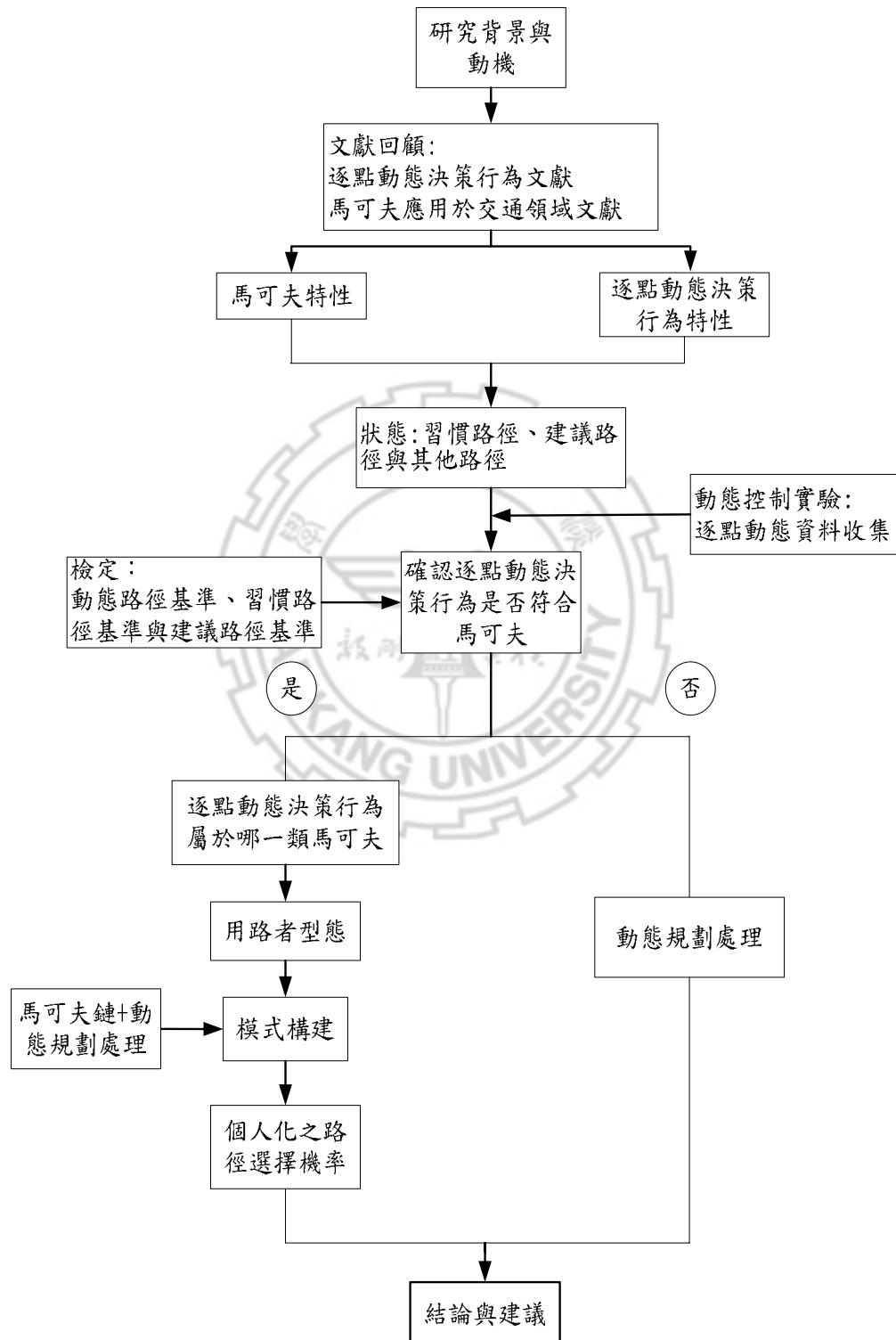


圖 1.3.1 研究流程圖

1.4 論文章節架構

針對論文內容各章節摘要如表 1.4-1 所示。

表 1.4-1 論文章節架構表

章節名稱	主要內容
第一章 緒 論	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研究背景 ■ 研究動機與目的 ■ 研究流程 ■ 論文章節架構
第二章 文獻回顧	<ul style="list-style-type: none"> ■ 交通資訊影響下駕駛者行為之研究 ■ 馬可夫鏈應用於交通領域之研究
第三章 研究方法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 車內資訊系統模擬器 ■ 變換基準與變數定義 ■ 動態控制實驗於本研究之應用
第四章 模式基本架構	<ul style="list-style-type: none"> ■ 馬可夫鏈 ■ 定義逐點動態決策行為 ■ 馬可夫鏈的假設檢定
第五章 實例分析	<ul style="list-style-type: none"> ■ 駕駛者分類 ■ 構建轉移矩陣 ■ 檢定分析結果
第六章 馬可夫延伸研究	利用馬可夫與動態規劃方式構建駕駛者最佳路徑選擇初步模型
第七章 結論與建議	綜合分析結果歸納出結論與建議，以供後續研究參考

第二章 文獻回顧

根據第一章的研究背景與動機，本研究所擬定的方向確認，乃利用馬可夫鏈探討逐點動態決策行為，而本章主要內容在於蒐集各領域相關文獻，進而歸納探討，文獻包括交通資訊影響下駕駛者行為文獻與應用馬可夫鏈於交通領域文獻。

在探討交通資訊影響下駕駛者行為文獻中，其包括利用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為與本研究逐點動態決策行為之來由。

在應用馬可夫鏈於交通領域文獻，其領域包括應用於路面工程、網路流量（交通量指派）、旅運行為、航空運量預測與交通安全等方向，說明在馬可夫鏈應用之方式。

綜合上述說明，本章節之文獻回顧內容摘要如下所示：

2.1 交通資訊影響下駕駛者行為之研究
2.1.1 利用模擬器探討交通資訊影響下駕駛者行為
2.1.2 逐點動態決策行為
2.2 馬可夫鏈應用於交通領域之研究
2.2.1 馬可夫鏈應用於路面工程
2.2.2 馬可夫鏈應用於網路流量（交通量指派）
2.2.3 馬可夫鏈應用於旅運行為
2.2.4 馬可夫鏈應用於航空運量預測
2.2.5 馬可夫鏈應用於交通安全
2.3 小結

2.1 交通資訊影響下駕駛者行為之研究

探討交通資訊影響下之駕駛者行為，可分為行前資訊、途中資訊與利用模擬器探討，根據本研究之所探討之方向，在 2.1.1 節說明利用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為文獻，而在 2.1.2 節介紹逐點動態決策行為之文獻。

2.1.1 利用模擬器探討交通資訊影響下駕駛者行為

Bonsall (1991)【9】發展一互動式的路徑導引模擬器，利用此互動式路徑選擇模擬器探討駕駛者對路徑導引系統的順從程度，根據所得資料進行迴歸分析，結果顯示建議路線的接受程度主要賴於資訊可信度，而可信度則受過去經驗與心理因素等的影響。

Iida (1994)【10】利用一簡單的模擬器，分析旅行時間資訊與路徑選擇行為之間的關係，並構建旅行時間預測模式；在其研究中亦發現駕駛者受資訊品質之影響頗大，曾接受過資訊品質不良之駕駛者，即使在資訊改善後也難以再對系統提供之資訊產生信任。

Peter and Mahmassan (1995)【11】發展與交通模擬模式 (Dynasmart) 結合的互動式路線導引資訊系統，允許同時多個駕駛者同時於系統上進行模擬實驗，而各實驗者之決策出象則會彼此交互作用，進而對系統績效產生影響。Peter 探討一連串利用此模擬器所做的實驗。

實驗目的在於探討在提供即時交通資訊下，通勤者逐日出發時間、路徑選擇及旅途中的決策過程。此外 Yu-Hsin Liu (1998)【12】利用此模擬器以動態的觀點探討在 ATIS 系統提供即時資訊下，駕駛者逐日出發時間及路徑選擇行為；並利用所蒐集資料構建旅運者動態行為模式。

Tsippy Lotan (1997)【13】探討在資訊提供下，路網及資訊系統熟悉者與不熟悉者的路徑選擇行為，研究中利用駕駛者模擬器進行資料的蒐集。研究結果指出不熟悉路網的駕駛者，其路徑變換及轉向行為具有較高的同質性。路網不熟悉者展現出較均一的選擇分佈，而路網熟悉者則在替選方案間有其明顯的偏好。路網不熟悉者偏向於逐日改變其路徑，但路網熟悉者則否。此驗證路網熟悉者在途中有固定的轉換行為，而路網不熟悉者則較為保守。文中用近似推論模式 (ART) 及隨機效用模式 (RUM) 來探討駕駛者行為。而 ART 模式相對於 RUM 模式有較高的解釋能力。

C. Y. David Yang (1998)【14】由使用者的觀點來探討 ATIS 的設計，亦探討資訊型式及傳送資訊的方式對年齡及路網熟悉度的影響；研究中以模擬器作為資料蒐集的工具。研究結果指出在熟悉的路網中，駕駛者較期望接收到聲音化的交通資訊，若發生事故，則只需要給予簡單的訊息，如事故地點、方向；資訊量過多未必是好的。在不熟悉的路網當中較適合提供圖形化加聲音化的資訊。此外並沒有一種資訊型式及顯示方式是完美的，而一個良好的 ATIS 系統應當能讓使用者選擇其所需要的資訊型式及顯示的方式。

Jean E. Fox (1998)【15】探討年齡、壅塞資訊的正確率對於駕駛者的信任度及遵循度的影響。文中提到使用者對於 ATIS 的接受程度是非常重要的，其中與接受程度相關的重要因素為：使用者是否信任這項新的技術。以往研究發現，錯誤的壅塞資訊會降低駕駛者的信任程度，其遵循度也會降低。此文主要則探討(1)有多少實驗者信任 ATIS？(2)實驗者有幾次遵循系統的建議？(3)他們認為系統的正確率是多少？由研究結果得知年齡較大者對於系統的信任度較高，可能是因為年紀大者較為寬容。而當系統的正確率低於 40%時，駕駛者則認為此系統是不值得信賴的。

陳士邦 (2000)【1】以控制實驗法進行逐點動態資料的蒐集以及利用模擬之交通狀況及實驗者之反應紀錄，分析在交通資訊提供下影響駕駛者行為之因素並藉此利用多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式。實證結果證明通勤者途中確實存有逐點動態行為。

張貴貞 (2003)【2】則利用陳士邦所構建之逐點動態駕駛者路徑決策模式，進一步探討駕駛者在不同路網型態下，其路徑選擇行為是否相同，並利用多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式，研究結果顯示駕駛者在不同路網型態下之路徑選擇行為的確具有差異性。

張碧琴 (2004)【3】以車內資訊導引系統模擬器，作為蒐集逐點動態路徑變換模式資料之基礎，透過放聲思考法所獲得之口語資料，成功地反應出駕駛者在逐點作決策之路徑變換行為。並利用多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式，結果發現不論是何群樣本行駛於熟悉地區時，區位亦皆被駕駛者所反應。此結果恰與模擬實驗之分析結果相呼應，即當樣本行駛在陌生地區時，其途中路徑決策行為可能不受決策點區位所影響。

趙凌佑 (2004)【4】以車內資訊導引系統模擬器，作為蒐集逐點動態路徑變換模式資料之基礎，並利用多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式，成功地將駕駛者屬性以隱藏性變數型式納入逐點動態決策模式，並經過比較之後，其結果反應利用隱藏性變數描述駕駛者屬性可提高逐點動態決策模式之解釋

力。

對於利用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為文獻整理如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 使用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為文獻彙整表

作者	研究目的	動態研究	模式型態
Bonsall (1991) 【9】	利用互動式路徑選擇模擬器探討駕駛者對路徑導引系統的順從程度	無	無
Iida (1994) 【10】	旅行時間資訊提供下，駕駛者的路徑決策行為及推估駕駛者旅行時間預測模式	逐日	旅行時間預測模式
Peter and Mahmassan (1995) 【11】	探討在提供即時交通資訊下，通勤者逐日出發時間、路徑選擇及旅途中的決策過程	逐日	無
Yu-Hsin Liu (1998) 【12】	以動態的觀點探討在 ATIS 系統提供即時資訊下，駕駛者逐日出發時間及路徑選擇行為	逐日	普羅比模式
Tsippy Lotan (1997) 【13】	探討在提供交通資訊下，路網熟悉者與不熟悉者的路徑選擇行為	逐日	近似推論模式 羅吉特模式
C. Y. David Yang (1998) 【14】	由駕駛者的觀點來探討 ATIS 的設計，並探討資訊形式及顯示方式對年齡及路網熟悉度的影響	無	無
Jean E. Fox (1998) 【15】	探討年齡、壅塞資訊的正確率對於駕駛者的信任度及遵循度的影響	無	無
YU-Hsin Liu (1999) 【16】	探討通勤者在 ATIS 提供交通資訊下，出發時間選擇與路徑變換之行為	逐日 逐點	普羅比模式

(續) 表 2.1-1 使用模擬器探討交通資訊影響下之駕駛者行為文獻彙整表

作者	研究目的	動態研究	模式型態
陳士邦 (2000) 【1】	構建駕駛者逐點動態模式	逐點	多項式普羅比 模式
張貴貞 (2003) 【2】	以路網特性描述與路網特性探討駕駛者路徑選擇行為之影響	逐點	多項式普羅比 模式
張碧琴 (2004) 【3】	以用路者認路行為探討駕駛者路徑選擇行為之影響	逐點	多項式普羅比 模式
趙凌佑 (2004) 【4】	以駕駛者空間能力探討駕駛者路徑選擇行為之影響	逐點	多項式普羅比 模式

資料來源：【1】及本研究整理



2.1.2 逐點動態決策行為

本研究之前期系列研究主要演化乃先由邱科融【17】以半動態式之資訊顯示模擬問卷，針對國內通勤駕駛者偏好之車內導航系統顯示格式及資訊功能與影響駕駛者跟隨資訊系統之先期研究，並發現用路者確有回應旅程中決策位置不同而影響決策之行為，因此確立所謂「動態」之路徑選擇，欲進一步探討此課題，需使用研究工具協助以現途中擬真之動態決策。

於是由楊雲榮【18】發展動態模擬器以滿足動態研究之需要，建立車內資訊系統影響駕駛人動態路徑選擇/變化路徑之實驗環境。

爾後陳士邦【1】利用模擬器所提供之車內導引資訊執行控制實驗，觀測駕駛者之逐點路徑變換反應，構建逐點動態駕駛者路徑決策行為決策模式。由於本模擬器所使用真正路網條件不可隨意變換，有鑑突破於此發展限制，陳麗雯【29】開始控制實驗路網變化，將模擬器外掛結合 DYNASMART，使模擬器可自行產生車流流量，在此部分以針對資訊之提供內容更符合實際狀況，使模擬器提供資訊功效更為完善及具有彈性。

接著張貴貞【2】利用先前構建之逐點動態路徑選擇模式結合動態模擬器，並針對路網特性之描述及路網特性探討對駕駛者路徑選擇行為之影響，張碧琴【3】以駕駛者後天的認路行為納入逐點動態決策模式，探討認路行為對駕駛者路徑選擇行為之影響，趙凌佑【4】以駕駛者先天之空間能力納入逐點動態決策模式，探討空間能力對駕駛者路徑選擇行為之影響。

其中逐點動態決策行為乃由陳士邦【1】利用動態控制實驗收集行車資訊導引系統與駕駛者動態路徑決策的資料，以多項式普羅比模式構建逐點動態模式，其定義逐點動態決策行為即指當通勤者面對某一決策點時，以其目前所在路徑與最佳路徑的旅行時間差距值為依據，透過行為機制決定是否變換目前行駛的路徑，若變換路徑所能節省的旅行時間大於所能容忍的無異帶，則駕駛者便會進行路徑的變換。通勤者決定變換路徑與否的行為機制，即為考量所能節省旅行時間和個人偏好的習慣路徑與路徑決策可接受無異帶（indifference band, IB）的差異。

此模式構建架構由 2.1-1 式表示若目前行駛路徑的延滯時間大於所能容忍的無異帶，則駕駛者便會進行路徑的變換。

$$P(\text{switch}) = P(|TTS_{ij}| > |IBR_{ij}|) \quad (2.1-1)$$

TTS_{ij} ：駕駛者目前行駛路徑之延滯時間

IBR_{ij} ：駕駛者無異區間

I ：某駕駛者 i 集合

J ：決策點集合

駕駛者無異帶會受到個人特性、旅次特性、交通資訊特性及各決策點特性之影響，根據可能影響無異帶的因素，無異帶函數定義如 2.1-2 式

$$IBR_{ij} = f(W_i, X_i, Y_{ij}, Z_{ij}, \theta_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (2.1-2)$$

$f()$ ：無異帶函數

W_i ：駕駛者屬性（一般性變數、隱藏性變數 (η) ）

X_i ：旅次屬性

Y_{ij} ：交通資訊屬性

（或包含前一決策點之累積交通資訊， Y^* ）

Z_{ij} ：決策點屬性（或包含前一決策點累積經驗， Z^* ）

θ_{ij} ：參數向量

ε_{ij} ：殘差項

在此逐點動態模式下，系列研究當中個別加入新的影響因素加以探討，分別由張貴貞【2】加入路網特性描述與路網特性，張碧琴【3】加入駕駛者主觀描述認路行為與空間知識，趙凌佑【4】加入駕駛者先天空間能力分別探討對駕駛者變換路徑行為之影響，且皆利用多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式，以下將逐點動態決策行為之系列研究整理如表 2.1-2 所示。

表 2.1-2 逐點動態決策行為文獻彙整表

作者	研究目的	模式型態	行為型態
陳士邦 (1999)【1】	構建駕駛者「逐點動態模式」	多項式普羅比模式	描述性
張貴貞 (2003)【2】	以「路網特性描述與路網特性」探討駕駛者路徑選擇行為之影響	多項式普羅比模式	描述性
張碧琴 (2004)【3】	以「用路者認路行為」探討駕駛者路徑選擇行為之影響	多項式普羅比模式	描述性
趙凌佑 (2004)【4】	以「駕駛者空間能力」探討駕駛者路徑選擇行為之影響	多項式普羅比模式	描述性

資料來源：本研究整理

2.2 馬可夫鏈應用於交通領域之研究

本節介紹為馬可夫鏈應用於交通領域文獻，包括應用於路面工程、網路流量（交通量指派）、旅運行為、航空運量預測與交通安全等領域，並說明應用馬可夫鏈之描述架構說明。

2.2.1 馬可夫鏈應用於路面工程

黃建中（1997）【19】利用馬可夫鏈建立鋪面服務能力指標預測模式，並定義鋪面狀態（PSI）為馬可夫狀態，將鋪面狀態分為 5 種狀態，以各年份之狀態，依據每年份狀態分佈比例定義其狀態之轉移機率，並構成轉移矩陣，應用上採用每 1 年為步幅處理，其馬可夫鏈描述為離散狀態處理方式，屬於基本狀態對狀態間之型式，最後進行 Komogorov-Smirnov 適合度檢定，結果顯示此模式可掌握鋪面狀況變化一般趨勢。

林勝傑（2001）【20】利用類神經網路結合應用模糊理論所得之鋪面損壞指標，應用馬可夫鏈作為預測模式，並定義鋪面狀態（PDI）為馬可夫狀態，將鋪面狀態分為 5 種狀態，以各年份之狀態，依據每年份狀態分佈比例定義其狀態之轉移機率，並構成轉移矩陣，應用上採用每半年為步幅處理，其馬可夫鏈描述為離散狀態處理方式，屬於基本狀態對狀態間之型式，最後進行 Komogorov-Smirnov 適合度檢定，結果顯示可說明鋪面狀況變化。

Evans 等人（2001）【21】利用馬可夫鏈探討高速公路路面損壞機率，將高速公路交織區段分成各分區各車道說明，依據各分區各車道擁有車輛數多寡為馬可夫狀態，各區段各車道擁有車輛數的變化機率為轉移機率，其馬可夫鏈描述為離散狀態處理方式，屬於基本狀態對狀態間之型式，結果發現路面損壞機率預測能力佳，可作為高速公路路面改善參考。

Li 等人（2002）【22】探討鋪面最佳重新鋪設策略，定義鋪面粗糙程度為馬可夫狀態，轉移機率透過狀態間之比例計算，處理上為穩定狀態之情況，其馬可夫鏈描述為離散狀態處理方式，屬於基本狀態對狀態間之型式，結果發現在退化過程中最小化服務水準策略屬於不確定性，而最佳化情況並沒有顯著的改變。

在馬可夫鏈應用於路面工程文獻中，在應用馬可夫鏈之處理方式皆為基本狀態對狀態間之型式，其資料皆屬於離散型資料，根據所定義之狀態，利用狀態之轉移機率（轉移矩陣）以推測預測值。

2.2.2 馬可夫鏈應用於網路流量（交通量指派）

Akamatsu (1996)【23】利用馬可夫鏈探討羅吉特交通量指派，定義網路上節點為馬可夫狀態，在兩節點間車輛的變化機率為轉移機率，其轉移機率透過羅吉特模式推算，其馬可夫轉移機率描述屬於車輛於兩節點間移動之動態決策關係，當車輛從路網起點出發透過狀態之轉移後到達迄點即表示為吸收馬可夫鏈，結果發現此模式可適用於隨機均衡指派上，最大的缺點在於流量可能為無限與會惡化羅吉特 IIA 特性。

Franco (1998)【24】利用馬可夫鏈探討在網路上流量的應用，其定義在網路上節點為馬可夫狀態，節點間車輛移動動作的轉移機率即為轉移機率，其馬可夫轉移機率描述屬於車輛於節點間移動之動態決策關係，首先利用等距時間觀察流量變化，當此模式呈現穩定時，轉移機率就不需要考慮時間的因素，因此透過推導方式找出穩定的轉移機率，進而透過轉移矩陣找出穩定的密度函數。

Hazelton (2002)【6】利用馬可夫鏈探討逐日的交通量指派變化，定義網路上節點為馬可夫狀態，兩節點間車輛路徑選擇機率為轉移機率，而其路徑選擇機率則透過羅吉特模式計算，其馬可夫轉移機率屬於動態決策之關係，並發展一工具探討逐日的交通指派變化模式，結果發現在此模式下可透過旅行者學習機制發展逐日的變化。

在應用馬可夫鏈於網路流量（交通量指派）之文獻中，皆定義路網之節點為狀態，車輛在兩節點間之路徑變換機率為轉移機率，利用馬可夫鏈所探討之主題皆為車輛移動變化之動態決策關係。

2.2.3 馬可夫鏈應用於旅運行為

Goulias (1999)【7】應用馬可夫鏈探討動態旅行需求預測，其所觀察旅行型態變數由於無法觀察，因此將旅行型態分為旅行與活動參與兩類探討，並定義其潛在變數為馬可夫鏈狀態，透過混合馬可夫潛在模式定義其轉移機率，進而推測預測值，其屬於動態決策之關係，並依據其可信度矩陣與轉移矩陣進行說明，將旅行者與活動參與者各分成四群，最後再以適合度檢定依逐日與逐年動態處理，結果發現逐日的活動型態會依逐年的趨勢而改變，且以二階馬可夫鏈描述旅行型態改變較一階馬可夫鏈為佳。

Kitamura 等人 (2003)【25】探討如何準確地估計隨機且離散的長期追蹤資料 (panel data)，並利用馬可夫鏈描述，其馬可夫鏈屬於動態決策之關係，定義個人通勤運具為馬可夫狀態，還包括定義婚姻狀況、個人職業等資料為馬可夫狀態，狀態間之轉移機率透過時間同質馬可夫過程計算，結果發現利用離散時間之長期追蹤資料不易觀察隨機且離散之行為過程。

2.2.4 馬可夫鏈應用於航空運量預測

Suzuki (2000)【8】以馬可夫鏈探討航空即時績效與市場佔有率的關係，其建立的情況是指在航空乘客是否曾經遇過班機延誤的經驗下，當乘客再遇到班機延誤時，會選擇搭乘原班機或選擇其他航空公司班機之決策問題對市場佔有率之影響，並定義時間點為馬可夫鏈狀態，利用總體馬可夫模式推估轉移機率，其屬於動態決策關係，結果發現透過乘客之經驗，而非透過廣告方式宣傳對航空市場佔有率具有影響力。

劉素妙 (2002)【26】利用灰色拓撲結合馬可夫鏈預測規劃航空旅客需求量，利用灰色拓撲產生預測值，再以預測結果為中心值，取 4% 的差值分為上下三個狀態分別為預測旅客需求量向下波動、無波動與向上波動，再依據狀態之轉移機率推測預測值，其屬於基本狀態對狀態之關係，結果發現所求得預測值與實際值相當近似。

2.2.5 馬可夫鏈應用於交通安全

楊佳學 (2004)【27】利用馬可夫分析與故障樹分析處理 IRS 安全，以馬可夫鏈與可靠度理論求出基本事件發生機率，作為故障樹中機率估算的基礎，並定義失效前與失效後為馬可夫狀態，失效率為轉移機率，其為具變異型之馬可夫鏈，由馬可夫分析與故障樹分析推測預測值，與一般馬可夫鏈有所差異，結果發現智慧型平交道安全監測系統安全機率確實高於現有平交道設施。

將上述國內外馬可夫鏈應用於交通領域文獻整理如表 2.2-1 所示。

表 2.2-1 馬可夫鏈相關文獻彙整表

作者	研究目的	馬可夫狀態	轉移機率	馬可夫鏈處理型態
黃建中 (1997) 【19】	建立鋪面現況服務能力預測模式	鋪面指標 PSI	狀態轉移機率 (狀態比例)	狀態對狀態
林勝傑 (2001) 【20】	建立鋪面現況服務能力預測模式	鋪面指標 PDI	狀態轉移機率 (狀態比例)	狀態對狀態
Evans 等人 (2001) 【21】	探討高速公路路面損壞機率	各分區各車道擁有車輛數多寡	各區段各車道擁有車輛數的變化機率	狀態對狀態
Li 等人 (2002) 【22】	探討鋪面最佳重新鋪設策略	鋪面粗糙程度	狀態轉移機率 (狀態比例)	狀態對狀態
Akamatsu (1996) 【23】	探討羅吉特隨機交通指派	網路上節點	兩節點間車輛的轉移機率	動態決策
Franco (1998) 【24】	探討在網路上流量的應用	網路上節點	兩節點間車輛轉移機率	動態決策
Hazelton (2002) 【6】	探討逐日的交通指派變化	網路上節點	路徑選擇機率 (羅吉特)	動態決策

(續) 表 2.2-1 馬可夫鏈相關文獻彙整表

作者	研究目的	馬可夫狀態	轉移機率	馬可夫鏈處理型態
Goulas (1999) 【7】	探討動態旅行需求預測	潛在變數	混合馬可夫機率	動態決策
Kitamura 等人 (2003)【25】	探討離散型的長期追蹤資料	通勤運具、婚姻狀況、職業	時間同質馬可夫過程機率	動態決策
Suzuki (2000) 【8】	探討航空即時績效對市場佔有率之影響	航空乘客之決策	總體馬可夫模式機率	動態決策
劉素妙 (2002) 【26】	探討航空旅客需求量預測	旅客需求量向下波動、無波動與向上波動	狀態轉移機率 (狀態比例)	狀態對狀態
楊佳學 (2004) 【27】	探討處理 IRS 安全分析	設備失效前與失效後	平均失效率	變異之馬可夫鏈

資料來源：本研究整理

2.3 小結

根據以上之文獻回顧，本研究歸納幾點作說明如下所示：

一、交通資訊影響下駕駛者行為議題

- (1) 對於交通資訊影響下駕駛者行為之研究可分為行前資訊、途中資訊與利用模擬器探討在交通資訊影響下之駕駛者行為，其常用之模式多以個體選擇模式為基礎，以羅吉特模式與普羅比模式構建其機率型態分析。
- (2) 利用模擬器探討交通資訊影響下駕駛者行為之研究，多數探討逐日動態範疇，除了 Liu (1999)【16】、陳士邦 (1999)【1】、張貴貞 (2003)【2】、張碧琴 (2004)【3】與趙凌佑 (2004)【4】外較少探討逐點動態之範疇。
- (3) 系列研究之逐點動態決策行為皆利用多項式普羅比模式構建逐點動態決策模式，其表示型態乃屬於描述性之行為型態。

二、馬可夫鏈應用於交通領域議題

- (1) 經由文獻說明，馬可夫鏈應用於交通領域之文獻包括應用於路面工程、網路流量（交通量指派）、旅運行為、航空運量預測與交通安全等領域上，其馬可夫鏈之應用可分為基本狀態對狀態間之轉移、動態決策間之狀態轉移與變異型之馬可夫鏈三類。

第三章 研究方法

根據第一章之描述，前期系列研究張碧琴【3】與趙凌佑【4】採用車內資訊系統模擬器收集駕駛者逐點動態決策資料，將此模擬器實驗稱為動態控制實驗，為能降低進行控制實驗中可能造成誤差因素，乃利用實驗設計排除實驗過程之變異，關於動態控制實驗前置規劃不作詳述，而本研究乃依據張碧琴【3】與趙凌佑【4】所收集之逐點動態決策資料所構建之逐點動態決策模式進行應用，因此在本章僅對動態控制實驗進行說明，並敘述動態控制實驗於本研究應用之範疇。

3.1 車內資訊系統模擬器

目前國內之先進駕駛者資訊系統未步上軌道，及所能提供之相關即時交通資訊相當缺乏，若採行實車實地進行實驗所需之費用及相關設備極為龐大，因此在前期系列研究當中，採用模擬車內資訊系統之模擬器進行資料收集工作，以期能得到擬真之資料，供後續研究內容利用。

3.1.1 車內資訊系統模擬器—動態控制實驗

前期研究所採用之模擬器乃由前述系列研究楊雲榮【18】與陳麗雯【29】所發展之車內資訊導航系統模擬器（SIM 模擬器），由於此模擬器（SIM）之功能，主要在於模擬先進駕駛人行車資訊系統，因此必須提供駕駛者與其相類似之操作介面（如電子地圖）與即時交通資訊（如導航、導引等資訊），以供駕駛者作為路徑決策之參考。

此外，為能於實驗同時將駕駛者逐點動態之反應與當時之交通條件一一紀錄，故系列研究較先進駕駛人行車資訊系統多了紀錄模組之功能，主要目的即是希望能藉此模組蒐集完整之動態實驗資料（如決策方向、駕駛者選擇習慣路徑或建議路徑等）。

楊雲榮【18】所設計之車內資訊系統模擬器之整體架構，大致可分為五大模組，即分別為操作模組、計算模組、資料庫模組、顯示模組與紀錄模組；此外，車流模擬程式部份則設計為外接型式，而此部分則由陳麗雯【29】所完成，以下將分別針對上述模組作一詳細說明，其結構關係圖如圖 3.3.1 所示，而其顯示畫面則如圖 3.3.2 所示。

- (1) 資料庫模組：其功能主要用以存放構成路網之各路段及路口的相關屬性，其中屬性又分為兩大類，一類為固定屬性，如節線節點編號、路段名稱、路段長、路口號誌控制等，另一類則為依時性屬性，如路段之旅行時間、延滯時間等，此須經由適當之計算程序計算所得，爾後再透過顯示模組提供系統模擬即時交通與動態環境呈現在受試者面前。
- (2) 顯示模組：此模組為一提供受試者之模擬視覺環境介面，包括基本地圖顯示、路網定位資訊、車輛定位資訊、動態路徑導引資訊、交通條件資訊與輔助駕駛者之交通資訊；因此，受試者可透過顯示視窗得知其目前所在位置、行走路線、路網中各路段之交通狀況與導引等相關資訊。
- (3) 操作模組：此模組主要可提供受試者進行動態實驗時，操控車輛游標行進、進行決策輸入、調整個人需要之顯示畫面，如實驗暫停、路網顯示之比例尺等功能。
- (4) 計算模組：此模組之功能則是將資料庫內建之基本屬性，經由適當計算將計算結果輸出，其主要目的即在於模擬提供即時動態交通資訊，產生合理的路徑導引。
- (5) 記錄模組：此模組主要是提供系統運行時，受試者於路網移動與相關決策條件的互動關係，此記錄部份牽涉到後續模式建構之所需，其記錄內容包括決策點屬性、決策結果、決策資訊條件（交通條件、路徑屬性、資訊條件、決策過程、全程記錄）。
- (6) 外掛車流模擬器：本系列研究主要所採的是 DYNASMART 車流模擬程式。由於 DYNASMART 會依時間次序，將私人車輛（含汽、機車與貨車）與公車陸續載入交通路網中，並按各車種的特性來移動車輛，直到車輛抵達目的地為止，因此其可供研究者建構虛擬路網時，產生其所需之交通背景流量。

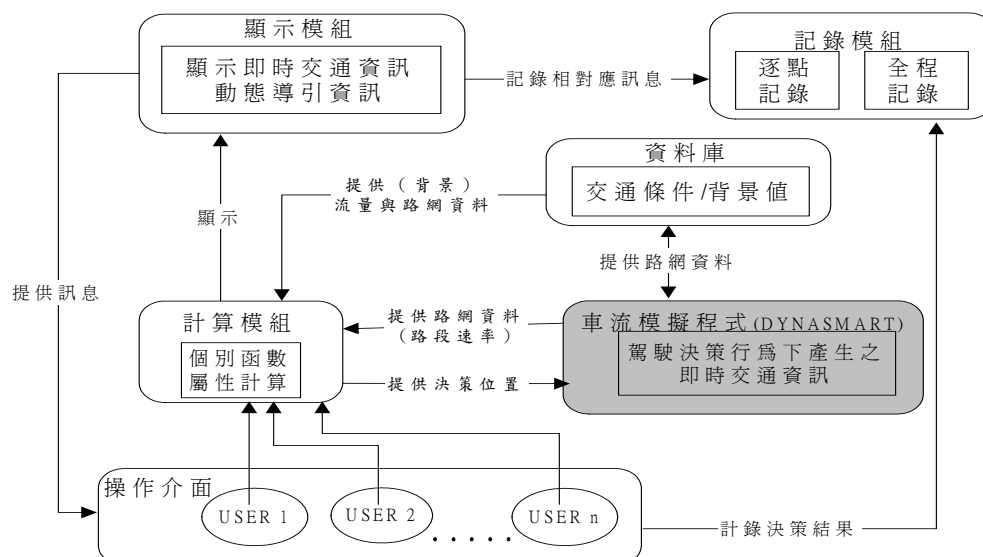


圖 3.1.1 車內資訊系統模擬器之架構圖



圖 3.1.2 車內資訊系統模擬器之顯示畫面

前期研究在執行動態控制實驗開始前，會先詢問受測者預期完成全程路徑之旅行時間為何？實驗開始後，於每一個別決策點，模擬器皆會記錄相關交通資訊並且記錄，所採取之實驗路網為淡水-台北市區之真實路網，將路網型態分為規則路網與不規則路網，以台北市區範圍而言，即有其棋盤式路網之規則路網特性；反之在台北市外圍（如：淡水、三重、內湖、松山等），則有排列不規則之路網特性，因此以此擬真之真實實驗路網，進行動態控制實驗，實驗路網圖如圖 3.1.3 所示。

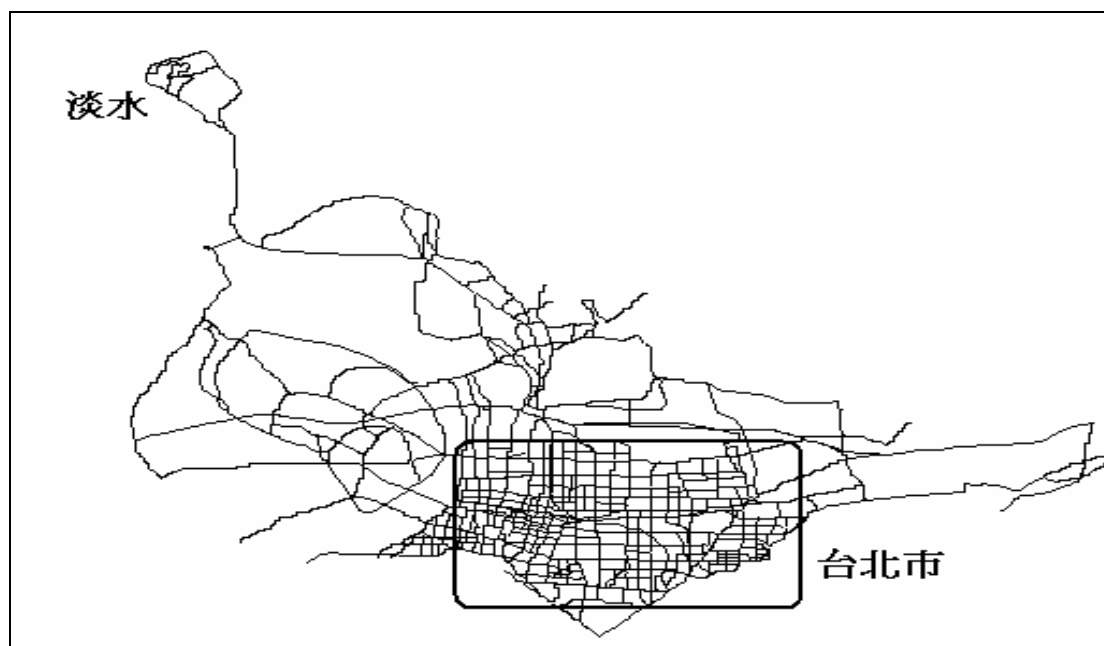


圖 3.1.3 實驗路網圖

前期研究中張碧琴【3】利用動態控制實驗收集逐點動態資料，實驗之受測者依能力區分有高能力與低能力，再依據實驗環境分為熟悉與陌生地區進行實驗，在實驗中引進放聲思考法對受試者進行實驗，同時要求不斷以口述方式，描述受測者對路網認知與想法，實驗完成後，其受測者全程最多決策數為 33 個決策數，最少為 2 個決策數。

趙凌佑【4】利用動態控制實驗收集逐點動態資料，實驗之受訪者因能力區分有高能力與低能力，再依據實驗環境為熟悉與陌生地區進行實驗，在實驗中進程序性記憶測驗，包括請受測者判斷剩餘路段之行駛時間與回想先前進行之路徑決策行為，最後進行比對，實驗完成後，其受測者全程最多決策數為 36 個決策數，最少為 9 個決策數。

利用車內資訊系統模擬器收集駕駛者變換行為之相關資訊，在進行動態控制實驗時，模擬器所提供之各項相關資訊可分為兩大類，第一類為動態圖形化資訊包括習慣路徑、建議路徑、各路段之交通狀況、指北方向、目的地方向與前方號誌狀況，第二類為動態文字化資訊包括現在時間、已旅行時間、已旅行距離、最短旅行距離、習慣路徑與建議路徑的剩餘旅行時間、剩餘旅行距離與剩餘號誌化路口數，詳細整理如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1 模擬器資訊提供整理表

資訊提供項目			說明
指北方向			
目的地方向			指示駕駛者目的地方向
旅行時間	出發時間		駕駛者於起點出發時間
	現在時間		顯示目前時間
	最短距離		目前位置至目的地最短距離
	已旅行距離		駕駛者已旅行距離
前方號誌			前方號誌顯示狀況
目前位置			駕駛者目前所在位置
導引 資訊	習慣 路徑	剩餘旅行時間	目前位置至目的地剩餘旅行時間
		剩餘旅行距離	目前位置至目的地剩餘旅行距離
		剩餘號誌路口	目前位置至目的地剩餘號誌路口
	建議 路徑	剩餘旅行時間	目前位置至目的地剩餘旅行時間
		剩餘旅行距離	目前位置至目的地剩餘旅行距離
		剩餘號誌路口	目前位置至目的地剩餘號誌路口數
行進方向			目前位置可行進至目的地之方向
路徑方案			可選擇之路徑包括建議路徑、習慣路徑與其他路徑

3.2 變換基準與變數定義

為能夠清楚說明駕駛者變換路徑之行為，定義路徑變換基準分別為動態路徑基準、習慣（行前）路徑基準與建議路徑基準，而影響駕駛者途中路徑選擇變換行為之變數以時間為主軸，將變數區分為累積經驗（cumulated）、近視屬性（myopic）與遠視屬性（foresight）三類，圖 3.2.1 則為變數屬性示意圖。

對於不同之路徑變換行為，針對在每一個別決策點，利用不同之角度說明駕駛者變換路徑選擇行為，將變換基準分為三類說明如下：

- （1）動態路徑基準：駕駛者以「目前行駛路徑」作為路徑變換之基準；當系統所顯示之目前行駛路徑所造成的延滯時間超過駕駛者所能接受之容忍限度時，駕駛者會傾向於不繼續行駛目前之路徑。
- （2）習慣（行前）路徑基準：駕駛者以「習慣路徑」作為路徑變換之基準；當系統所顯示之習慣路徑所造成的延滯時間超過駕駛者所能接受之容忍限度時，駕駛者會傾向於不繼續行駛習慣之路徑。
- （3）建議路徑基準：駕駛者以「建議路徑」作為路徑變換之基準；當系統所顯示之建議路徑所造成的延滯時間超過駕駛者所能接受之容忍限度時，駕駛者會傾向於不繼續行駛建議之路徑。

張碧琴【3】探討之變數包括駕駛者屬性、路網屬性、決策點屬性、累積經驗、近視交通屬性與遠視交通屬性等六類變數，其中駕駛者屬性包括駕駛年資、尋找新的替代道路傾向與駕駛者於不同熟悉度地區所採用空間知識等變數。

路網屬性則包括兩種不同類型之路網，所採用之路網為真實路網劃分而成，第一種路網即指台北市區路網；而第二種路網即指台北市區外圍路網（如三重、南港、淡水、北投與士林等），決策點屬性則指駕駛者目前所面臨決策點所在之區位。

對於影響駕駛者途中路徑變換行為之變數定義說明如下：

(1) 累積經驗

- 累積路徑變換次數：依三種不同基準對路徑變換行為進行定義；而累積路徑變換次數即為累積至 j 決策點之總路徑變換次數。
- 累積資訊不一致：當車內導引系統於 j 決策點的建議路徑下一路斷，不包含在 $j-1$ 決策點系統顯示之建議路徑內，則視為建議路徑產生不一致的狀況；建議路徑累積不一致即為累積至 j 決策點發生不一致之總數。

此兩項變數目的在於反應駕駛者所經歷過的經驗，對路徑變換行為所造成之影響，亦可反應駕駛者是否重視車內導引資訊系統建議路徑之不一致性。

(2) 近視屬性

- 目前是否在習慣路徑：指駕駛者目前所行走路徑是否為習慣路徑。
- 目前是否在建議路徑：指駕駛者目前所行走路徑是否為建議路徑。
- 目前是否在其他路徑：指駕駛者目前所行走路徑是否為其他路徑，其他路徑則為除了習慣路徑與建議路徑之外之所有路徑。
- 資訊不一致：當車內導引資訊系統於 j 決策點的建議路徑下一路段，不包含在 $j-1$ 決策點系統顯示之建議路徑內，則視為建議路徑不一致。
- 鄰近下一路段壅塞狀況：指壅塞等級乘上上下一路段長度。
- 資訊可靠度：系統預測之路段旅行時間和實際旅行時間之差值，與實際旅行時間之比值的絕對值，其計算方式說明如下：

$$ERR_{ij} = |(ATT_{ij} - RTT_{ij}) / ATT_{ij}|$$

ATT_{ij} = 由 node (j-1) 到 node j 實際之旅行時間

RTT_{ij} = 由 node (j-1) 到 node j 預測之旅行時間

其主要目的在於反應駕駛者目前所面臨之狀況，或駕駛者剛經歷過的狀況對其路徑變換行為之影響，此外目前所在路徑則可反應出當駕駛者位於不同的路徑，其對路徑變換原始無異帶的調整量之差異。

(3) 遠視屬性

- 剩餘旅行時間差值：目前決策路口建議路徑剩餘旅行時間與習慣路徑剩餘旅行時間之差值。
- 偏好一致性：指系統建議路徑與駕駛者習慣路徑之重合程度。

此類變數目的在於反應目前決策點至終點的各項平均狀況，對駕駛者路徑變換行為之影響。

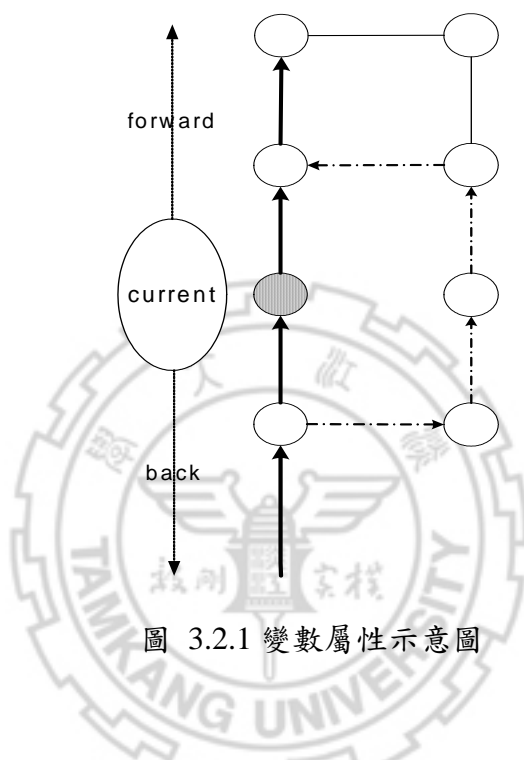


圖 3.2.1 變數屬性示意圖

趙凌佑【4】則將駕駛者屬性之處理包含二類，其一為依張碧琴【3】所使用之尋找新的替代道路傾向以及駕駛者於不同熟悉度地區採用之空間知識等直接變數形式，利用執行結果，參考張碧琴模式定義方式，對變數以相同方式處理方式，同張碧琴利用因素得分，代表認路策略之權重，將其應用至逐點動態行為模式中，其二形成之線性結構關係（LISREL）形成隱藏性變數型式，將所獲得之空間能力及地理知識兩隱藏性變數計算其因素得分（Factor Score），分別計算得分結果分為正得分與負得分兩型式納入駕駛者屬性變數。

3.3 動態控制實驗於本研究之應用

根據前兩節敘述動態控制實驗、變換基準與變數定義，本節乃說明動態控制實驗於本研究之應用，在受測者完成動態控制實驗後，根據模擬器所記錄每一位受測者之逐點決策資料應用於本研究之說明如下：

- (1) 逐點決策資訊：紀錄受訪者於每一個別決策點之路徑選擇，其路徑選擇包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑，並記錄在全程路徑中受訪者所有路徑選擇之記錄。
- (2) 旅行時間資訊：紀錄受訪者於每一個別決策點已旅行時間及習慣路徑與建議路徑剩餘旅行時間，經由受測者在實驗前所預期之全程路徑旅行時間，可推算受測者於每一個別決策點之延滯時間，其延滯可分為建議路徑延滯時間與習慣路徑延滯時間。

$$\text{延滯時間} = \text{預期旅行時間} - \text{路徑之剩餘旅行時間} - \text{已旅行時間}$$

根據三類變換基準與變數定義，乃前期系列研究中其利用多項式普羅比模式校估之部分，因此本研究會利用三類變換基準所校估之參數校估值，帶入無異帶模式推算每一個別決策點之無異帶；並根據每一個別決策點之無異帶、延滯時間與駕駛者變換路徑行為，進行駕駛者變換與不變換路徑機率推算，其詳細之部分乃於第四章說明。

第四章 模式基本架構

根據第一章研究目的，本研究乃利用馬可夫鏈狀態至狀態轉移之關係探討逐點動態決策行為決策至決策間關係，本章節則說明馬可夫鏈之定義、馬可夫鏈定義於逐點動態決策行為與馬可夫鏈的假設檢定。

4.1 馬可夫鏈

4.1.1 馬可夫鏈定義

馬可夫鏈為一隨機過程由隨機變數所組成的集合，屬於隨機過程中特殊型態，其基本定義是指在從一項已知的情況，推估未來之情況，常應用在許多領域預測的分析上。

在此對馬可夫鏈之基本名詞定義解釋如下：

- (1) 狀態 (State)：在隨機過程中，在任何時間內，一個試驗或觀察具有各種可能的結果，其中每一種結果稱為狀態，而所有狀態的集合稱為狀態空間。
- (2) 轉移機率 (Transition Probability)：在試驗或觀察中，從一個狀態轉移至另一個狀態之機率稱為轉移機率。

在一階馬可夫鏈中，僅受前一次結果影響，第 $t-1$ 期在狀態 i ，第 t 期在狀態 j ，其轉移機率則可表示為如 4.1-1 式所示。

$$p(x_t = j | x_{t-1} = i) = p(j|i) \quad (4.1-1)$$

- (3) 轉移矩陣 (Transition Matrix)：試驗中各種狀態相互之間轉移機率所構成之正方矩陣，稱為轉移矩陣，則可表示為如 4.1-2 式所示，且需滿足 4.1-3 式表示每列機率和皆等於一，及 4.1-4 式所有機率值皆為正數。

$$P = \begin{pmatrix} p(1|1) & \cdots & p(M|1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p(1|M) & \cdots & p(M|M) \end{pmatrix} \quad (4.1-2)$$

$$\sum_{j=1}^M p(j|i) = 1, i = 1, 2, \dots, M \quad (4.1-3)$$

$$p(j|i) \geq 0, \forall i, j \quad (4.1-4)$$

(4) 馬可夫特性 (Markov property)：若一隨機過程，在任一時間之狀態只和前次狀態有關，而與過去狀態無關時，即具有馬可夫特性。

根據馬可夫鏈之定義，馬可夫鏈狀態與狀態之間的轉移，可透過狀態之轉移機率從一狀態轉移至另一狀態，表示情形如圖 4.1.1 所示，其代表三個狀態間各別透過轉移機率作狀態間之轉移，而從原狀態轉移至下一狀態之關係說明。

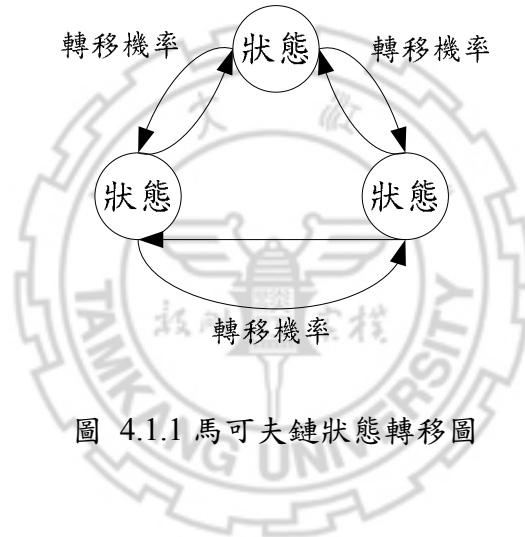


圖 4.1.1 馬可夫鏈狀態轉移圖

若狀態之轉移機率符合為 $p(x_t = j | x_{t-1} = i) = p(j|i)$ 的情況下，其具備之意義如下：

- (1) 其條件機率僅與前一次狀態有關，不受其他過去之經驗影響。
- (2) 由第 $t-1$ 期轉移至第 t 期的轉移機率為已知。
- (3) 轉移機率 $p(x_{m+n} = j | x_m = i), n = 0, 1, 2, \dots$ ，其意義表示由第 m 期經過 n 期後轉移至第 $m+n$ 期的條件機率。

若轉移機率與經過之期數多寡有關，則具備穩定轉移機率之分配，可表示為如 4.1-5 式所示，表示由狀態 i 開始，經過 n 步（或 n 次試驗）

後到達狀態 j 的機率，並滿足 4.1-6 式與 4.1-7 式。

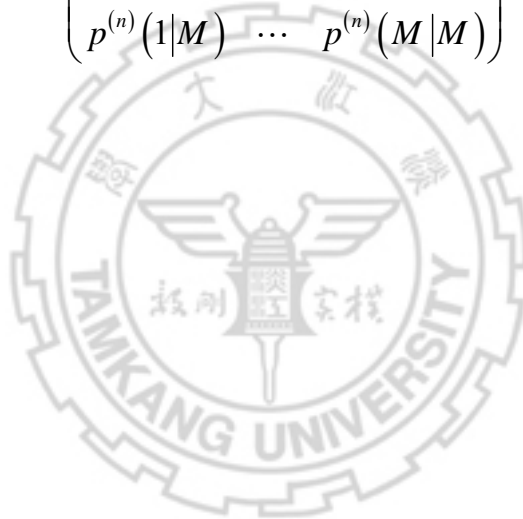
$$p^{(n)}(j|i) = p(x_{m+n} = j | x_m = i) = p(x_n = j | x_0 = i) \quad (4.1-5)$$

$$\sum_{j=1}^M p^{(n)}(j|i) = 1, \forall i, n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.1-6)$$

$$p^{(n)}(j|i) \geq 0, \forall i, j, n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.1-7)$$

以轉移矩陣表示如 4.1-8 式所示。

$$P^{(n)} = \begin{pmatrix} p^{(n)}(1|1) & \dots & p^{(n)}(M|1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p^{(n)}(1|M) & \dots & p^{(n)}(M|M) \end{pmatrix} \quad (4.1-8)$$



4.1.2 馬可夫鏈種類

馬可夫鏈的種類依據其受過去試驗結果的影響多寡，可分類成如下：

- (1) 一階馬可夫鏈 (First-Order Markov Chain)：指在馬可夫過程中，其第 t 次試驗的結果僅受前一次（即第 $t-1$ 次）結果的影響，而與前二次以前結果無關，其滿足如 4.1-9 式所示。

$$\begin{aligned} P(x_t = j_t | x_0 = j_0, \dots, x_{t-2} = j_{t-2}, x_{t-1} = j_{t-1}) \\ = P(x_t = j_t | x_{t-1} = j_{t-1}) \end{aligned} \quad (4.1-9)$$

- (2) 二階馬可夫鏈 (Second-Order Markov Chain)：指在馬可夫過程中，其第 n 次試驗的結果僅受前二次（即第 $t-1$ 次與第 $t-2$ 次）結果的影響，而與前三次以前結果無關，其滿足如 4.1-10 式所示。

$$\begin{aligned} P(x_t = j_t | x_0 = j_0, \dots, x_{t-2} = j_{t-2}, x_{t-1} = j_{t-1}) \\ = P(x_t = j_t | x_{t-2} = j_{t-2}, x_{t-1} = j_{t-1}) \end{aligned} \quad (4.1-10)$$

馬可夫鏈的種類依據其各別之特性，可分類成如下：

- (1) 吸收馬可夫鏈 (Absorbing Markov Chain)：當試驗進入某一種狀態後，即停留而不會離開該一狀態，此狀態即為吸收狀態 (Absorbing State)，若狀態 i 為吸收狀態，則該狀態的轉移機率如 4.1-11 式所示。

$$\begin{aligned} p(j|i) &= 0, i \neq j \\ p(j|i) &= 1, i = j \end{aligned} \quad (4.1-11)$$

- (2) 各態歷經馬可夫鏈 (Ergodic Markov Chain)：若在馬可夫鏈中，所有狀態皆是各態歷經稱為各態歷經馬可夫鏈。
- (3) 正規馬可夫鏈 (Regular Markov Chain)：若轉移矩陣 P 的 k 次方 P^k 中每一元素皆為正數，其轉移矩陣稱為正規轉移矩陣，即指不論從哪一狀態開始，經過多次試驗轉移後，每一狀態皆有被到達的可能。

此馬可夫鏈之轉移矩陣為 P ，其 n 次的轉移矩陣 $P^{(n)}$ 趨近於矩陣 W ，以 4.1-12 式所示，其中 W 可稱為穩定狀態機率 (Steady-State Probability)，而最後趨於穩定狀態機率之情況，由於最終之結果與起始狀態無關，因此為無記憶性。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)} = W \quad (4.1-12)$$

- (4) 不可約的馬可夫鏈 (Irreducible Markov Chain)：在 $i \neq j$ 而言，即指每一狀態 j 皆可在有限之轉移次數下從每一個其他狀態 i 抵達，其中 $p^{(n)}(j|i) > 0, 1 \leq n < \infty$



4.1.3 馬可夫鏈於文獻中定義

本節乃依第二章文獻回顧中之馬可夫鏈應用於交通領域文獻中，說明文獻在馬可夫鏈狀態、狀態之轉移機率與轉移矩陣定義，其表示的符號為文獻中之說明，因此在符號說明上有與本研究之符號有所不同，說明如下：

一、黃建中【19】利用馬可夫鏈建立鋪面服務能力指標預測模式，並定義鋪面狀態（PSI）為馬可夫狀態，將鋪面狀態分為 5 種狀態，其轉移機率表示為

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$$

其中 n_{ij} 為前次狀態位於狀態 i ，而在本次位於狀態 j 之發生次數。

$$n_i = \sum_{j=1}^5 n_{ij}$$

因假設鋪面狀況隨時間而衰退，5 種狀態分別表示為狀態 A、B、C、D、E，因此其轉移矩陣表示為

$$P = \begin{bmatrix} P_{AA} & P_{AB} & P_{AC} & P_{AD} & P_{AE} \\ 0 & P_{BB} & P_{BC} & P_{BD} & P_{BE} \\ 0 & 0 & P_{CC} & P_{CD} & P_{CE} \\ 0 & 0 & 0 & P_{DD} & P_{DE} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

二、林勝傑【20】利用類神經網路結合應用模糊理論所得之鋪面損壞指標，應用馬可夫鏈作為預測模式，並定義鋪面狀態（PDI）為馬可夫狀態，將鋪面狀態分為 5 種狀態，轉移機率表示為

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$$

其中 n_{ij} 為前次狀態位於狀態 i ，而在本次位於狀態 j 之發生次數。

$$n_i = \sum_{j=1}^5 n_{ij}$$

因假設鋪面狀況最多只會下降一狀態，5 種狀態分別表示為狀態 1、2、3、4、5，因此其轉移矩陣表示為

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & P_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{44} & P_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

三、Akamatsu【23】利用馬可夫鏈探討羅吉特交通量指派，定義網路上節點為馬可夫狀態，其路網範例表示圖 4.1.2 所示，有 4 個節點之路網，起點為節點 1，迄點為節點 2，其所構成之轉移矩陣為

$$P = \begin{bmatrix} & \begin{matrix} 4 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 4 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(2|1) & p(3|1) \\ p(4|2) & 0 & 0 & p(3|2) \\ p(4|3) & 0 & p(2|3) & 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

4.1-13 式表示路徑選擇機率等於節點選擇機率乘上轉移機率，因此其轉移機率可由此推算。

p_{ij} 表示路徑選擇機率， $P(i)$ 表示節點選擇機率， $p(j|i)$ 表示轉移機率。

$$p_{ij} = P(i) p(j|i) \quad (4.1-13)$$

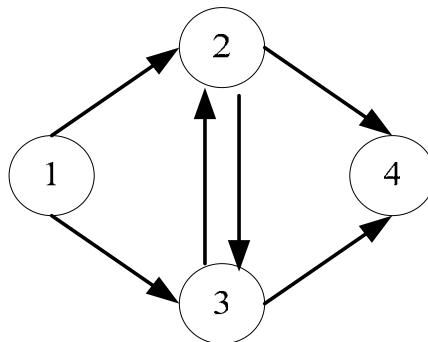


圖 4.1.2 路網範例圖

四、Suzuki【8】以馬可夫鏈探討航空即時績效與市場佔有率的關係，其建立的情況是指在航空乘客是否曾經歷過班機延誤的經驗下，當乘客再遇到班機延誤時，會選擇搭乘原班機或選擇其他航空公司班機之決策問題對市場佔有率之影響，其構建在 $t-1$ 月至 t 月之轉移矩陣表示為

$${}^{t-1} \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & i & \dots & n \\ \begin{bmatrix} 1-\lambda_1 & \lambda_1 A_{1t}^1 & \dots & \lambda_1 A_{it}^1 & \dots & \lambda_1 A_{nt}^1 \\ \lambda_2 A_{1t}^2 & 1-\lambda_1 & \dots & \lambda_2 A_{it}^2 & \dots & \lambda_2 A_{nt}^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \lambda_i A_{1t}^i & \lambda_i A_{2t}^i & \dots & 1-\lambda_i & \dots & \lambda_i A_{nt}^i \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \lambda_n A_{1t}^n & \lambda_n A_{2t}^n & \dots & \lambda_n A_{it}^n & \dots & 1-\lambda_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

其中 λ_k 表示乘客選擇班機的比率， A_{it}^k 表示選擇業者之指標

$$\begin{aligned} 0 \leq A_{it}^k &\leq 1 \quad \forall k, i, t, \quad i \neq k \\ \sum_{i \neq k} A_{it}^k &= 1 \quad \forall k, t \end{aligned}$$

五、劉素妙【26】利用灰色拓撲結合馬可夫鏈預測規劃航空旅客需求量，利用灰色拓撲產生預測值，再利用馬可夫鏈進行預測，其定義狀態分別為預測旅客需求量向下波動、無波動與向上波動，其狀態之轉移機率表示為

$$p_{ab}^{(m)} = \frac{M_{ab}^{(m)}}{M_a}$$

其中 $p_{ab}^{(m)}$ 表示由狀態 a 經 m 步轉移到狀態 b 的機率， $M_{ab}^{(m)}$ 為狀態 a 經 m 步轉移到狀態 b 的次數， M_a 為狀態 a 出現的次數。

狀態轉移矩陣表示為

$$R^{(m)} = \begin{pmatrix} p_{11}^{(m)} & \dots & p_{1k}^{(m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k1}^{(m)} & \dots & p_{kk}^{(m)} \end{pmatrix}$$

六、楊佳學【27】利用馬可夫分析與故障樹分析處理 IRS 安全，定義在元件中兩狀態為失效前與失效後，其中的失效率即表示為轉移機率，其利用可靠度推導結果式子如下

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = [r] \times \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_1(t) \\ \vdots \\ \vdots \\ P_N(t) \\ P_F(t) \end{bmatrix}$$

其中 $[r]$ 為馬可夫狀態轉移之轉移矩陣

其轉移機率即失效率表示為

$$\text{平均失效率 } \lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \lambda(t_i)}{n}$$



4.2 定義逐點動態決策行為

在前一節說明馬可夫鏈定義後，本研究以馬可夫鏈探討逐點動態決策行為，將以馬可夫鏈定義逐點動態決策行為作一說明，並描述定義於逐點動態決策行為狀態之轉移機率來由。

4.2.1 馬可夫鏈定義於逐點動態決策行為

逐點動態決策行為即指當通勤者面對某一決策點時，以其目前所在路徑與最佳路徑的旅行時間差距值為依據，透過行為機制決定是否變換目前行駛的路徑，若變換路徑所能節省的旅行時間大於所能容忍的無異帶，則駕駛者便會進行路徑的變換，逐點動態決策行為可由圖 4.2.1 說明屬於決策對決策間之關係，其中每一個別決策點則包含駕駛者變換或不變換路徑之行為，其駕駛者可選擇行走之路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑等 3 種路徑。

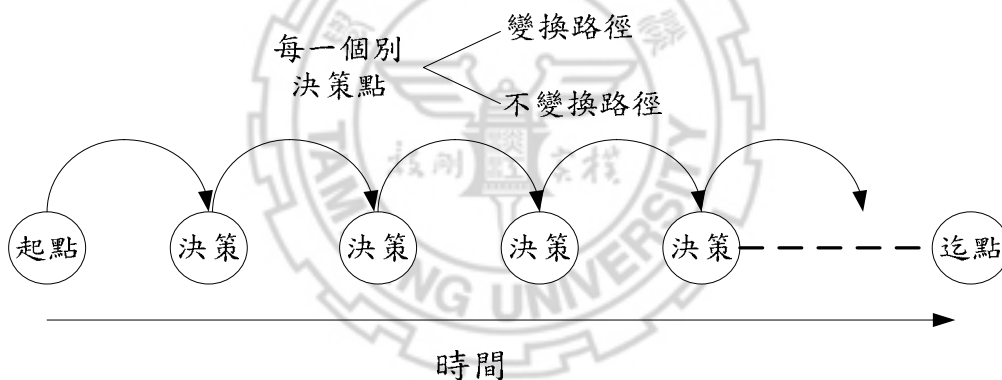


圖 4.2.1 逐點動態決策行為圖

因此將馬可夫鏈定義逐點動態決策行為，定義之方式說明如下：

一、以選擇之路徑為狀態

根據動態控制實驗，駕駛者可選擇之路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑，因此根據駕駛者所選擇之路徑，利用馬可夫鏈定義說明如下：

- (1) 狀態 (State)：指駕駛者於每一個別決策點可選擇之路徑，駕駛者可選擇之路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑，在此將狀態分為 3 種狀態，狀態 1 為習慣路徑，狀態 2 為建議路徑，狀態 3 為其他路徑。

- (2) 決策 (Decision): 駕駛者於每一個別決策點之決策包括變換路徑或不變換路徑, 例如在上一決策點選擇行走習慣路徑為狀態 1, 在目前決策點選擇行走習慣路徑為狀態 1, 即表示在目前決策點駕駛者之決策為不變換路徑; 在例如上一決策點選擇行走習慣路徑為狀態 1, 在目前決策點選擇行走建議路徑為狀態 2, 即表示在目前決策點駕駛者之決策為變換路徑。
- (3) 轉移機率 (Transition Probability): 指駕駛者在上一決策點狀態 i 選擇行走路徑如習慣路徑或建議路徑或其他路徑, 而在目前決策點狀態 j 選擇行走路徑如習慣路徑或建議路徑或其他路徑之機率。

其中 $p(1|1)$: 表示駕駛者在上一決策點選擇行走習慣路徑, 在目前決策點選擇行走習慣路徑之轉移機率, $p(2|1)$ 表示駕駛者在上一決策點選擇行走習慣路徑, 在目前決策點選擇行走建議路徑之轉移機率, $p(3|1)$ 表示駕駛者在上一決策點選擇行走習慣路徑, 在目前決策點選擇行走其他路徑之轉移機率, 依此類推得 $p(1|2)$ 、 $p(2|2)$ 、 $p(3|2)$ 、 $p(1|3)$ 、 $p(2|3)$ 與 $p(3|3)$ 。

- (4) 轉移矩陣: 根據上述之轉移機率, 可形成駕駛者於每一個別決策點所形成正方矩陣, 如 4.2-1 式所示。

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccc}
 & \text{習慣路徑} & \text{建議路徑} & \text{其他路徑} \\
 \text{習慣路徑} & & & \\
 \text{建議路徑} & & & \\
 \text{其他路徑} & & &
 \end{array}
 P = \begin{pmatrix}
 p(1|1) & p(2|1) & p(3|1) \\
 p(1|2) & p(2|2) & p(3|2) \\
 p(1|3) & p(2|3) & p(3|3)
 \end{pmatrix}
 \end{array} \quad (4.2-1)$$

本研究根據馬可夫鏈定義逐點動態決策行為, 將逐點動態決策行為之變換路徑決策, 表示於駕駛者路徑選擇之變換行為上, 如圖 4.2.2 表示逐點動態決策行為中, 駕駛者可選擇行走路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑, 透過駕駛者之決策行為包括變換路徑或不變換路徑, 因而構成在每一個別決策點時, 每一位駕駛者選擇行走之路徑時, 所形成之決策而構成逐點動態決策行為。

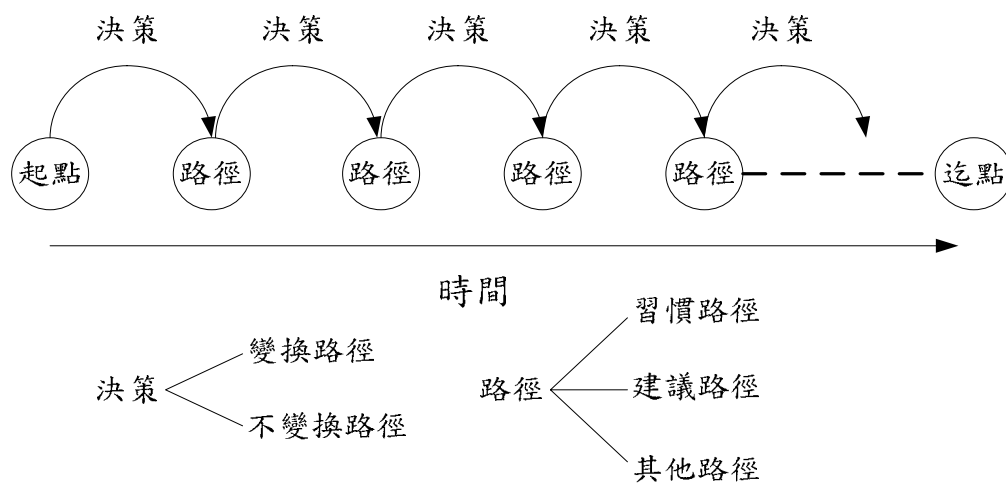


圖 4.2.2 逐點動態決策行為轉移圖



4.2.2 逐點變換與不變換路徑機率

本研究乃利用駕駛者逐點變換與不變換路徑機率推算馬可夫鏈之轉移機率，因此在本節首先說明逐點變換與不變換路徑機率來由，以利於後續推算轉移機率之依據。

根據第三章動態控制實驗收集逐點動態決策資料，本研究利用逐點動態決策資料依據張碧琴【3】與趙凌佑【4】所構建之逐點動態決策模式，及利用多項式普羅比模式校估參數值推算駕駛者於行進過程中每一個別決策點之變換與不變換路徑機率。

所根據之逐點動態決策模式乃由陳士邦【1】自 Tong【5】之逐日模式變換而來，其模式架構由 4.2-2 式表示若目前行駛路徑的延滯時間大於所能容忍的無異帶，則駕駛者便會進行路徑的變換。

$$P(\text{switch}) = P(|TTS_{ij}| > |IBR_{ij}|) \quad (4.2-2)$$

TTS_{ij} ：駕駛者目前行駛路徑之延滯時間

IBR_{ij} ：駕駛者無異區間

I ：某駕駛者 i 集合

J ：決策點集合

駕駛者無異帶會受到個人特性、旅次特性、交通資訊特性及各決策點特性之影響，根據可能影響無異帶的因素，無異帶函數定義如 4.2-3 式

$$IBR_{ij} = f(W_i, X_i, Y_{ij}, Z_{ij}, \theta_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (4.2-3)$$

$f()$ ：無異帶函數

W_i ：駕駛者屬性（一般性變數、隱藏性變數（ η ））

X_i ：旅次屬性

Y_{ij} ：交通資訊屬性

（或包含前一決策點之累積交通資訊， Y^* ）

Z_{ij} ：決策點屬性（或包含前一決策點累積經驗， Z^* ）

θ_{ij} ：參數向量

ε_{ij} ：殘差項

4.2-4 式為張碧琴【3】構建之逐點動態決策模式在此定義為模式一，其無異帶變數定義如表 4.2-1 所示，4.2-5 式為趙凌佑【4】構建之逐點動態決策模式在此定義為模式二，其無異帶變數定義如表 4.2-2 所示。

依據表 4.2-1 與表 4.2-2 之多項式普羅比參數校估值分別代入 4.2-4 式與 4.2-5 式無異帶模式，則可求出駕駛者於每一個別決策點之無異帶。

(4.2-4) 駕駛者之路徑決策無異帶（模式一）

路徑決策無異帶	
$IBR_{ij} = a_1$ $+ a_2 * DIE_i + a_3 * NR_i + a_4 * PK_i + a_5 * SK_i$ $+ a_6 * NONE_i + a_7 * NTWO_i$ $+ a_8 * LOC_{ij}$ $+ a_9 * CSW_{ij} + a_{10} * CCON_{ij}$ $+ a_{11} * NOWH_{ij} + a_{12} * NOWR_{ij} + a_{13} * NOWO_{ij} + a_{14} * TSA_{ij}$ $+ a_{15} * PRESSURE_{ij} + a_{16} * ERR_{ij} + a_{17} * CON_{ij}$ $+ a_{18} * RTT_{ij} + a_{19} * PREFER_{ij}$ $+ \varepsilon_{ij}$	初始值 駕駛者屬性 路網屬性 決策點屬性 累積經驗 近視交通特性 遠視交通特性 誤差項

資料來源：【3】

表 4.2-1 路徑決策無異帶模式定義表（模式一）

變數類別	變數名稱	變數定義
初始值	初始值 [INITIAL _i]	
駕駛者屬性	駕駛年資 [DIE _i]	駕駛者實際開車經驗[scale]
	找新路傾向 [NR _i]	駕駛者本身具有尋找新替代道路之傾向[scale]
	程序性知識 [PK _i]	駕駛者本身擁有類似路徑式之空間知識[scale]
	概觀性知識 [SK _i]	駕駛者本身擁有類似網路式之空間知識[scale]
路網屬性	第一種路網 [NONE _{ij}]	若駕駛者在第一種路網上，則 NONE _{ij} = 1； otherwise=0[dummy]
	第二種路網 [NTWO _{ij}]	若駕駛者在第二種路網上，則 NTWO _{ij} = 1； otherwise=0[dummy]
決策點 屬性	區位 [LOC _{ij}]	接近起迄點兩端=1 Otherwise=0[dummy]
累積經驗 (cumulate)	累積路徑變換次數 [CSW _{ij}]	累積至目前決策點之路徑變換次數[次數]
	累積資訊不一致 [CCON _{ij}]	至目前決策點累積建議路徑不一致[次數]
近視屬性 (myopic)	目前是否在習慣路徑 [NOWH _{ij}]	若駕駛者目前在習慣路徑上，則 NOWH _{ij} = 1； otherwise=0[dummy]
	目前是否在建議路徑 [NOWN _{ij}]	若駕駛者目前在建議路徑上，則 NOWN _{ij} = 1； Otherwise=0[dummy]
	目前是否在其他路徑 [NOWO _{ij}]	若駕駛者目前在其他路徑上，則 NOWO _{ij} = 1； otherwise=0[dummy]
	下一路段壅塞狀況 [TSA _{ij}]	$TSA_{ij} = \alpha_{ij} (jam_{ij})$ α_{ij} = 下一路段壅塞狀況[scale] jam_{ij} = 下一路段長度[km]
	已旅行時間比例 [PRESSURE _{ij}]	$PRESSURE_{ij} = TDT_{ij} / ATT_i$ TDT_{ij} : 累積至 node j 之旅行時間[min] ATT_i : driver i 預期之旅行時間[min]

資料來源：【3】

(4.2-5) 駕駛者之路徑決策無異帶 (模式二)

路徑決策無異帶	
$ \begin{aligned} IBR_{ij} = & a_1 \\ & + a_2 * DIE_i + a_3 * PR_i + a_4 * TE_i + a_5 * SA_i(+)(LISREL) \\ & + a_6 * SA_i(-)(LISREL) + a_7 * GK_i(+)(LISREL) + a_8 * GK_i(-)(LISREL) \\ & + a_9 * NONE_i + a_{10} * NTWO_i \\ & + a_{11} * LOC_{ij} \\ & + a_{12} * CSW_{ij} + a_{13} * CCON_{ij} \\ & + a_{14} * NOWH_{ij} + a_{15} * NOWR_{ij} + a_{16} * NOWO_{ij} + a_{17} * TSA_{ij} \\ & + a_{18} * PRESSURE_{ij} + a_{19} * ERR_{ij} + a_{20} * CON_{ij} \\ & + a_{21} * RTT_{ij} + a_{22} * PREFER_{ij} \\ & + \varepsilon_{ij} \end{aligned} $	初始值 駕駛者屬性 路網屬性 決策點屬性 累積經驗 近視交通特性 遠視交通特性 誤差項

資料來源：【4】



表 4.2-2 路徑決策無異帶模式變數定義表（模式二）

變數類別	變數名稱	變數定義
初始值	初始值[$INITIAL_i$]	
駕駛者屬性	駕駛年資[DIE_i]	駕駛者實際開車經驗[scale]
	路徑反轉[PR_i]	駕駛者擁有反向路徑回溯記憶之空間知識[scale]
	時間誤差[TE_i]	駕駛者對正向路徑判斷時間誤差之空間知識[scale]
	空間能力[SA_i^+]	駕駛者擁有正得分空間能力，以隱藏性變數型式表現[scale]
	空間能力[SA_i^-]	駕駛者擁有負得分空間能力，以隱藏性變數型式表現[scale]
	地理知識[GK_i^+]	駕駛者所累積正得分地理知識，以隱藏性變數型式表示[scale]
	地理知識[GK_i^-]	駕駛者所累積負得分地理知識，以隱藏性變數型式表示[scale]
路網屬性	第一種路網 [$NONE_{ij}$]	若駕駛者在第一種路網上，則 $NONE_{ij}=1$ ； otherwise=0[dummy]
	第二種路網 [$NTWO_{ij}$]	若駕駛者在第二種路網上，則 $NTWO_{ij}=1$ ； otherwise=0[dummy]
決策點 屬性	區位 [LOC_{ij}]	接近起迄點兩端=1 otherwise=0[dummy]
累積經驗 (cumulate)	累積路徑變換次數 [CSW_{ij}]	累積至目前決策點之路徑變換次數[次數]
	累積資訊不一致 [$CCON_{ij}$]	至目前決策點累積建議路徑不一致[次數]
近視屬性 (myopic)	目前是否在習慣路徑 [$NOWH_{ij}$]	若駕駛者目前在習慣路徑上，則 $NOWH_{ij}=1$ ； otherwise=0[dummy]
	目前是否在建議路徑 [$NOWR_{ij}$]	若駕駛者目前在建議路徑上，則 $NOWR_{ij}=1$ ； Otherwise=0[dummy]
	目前是否在其他路徑 [$NOWO_{ij}$]	若駕駛者目前在其他路徑上，則 $NOWO_{ij}=1$ ； otherwise=0[dummy]
	下一路段壅塞狀況 [TSA_{ij}]	$TSA_{ij} = \alpha_{ij} (jam_{ij})$ α_{ij} =下一路段壅塞狀況[scale] jam_{ij} =下一路段長度[km]
	已旅行時間比例 [$PRESSURE_{ij}$]	$PRESSURE_{ij} = TDT_{ij} / ATT_i$ TDT_{ij} ：累積至 node j 之旅行時間[min] ATT_i ：driver i 預期之旅行時間[min]

近視屬性 (myopic)	資訊可靠度 [ERR_{ij}]	$ERR_{ij} = (ATT_{ij} - RTT_{ij}) / ATT_{ij} $ ATT_{ij} = 由 node (j-1) 到 node j 實際之旅行時間[min] RTT_{ij} = 由 node (j-1) 到 node j 預測之旅行時間[min]
	建議下一路段一致性 [CON_{ij}]	若目前建議路徑下一路段不包含在上次建議路徑內，則 $CON_{ij}=1$ (dummy)
遠視屬性 (foresight)	剩餘旅行時間差值 [RTT_{ij}]	(建議路徑-習慣路徑)[min]
	偏好之一致性 [$PREFER_{ij}$]	建議路徑與習慣路徑之重合程度[比率] (決策點 J 至終點建議路徑與習慣路徑重合之路段數/決策點 J 至終點習慣路徑之路段數)
	a_{ij}	模式待估參數
	ε_{ij}	殘差項

資料來源：【4】

其模式之校估乃參考 Tong (1990)【5】逐日動態之行前旅運動態行為模式校估方法。其方法為視同一個人連續 T 日之出發時間與路徑決策方案為單一方案決策行為，欲定義個人作此一系列決策之聯合機率，則需假設一補助方案 (auxiliary alternative)，使個人每次決策均選擇該方案，其意義如同視個人 2T+1 個方案為一集合。根據上述模式架構與理念應用於行程中之逐點動態，定義個人於 J 決策點之決策方案的效用函數如 4.2-6 式。而 4.2-7 式中即分別視個人於每個決策點之決策，均有變換與不變換兩種方案。根據此定義則除補助方案之效用外，其餘決策點之效用皆為負值。

補助方案	$U_1 = 0$	
路徑決策，起始點	$U_2 = R_{i1}[IBR_{i1} - TTS_{i1} + \varepsilon_{i1}]$	
路徑決策，次點	$U_3 = R_{i2}[IBR_{i2} - TTS_{i2} + \varepsilon_{i2}]$	
路徑決策，第三點	$U_4 = R_{i3}[IBR_{i3} - TTS_{i3} + \varepsilon_{i3}]$	
		⋮
⋮		⋮
路徑決策，第 J 點	$U_{J+1} = R_{iJ}[IBR_{iJ} - TTS_{iJ} + \varepsilon_{iJ}]$	(4.2-6)

$$R_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{switch route on node } j. \\ -1, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4.2-7)$$

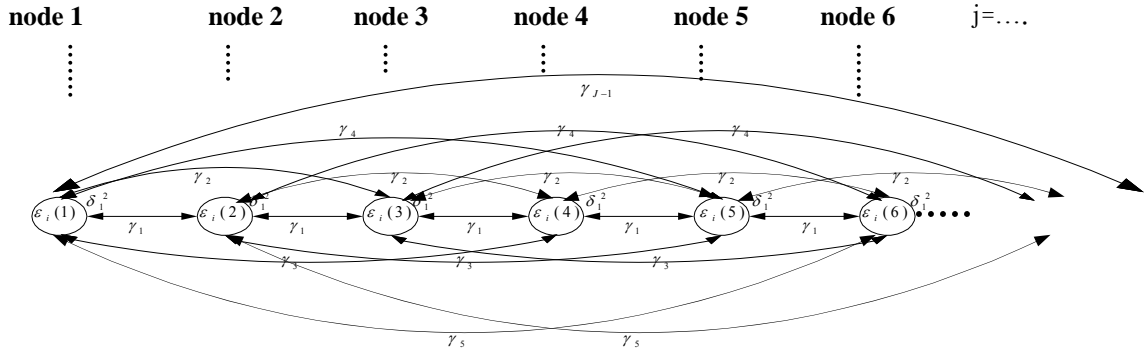
在此，則以駕駛者選擇該補助方案之機率函數，定義為作連續 J 決策點之路徑決策機率函數，該函數可表示如 4.2-8 式：

$$\begin{aligned} P_1 &= \text{Pr ob}[U_1 | U_1, U_2, U_3, \dots, U_{J+1}] \\ &= \text{Pr ob}[U_2 < U_1, U_3 < U_1, \dots, U_{J+1} < U_1] \\ &= \text{Pr ob}\{R_{i1}[IBR_{i1} - TTS_{i1} + \varepsilon_{i1}] < 0, \\ &\text{and } R_{i2}[IBR_{i2} - TTS_{i2} + \varepsilon_{i2}] < 0, \\ &\text{and } R_{i3}[IBR_{i3} - TTS_{i3} + \varepsilon_{i3}] < 0, \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\text{and } R_{iJ}[IBR_{iJ} - TTS_{iJ} + \varepsilon_{iJ}] < 0\} \end{aligned} \quad (4.2-8)$$

上述模式架構中之總殘差 ε 為 $MVN(0, \sum \varepsilon)$ 分配，誤差項為常態分配則符合多項普羅比模式架構之假設。普羅比模式允許誤差項之間存在著相關性，因此各誤差項之關係如 4.2-9 式，對應之變異共變異矩陣如 4.2-10 式所示。若針對此，考慮所有決策點之相關性進行參數校估，則因待估之參數眾多（視矩陣大小而定），需耗費相當之人力及電腦運算成本，且需大量之樣本數始能校估出合理之參數值。

先前之研究如 Tong【5】已證出高階之相關性並不顯著，因而簡化為一階逐點相關；之後陳士邦【1】亦沿用此架構。此外，從認知心理學中之訊息處理理論可知，駕駛者的記憶系統分為短期記憶（又稱工作記憶）與長期記憶等兩種，其中短期記憶的記憶容量是有限，尤其其保存時間非常短，僅能維持大約 30 秒，因此若此時訊息未能即時被重複，則將很快就會消失不見，因而無法形成長期記憶。而就車內導航系統於每一個別決策點提供資訊給駕駛者時，此瞬間訊息對駕駛者而言，亦很類似短期記憶。故以此理論為假設基礎並基於經濟性與實用性之考量，將原始之變異共變異數矩陣加以簡化，以利模式參數之校估；本研究構建之動態決策模式各決策點誤差項之變異-共變異矩陣則如 4.2-11 式所示。

如 4.2-12 式，僅假設同一駕駛者在連續相鄰兩決策點間未觀察項有一階相關性存在，即代表模式中各決策點之未觀察誤差項(unobserved error term)僅與前一決策點相關，此符合最簡單之逐點動態 (node-to-node dynamic)；矩陣內之待校估參數則僅剩 δ 及 γ 兩個參數。



各誤差項之關係 (4.2-9)

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Decision node 1(en-route)} & \delta^2 & \gamma_1 \quad \gamma_2 \quad \gamma_3 \cdots \gamma_{j-1} \\
 \text{Decision node 2(en-route)} & \gamma_1 & \delta^2 \quad \gamma_1 \quad \gamma_2 \cdots \gamma_{j-2} \\
 \text{Decision node 3(en-route)} & \gamma_2 & \gamma_1 \quad \delta^2 \quad \gamma_1 \cdots \gamma_{j-3} \\
 & \vdots & \gamma_1 \quad \ddots \quad \vdots \\
 & \vdots & \ddots \quad \ddots \quad \gamma_1 \\
 \text{Decision node J(destination)} & \gamma_{j-1} & \gamma_{j-2} \cdots \gamma_1 \quad \delta^2
 \end{array} \quad (4.2-10)$$

完整之誤差項變異-共變異結構

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Decision node 1(en-route)} & \delta^2 & \gamma \quad 0 \quad 0 \cdots 0 \\
 \text{Decision node 2(en-route)} & \gamma & \delta^2 \quad \gamma \quad 0 \cdots 0 \\
 \text{Decision node 3(en-route)} & 0 & \gamma \quad \delta^2 \quad \gamma \cdots 0 \\
 & \vdots & \gamma \quad \ddots \quad \vdots \\
 & \vdots & \ddots \quad \ddots \quad \gamma \\
 \text{Decision node J(destination)} & 0 & 0 \cdots \gamma \quad \delta^2
 \end{array} \quad (4.2-11)$$

誤差項變異-共變異結構

再根據模擬器記錄三類變換路徑基準之路徑延滯時間與駕駛者變換路徑之行為，可推算駕駛者於每一個別決策點之類似效用值如 4.2-6 式及 4.2-7 式所示，再利用普羅比模式推算駕駛者變換與不變換路徑之機率，即可推算駕駛者於每一個別決策點變換或不變換路徑之機率，其計算流程如圖 4.2.3 所示。

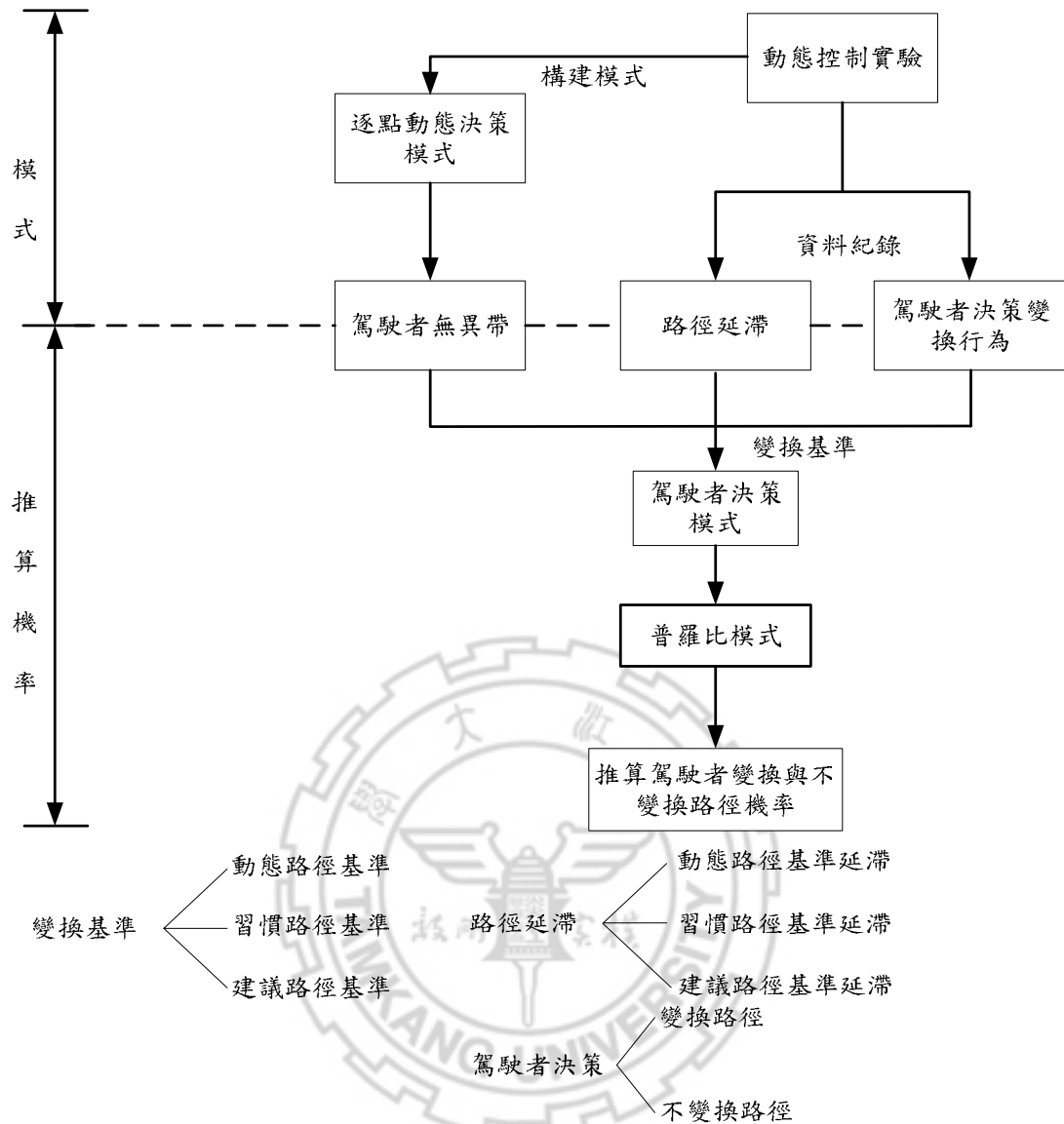


圖 4.2.3 逐點變換與不變換路徑機率推算流程圖

因此駕駛者每一個別決策點之變換與不變換路徑機率，乃受駕駛者變換路徑行為影響，根據多項式普羅比校估之標準差與共變異數為 δ 與 γ ，其機率推算之可能情形根據前述說明如下所示：

設置輔助方案 $U_1 = 0$

其餘決策點之效用皆為負值，因此路徑決策第 J 點之效用 $U_{J+1} < 0$

- (1) 若駕駛者在每一個別決策點，原先變換路徑之決策表示變換路徑時，利用普羅比模式推算駕駛者不變換路徑機率表示為 4.2-12 式所示

$$\begin{aligned}
 p(\text{no switch on node } J) &= p[U_1 > U_{J+1}] \\
 &= p[U_{J+1} - U_1 \leq 0] \\
 &= \Phi \left[\frac{V_{J+1} - V_1}{\sqrt{\delta^2 + \delta^2 - 2\gamma}} \right] \quad (4.2-12) \\
 &= \Phi \left[\frac{V_{J+1}}{\sqrt{\delta^2 + \delta^2 - 2\gamma}} \right]
 \end{aligned}$$

- (2) 若駕駛者在每一個別決策點，原先變換路徑之決策表示不變換路徑時，利用普羅比模式推算駕駛者變換路徑機率表示為 4.2-13 式所示。

$$\begin{aligned}
 p(\text{switch on node } J) &= p[U_1 > U_{J+1}] \\
 &= p[U_{J+1} - U_1 \leq 0] \\
 &= \Phi \left[\frac{V_{J+1} - V_1}{\sqrt{\delta^2 + \delta^2 - 2\gamma}} \right] \quad (4.2-13) \\
 &= \Phi \left[\frac{V_{J+1}}{\sqrt{\delta^2 + \delta^2 - 2\gamma}} \right]
 \end{aligned}$$

4.2.3 轉移機率

利用前一節介紹駕駛者逐點變換與不變換路徑之機率推算轉移機率，如圖 4.2.3 表示在目前決策點，駕駛者可選擇行走之路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑等 3 條路徑，狀態 i 即表示駕駛者前一決策點選擇之路徑，狀態 j 即指駕駛者目前決策點選擇之路徑。

根據前一節推算駕駛者逐點變換與不變換路徑機率說明

$p(\text{switch})$ 表示在目前決策點變換路徑之機率

$p(\text{no switch})$ 表示在目前決策點不變換路徑之機率

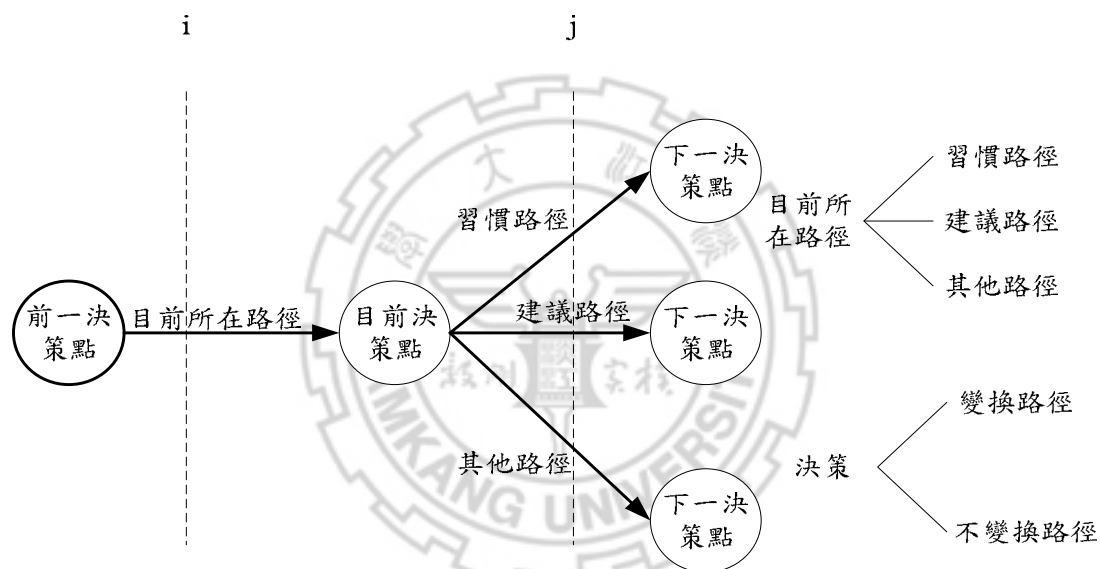


圖 4.2.3 路網示意圖

一、以選擇之路徑為狀態

將狀態分為 3 種狀態，狀態 1 為習慣路徑，狀態 2 為建議路徑，狀態 3 為其他路徑。

根據無異帶模式，可推算在目前決策點上，駕駛者在習慣路徑、建議路徑與其他路徑之變換路徑或不變換路徑機率，因此可得出如 4.2-14 式與 4.2-15 式之變換或不變換路徑機率值。

$$p(\text{switch}) = p(\text{switch}|i), i=1,2,3 \quad (4.2-14)$$

$$p(\text{no switch}) = p(\text{no switch}|i), i=1,2,3 \quad (4.2-15)$$

經由 4.2-14 式與 4.2-15 式可利用表示在目前決策點上駕駛者位於某種路徑而變換路徑之機率與駕駛者位於某種路徑而不變換路徑之機率，因此構建成如 4.2-16 式之 3×2 矩陣。

$$\begin{array}{l} \text{1 習慣路徑} \\ \text{2 建議路徑} \\ \text{3 其他路徑} \end{array} \begin{array}{cc} \text{換} & \text{不換} \\ \left(\begin{array}{cc} p(\text{switch}|1) & p(\text{no switch}|1) \\ p(\text{switch}|2) & p(\text{no switch}|2) \\ p(\text{switch}|3) & p(\text{no switch}|3) \end{array} \right) \end{array} \quad (4.2-16)$$

其中 $p(\text{switch}|1)$ 表示目前決策點駕駛者位在習慣路徑而變換路徑之機率， $p(\text{no switch}|1)$ 表示目前決策點駕駛者位在習慣路徑而不變換路徑之機率， $p(\text{switch}|2)$ 表示目前決策點駕駛者位在建議路徑而變換路徑之機率依此類推 $p(\text{no switch}|2)$ 、 $p(\text{switch}|3)$ 、 $p(\text{no switch}|3)$ 。

以下 4.2-17 式表示在目前決策點上駕駛者路徑選擇機率，等於變換路徑機率乘上已決定變換路徑而選擇行走某種路徑之機率加上不變換路徑機率乘上已決定不變換路徑而選擇行走某種路徑之機率，乃依據駕駛者在目前決策點所在路徑推算。

p_{ij} ：表示目前決策點之路徑選擇機率

$$p_{ij} = p(\text{switch})p(j|\text{switch}) + p(\text{no switch})p(j|\text{no switch}) \quad (4.2-17)$$

$$\text{if } i = j, p(j|\text{switch}) = 0, p(j|\text{no switch}) = 1$$

$$\text{if } i \neq j$$

$$p(j|\text{no switch}) = 0$$

$$p(\text{switch}) = \sum_{ij} p(\text{switch})p(j|\text{switch})$$

由 4.2-17 式可推算在目前決策點駕駛者已決定變換而變換至何條路徑之機率與駕駛者已決定不變換而不變換至何條路徑之機率，因此構建成如 4.2-18 式之 2×3 矩陣。

$$\begin{array}{c} \text{換} \\ \text{不換} \end{array} \begin{array}{ccc} \begin{array}{c} 1 \text{ 習慣路徑} \\ p(1|switch) \\ p(1|no \text{ switch}) \end{array} & \begin{array}{c} 2 \text{ 建議路徑} \\ p(2|switch) \\ p(2|no \text{ switch}) \end{array} & \begin{array}{c} 3 \text{ 其他路徑} \\ p(3|switch) \\ p(3|no \text{ switch}) \end{array} \end{array} \quad (4.2-18)$$

其中 $p(1|switch)$ 表示目前決策點上駕駛者決定變換路徑，而變換至習慣路徑之機率， $p(1|no \text{ switch})$ 表示目前決策點上駕駛者決定不變換路徑，而不變換至習慣路徑之機率， $p(2|switch)$ 表示目前決策點上駕駛者決定變換路徑，而變換至建議路徑之機率，依此類推 $p(2|no \text{ switch})$ 、 $p(3|switch)$ 與 $p(3|no \text{ switch})$ 。



利用 4.2-16 式依無異帶模式所構建之 3×2 矩陣與 4.2-18 式依駕駛者目前在路徑構建之 2×3 矩陣，可構建本研究之轉移矩陣為 4.2-19 式所示，對於每一位駕駛者而言，在其全行程所有決策點中，在每一個別決策點所構建之轉移矩陣皆不同。

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} p(\text{switch}|1) & p(\text{no switch}|1) \\ p(\text{switch}|2) & p(\text{no switch}|2) \\ p(\text{switch}|3) & p(\text{no switch}|3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p(1|\text{switch}) & p(2|\text{switch}) & p(3|\text{switch}) \\ p(1|\text{no switch}) & p(2|\text{no switch}) & p(3|\text{no switch}) \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} p(1|1) & p(2|1) & p(3|1) \\ p(1|2) & p(2|2) & p(3|2) \\ p(1|3) & p(2|3) & p(3|3) \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

	習慣路徑	建議路徑	其他路徑
習慣路徑	$P =$	$\begin{pmatrix} p(1 1) & p(2 1) & p(3 1) \\ p(1 2) & p(2 2) & p(3 2) \\ p(1 3) & p(2 3) & p(3 3) \end{pmatrix}$	
建議路徑			
其他路徑			

(4.2-19)

其中 $p(1|1)$ ：表示駕駛者在前一決策點選擇行走習慣路徑，在目前決策點選擇行走習慣路徑之轉移機率， $p(2|1)$ 表示駕駛者在前一決策點選擇行走習慣路徑，在目前決策點選擇行走建議路徑之轉移機率， $p(3|1)$ 表示駕駛者在前一決策點選擇行走習慣路徑，在目前決策點選擇行走其他路徑之轉移機率，依此類推得 $p(1|2)$ 、 $p(2|2)$ 、 $p(3|2)$ 、 $p(1|3)$ 、 $p(2|3)$ 與 $p(3|3)$ 。

4.3 馬可夫鏈的假設檢定

根據本研究所定義之轉移機率，其所構成之轉移矩陣，本節則利用概似比檢定方法檢定馬可夫鏈的假設，對所構成之轉移矩陣進行檢定，乃根據 T. W. Anderson 與 Leo A. Goodman (1957)【28】說明，透過馬可夫鏈的假設檢定，將定義三類變換基準如動態路徑基準、習慣（行前）路徑基準與建議路徑基準，以確認逐點動態決策行為是否符合馬可夫鏈。

一、獨立性檢定

檢定所觀察之隨機過程是否具有獨立性，其虛無假設 H_0 表示獨立，對立假設 H_1 表示一階馬可夫鏈，說明如下：

$$H_0 : P(x_t = j_t | x_1 = i_1, \dots, x_{t-2} = i_{t-2}, x_{t-1} = i_{t-1}) = P(x_t = j_t)$$

$$H_1 : P(x_t = j_t | x_1 = i_1, \dots, x_{t-2} = i_{t-2}, x_{t-1} = i_{t-1}) = P(x_t = j_t | x_{t-1} = i_{t-1})$$

其檢定統計量表示為 4.3-1 式。

$$\begin{aligned} & -2 \log \lambda \\ & = 2 \sum_{ij} n_{ij} [\log p(j|i) - \log p_{.j}] \end{aligned} \quad (4.3-1)$$

4.3-1 式說明如下：

n_{ij} ：表示為由前一決策點位於狀態 i ，至目前決策點位於狀態 j 之次數。

$p(j|i)$ ：指駕駛者於目前決策點，在前一決策點選擇行走狀態 i ，而在目前決策點選擇行走狀態 j 之機率。

$p_{.j}$ 表示為目前決策點不考慮狀態 i 之路徑，而在目前決策點選擇行走狀態 j 之機率。

其漸近分配為卡方分配，自由度為 $m^{r-1}(m-1)^2$ ， r 表示為對立假設中馬可夫鏈的階數，其中 $r=1$ ， m 表示為狀態空間內所有狀態的個數。

第五章 實例分析

在第四章定義構建轉移矩陣完成後，本章首先依據張碧琴【3】與趙凌佑【4】所收集之逐點動態決策資料進行處理，共分為三個階段，第一階段根據此資料作分類，其中判斷決策資料是否可以利用，乃依駕駛者全程之決策為依據，若駕駛者全程決策無法構建轉移矩陣，則不使用此決策資料，第二階段再利用適合之資料構建轉移矩陣，最後第三階段進行馬可夫鏈的假設檢定，主要目的在於確認逐點動態決策行為是否符合馬可夫鏈，其流程如圖 5-1 所示。

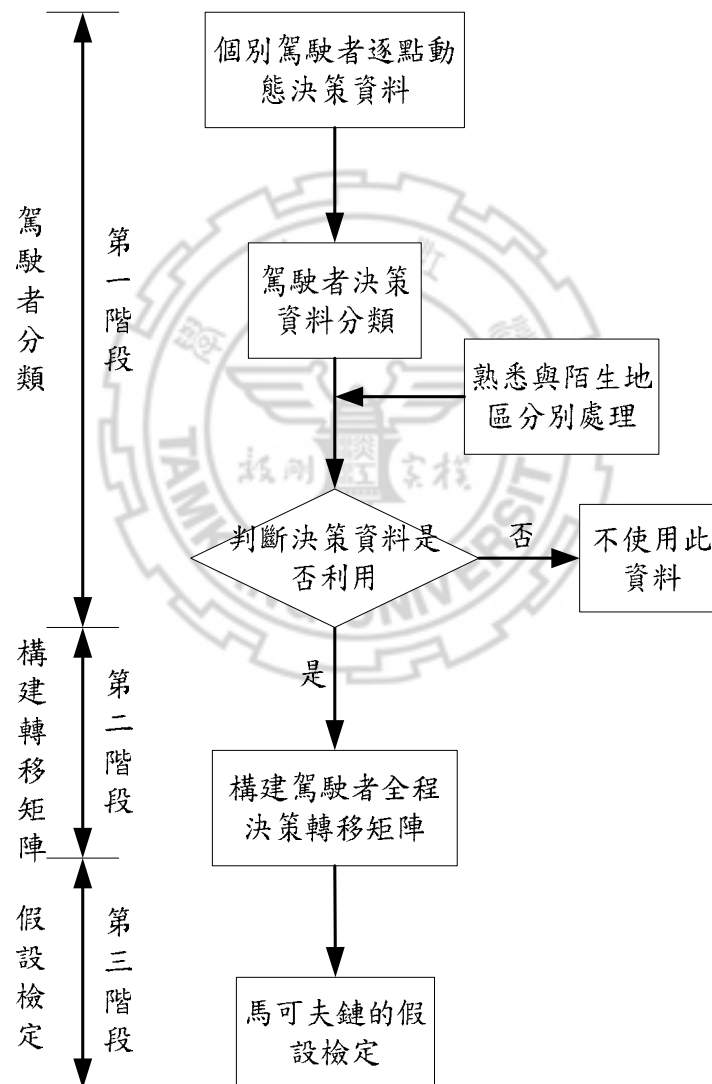


圖 5-1 實例分析流程圖

5.1 駕駛者分類

本研究所採用資料為張碧琴【3】與趙凌佑【4】構建逐點動態決策模型有效資料，整理共 25 位駕駛者之資料，其中張碧琴【3】收集資料高能力群共 8 人，低能力群共 8 人，趙凌佑【4】收集之資料高能力群共 9 人且位於熟悉地區，首先根據駕駛者決策資料進行分類，依駕駛者選擇行走 3 種路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑，將全部駕駛者依熟悉與陌生地區總人次之全程決策型態分為五類如表 5.1-1 所示。

表 5.1-1 駕駛者決策分類表

分類	行為決策	熟悉地區	陌生地區
類型一	全程行走習慣路徑	共 8 人次	共 2 人次
類型二	全程行走建議路徑	共 1 人次	無
類型三	交互變換行走建議與其他路徑	共 2 人次	共 1 人次
類型四	交互變換行走習慣與建議路徑	共 5 人次	共 8 人次
類型五	交互變換行走三種路徑包括習慣、建議與其他路徑	共 8 人次	共 5 人次

根據本研究定義方式所構建之轉移矩陣，本研究對於五種分類所構建之轉移矩陣說明整理如表 5.1-2 所示，其中類型一與類型二之駕駛者由於全程行走單一路徑，因此無法構建本研究之轉移矩陣；類型三與類型四之駕駛者則全程行走某兩條路徑，因此所構建之轉移矩陣為二維轉移矩陣。

表 5.1-2 構建轉移矩陣處理方式整理表

分類	行為決策	轉移矩陣型式	說明
類型一	全程行走習慣路徑	無	由於全程行走習慣路徑，無法判斷此類駕駛者交互變換路徑之機率，因此無法構建本研究之轉移矩陣。
類型二	全程行走建議路徑	無	由於全程行走建議路徑，無法判斷此類駕駛者交互變換路徑之機率，因此無法構建本研究之轉移矩陣。
類型三	交互變換行走建議與其他路徑	2×2 轉移矩陣	由於無變換至習慣路徑之決策記錄，故僅構建建議路徑與其他路徑交互之二維轉移矩陣。
類型四	交互變換行走習慣與建議路徑	2×2 轉移矩陣	由於無變換至其他路徑之決策記錄，故僅構建習慣路徑與建議路徑交互之二維轉移矩陣。
類型五	交互變換行走三種路徑包括習慣、建議與其他路徑	3×3 轉移矩陣	可定義三種路徑決策狀態之交互間三維轉移矩陣。

5.2 構建轉移矩陣

以下本研究構建轉移矩陣之流程如圖 5-2 所示，首先利用無異帶模式推算於每一個別決策點之變換與不變換路徑機率，再依兩種條件機率推算，可形成馬可夫鏈之轉移機率，因而構建成轉移矩陣。

其中 $p(\text{switch})$ 表示為變換路徑之機率， $p(\text{no switch})$ 表示為不變換路徑之機率。

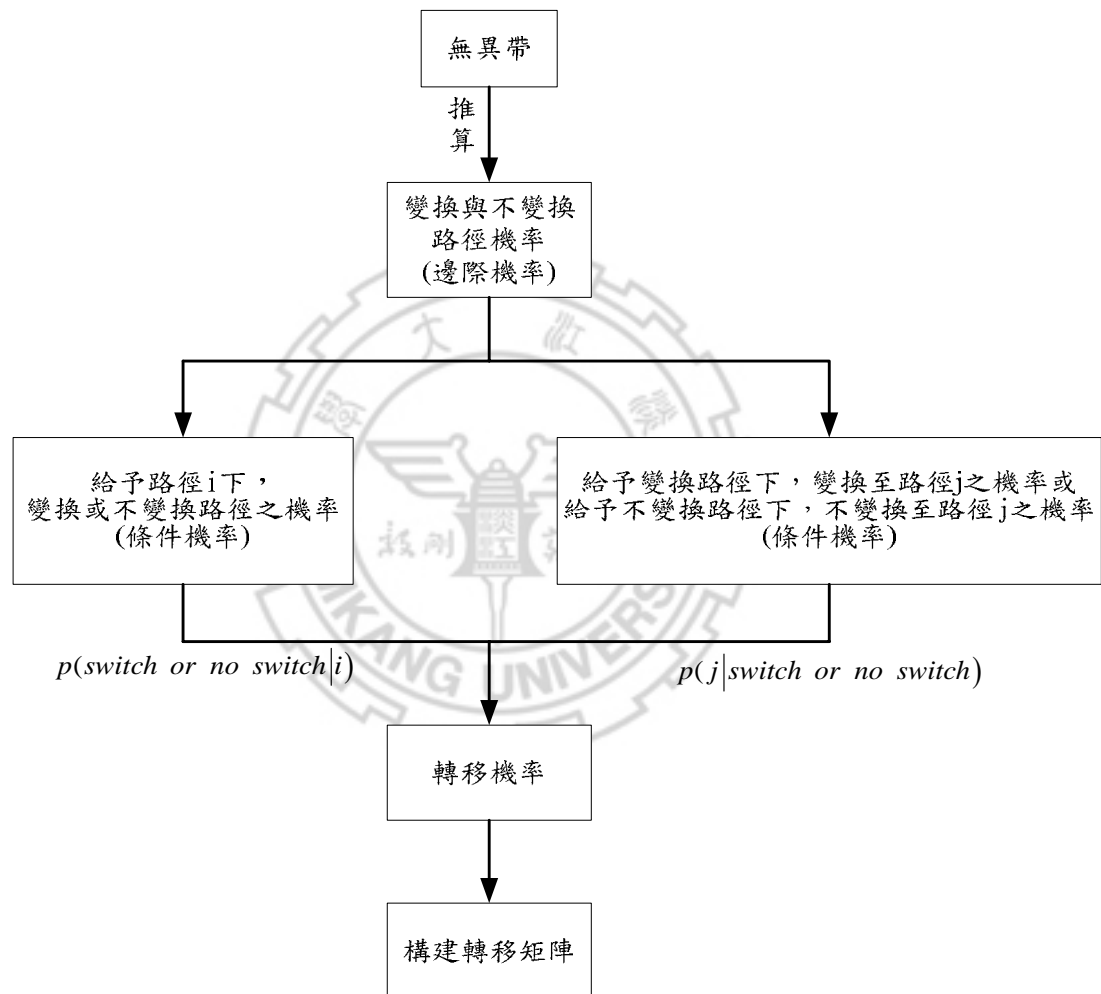


圖 5-2 構建轉移矩陣流程圖

為能說明本研究構建轉移矩陣之情形，依據前述駕駛者決策分類，在此選取類型三 1 個決策點實例、類型四 1 個決策點實例、類型五 3 個決策點實例進行說明。

5.2.1 類型三範例分析

依據前述駕駛者決策分類之方式，類型三之駕駛者共有位於熟悉地區 2 人次與位於陌生地區 1 人次，在此分析之範例駕駛者決策條件如表 5.2-1 所示。

表 5.2-1 類型三範例決策條件表（動態路徑基準）

駕駛者	高能力
所在地區	陌生地區
決策點	第 6 個決策點
目前決策點所在路徑	建議路徑
行為決策	交互變換行走建議與其他路徑
變換基準	動態路徑基準
目前決策點變換路徑機率	0.0011
目前決策點不變換路徑機率	0.9989

步驟一：變換與不變換路徑機率

於目前決策點，依據無異帶模式推算其變換與不變換路徑之機率為
目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.0011$$

$$p(\text{no switch}) = 0.9989$$

目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.9987$$

$$p(\text{no switch}) = 0.0013$$

步驟二：駕駛者位於某種路徑變換與不變換路徑機率 $p(\text{switch or no switch}|i)$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}|2) = 0.0011$$

$$p(\text{no switch}|2) = 0.9989$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}|3) = 0.9987$$

$$p(\text{no switch}|3) = 0.0013$$

可構成之 2×2 矩陣表示為 5.1-1 式所示。

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} \text{換} & \text{不換} \end{array} \\ \begin{array}{c} 2 \text{ 建議路徑} \\ 3 \text{ 其他路徑} \end{array} & \begin{pmatrix} 0.0011 & 0.9989 \\ 0.9987 & 0.0013 \end{pmatrix} \end{array} \quad (5.1-1)$$

步驟三：依據駕駛者目前所在路徑，而變換或不變換路徑機率，

$$p(\text{switch or no switch}|j)$$

利用駕駛者路徑選擇機率推算如下：

■ 依選擇行走建議路徑之機率

$$p_{ij} = p(\text{switch}) p(j|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(j|\text{no switch})$$

$$p_{22} = p(\text{switch}) p(2|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(2|\text{no switch})$$

其中 $p(2|\text{switch}) = 0$, $p(2|\text{no switch}) = 1$,

$$p_{22} = p(\text{no switch}) = 0.9989$$

■ 依選擇行走其他路徑之機率

$$p_{23} = p(\text{switch}) p(3|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(3|\text{no switch})$$

其中 $p(3|\text{switch}) = 1$, $p(3|\text{no switch}) = 0$

$$p_{23} = p(\text{switch}) = 0.0011$$

因此可構建之 2×2 矩陣表示為 5.1-2 式所示。

$$\begin{array}{c} \text{換} \\ \text{不換} \end{array} \begin{array}{c} 2 \quad 3 \\ \left(\begin{array}{cc} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array} \right) \end{array} \quad (5.1-2)$$

步驟四：構建轉移矩陣

其轉移矩陣則利用 5.1-1 式與 5.1-2 式所構成如 5.1-3 式所示。

$$\begin{aligned} P &= \begin{pmatrix} 0.0011 & 0.9989 \\ 0.9987 & 0.0013 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.9989 & 0.0011 \\ 0.0013 & 0.9987 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5.1-3)$$

$$\begin{array}{c} \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} P = \begin{array}{cc} \begin{array}{c} \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} & \begin{array}{cc} \text{建議路徑} & \text{其他路徑} \\ \left(\begin{array}{cc} p(2|2) & p(3|2) \\ p(2|3) & p(3|3) \end{array} \right) \end{array} \end{array}$$



5.2.2 檢定類型三範例

獨立性檢定：

檢定所觀察之隨機過程是否具有獨立性，其虛無假設 H_0 表示獨立，對立假設 H_1 表示一階馬可夫鏈，說明如下：

$$H_0 : P(x_t = j_t | x_1 = i_1, \dots, x_{t-2} = i_{t-2}, x_{t-1} = i_{t-1}) = P(x_t = j_t)$$

$$H_1 : P(x_t = j_t | x_1 = i_1, \dots, x_{t-2} = i_{t-2}, x_{t-1} = i_{t-1}) = P(x_t = j_t | x_{t-1} = i_{t-1})$$

其中 n_{ij} ：表示為由前一決策點位於狀態 i ，至目前決策點位於狀態 j 之次數。

$p(j|i)$ ：指駕駛者於目前決策點，在前一決策點選擇行走狀態 i ，而在目前決策點選擇行走狀態 j 之機率。

$p_{.j}$ 表示為目前決策點不考慮狀態 i 之路徑，而在目前決策點選擇行走狀態 j 之機率。

其漸近分配為卡方分配，自由度為 $m^{r-1}(m-1)^2$ ， r 表示為對立假設中馬可夫鏈的階數，其中 $r=1$ ， m 表示為狀態空間內所有狀態的個數。

類型三決策範例其轉移矩陣表示為如下

$$P = \begin{pmatrix} 0.0011 & 0.9989 \\ 0.9987 & 0.0013 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} 0.9989 & 0.0011 \\ 0.0013 & 0.9987 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} \text{建議路徑} & \text{其他路徑} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} & P = \begin{pmatrix} p(2|2) & p(3|2) \\ p(2|3) & p(3|3) \end{pmatrix} \end{array}$$

動態路徑基準：

前一狀態	目前狀態	次數	符號
建議路徑	建議路徑	4	n_{22}
建議路徑	其他路徑	1	n_{23}
其他路徑	建議路徑	1	n_{32}
其他路徑	其他路徑	1	n_{33}

$m=2$ ，自由度為 1， $\alpha=0.05$

根據轉移矩陣可得 $p(2|2)=0.9989$ 、 $p(3|2)=0.0011$ 、 $p(2|3)=0.0013$ 、

$p(3|3)=0.9987$

其檢定統計量表示為

$$\begin{aligned}
 & -2\log \lambda \\
 & = 2 \sum_{ij} n_{ij} \left[\log p(j|i) - \log p_{.j} \right] = 19.50 > \chi_{1,0.05}^2 = 3.84
 \end{aligned}$$

拒絕 H_0

因此此駕駛者所構建之轉移矩陣是為一階馬可夫鏈。

5.2.3 類型四範例分析

依據前述駕駛者決策分類之方式，類型四之駕駛者共有位於熟悉地區 5 人次與位於陌生地區 8 人次，在此分析之範例駕駛者決策條件如表 5.2-2 所示。

表 5.2-2 類型四範例決策條件表（動態路徑基準）

駕駛者	低能力
所在地區	熟悉地區
決策點	第 3 個決策點
目前決策點所在路徑	習慣路徑
行為決策	交互變換行走習慣與建議路徑
變換基準	動態路徑基準
目前決策點變換路徑機率	0.155
目前決策點不變換路徑機率	0.845

步驟一：變換與不變換路徑機率

於目前決策點，依據無異帶模式推算其變換與不變換路徑之機率為
目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.155$$

$$p(\text{no switch}) = 0.845$$

目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.660$$

$$p(\text{no switch}) = 0.340$$

步驟二：駕駛者位於某種路徑變換與不變換路徑機率 $p(\text{switch or no switch} | i)$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch} | 1) = 0.155$$

$$p(\text{no switch} | 1) = 0.845$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}|2) = 0.660$$

$$p(\text{no switch}|2) = 0.340$$

可構成之 2×2 矩陣表示為 5.1-4 式所示。

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} \text{換} & \text{不換} \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \text{ 習慣路徑} \\ 2 \text{ 建議路徑} \end{array} & \begin{pmatrix} 0.155 & 0.845 \\ 0.660 & 0.340 \end{pmatrix} \end{array} \quad (5.1-4)$$

步驟三：依據駕駛者目前所在路徑，而變換或不變換路徑機率，

$$p(\text{switch or no switch}|j)$$

利用駕駛者路徑選擇機率推算如下：

■ 依選擇行走習慣路徑之機率

$$p_{ij} = p(\text{switch}) p(j|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(j|\text{no switch})$$

$$p_{11} = p(\text{switch}) p(1|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(1|\text{no switch})$$

其中 $p(1|\text{switch}) = 0$ ， $p(1|\text{no switch}) = 1$ ，

$$p_{11} = p(\text{no switch}) = 0.845$$

■ 依選擇行走建議路徑之機率

$$p_{12} = p(\text{switch}) p(2|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(2|\text{no switch})$$

其中 $p(2|\text{switch}) = 1$ ， $p(2|\text{no switch}) = 0$

$$p_{12} = p(\text{switch}) = 0.155$$

因此可構建之 2×2 矩陣表示為 5.1-5 式所示。

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} 1 & 2 \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{換} \\ \text{不換} \end{array} & \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad (5.1-5)$$

步驟四：構建轉移矩陣

其轉移矩陣則利用 5.1-4 式與 5.1-5 式所構成如 5.1-6 式所示。

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} 0.155 & 0.845 \\ 0.660 & 0.340 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.845 & 0.155 \\ 0.340 & 0.660 \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{5.1-6}$$

	習慣路徑	建議路徑
習慣路徑	$P = \begin{pmatrix} p(1 1) & p(2 1) \\ p(1 2) & p(2 2) \end{pmatrix}$	
建議路徑		



5.2.4 檢定類型四範例

類型四決策範例其轉移矩陣表示為如下

$$P = \begin{pmatrix} 0.155 & 0.845 \\ 0.660 & 0.340 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} 0.845 & 0.155 \\ 0.340 & 0.660 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} \text{習慣路徑} & \text{建議路徑} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \end{array} & P = \begin{pmatrix} p(1|1) & p(2|1) \\ p(1|2) & p(2|2) \end{pmatrix} \end{array}$$

動態路徑基準：

前一狀態	目前狀態	次數	符號
習慣路徑	習慣路徑	3	n_{11}
習慣路徑	建議路徑	2	n_{12}
建議路徑	習慣路徑	2	n_{21}
建議路徑	建議路徑	5	n_{22}

$m=2$ ，自由度為 1， $\alpha=0.05$

根據轉移矩陣可得 $p(1|1)=0.845$ 、 $p(2|1)=0.155$ 、 $p(1|2)=0.340$ 、

$$p(2|2)=0.660$$

其檢定統計量表示為

$$-2\log \lambda \\ = 2 \sum_{ij} n_{ij} \left[\log p(j|i) - \log p_{.j} \right] = 0.82 < \chi^2_{1,0.05} = 3.84$$

不拒絕 H_0

因此此駕駛者所構建之轉移矩陣是為獨立。

5.2.5 第一個類型五範例分析

依據前述駕駛者決策分類之方式，類型五之駕駛者共有位於熟悉地區 8 人次與位於陌生地區 5 人次，在此分析之第一個類型五範例駕駛者決策條件如表 5.2-3 所示。

表 5.2-3 第一個類型五範例決策條件表（動態路徑基準）

實驗者	高能力
所在地區	熟悉地區
決策點	第 24 個決策點
目前決策點所在路徑	建議路徑
行為決策	交互變換行走 3 種路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑
變換基準	動態路徑基準
目前決策點變換路徑機率	0.150
目前決策點不變換路徑機率	0.850

步驟一：變換與不變換路徑機率

於目前決策點，依據無異帶模式推算其變換與不變換路徑之機率為目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.871$$

$$p(\text{no switch}) = 0.129$$

目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.150$$

$$p(\text{no switch}) = 0.850$$

目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.532$$

$$p(\text{no switch}) = 0.468$$

步驟二：駕駛者位於某種路徑變換與不變換路徑機率 $p(\text{switch or no switch}|i)$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}|1) = 0.871$$

$$p(\text{no switch}|1) = 0.129$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}|2) = 0.150$$

$$p(\text{no switch}|2) = 0.850$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}|3) = 0.532$$

$$p(\text{no switch}|3) = 0.468$$

可構成之 3×2 矩陣表示為 5.1-7 式所示。

	換	不換
1 習慣路徑	0.871	0.129
2 建議路徑	0.150	0.850
3 其他路徑	0.532	0.468

(5.1-7)

步驟三：依據駕駛者目前所在路徑，而變換或不變換路徑機率，

$$p(\text{switch or no switch}|j)$$

利用駕駛者路徑選擇機率推算如下：

■ 依選擇行走建議路徑之機率

$$p_{ij} = p(\text{switch}) p(j|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(j|\text{no switch})$$

$$p_{22} = p(\text{switch}) p(2|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(2|\text{no switch})$$

其中 $p(2|\text{switch}) = 0$, $p(2|\text{no switch}) = 1$,

$$p_{22} = p(\text{no switch}) = 0.850$$

■ 依選擇行走習慣路徑之機率

$$p_{21} = p(\text{switch}) p(1|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(1|\text{no switch})$$

$$\text{其中 } p(1|\text{no switch}) = 0$$

■ 依選擇行走其他路徑之機率

$$p_{23} = p(\text{switch}) p(3|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(3|\text{no switch})$$

$$\text{其中 } p(3|\text{no switch}) = 0$$

$$\text{依據行走習慣與其他路徑機率可表示為 } p_{21} + p_{23} = p(\text{switch}) = 0.150$$

步驟四：變換至習慣與其他路徑以找出條件機率 $p(1|\text{switch})$ 與 $p(3|\text{switch})$

觀察此駕駛者在此實驗中全程所有位於建議路徑，而變換至習慣路徑與其他路徑機率之資料，其表示為如下所示

$$p(\text{switch}) = p(\text{switch且變換至習慣路徑}) + p(\text{switch且變換至其他路徑})$$

因此構建之迴歸式如下：

$$y_1 = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2$$

$$y_1 : p(\text{switch}) - \text{變換路徑機率}$$

$$\begin{cases} \text{if } D_1 = 1, \text{駕駛者變換至習慣路徑} \\ \text{if } D_1 = 0, \text{駕駛者變換至其他路徑} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } D_2 = 1, \text{駕駛者變換至其他路徑} \\ \text{if } D_2 = 0, \text{駕駛者變換至習慣路徑} \end{cases}$$

可得出

$$\beta_2 = p(\text{switch且變換至其他路徑}) = p(\text{switch}) p(3|\text{switch}) = 0.605$$

$$p(3|\text{switch}) = \frac{0.605}{p(\text{switch})} = \frac{0.605}{0.816} = 0.741$$

$$p(1|\text{switch}) = 0.259$$

$$\text{其中 } p_{21} = p(\text{switch}) p(1|\text{switch}) = 0.150 \times 0.259 = 0.039$$

$$p_{23} = p(\text{switch}) p(3|\text{switch}) = 0.150 \times 0.741 = 0.111$$

因此可構建之 2×3 矩陣表示為 5.1-8 式所示。

$$\begin{array}{l} \text{換} \\ \text{不換} \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0.259 & 0 & 0.741 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.1-8)$$

步驟五：構建轉移矩陣

其轉移矩陣則利用 5.1-7 式與 5.1-8 式所構成如 5.1-9 式所示。

$$\begin{aligned} P &= \begin{pmatrix} 0.871 & 0.129 \\ 0.150 & 0.850 \\ 0.532 & 0.468 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.259 & 0 & 0.741 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.226 & 0.129 & 0.645 \\ 0.039 & 0.850 & 0.111 \\ 0.138 & 0.468 & 0.394 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5.1-9)$$

$$\begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} P = \begin{array}{c} \begin{matrix} \text{習慣路徑} & \text{建議路徑} & \text{其他路徑} \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} p(1|1) & p(2|1) & p(3|1) \\ p(1|2) & p(2|2) & p(3|2) \\ p(1|3) & p(2|3) & p(3|3) \end{pmatrix} \end{array}$$

5.2.6 檢定第一個類型五範例

第一個類型五範例其轉移矩陣表示為如下

$$P = \begin{pmatrix} 0.871 & 0.129 \\ 0.150 & 0.850 \\ 0.532 & 0.468 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.259 & 0 & 0.741 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.226 & 0.129 & 0.645 \\ 0.039 & 0.850 & 0.111 \\ 0.138 & 0.468 & 0.394 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} P = \begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} \begin{pmatrix} p(1|1) & p(2|1) & p(3|1) \\ p(1|2) & p(2|2) & p(3|2) \\ p(1|3) & p(2|3) & p(3|3) \end{pmatrix}$$

動態路徑基準：

前一狀態	目前狀態	次數	符號	前一狀態	目前狀態	次數	符號
習慣路徑	習慣路徑	5	n_{11}	建議路徑	其他路徑	3	n_{23}
習慣路徑	建議路徑	2	n_{12}	其他路徑	習慣路徑	0	n_{31}
習慣路徑	其他路徑	1	n_{13}	其他路徑	建議路徑	4	n_{32}
建議路徑	習慣路徑	3	n_{21}	其他路徑	其他路徑	3	n_{33}
建議路徑	建議路徑	14	n_{22}				

$m=3$ ，自由度為 4， $\alpha=0.05$

根據轉移矩陣，可得轉移機率 $p(1|1)=0.226$ 、 $p(2|1)=0.129$ 、 $p(3|1)=0.645$ 、
 $p(1|2)=0.039$ 、 $p(2|2)=0.850$ 、 $p(3|2)=0.111$ 、 $p(1|3)=0.138$ 、
 $p(2|3)=0.468$ 、 $p(3|3)=0.394$

其檢定統計量表示為

$$-2\log \lambda$$

$$= 2 \sum_{ij} n_{ij} [\log p(j|i) - \log p_{.j}] = 6.01 < \chi^2_{4,0.05} = 9.49$$

不拒絕 H_0

因此此駕駛者所構建之轉移矩陣是為獨立。

5.2.7 第二個類型五範例分析

在此分析之第二個類型五範例駕駛者決策條件如表 5.2-4 所示。

表 5.2-4 第二個類型五範例決策條件表（動態路徑基準）

實驗者	低能力
所在地區	熟悉地區
決策點	第 8 個決策點
目前決策點所在路徑	習慣路徑
行為決策	交互變換行走 3 種路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑
變換基準	動態路徑基準
目前決策點變換路徑機率	0.315
目前決策點不變換路徑機率	0.685

步驟一：變換與不變換路徑機率

於目前決策點，依據無異帶模式推算其變換與不變換路徑之機率為
目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.315$$

$$p(\text{no switch}) = 0.685$$

目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.861$$

$$p(\text{no switch}) = 0.139$$

目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.972$$

$$p(\text{no switch}) = 0.028$$

步驟二：駕駛者位於某種路徑變換與不變換路徑機率 $p(\text{switch or no switch}|i)$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}|1) = 0.315$$

$$p(\text{no switch}|1) = 0.685$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}|2) = 0.861$$

$$p(\text{no switch}|2) = 0.139$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}|3) = 0.972$$

$$p(\text{no switch}|3) = 0.028$$

可構成之 3×2 矩陣表示為 5.1-10 式所示。

	換	不換
1 習慣路徑	0.315	0.685
2 建議路徑	0.861	0.139
3 其他路徑	0.972	0.028

(5.1-10)

步驟三：依據駕駛者目前所在路徑，而變換或不變換路徑機率，

$$p(\text{switch or no switch}|j)$$

利用駕駛者路徑選擇機率推算如下：

■ 依選擇行走習慣路徑之機率

$$p_{ij} = p(\text{switch}) p(j|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(j|\text{no switch})$$

$$p_{11} = p(\text{switch}) p(1|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(1|\text{no switch})$$

其中 $p(1|\text{switch}) = 0$, $p(1|\text{no switch}) = 1$,

$$p_{11} = p(\text{no switch}) = 0.685$$

■ 依選擇行走建議路徑之機率

$$p_{12} = p(\text{switch}) p(2|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(2|\text{no switch})$$

其中 $p(2|\text{no switch}) = 0$

■ 依選擇行走其他路徑之機率

$$p_{13} = p(\text{switch}) p(3|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(3|\text{no switch})$$

其中 $p(3|\text{no switch}) = 0$

步驟四：變換至建議與其他路徑以找出條件機率 $p(2|\text{switch})$ 與 $p(3|\text{switch})$

觀察此駕駛者位於習慣路徑而變換至建議與其他路徑之次數，依其資料比例而推算

$$p(2|\text{switch}) = 0.667$$

$$p(3|\text{switch}) = 0.333$$

其中 $p_{12} = 0.210$ ， $p_{13} = 0.105$

因此可構建之 2×3 矩陣表示為 5.1-11 式所示。

$$\begin{array}{l} \text{換} \\ \text{不換} \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0.667 & 0.333 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.1-11)$$

步驟五：構建轉移矩陣

其轉移矩陣則利用 5.1-10 式與 5.1-11 式所構成如 5.1-12 式所示。

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} 0.315 & 0.685 \\ 0.861 & 0.139 \\ 0.972 & 0.028 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0.667 & 0.333 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.685 & 0.210 & 0.105 \\ 0.139 & 0.574 & 0.287 \\ 0.028 & 0.648 & 0.324 \end{pmatrix} \quad (5.1-12)
 \end{aligned}$$

	習慣路徑	建議路徑	其他路徑
習慣路徑	$P = \begin{pmatrix} p(1 1) & p(2 1) & p(3 1) \\ p(1 2) & p(2 2) & p(3 2) \\ p(1 3) & p(2 3) & p(3 3) \end{pmatrix}$		
建議路徑			
其他路徑			



5.2.8 檢定第二個類型五決策範例

第二個類型五決策範例其轉移矩陣表示為如下

$$P = \begin{pmatrix} 0.315 & 0.685 \\ 0.861 & 0.139 \\ 0.972 & 0.028 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0.667 & 0.333 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.685 & 0.210 & 0.105 \\ 0.139 & 0.574 & 0.287 \\ 0.028 & 0.648 & 0.324 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} P = \begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} \begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} \begin{pmatrix} p(1|1) & p(2|1) & p(3|1) \\ p(1|2) & p(2|2) & p(3|2) \\ p(1|3) & p(2|3) & p(3|3) \end{pmatrix}$$

動態路徑基準：

前一狀態	目前狀態	次數	符號	前一狀態	目前狀態	次數	符號
習慣路徑	習慣路徑	4	n_{11}	建議路徑	其他路徑	2	n_{23}
習慣路徑	建議路徑	2	n_{12}	其他路徑	習慣路徑	2	n_{31}
習慣路徑	其他路徑	1	n_{13}	其他路徑	建議路徑	1	n_{32}
建議路徑	習慣路徑	0	n_{21}	其他路徑	其他路徑	3	n_{33}
建議路徑	建議路徑	10	n_{22}				

$m=3$ ，自由度為 4， $\alpha=0.05$

根據轉移矩陣可得 $p(1|1)=0.685$ 、 $p(2|1)=0.210$ 、 $p(3|1)=0.105$ 、

$p(1|2)=0.139$ 、 $p(2|2)=0.574$ 、 $p(3|2)=0.287$ 、 $p(1|3)=0.028$ 、

$p(2|3)=0.648$ 、 $p(3|3)=0.324$

其檢定統計量表示為

$$-2\log \lambda$$

$$= 2 \sum_{ij} n_{ij} [\log p(j|i) - \log p_{.j}] = 21.66 > \chi_{4,0.05}^2 = 9.49$$

拒絕 H_0

因此此駕駛者所構建之轉移矩陣是為一階馬可夫鏈。

5.2.9 第三個類型五範例分析

在此分析之第三個類型五範例駕駛者決策條件如表 5.2-5 所示。

表 5.2-5 第三個類型五範例決策條件表（動態路徑基準）

實驗者	低能力
所在地區	陌生地區
決策點	第 3 個決策點
目前決策點所在路徑	其他路徑
行為決策	交互變換行走 3 種路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑
變換基準	動態路徑基準
位於其他路徑變換路徑機率	0.004
位於其他路徑不變換路徑機率	0.996

步驟一：變換與不變換路徑機率

於目前決策點，依據無異帶模式推算其變換與不變換路徑之機率為
目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.990$$

$$p(\text{no switch}) = 0.010$$

目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.992$$

$$p(\text{no switch}) = 0.008$$

目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}) = 0.004$$

$$p(\text{no switch}) = 0.996$$

步驟二：駕駛者位於某種路徑變換與不變換路徑機率 $p(\text{switch or no switch}|i)$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於習慣路徑時

$$p(\text{switch}|1) = 0.990$$

$$p(\text{no switch}|1) = 0.010$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於建議路徑時

$$p(\text{switch}|2) = 0.992$$

$$p(\text{no switch}|2) = 0.008$$

依據無異帶模式推算結果，目前決策點位於其他路徑時

$$p(\text{switch}|3) = 0.004$$

$$p(\text{no switch}|3) = 0.996$$

可構成之 3×2 矩陣表示為 5.1-13 式所示。

	換	不換
1 習慣路徑	0.990	0.010
2 建議路徑	0.992	0.008
3 其他路徑	0.004	0.996

(5.1-13)

步驟三：依據駕駛者目前所在路徑，而變換或不變換路徑機率，

$$p(\text{switch or no switch}|j)$$

利用駕駛者路徑選擇機率推算如下：

■ 依選擇行走其他路徑之機率

$$p_{ij} = p(\text{switch}) p(j|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(j|\text{no switch})$$

$$p_{33} = p(\text{switch}) p(3|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(3|\text{no switch})$$

其中 $p(3|\text{switch}) = 0$, $p(3|\text{no switch}) = 1$,

$$p_{33} = p(\text{no switch}) = 0.996$$

■ 依選擇行走習慣路徑之機率

$$p_{31} = p(\text{switch}) p(1|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(1|\text{no switch})$$

$$\text{其中 } p(1|\text{no switch}) = 0$$

■ 依選擇行走建議路徑之機率

$$p_{32} = p(\text{switch}) p(2|\text{switch}) + p(\text{no switch}) p(2|\text{no switch})$$

$$\text{其中 } p(2|\text{no switch}) = 0$$

步驟四：變換至習慣與建議路徑以找出條件機率 $p(1|\text{switch})$ 與 $p(2|\text{switch})$

觀察此駕駛者位於其他路徑而變換至習慣與建議路徑之次數，依其資料比例而推算

$$p(1|\text{switch}) = 0.5$$

$$p(2|\text{switch}) = 0.5$$

其中 $p_{31} = 0.002$ ， $p_{32} = 0.002$

因此可構建之 2×3 矩陣表示為 5.1-14 式所示。

$$\begin{array}{l} \text{換} \\ \text{不換} \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(5.1-14)

步驟五：構建轉移矩陣

其轉移矩陣則利用 5.1-13 式與 5.1-14 式所構成如 5.1-15 式所示。

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} 0.990 & 0.010 \\ 0.992 & 0.008 \\ 0.004 & 0.996 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.495 & 0.495 & 0.010 \\ 0.496 & 0.496 & 0.008 \\ 0.002 & 0.002 & 0.996 \end{pmatrix} \quad (5.1-15)
 \end{aligned}$$

	習慣路徑	建議路徑	其他路徑
習慣路徑	$P = \begin{pmatrix} p(1 1) & p(2 1) & p(3 1) \\ p(1 2) & p(2 2) & p(3 2) \\ p(1 3) & p(2 3) & p(3 3) \end{pmatrix}$		
建議路徑			
其他路徑			



5.2.10 檢定第三個類型五決策範例

第三個類型五決策範例其轉移矩陣表示為如下

$$P = \begin{pmatrix} 0.990 & 0.010 \\ 0.992 & 0.008 \\ 0.004 & 0.996 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.495 & 0.495 & 0.010 \\ 0.496 & 0.496 & 0.008 \\ 0.002 & 0.002 & 0.996 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} P = \begin{array}{l} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \\ \text{其他路徑} \end{array} \begin{pmatrix} p(1|1) & p(2|1) & p(3|1) \\ p(1|2) & p(2|2) & p(3|2) \\ p(1|3) & p(2|3) & p(3|3) \end{pmatrix}$$

動態路徑基準：

前一狀態	目前狀態	次數	符號	前一狀態	目前狀態	次數	符號
習慣路徑	習慣路徑	3	n_{11}	建議路徑	其他路徑	1	n_{23}
習慣路徑	建議路徑	1	n_{12}	其他路徑	習慣路徑	1	n_{31}
習慣路徑	其他路徑	0	n_{13}	其他路徑	建議路徑	1	n_{32}
建議路徑	習慣路徑	1	n_{21}	其他路徑	其他路徑	2	n_{33}
建議路徑	建議路徑	3	n_{22}				

$m=3$ ，自由度為 4， $\alpha=0.05$

根據轉移矩陣可得 $p(1|1)=0.495$ 、 $p(2|1)=0.495$ 、 $p(3|1)=0.010$ 、

$p(1|2)=0.496$ 、 $p(2|2)=0.496$ 、 $p(3|2)=0.008$ 、 $p(1|3)=0.002$ 、

$p(2|3)=0.002$ 、 $p(3|3)=0.996$

其檢定統計量表示為

$$-2\log \lambda$$

$$= 2 \sum_{ij} n_{ij} [\log p(j|i) - \log p_{.j}] = 78.00 > \chi_{4,0.05}^2 = 9.49$$

拒絕 H_0

因此此駕駛者所構建之轉移矩陣是為一階馬可夫鏈。

5.3 檢定分析結果

根據前期研究將駕駛者分群之方式定義為

- (1) 高能力熟悉：駕駛者屬於高能力群，實驗地區位於熟悉地區。
- (2) 高能力陌生：駕駛者屬於高能力群，實驗地區位於陌生地區。
- (3) 低能力熟悉：駕駛者屬於低能力群，實驗地區位於熟悉地區。
- (4) 低能力陌生：駕駛者屬於低能力群，實驗地區位於陌生地區。

因此根據張碧琴【3】之有效資料中，高能力熟悉駕駛者 3 人次全程所有決策點構建之轉移矩陣經馬可夫鏈的假設檢定結果如表 5.3-1 所示，結果說明此 3 人次以動態路徑基準描述皆為一階馬可夫鏈，以習慣路徑基準描述皆為獨立之情況。

高能力陌生駕駛者 7 人次檢定結果如表 5.3-2 所示，結果說明此 7 人次以動態路徑基準描述皆為一階馬可夫鏈。

低能力熟悉駕駛者 6 人次檢定結果如表 5.3-3 所示，結果說明此 6 人次以動態路徑基準描述為佳。

低能力陌生駕駛者 7 人次檢定結果如表 5.3-4 所示，結果說明此 7 人次以動態路徑基準描述為佳。

前期研究中利用高能力熟悉駕駛者之動態路徑基準以張碧琴【3】直接變數方式與趙凌佑【4】所構建於駕駛者屬性之隱藏性變數作一比較，其 6 人次檢定結果如表 5.3-5 所示，結果說明以隱藏性變數描述為佳。

表 5.3-1 高能力熟悉檢定結果表

駕駛者	所在 地區	駕駛者 編號	總決策 點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
高能力	熟悉	1	13	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	345.71	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	2.56	是為獨立
						建議路徑基準	10.65	是為一階馬可夫鏈
		2	12	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	276.19	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	1.37	是為獨立
						建議路徑基準	475.47	是為一階馬可夫鏈
		5	14	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	245.35	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	2.06	是為獨立
						建議路徑基準	2.73	是為獨立

表 5.3-2 高能力陌生檢定結果表

駕駛者	所在 地區	駕駛者 編號	總決策 點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
高能力	陌生	2	8	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	30.19	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	1.70	是為獨立
						建議路徑基準	35.59	是為一階馬可夫鏈
		3	5	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	6.36	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	3.40	是為獨立
						建議路徑基準	1.25	是為獨立
		6	4	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	94.38	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	29.47	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	3.41	是為獨立
		8	8	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	19.50	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	0.70	是為獨立
						建議路徑基準	2.51	是為獨立

(續) 表 5.3-2 高能力陌生檢定結果表

駕駛者	所在地區	駕駛者編號	總決策點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
高能力	陌生	1	17	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	26.71	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	5.69	是為獨立
						建議路徑基準	172.71	是為一階馬可夫鏈
		4	33	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	269.14	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	3.76	是為獨立
						建議路徑基準	4.29	是為獨立
		7	15	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	51.81	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	8.17	是為獨立
						建議路徑基準	5.05	是為獨立

表 5.3-3 低能力熟悉檢定結果表

駕駛者	所在 地區	駕駛者 編號	總決策 點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
低能力	熟悉	12	13	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	0.82	是為獨立
						習慣路徑基準	70.40	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	2.79	是為獨立
		9	19	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	6.73	是為獨立
						習慣路徑基準	5.99	是為獨立
						建議路徑基準	367.78	是為一階馬可夫鏈
		11	20	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	271.35	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	4.24	是為獨立
						建議路徑基準	14.45	是為一階馬可夫鏈
		13	26	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	21.66	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	5.22	是為獨立
						建議路徑基準	7.30	是為獨立

(續) 表 5.3-3 低能力熟悉檢定結果表

駕駛者	所在地區	駕駛者編號	總決策點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
低能力	熟悉	14	19	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	9.20	是為獨立
						習慣路徑基準	0.71	是為獨立
						建議路徑基準	8131.43	是為一階馬可夫鏈
		15	8	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	69.88	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	7.66	是為獨立
						建議路徑基準	11.34	是為一階馬可夫鏈

表 5.3-4 低能力陌生檢定結果表

駕駛者	所在 地區	駕駛者 編號	總決策 點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
低能力	陌生	9	8	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	34.48	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	460.87	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	12.39	是為一階馬可夫鏈
		11	10	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	10.62	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	636.93	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	0.14	是為獨立
		12	10	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	0.98	是為獨立
						習慣路徑基準	1661.02	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	0.88	是為獨立
		13	5	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	0.96	是為獨立
						習慣路徑基準	63.65	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	55.56	是為一階馬可夫鏈

(續) 表 5.3-4 低能力陌生檢定結果表

駕駛者	所在地區	駕駛者編號	總決策點數	轉移矩陣形式	卡方值	變換基準	檢定統計量	檢定結果
低能力	陌生	15	6	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	動態路徑基準	0.02	是為獨立
						習慣路徑基準	136.99	是為一階馬可夫鏈
						建議路徑基準	4.66	是為一階馬可夫鏈
		10	25	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	26.79	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	8.61	是為獨立
						建議路徑基準	1.99	是為獨立
		16	14	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	動態路徑基準	78.00	是為一階馬可夫鏈
						習慣路徑基準	1.19	是為獨立
						建議路徑基準	0.81	是為獨立

表 5.3-5 高能力熟悉直接變數與隱藏性變數檢定結果表

駕駛者	所在地區	駕駛者編號	總決策點數	轉移矩陣形式	卡方值	動態路徑基準	檢定統計量	檢定結果
高能力	熟悉	17	9	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	直接變數	7.47	是為一階馬可夫鏈
						隱藏性變數	10.70	是為一階馬可夫鏈
		24	11	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	直接變數	3.20	是為獨立
						隱藏性變數	76.63	是為一階馬可夫鏈
		25	10	2×2	$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$	直接變數	1.68	是為獨立
						隱藏性變數	16.77	是為一階馬可夫鏈
		19	20	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	直接變數	174.56	是為一階馬可夫鏈
						隱藏性變數	189.04	是為一階馬可夫鏈
		21	12	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	直接變數	18.78	是為一階馬可夫鏈
						隱藏性變數	10.92	是為一階馬可夫鏈
		23	36	3×3	$\chi^2_{4,0.05} = 9.49$	直接變數	6.01	是為獨立
						隱藏性變數	53.47	是為一階馬可夫鏈

第六章 延伸研究

在前述推算馬可夫鏈之轉移機率後，以馬可夫鏈加上動態規劃以示範性方式求解駕駛者最佳路徑選擇之初步模型，其中狀態之間的轉移機率透過馬可夫鏈所描述，此動態規劃過程的報酬結構可由各個元素表示從某一狀態轉移至另一狀態所產生收益的矩陣所描述。

6.1 動態規劃模式

本研究所採用之動態規劃模式，可利用求解駕駛者最佳路徑選擇，因而與駕駛者原先路徑選擇作一對照說明，動態規劃模式以逆朔遞迴（Backward Recursion）表示如 6.1-1 式所示：

$$f_N(i) = \text{Max}_k \{v_i^k\}$$

$$f_n(i) = \text{Max}_k \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^m p^k(j|i) f_{n+1}(j) \right\}, n=1, 2, \dots, N-1 \quad (6.1-1)$$

其中 $f_n(i)$ ：給定系統在第 n 期位於狀態 i 下，階段 $n, n+1, \dots, N$ 的最佳收益

$p^k(j|i)$ ：轉移機率

$r^k(j|i)$ ：報酬函數（節省時間）—就駕駛者目前所在路徑，在每一個別決策點，依其路徑決策對應之剩餘旅行時間，相對應於目前路徑之差值，即為節省時間，若為正值表示為節省旅行時間，若為負值表示為未節省旅行時間；剩餘旅行時間即表示在目前決策點至迄點系統估算所需之旅行時間。

$$v_i^k = \sum_{j=1}^m p^k(j|i) r^k(j|i) : \text{累積收益}$$

m ：所有可能路徑方案

k ：行走路徑決策

因此 $f_n(i)$ 表示為在第 n 期位於狀態 i 下，累積之期望節省時間。

以下任意以某駕駛者編號 11 作為範例說明，此駕駛者之行為決策屬於類型四之駕駛者，其全程路徑之行為決策乃屬於變換行走習慣與建議路徑，全程決策點共有 10 個決策點，全程旅行時間為 5.175 分鐘，其原先之路徑選擇表示為如圖 6.1.1 所示。

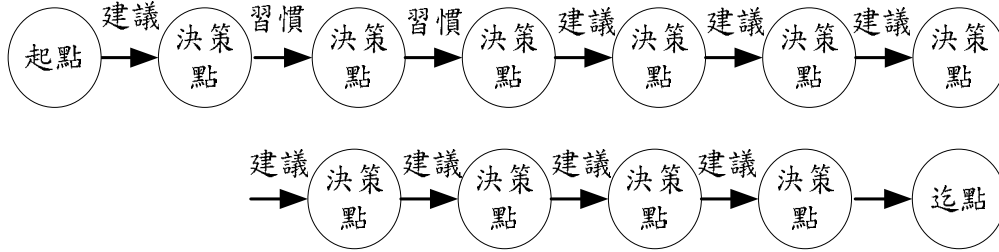


圖 6.1.1 原先路徑選擇圖

根據前述章節所構建之狀態間轉移矩陣，本研究定義狀態為駕駛者所選擇之路徑如習慣路徑、建議路徑，在每一個別決策點所形成之轉移矩陣如下所示。

$$P(t) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{習慣路徑} & \text{建議路徑} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \end{matrix} & \begin{pmatrix} p^k(1|1) & p^k(2|1) \\ p^k(1|2) & p^k(2|2) \end{pmatrix} \end{matrix}$$

其中報酬矩陣之型式，乃依據駕駛者目前所在路徑，依所在路徑之剩餘旅行時間為基準，推算在每一個別決策點每一路徑之節省時間，所形成之報酬矩陣如下所示，其中若報酬值為正值表示駕駛者此路徑選擇可節省若干旅行時間，如前述 6.1-1 式定義說明。

$$R(t) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{習慣路徑} & \text{建議路徑} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{習慣路徑} \\ \text{建議路徑} \end{matrix} & \begin{pmatrix} r^k(1|1) & r^k(2|1) \\ r^k(1|2) & r^k(2|2) \end{pmatrix} \end{matrix}$$

而此駕駛者 10 個決策點之轉移矩陣表示如表 6.1-1 所示，其轉移矩陣乃利用前述之構建轉移矩陣方式所得，其報酬矩陣表示如表 6.1-2 所示，其單位為分鐘。

表 6.1-1 轉移矩陣表

決策點	1			2			3			4			5		
轉移矩陣		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑
	習慣路徑	0.943	0.057	習慣路徑	0.964	0.036	習慣路徑	0.833	0.167	習慣路徑	0.920	0.080	習慣路徑	0.621	0.379
	建議路徑	0.059	0.941	建議路徑	0.038	0.962	建議路徑	0.171	0.829	建議路徑	0.083	0.917	建議路徑	0.372	0.628
決策點	6			7			8			9			10		
轉移矩陣		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑
	習慣路徑	0.844	0.156	習慣路徑	0.833	0.167	習慣路徑	0.607	0.393	習慣路徑	0.611	0.389	習慣路徑	0.546	0.454
	建議路徑	0.152	0.848	建議路徑	0.162	0.838	建議路徑	0.387	0.613	建議路徑	0.383	0.617	建議路徑	0.447	0.553

表 6.1-2 報酬矩陣表

決策點	1			2			3			4			5		
報酬矩陣		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑
	習慣路徑	-0.883	0	習慣路徑	0	0.583	習慣路徑	0	0.567	習慣路徑	-0.75	0	習慣路徑	-0.5	0
	建議路徑	-0.883	0	建議路徑	0	0.583	建議路徑	0	0.567	建議路徑	-0.75	0	建議路徑	-0.5	0
決策點	6			7			8			9			10		
報酬矩陣		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑		習慣路徑	建議路徑
	習慣路徑	-0.6	0	習慣路徑	-0.617	0	習慣路徑	0.267	0	習慣路徑	-0.55	0	習慣路徑	-0.35	0
	建議路徑	-0.6	0	建議路徑	-0.617	0	建議路徑	0.267	0	建議路徑	-0.55	0	建議路徑	-0.35	0

為簡短篇幅，在不損失計算路徑之普遍性下，倍以下例子分別為第 10 階段、第 9 階段與第 1 階段之計算步驟，其他階段之求解於附錄所示，其中 $k=1$ 表示行走習慣路徑， $k=2$ 表示行走建議路徑：

階段 10：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	-0.1911	0	0	2
2	-0.1565	0	0	2

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$0.661 \times (-0.55) + 0.661 \times 0 = -0.3359$	$0.389 \times 0 + 0.389 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.383 \times (-0.55) + 0.383 \times 0 = -0.3359$	$0.617 \times 0 + 0.617 \times 0 = 0$	0	2

利用動態規劃求解之第 1 階段步驟如下

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.943 \times (-0.88333) + 0.943 \times 0.0393 = -0.7963$	$0.057 \times 0 + 0.057 \times 1.0469 = 0.0597$	0.0597	2
2	$0.059 \times (-0.88333) + 0.059 \times 0.0393 = -0.0495$	$0.941 \times 0 + 0.941 \times 1.0469 = 0.985$	0.985	2

其原先全程旅行時間為 5.175 分鐘，依 10 個階段求解過後，其累積之期望節省時間為 0.985 分鐘，此駕駛者最佳路徑選擇如圖 6.1.2 所示。

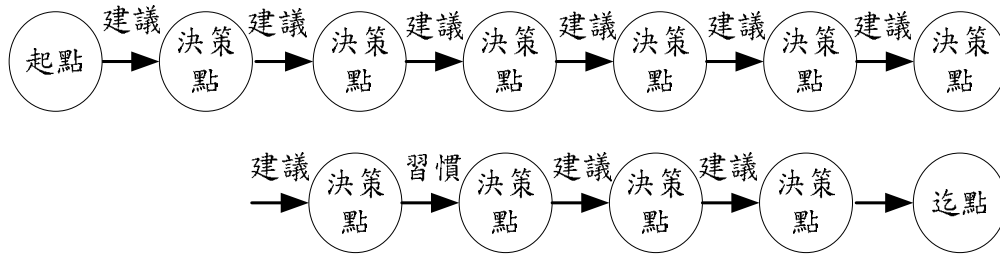


圖 6.1.2 最佳路徑選擇圖

依圖 6.1.2 所求出之最佳路徑選擇，回溯原先模擬器所記錄之各路段實際預期旅行時間推算，其推算之預期旅行時間可比原先全程旅行時間節省 0.258 分鐘。

依實證之資料共 12 人次，進行動態規劃求解最佳路徑選擇，其累積期望節省時間與預期實際節省旅行時間整理如表 6.1-3 所示。



表 6.1-3 節省時間百分比整理表

駕駛者	所在地區	編號	全程旅行時間 (分鐘)	期望節省時間(分鐘) (依動態規劃推算)	節省比例%	預期實際節省旅行時間(分鐘) (模擬器實際回溯推算)	節省比例%
高能力	熟悉	1	10.233	3.48	34.0	0.807	7.9
		2	12.375	1.29	10.4	2.825	22.8
		5	23.44	2.0696	8.8	2.123	9.1
	陌生	2	9.133	4.40	48.2	0.815	8.9
		3	23.92	10.10	42.2	7.253	30.3
		6	16.98	2.701	15.9	1.33	7.8
低能力	熟悉	12	8.89	1.4352	16.1	0.44	4.9
	陌生	9	9.14	2.391	26.2	2.957	32.4
		11	5.175	0.985	19.0	0.258	5.0
		12	15.675	0.436	2.8	3.175	20.3
		13	25.933	3.72	14.3	2.766	10.7
		15	26.758	13.188	49.3	2.475	9.2

註：節省比例%=(期望節省時間 或 預期實際節省旅行時間時間)÷全程旅行時間

第七章 結論與建議

本研究將針對馬可夫鏈定義方式、構建轉移矩陣、假設檢定結果與構建駕駛者路徑選擇初步模型所獲得之結論作一歸納，並提出相關建議以作為參考，說明如下。

7.1 結論

本研究主要目的在於說明逐點動態決策行為是否符合馬可夫鏈，所構建之轉移矩陣乃依個人實際某一行程之決策所構建，有別於一般直接引用資料次數比例定義轉移機率，以構建馬可夫鏈轉移矩陣之方式；本研究並結合無異帶與逐點動態決策機率，依據無異帶、延滯時間與駕駛者變換路徑行為，以推算每一位駕駛者於全程之每一個別決策點變換與不變換路徑機率，以構建馬可夫鏈形成之轉移機率，進而形成馬可夫鏈轉移矩陣。

依馬可夫鏈基本定義方式構建狀態之轉移矩陣，本研究乃定義馬可夫鏈之狀態為可選擇路徑包括習慣路徑、建議路徑與其他路徑等 3 種路徑，以推算決策行為轉移機率，並構建決策路徑轉移矩陣，並分別以駕駛者之能力分為高能力與低能力，及所在地區為熟悉與陌生地區，及三類變換基準如動態路徑基準、習慣路徑基準與建議路徑基準進行馬可夫鏈的假設檢定。

本研究之結果如下：

- (1) 根據第一組樣本觀察值，其中高能力熟悉 3 人次、高能力陌生 7 人次、低能力熟悉 6 人次與低能力陌生 7 人次實驗者之資料，依據定義之三類變換基準，本研究利用馬可夫鏈的假設檢定，檢定其所構建轉移矩陣是否為一階馬可夫鏈。分析決策在動態路徑基準構建轉移矩陣下，高能力熟悉 3 人次皆為一階馬可夫鏈，高能力陌生 7 人次皆為一階馬可夫鏈，低能力熟悉 6 人次中有 3 人次為一階馬可夫鏈，低能力陌生 7 人次中有 4 人次為一階馬可夫鏈，因此在動態路徑基準構建下，即全部高能力駕駛者與大部分低能力駕駛者所構建轉移矩陣，描述逐點動態決策行為為佳。
- (2) 根據第二組樣本觀察值，即在動態路徑基準下之高能力熟悉駕駛者，其中駕駛者屬性另以直接變數與隱藏性變數納入駕駛者屬性作一比較，經 6 人次檢定結果表示以直接變數描述有 3 人次為一階馬可夫

鏈，以隱藏性變數描述全部符合為一階馬可夫鏈，因此經比較發現以隱藏性變數納入駕駛者屬性為佳。

- (3) 根據本研究所構建馬可夫鏈之轉移矩陣，主觀利用動態規劃方式推算共 12 人次，可求解駕駛者最佳路徑選擇初步模型，結果表示最佳路徑選擇初步模型可比駕駛者原先路徑旅行時間節省，依高能力熟悉 3 人次節省比例依序為 34.0%、10.4%、8.8%，高能力陌生 3 人次節省比例依序為 48.2%、42.2%、15.9%，低能力熟悉 1 人次節省比例為 16.1%，低能力陌生 5 人次節省比例依序為 26.2%、19.0%、2.8%、14.3%、49.3%。
- (4) 依動態規劃求解出最佳路徑選擇，利用模擬器推算其路徑選擇之預期旅行時間與全程旅行時間比較，依高能力熟悉 3 人次節省比例依序為 7.9%、22.8%、9.1%，高能力陌生 3 人次節省比例依序為 8.9%、30.3%、7.8%，低能力熟悉 1 人次節省比例為 4.9%，低能力陌生 5 人次節省比例依序為 32.4%、5.0%、20.3%、10.7%、9.2%。

綜合以上分析結果，本研究歸納結論為：

- (1) 本研究成功利用馬可夫鏈之基本定義逐點動態決策行為方式，分別構建個人之轉移矩陣描述逐點動態決策行為，並經檢定結果發現，以動態路徑基準定義逐點動態決策構建轉移機率（矩陣）符合馬可夫鏈型式。
- (2) 本研究示範性利用馬可夫加上動態規劃方式構建駕駛者最佳路徑之初步模型。

7.2 建議

本研究構建為個人之逐點動態決策行為，其樣本來自觀測不同駕駛者以其控制在模擬路徑決策行為構建其個人之轉移矩陣，其中每一位駕駛者之決策點多寡不一，且實驗環境之起迄點並不相同；本研究尚未探討有關馬可夫特性之絕對轉移機率與穩定狀態機率，是否可以模擬實驗更多決策數或重複實驗以找出其機率值，因此本研究之建議為：

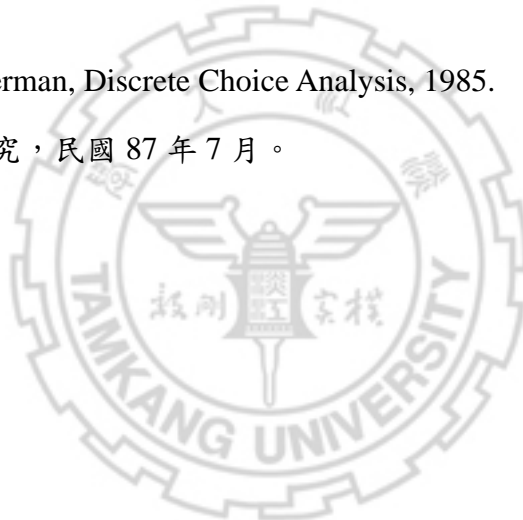
- (1) 若後續研究能模擬實驗不同駕駛者於同一起迄點，以記錄相關之逐點動態決策資料，則可進一步驗證其群體轉移矩陣之結果是否符合馬可夫鏈。
- (2) 建議後續研究能模擬實驗駕駛者在全程行程中，進一步探討找出符合馬可夫特性之絕對轉移機率與穩定狀態機率以發展個人化資訊策略。
- (3) 本研究示範性以馬可夫加上動態規劃構建駕駛者最佳路徑選擇初步模型之應用可行性，建議後續研究能以動態規劃方式為基礎構建符合行為決策之駕駛者動態導引最佳模型。
- (4) 本研究在構建推算轉移機率矩陣時，必須根據駕駛者目前所在路徑，在駕駛者決定變換之前提下，而變換至何條路徑之條件機率矩陣。若干駕駛者變換路徑變換頻次較少時，僅以總行程中對應之變換路徑次數比例定義此機率值，因此建議後續研究，可避免太短之實驗觀測行程，以獲取完整路徑實驗資訊，有利於本條件機率之構建。

參考文獻

1. 陳士邦，「車內導引資訊影響下之逐點動態路徑選擇行為」，私立淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國 89 年 7 月。
2. 張貴貞，「駕駛者在不同路網型態下途中路徑選擇行為之研究」，私立淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國 92 年 6 月。
3. 張碧琴，「駕駛者認知地圖與車內導引系統使用行為模式之探討」，私立淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國 93 年 1 月。
4. 趙凌佑，「駕駛者空間能力差異對車內資訊影響下之動態路徑選擇行為模式」，私立淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國 93 年 6 月。
5. Chee-Chung Tong, "A Study of Dynamic Departure Time and Route Choice Behavior of Urban Commuter." Ph.D.dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, Tex, 1990.
6. Martin L.Hazelton, "Day-to-day variation in Markovian traffic assignment models." Transportation Research Part B 36, 637-648, 2002.
7. Konstadinos G. Goulias, "Longitudinal analysis of activity and travel pattern dynamics using generalized mixed Markov latent class models." Transportation Research Part B 33, 535-557, 1999.
8. Yoshinori Suzuki, "The relationship between on-time performance and airline market share : a new approach." Transportation Research Part E 36, 139-154, 2000.
9. Peter Bonsall, Tim Parry, "Using an Interactive Route-Choice Simulator to Investigate Drivers' Compliance with Route Guidance Advice." Transportation Research Record 1306, 59-68, 1991.
10. Yasunori Iida, Nobuhiro Uno, Tadashi Yamada, "Experimental Analysis Approach to Analyze Dynamic Route Choice Behavior of Driver with Travel Time Information." VNIS 377-382, 1994.
11. Peter Shen-Te Chen, Hani S. Mahmassani, "Dynamic Interactive Simulator for Studying Commuter Behavior Under Real-Time Traffic Information Supply Strategies." Transportation Research Record 1413, 12-21, 1995.
12. Yu-Hsin Liu and Hani S. Mahmassani "Dynamic Aspects of Departure Time and Route Decision Behavior Under Advanced Traveler Information Systems:Modeling Framework and Experimental Results." 77th Annual Meeting for the Transportation Board, Washington D.C., 1998.

13. Tsippy Lotan, "Effects of Familiarity on Route Choice Behavior in the Presence of Information." *Transportation Research Part C* 5, 225-243, 1997.
14. C. Y. David Yang, Fricker Jon D., Kuczek T., "Designing Advanced Traveler Information Systems from a Driver's Perspective." *Transportation Research Record* 1621, 20-26, 1998.
15. Jean E. Fox, Deborah A. Boehm-Davis, "Effects for Age and Congestion Information Accuracy of Advanced Traveler Information System on User Trust and Compliance." *Transportation Research Record* 1621, 43-49, 1998.
16. Hani S. Mahmassani and Yu-Hsin Liu "Dynamics for Commuting Decision Behavior Under Advanced Traveller Information System" *Transportation Research Part C*, 91-109, 1999.
17. 邱科融,「車內行車資訊系統顯示方式本土化之先期研究」,私立淡江大學土木工程研究所碩士論文,民國 83 年 6 月。
18. 楊雲榮,「建立探討車內資訊系統影響駕駛人動態路徑選擇/變換行為所需之實驗環境」,私立淡江大學土木工程研究所碩士論文,民國 87 年 6 月。
19. 黃建中,「高速公路鋪面績效預測模式構建-應用馬可夫鍊法」,私立淡江大學土木工程學系碩士論文,民國 86 年 6 月。
20. 林勝傑,「類神經網路與馬可夫鍊理論於鋪面狀況評估之應用」,國立成功大學土木工程研究所碩士論文,民國 90 年 6 月。
21. Jodie L. Evans, Lily Elefteradou, Natarajan Gautam, Probability of breakdown at freeway merges using Markov chains, *Transportation Research Part B* 35, 237-254, 2001.
22. Yuwei Li, Samer Madanat, A steady-state solution for the optimal pavement resurfacing problem, *Transportation Research Part A* 36, 525-535, 2002.
23. Takashi Akamatsu, Cyclic flows, markov process and stochastic traffic assignment, *Transportation Research Part B* 30, 369-386, 1996.
24. Franco Caroti Ghelli, Application of markov chains to the analysis of interzonal flows in a network, *Operations Research* vol32, 415-424, 1998.
25. Ryuichi Kitamura, Toshiyuki Yamamoto, Satoshi Fujii, The effectiveness of panels in detecting changes in discrete travel behavior, *Transportation Research Part B* 37, 191-206, 2003.
26. 劉素妙,「航空公司機隊規劃之航機採購/汰換時程之研究」,國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文,民國 91 年 6 月。

27. 楊佳學，「智慧型平交道安全監測系統安全評價之研究」，私立淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國 93 年 6 月。
28. T. W. Anderson, Leo A. Goodman, "Statistical Inference about Markov Chains." The Annals of Mathematical Statistics 28, 89-110, 1953.
29. 陳麗雯，「結合車流模擬之車內資訊導引實驗系統之建立」，私立淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國 90 年 6 月。
30. Hamdy A. Taha 著、張保隆等合譯，作業研究，民國 91 年 7 月。
31. Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering, Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, 2003.
32. Adib Kanafani, Transportation Demand Analysis, 1983.
33. Dean L. Isaacson, Richard W. Madsen, Markov Chains Theory and Application, 1985.
34. Ben-Akiva and Lerman, Discrete Choice Analysis, 1985.
35. 陳坤茂，作業研究，民國 87 年 7 月。



附錄



動態規劃求解：

高能力熟悉編號 1－動態路徑基準：

階段 13：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{13}(i)$	k^*
1	-0.65	0	0	2
2	-0.000000016	0	0	2

階段 12：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{13}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{12}(i)$	k^*
1	$0.99999 \times (-0.05) + 0.99999 \times 0 = -0.05$	$0.00001 \times 0 + 0.00001 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.00001 \times (-0.05) + 0.00001 \times 0 = -0.05$	$0.99999 \times 0 + 0.99999 \times 0 = 0$	0	2

階段 11：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{12}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{11}(i)$	k^*
1	$0.99991 \times (-0.33333) + 0.99991 \times 0 = -0.33327$	$0.00009 \times 0 + 0.00009 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.0005 \times (-0.33333) + 0.0005 \times 0 = -0.00016$	$0.9995 \times 0 + 0.9995 \times 0 = 0$	0	2

階段 10：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{11}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	$0.99998 \times (-0.3) + 0.99998 \times 0 = -0.29999$	$0.00002 \times 0 + 0.00002 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.0001 \times (-0.3) + 0.0001 \times 0 = -0.00003$	$0.9999 \times 0 + 0.9999 \times 0 = 0$	0	2

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$0.99991 \times (-0.56667) + 0.99991 \times 0 = -0.56661$	$0.00009 \times 0 + 0.00009 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.0005 \times (-0.56667) + 0.0005 \times 0 = -0.00027$	$0.9995 \times 0 + 0.9995 \times 0 = 0$	0	2

階段 8：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_9(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	$0.999 \times (-0.81667) + 0.999 \times 0 = -0.81578$	$0.001 \times 0 + 0.001 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.004 \times (-0.81667) + 0.004 \times 0 = -0.00352$	$0.996 \times 0 + 0.996 \times 0 = 0$	0	2

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.998 \times (-0.11667) + 0.998 \times 0 = -0.11641$	$0.002 \times 0 + 0.002 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.008 \times (-0.11667) + 0.008 \times 0 = -0.00092$	$0.992 \times 0 + 0.9992 \times 0 = 0$	0	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.998 \times (-0.8) + 0.998 \times 0 = -0.79815$	$0.002 \times 0 + 0.002 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.008 \times (-0.8) + 0.008 \times 0 = -0.00666$	$0.992 \times 0 + 0.9992 \times 0 = 0$	0	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.966 \times (-1.81667) + 0.966 \times 0 = -1.75524$	$0.034 \times 0 + 0.034 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.082 \times (-1.81667) + 0.082 \times 0 = -0.14975$	$0.918 \times 0 + 0.918 \times 0 = 0$	0	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.9997 \times (-0.95) + 0.9997 \times 0 = -0.94975$	$0.0003 \times 0 + 0.0003 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.001 \times (-0.95) + 0.001 \times 0 = -0.00116$	$0.999 \times 0 + 0.9999 \times 0 = 0$	0	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.9998 \times (-2.05) + 0.9998 \times 0 = -2.04952$	$0.0002 \times 0 + 0.0003 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.001 \times (-2.05) + 0.001 \times 0 = -0.00229$	$0.999 \times 0 + 0.9999 \times 0 = 0$	0	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0 + 0.999 \times 0 = 0$	$0.001 \times 1.5 + 0.001 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.001 \times 0 + 0.001 \times 0 = 0$	$0.999 \times 1.5 + 0.999 \times 0 = 1.5$	1.5	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0 + 0.999 \times 0 = 0$	$0.001 \times 1.983333 + 0.001 \times 1.5 = 0.0035$	0.0035	2
2	$0.001 \times 0 + 0.001 \times 0 = 0$	$0.999 \times 1.983333 + 0.999 \times 1.5 = 3.48$	3.48	2



高能力熟悉編號 2—動態路徑基準：

階段 12：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{12}(i)$	k^*
1	0	0.00000071	0.00000071	2
2	0	0.216625	0.216625	2

階段 11：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{12}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{11}(i)$	k^*
1	$0.9997 \times 0.00000071 + 0.9997 \times 0 = 0.00000071$	$0.0003 \times 0.216625 + 0.0003 \times 0.316667 = 0.000167$	0.000167	2
2	$0.001 \times 0.00000071 + 0.001 \times 0 = 0.00000000071$	$0.999 \times 0.216625 + 0.999 \times 0.316667 = 0.53261$	0.53261	2

階段 10：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{11}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 0.000167 + 0.9999 \times 0 = 0.000167$	$0.0001 \times 0.53261 + 0.0001 \times 0.616667 = 0.00011$	0.000167	1
2	$0.0001 \times 0.000167 + 0.0001 \times 0 = 0$	$0.9999 \times 0.53261 + 0.9999 \times 0.616667 = 1.14917$	1.14917	2

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 0.000167 + 0.9999 \times 0 = 0.000167$	$0.0001 \times 1.14917 + 0.0001 \times 0.51667 = 0.000168$	0.000168	2
2	$0.00005 \times 0.000167 + 0.00005 \times 0 = 0$	$0.99995 \times 1.14971 + 0.99995 \times 0.516667 = 1.66629$	1.66629	2

階段 8：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_9(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	$0.99995 \times 0.000168 + 0.99995 \times 0 = 0.000168$	$0.00005 \times 1.66629 + 0.00005 \times (-0.21667) = 0.000083$	0.000168	1
2	$0.0003 \times 0.000168 + 0.0003 \times 0 = 0$	$0.9997 \times 1.66629 + 0.9997 \times (-0.21667) = 1.44919$	1.44919	2

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.995 \times 0.000168 + 0.995 \times (-3.75) = -3.73126$	$0.005 \times 1.44919 + 0.005 \times 0 = 0.00725$	0.00725	2
2	$0.016 \times 0.000168 + 0.016 \times (-3.75) = -0.06058$	$0.984 \times 1.44919 + 0.984 \times 0 = 1.4260$	1.4260	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0.00725 + 0.999 \times 1.01667 = 1.02290$	$0.001 \times 1.4260 + 0.001 \times 0 = 0.001426$	1.02290	1
2	$0.003 \times 0.00725 + 0.003 \times 1.01667 = 0.00307$	$0.997 \times 1.4260 + 0.997 \times 0 = 1.42172$	1.42172	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.998 \times 1.02290 + 0.998 \times 0.16667 = 1.18719$	$0.002 \times 1.42172 + 0.002 \times 0 = 0.00284$	1.18719	1
2	$0.006 \times 1.02290 + 0.006 \times 0.16667 = 0.00714$	$0.994 \times 1.42172 + 0.994 \times 0 = 1.41319$	1.41319	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.9995 \times 1.18719 + 0.9995 \times (-1.26667) = -0.07944$	$0.0005 \times 1.41319 + 0.0005 \times 0 = 0.000707$	0.000707	2
2	$0.002 \times 1.18719 + 0.002 \times (-1.26667) = -0.000159$	$0.998 \times 1.41319 + 0.998 \times 0 = 1.41036$	1.41036	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.973 \times 0.000707 + 0.973 \times (-3.55) = -3.45346$	$0.027 \times 1.41036 + 0.027 \times 0 = 0.03808$	0.03808	2
2	$0.068 \times 0.000707 + 0.068 \times (-3.55) = -0.24135$	$0.932 \times 1.41036 + 0.932 \times 0 = 1.31446$	1.31446	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.994 \times 0.03808 + 0.994 \times (-1.26667) = -1.2212$	$0.006 \times 1.31446 + 0.006 \times 0 = 0.00789$	0.00789	2
2	$0.019 \times 0.03808 + 0.019 \times (-1.26667) = -0.02334$	$0.981 \times 1.31446 + 0.981 \times 0 = 1.28949$	1.28949	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.999999 \times 0.00789 + 0.999999 \times (-1.48333) = -1.47544$	$0.000001 \times 1.28949 + 0.000001 \times 0 = 0.0000013$	0.00000013	2
2	$0.00003 \times 0.00789 + 0.00003 \times (-1.48333) = -0.000044$	$0.99997 \times 1.28949 + 0.99997 \times 0 = 1.29$	1.29	2

高能力熟悉編號 5—動態路徑基準：

階段 14：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{14}(i)$	k^*
1	0.483333	0	0.483333	1
2	0.0000000004	0	0.0000000004	1

階段 13：

	$v_i^k + p^k(j i)f_{14}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{13}(i)$	k^*
1	$0.99999 \times 0.483333 + 0.99999 \times (-1.2) = -0.71666$	$0.00001 \times 0.0000000004 + 0.00001 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.00001 \times 0.483333 + 0.00001 \times (-1.2) = -0.000007166$	$0.99999 \times 0.0000000004 + 0.99999 \times 0 = 0.0000000004$	0.0000000004	2

階段 12：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{13}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{12}(i)$	k^*
1	$0.99997 \times 0 + 0.99997 \times (-0.11667) = -0.11667$	0	0	2
2	$0.00002 \times 0 + 0.00002 \times (-0.11667) = -0.00002$	0	0	2

階段 11：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{12}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{11}(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 0 + 0.9999 \times (-3.43333) = -3.43333$	$0.0001 \times 0 + 0.0001 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.0001 \times 0 + 0.0001 \times (-3.43333) = 0$	$0.9999 \times 0 + 0.9999 \times 0 = 0$	0	2

階段 10：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{11}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 0 + 0.9999 \times 0 = 0$	$0.0001 \times 0 + 0.0001 \times (-0.2) = -0.00002$	0	1
2	$0.0001 \times 0 + 0.0001 \times 0 = 0$	$0.9999 \times 0 + 0.9999 \times (-0.2) = -0.2$	0	1

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$1 \times 0 + 1 \times 0 = 0$	0	0	1 or 2
2	0	2.9	2.9	2

階段 8：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_9(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 0 + 0.9999 \times 0 = 0$	$0.0001 \times 2.9 + 0.0001 \times 1.36667 = 0.000427$	0.000427	2
2	$0.001 \times 0 + 0.001 \times 0 = 0$	$0.999 \times 2.9 + 0.999 \times 1.36667 = 4.2624$	4.2624	2

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.99995 \times 0.000427 + 0.99995 \times (-0.65) = -0.6495$	$0.00005 \times 4.2624 + 0.00005 \times 0 = 0.000213$	0.000213	2
2	$0.0003 \times 0.000427 + 0.0003 \times (-0.65) = -0.00019$	$0.9997 \times 4.2624 + 0.9997 \times 0 = 4.2611$	4.2611	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.99998 \times 0.000213 + 0.99998 \times (-2.7) = -2.6997$	$0.00002 \times 4.2611 + 0.001 \times 0 = 0.000085$	0.000085	2
2	$0.0001 \times 0.000213 + 0.0001 \times (-2.7) = -0.00027$	$0.9999 \times 4.2611 + 0.9999 \times 0 = 4.2607$	4.2607	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0.000085 + 0.999 \times (-4.28333) = -4.2790$	$0.001 \times 4.2607 + 0.001 \times 0 = 0.00426$	0.00426	2
2	$0.003 \times 0.000085 + 0.003 \times (-4.28333) = -0.01285$	$0.997 \times 4.2607 + 0.997 \times 0 = 4.2479$	4.2479	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.603 \times 0.00426 + 0.603 \times 0 = 0.000268$	$0.397 \times 4.2479 + 0.397 \times (-0.61667) = 1.44160$	1.44160	2
2	$0.43 \times 0.00426 + 0.43 \times 0 = 0.00183$	$0.57 \times 4.2479 + 0.57 \times (-0.61667) = 2.0698$	2.0698	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$1 \times 1.44160 + 1 \times 0 = 1.44160$	$0 \times 2.0698 + 0 \times 0 = 0$	1.44160	1
2	$0 \times 1.44160 + 0 \times 0 = 0$	$1 \times 2.0698 + 1 \times 0 = 2.0698$	2.0698	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 1.44160 + 0.9999 \times 0 = 1.44146$	$0.0001 \times 2.0698 + 0.0001 \times 0 = 0.000207$	1.44146	1
2	$0.0001 \times 1.44160 + 0.0001 \times 0 = 0.000144$	$0.9999 \times 2.0698 + 0.9999 \times 0 = 2.0696$	2.0696	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_1(i)$	k^*
1	$1 \times 1.4416 + 1 \times 0 = 1.4416$	$0 \times 2.0696 + 0 \times 0 = 0$	1.4416	1
2	$0 \times 1.44160 + 0 \times 0 = 0$	$1 \times 2.0696 + 1 \times 0 = 2.0696$	2.0696	2

高能力陌生編號 2—動態路徑基準：

階段 8：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	0	-0.0000000000007	0	1
2	0	-0.05	0	1

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.99998 \times 0 + 0.99998 \times 0 = 0$	$0.00002 \times 0 + 0.00002 \times 0.15 = 0.000003$	0.000003	2
2	$0.00009 \times 0 + 0.00009 \times 0 = 0$	$0.99991 \times 0 + 0.99991 \times 0.15 = 0.14999$	0.14999	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.99999 \times 0.000003 + 99999 \times 0 = 0.000003$	$0.00001 \times 0.14999 + 0.00001 \times 0.05 = 0.000002$	0.000003	1
2	$0.00004 \times 0.000003 + 0.00004 \times 0 = 1.2 \times 10^{-10}$	$0.99996 \times 0.14999 + 0.99996 \times 0.05 = 0.19998$	0.19998	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.957 \times 0.000003 + 0.957 \times 0 = 0.0000029$	$0.043 \times 0.19998 + 0.043 \times 4.76667 = 0.21357$	0.21357	2
2	$0.088 \times 0.000003 + 0.088 \times 0 = 0.00000026$	$0.912 \times 0.19998 + 0.912 \times 4.76667 = 4.52958$	4.52958	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0.21357 + 0.999 \times 0 = 0.21336$	$0.001 \times 4.52958 + 0.001 \times (-2.96667) = 0.00156$	0.21336	1
2	$0.004 \times 0.21357 + 0.004 \times 0 = 0.00085$	$0.996 \times 4.52958 + 0.996 \times (-2.96667) = 1.61642$	1.61642	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.99999 \times 0.21336 + 0.99999 \times 0 = 0.21336$	$0.00001 \times 1.61642 + 0.00001 \times 2.88333 = 0.000045$	0.21336	1
2	$0.00005 \times 0.21336 + 0.00005 \times 0 = 0.000011$	$0.99995 \times 1.61642 + 0.99995 \times 2.88333 = 4.4995$	4.4995	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.986 \times 0.21336 + 0.986 \times 0 = 0.21037$	$0.014 \times 4.4995 + 0.014 \times 0.05 = 0.06369$	0.21037	1
2	$0.033 \times 0.21336 + 0.033 \times 0 = 0.00704$	$0.967 \times 4.4995 + 0.967 \times 0.05 = 4.3994$	4.3994	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.99999 \times 0.21037 + 0.99999 \times (-1.28333) = -1.07295$	$0.00001 \times 4.3994 + 0.00001 \times 0 = 0.000044$	0.000044	2
2	$0.000004 \times 0.21037 + 0.000004 \times (-1.28333) = -0.0000043$	$0.99999 \times 4.3994 + 0.99999 \times 0 = 4.40$	4.40	2

高能力陌生編號3—動態路徑基準：

階段5：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	1.12485	0	1.12485	1
2	0.02144	0	0.02144	1

階段4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$1 \times 1.12485 + 1 \times (-1.33333) = -0.20848$	$0 \times 0.02144 + 0 \times 0 = 0$	0	2
2	$0 \times 1.12485 + 0 \times (-1.33333) = 0$	$1 \times 0.02144 + 1 \times 0 = 0.02144$	0.02144	2

階段3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.666 \times 0 + 0.666 \times 0 = 0$	$0.334 \times 0.02144 + 0.334 \times 6.78333 = 2.27279$	2.27279	2
2	$0.472 \times 0 + 0.472 \times 0 = 0$	$0.528 \times 0.02144 + 0.528 \times 6.78333 = 3.59292$	3.59292	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.861 \times 2.27279 + 0.861 \times 0 = 1.95687$	$0.139 \times 3.59292 + 0.139 \times 5.61667 = 1.28013$	1.95687	1
2	$0.234 \times 2.27279 + 0.234 \times 0 = 0.53183$	$0.766 \times 3.59292 + 0.766 \times 5.61667 = 7.05455$	7.05455	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$1 \times 1.95687 + 1 \times 0 = 1.95687$	$0 \times 7.05455 + 0 \times 3.05 = 0$	1.95687	1
2	$0 \times 1.95687 + 0 \times 0 = 0$	$1 \times 7.05455 + 1 \times 3.05 = 10.10$	10.10	2

高能力陌生編號 6—動態路徑基準：

階段 4：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	-13.1333	0	0	2
2	-0.0000000001	0	0	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.989 \times 0 + 0.989 \times 2.46667 = 2.44017$	$0.011 \times 0 + 0.011 \times 0 = 0$	2.44017	1
2	$0.026 \times 0 + 0.026 \times 2.46667 = 0.06418$	$0.974 \times 0 + 0.974 \times 0 = 0$	0.06418	1

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$1 \times 2.44017 + 1 \times (-1.33333) = 1.10684$	$0 \times 0.06418 + 0 \times 0 = 0$	1.10684	1
2	$0 \times 2.44017 + 0 \times (-1.33333) = 0$	$1 \times 0.06418 + 1 \times 0 = 0$	0.06418	2

階段 1：

	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
i	$k = 1$	$k = 2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 1.10684 + 0.9999 \times 0 = 1.10684$	$0.0001 \times 0.06814 + 0.0001 \times 2.63333 = 0.00027$	1.10684	1
2	$0.0001 \times 1.10684 + 0.0001 \times 0 = 0.000111$	$0.9999 \times 0.06814 + 0.9999 \times 2.63333 = 2.701$	2.701	2



低能力熟悉編號 12—動態路徑基準：

階段 13：

	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{13}(i)$	k^*
1	-0.0143	0	0	2
2	-0.0053	0	0	2

階段 12：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{13}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{12}(i)$	k^*
1	$0.964 \times (-0.38333) + 0.964 \times 0 = -0.3696$	$0.036 \times 0 + 0.036 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.116 \times (-0.38333) + 0.116 \times 0 = -0.0443$	$0.884 \times 0 + 0.884 \times 0 = 0$	0	2

階段 11：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{12}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{11}(i)$	k^*
1	$0.581 \times (-0.65) + 0.581 \times 0 = -0.3779$	$0.419 \times 0 + 0.419 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.346 \times (-0.65) + 0.346 \times 0 = -0.2248$	$0.654 \times 0 + 0.654 \times 0 = 0$	0	2

階段 10：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{11}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	$0.852 \times (-0.1) + 0.852 \times 0 = -0.0852$	$0.148 \times 0 + 0.148 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.328 \times (-0.1) + 0.328 \times 0 = -0.0328$	$0.672 \times 0 + 0.672 \times 0 = 0$	0	2

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$0.808 \times 0 + 0.808 \times 0 = 0$	$0.192 \times 0.85 + 0.192 \times 0 = 0.1631$	0.1631	2
2	$0.394 \times 0 + 0.394 \times 0 = 0$	$0.606 \times 0.85 + 0.606 \times 0 = 0.5151$	0.5151	2

階段 8：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_9(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	$0.516 \times 0 + 0.516 \times 0.1631 = 0.0842$	$0.484 \times 0.13333 + 0.484 \times 0.5151 = 0.3138$	0.3138	2
2	$0.287 \times 0 + 0.287 \times 0.1631 = 0.0468$	$0.713 \times 0.13333 + 0.713 \times 0.5151 = 0.4623$	0.4623	2

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.717 \times 0 + 0.717 \times 0.3138 = 0.225$	$0.283 \times 1.1167 + 0.283 \times 0.4623 = 0.4469$	0.4469	2
2	$0.489 \times 0 + 0.489 \times 0.3138 = 0.1534$	$0.511 \times 1.1167 + 0.511 \times 0.4623 = 0.8069$	0.8069	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.698 \times (-1.15) + 0.698 \times 0.4469 = -0.4908$	$0.302 \times 0 + 0.302 \times 0.8069 = 0.2437$	0.2437	2
2	$0.467 \times (-1.15) + 0.467 \times 0.4469 = -0.3283$	$0.533 \times 0 + 0.533 \times 0.8069 = 0.4301$	0.4301	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.632 \times (-0.1167) + 0.632 \times 0.2437 = 0.0803$	$0.368 \times 0 + 0.368 \times 0.4301 = 0.1583$	0.1583	2
2	$0.396 \times (-0.1167) + 0.396 \times 0.2437 = 0.0503$	$0.604 \times 0 + 0.604 \times 0.4301 = 0.2598$	0.2598	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.895 \times (-1.05) + 0.895 \times 0.1583 = -0.7981$	$0.105 \times 0 + 0.105 \times 0.2598 = 0.0273$	0.0273	2
2	$0.258 \times (-1.05) + 0.258 \times 0.1583 = -0.2301$	$0.742 \times 0 + 0.742 \times 0.2598 = 0.1928$	0.1928	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.845 \times 0 + 0.845 \times 0.0273 = 0.0231$	$0.155 \times 1.95 + 0.155 \times 0.1928 = 0.3321$	0.3321	2
2	$0.34 \times 0 + 0.34 \times 0.0273 = 0.0093$	$0.66 \times 1.95 + 0.66 \times 0.1928 = 1.4142$	1.4142	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.718 \times 0 + 0.718 \times 0.3321 = 0.2384$	$0.282 \times 1.4 + 0.282 \times 1.4142 = 0.7936$	0.7936	2
2	$0.49 \times 0 + 0.49 \times 0.3321 = 0.1627$	$0.51 \times 1.4 + 0.51 \times 1.4142 = 1.4352$	1.4352	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_1(i)$	k^*
1	$1 \times (-0.26667) + 1 \times 0.7936 = 0.52693$	$0 \times 0 + 0 \times 1.4352 = 0$	0.52693	1
2	$0 \times (-0.26667) + 0 \times 0.7936 = 0$	$1 \times 0 + 1 \times 1.4352 = 1.4352$	1.4352	2



低能力陌生編號 9—動態路徑基準：

階段 8：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	0	0.0000304	0.0000304	2
2	0	0.3833	0.3833	2

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.9998 \times 0.0000304 + 0.9998 \times (-0.01667) = -0.01664$	$0.0002 \times 0.3833 + 0.0002 \times 0 = 0.000077$	0.000077	2
2	$0.0003 \times 0.0000304 + 0.0003 \times (-0.01667) = -0.000005$	$0.9997 \times 0.3833 + 0.9997 \times 0 = 0.3832$	0.3832	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.995 \times 0.000077 + 0.995 \times (-0.6333) = -0.6301$	$0.005 \times 0.3832 + 0.005 \times 0 = 0.00192$	0.00192	2
2	$0.0055 \times 0.000077 + 0.0055 \times (-0.6333) = -0.00348$	$0.9945 \times 0.3832 + 0.9945 \times 0 = 0.3811$	0.3811	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.99 \times 0.00192 + 0.99 \times (-0.5667) = -0.5591$	$0.01 \times 0.3811 + 0.01 \times 0 = 0.003811$	0.003811	2
2	$0.011 \times 0.00192 + 0.011 \times (-0.5667) = -0.0062$	$0.989 \times 0.3811 + 0.989 \times 0 = 0.3769$	0.3769	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.956 \times 0.003811 + 0.956 \times (-1.1) = -1.0479$	$0.044 \times 0.3769 + 0.044 \times 0 = 0.0166$	0.0166	2
2	$0.046 \times 0.003811 + 0.046 \times (-1.1) = -0.0504$	$0.954 \times 0.3769 + 0.954 \times 0 = 0.3596$	0.3596	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.9989 \times 0.0166 + 0.9989 \times (-0.5333) = -0.5161$	$0.0011 \times 0.3596 + 0.0011 \times 0 = 0.000396$	0.000396	2
2	$0.0012 \times 0.0166 + 0.0012 \times (-0.5333) = -0.00062$	$0.9988 \times 0.3596 + 0.9988 \times 0 = 0.3592$	0.3592	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0.000396 + 0.999 \times 0 = 0.000396$	$0.001 \times 0.3592 + 0.001 \times 1.05 = 0.00141$	0.00141	2
2	$0.001 \times 0.000396 + 0.001 \times 0 = 0.000000396$	$0.999 \times 0.3592 + 0.999 \times 1.05 = 1.4078$	1.4078	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.9999 \times 0.00141 + 0.9999 \times 0 = 0.00141$	$0.0001 \times 1.4078 + 0.0001 \times 0.9833 = 0.000239$	0.00141	1
2	$0.0002 \times 0.00141 + 0.0002 \times 0 = 0.00000000282$	$0.9998 \times 1.4078 + 0.9998 \times 0.9833 = 2.391$	2.391	2

低能力陌生編號 11—動態路徑基準：

階段 10：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	-0.1911	0	0	2
2	-0.1565	0	0	2

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$0.661 \times (-0.55) + 0.661 \times 0 = -0.3359$	$0.389 \times 0 + 0.389 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.383 \times (-0.55) + 0.383 \times 0 = -0.3359$	$0.617 \times 0 + 0.617 \times 0 = 0$	0	2

階段 8：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_9(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	$0.607 \times 0.26667 + 0.607 \times 0 = 0.1618$	$0.393 \times 0 + 0.393 \times 0 = 0$	0.1618	1
2	$0.387 \times 0.26667 + 0.387 \times 0 = 0.1031$	$0.613 \times 0 + 0.613 \times 0 = 0$	0.1031	1

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.833 \times (-0.61667) + 0.833 \times 0.1618 = -0.3792$	$0.167 \times 0 + 0.137 \times 0.1031 = 0.01412$	0.01412	2
2	$0.162 \times (-0.61667) + 0.162 \times 0.1618 = -0.0739$	$0.838 \times 0 + 0.838 \times 0.1031 = 0.0864$	0.0864	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.844 \times (-0.6) + 0.844 \times 0.01412 = -0.4947$	$0.156 \times 0 + 0.156 \times 0.0864 = 0.0135$	0.0135	2
2	$0.152 \times (-0.6) + 0.152 \times 0.01412 = -0.0888$	$0.848 \times 0 + 0.848 \times 0.0864 = 0.0733$	0.0733	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.621 \times (-0.5) + 0.621 \times 0.0135 = -0.3022$	$0.379 \times 0 + 0.379 \times 0.0733 = 0.0278$	0.0278	2
2	$0.372 \times (-0.5) + 0.372 \times 0.0135 = -0.1811$	$0.628 \times 0 + 0.628 \times 0.0733 = 0.046$	0.046	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.92 \times (-0.75) + 0.92 \times 0.0278 = -0.6643$	$0.08 \times 0 + 0.08 \times 0.046 = 0.0037$	0.0037	2
2	$0.083 \times (-0.75) + 0.083 \times 0.0278 = -0.0598$	$0.917 \times 0 + 0.917 \times 0.046 = 0.0422$	0.0422	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.833 \times 0 + 0.833 \times 0.0037 = 0.0031$	$0.167 \times 0.56667 + 0.167 \times 0.0422 = 0.1016$	0.1016	2
2	$0.171 \times 0 + 0.171 \times 0.0037 = 0.0006$	$0.829 \times 0.56667 + 0.829 \times 0.0422 = 0.5046$	0.5046	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.946 \times 0 + 0.946 \times 0.1016 = 0.0961$	$0.036 \times 0.58333 + 0.036 \times 0.5046 = 0.0393$	0.0393	2
2	$0.038 \times 0 + 0.038 \times 0.1016 = 0.0039$	$0.962 \times 0.58333 + 0.962 \times 0.5046 = 1.0469$	1.0469	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.943 \times (-0.88333) + 0.943 \times 0.0393 = -0.7963$	$0.057 \times 0 + 0.057 \times 1.0469 = 0.0597$	0.0597	2
2	$0.059 \times (-0.88333) + 0.059 \times 0.0393 = -0.0495$	$0.941 \times 0 + 0.941 \times 1.0469 = 0.985$	0.985	2



低能力陌生編號 12—動態路徑基準：

階段 10：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_{10}(i)$	k^*
1	-0.2688	0	0	2
2	-0.0831	0	0	2

階段 9：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_{10}(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_9(i)$	k^*
1	$0.992 \times (-0.55) + 0.992 \times 0 = -0.54578$	$0.008 \times 0 + 0.008 \times 0 = 0$	0	2
2	$0.1 \times (-0.55) + 0.1 \times 0 = -0.055$	$0.9 \times 0 + 0.98 \times 0 = 0$	0	2

階段 8：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_9(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_8(i)$	k^*
1	$0.984 \times 0.26667 + 0.9984 \times 0 = 0.2623$	$0.016 \times 0 + 0.016 \times 0 = 0$	0.2623	1
2	$0.0174 \times 0.26667 + 0.0174 \times 0 = 0.0046$	$0.983 \times 0 + 0.9836 \times 0 = 0$	0.0046	1

階段 7：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_8(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_7(i)$	k^*
1	$0.869 \times (-0.61667) + 0.869 \times 0.2623 = -0.3079$	$0.131 \times 0 + 0.131 \times 0.0046 = 0.000603$	0.000603	2
2	$0.128 \times (-0.61667) + 0.128 \times 0.2623 = -0.0454$	$0.872 \times 0 + 0.8721 \times 0.0046 = 0.004$	0.004	2

階段 6：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_7(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	$0.896 \times (-0.6) + 0.896 \times 0.000603 = -0.5371$	$0.104 \times 0 + 0.104 \times 0.004 = 0.000416$	0.000416	2
2	$0.101 \times (-0.6) + 0.101 \times 0.000603 = -0.06054$	$0.899 \times 0 + 0.899 \times 0.004 = 0.003596$	0.003596	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$0.991 \times (-0.5) + 0.991 \times 0.000416 = -0.4951$	$0.009 \times 0 + 0.009 \times 0.003596 = 0.000032$	0.000032	2
2	$0.1 \times (-0.5) + 0.1 \times 0.000416 = -0.05$	$0.9 \times 0 + 0.9 \times 0.003596 = 0.00324$	0.00324	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.768 \times (-0.75) + 0.768 \times 0.000032 = -0.576$	$0.232 \times 0 + 0.232 \times 0.00324 = 0.00075$	0.00075	2
2	$0.227 \times (-0.75) + 0.227 \times 0.000032 = -0.1702$	$0.773 \times 0 + 0.773 \times 0.00324 = 0.0025$	0.0025	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.957 \times 0 + 0.957 \times 0.00075 = 0.00072$	$0.043 \times 0.56667 + 0.043 \times 0.0025 = 0.0245$	0.0245	2
2	$0.41 \times 0 + 0.41 \times 0.00075 = 0.00031$	$0.59 \times 0.56667 + 0.59 \times 0.0025 = 0.3358$	0.3358	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.52 \times 0 + 0.52 \times 0.0245 = 0.01274$	$0.48 \times 0.58333 + 0.48 \times 0.3358 = 0.4412$	0.4412	2
2	$0.337 \times 0 + 0.337 \times 0.0245 = 0.00826$	$0.663 \times 0.58333 + 0.663 \times 0.3358 = 0.6094$	0.6094	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k = 1$	$k = 2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.809 \times (-0.88333)$ $+0.809 \times 0.4412 = -0.3577$	$0.191 \times 0 + 0.191 \times 0.6094 = 0.1164$	0.1164	2
2	$0.285 \times (-0.88333)$ $+0.285 \times 0.4412 = -0.126$	$0.715 \times 0 + 0.715 \times 0.6094 = 0.436$	0.436	2



低能力陌生編號 13—動態路徑基準：

階段 5：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	-0.00079	0	0	2
2	-1.33249	0	0	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.971 \times 0 + 0.971 \times 0 = 0$	$0.029 \times 0 + 0.029 \times 6.71667 = 0.195531$	0.195531	2
2	$0.03 \times 0 + 0.03 \times 0 = 0$	$0.97 \times 0 + 0.97 \times 6.71667 = 6.513301$	6.513301	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.71 \times 0 + 0.71 \times 0.195531 = 0.13883$	$0.29 \times 2.06667 + 0.29 \times 6.513301 = 2.48819$	2.48819	2
2	$0.284 \times 0 + 0.284 \times 0.195531 = 0.05553$	$0.716 \times 2.06667 + 0.716 \times 6.513301 = 6.14326$	6.14326	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.593 \times 0 + 0.593 \times 2.48819 = 1.47550$	$0.407 \times 3.666667 + 0.407 \times 6.14326 = 3.99264$	3.99264	2
2	$0.414 \times 0 + 0.414 \times 2.48819 = 1.03011$	$0.586 \times 3.666667 + 0.586 \times 6.14326 = 5.74862$	5.74862	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.641 \times (-0.96667) + 0.641 \times 3.99264 = 1.93965$	$0.359 \times 0 + 0.359 \times 5.74862 = 2.06375$	2.06375	2
2	$0.353 \times (-0.96667) + 0.353 \times 3.99264 = 1.06817$	$0.647 \times 0 + 0.647 \times 5.74862 = 3.72$	3.72	2

低能力陌生編號 15—動態路徑基準：

階段 6：

i	v_i^k		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_6(i)$	k^*
1	-3.7142	0	0	2
2	-0.0026	0	0	2

階段 5：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_6(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_5(i)$	k^*
1	$1 \times 0 + 1 \times 0 = 0$	$0 \times (-3.1167) + 0 \times 0 = 0$	0	1 or 2
2	$0 \times 0 + 0 \times 0 = 0$	$1 \times (-3.1167) + 1 \times 0 = -3.1167$	0	2

階段 4：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_5(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_4(i)$	k^*
1	$0.767 \times 0 + 0.767 \times 0 = 0$	$0.233 \times 6.46667 + 0.233 \times 0 = 1.5058$	1.5058	2
2	$0.238 \times 0 + 0.2387 \times 0 = 0$	$0.762 \times 6.46667 + 0.762 \times 0 = 4.9265$	4.9265	2

階段 3：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_4(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_3(i)$	k^*
1	$0.9933 \times 0 + 0.9933 \times 1.5058 = 1.4957$	$0.0067 \times 4.0167 + 0.0067 \times 4.9265 = 0.06$	1.4957	1
2	$0.007 \times 0 + 0.007 \times 1.5058 = 0.0105$	$0.993 \times 4.0167 + 0.993 \times 4.9265 = 8.8806$	8.8806	2

階段 2：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_3(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_2(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0 + 0.999 \times 1.4957 = 1.4942$	$0.001 \times 3.8833 + 0.001 \times 8.8806 = 0.0128$	1.4942	1
2	$0.001 \times 0 + 0.001 \times 1.4957 = 0.0015$	$0.999 \times 3.8833 + 0.999 \times 8.8806 = 12.751$	12.751	2

階段 1：

i	$v_i^k + p^k(j i)f_2(j)$		最佳解	
	$k=1$	$k=2$	$f_1(i)$	k^*
1	$0.999 \times 0 + 0.999 \times 1.4942 = 1.4927$	$0.001 \times 0.45 + 0.001 \times 12.751 = 0.0132$	1.4927	1
2	$0.001 \times 0 + 0.001 \times 1.4942 = 0.0015$	$0.999 \times 0.45 + 0.999 \times 12.751 = 13.188$	13.188	2