

國立交通大學
運輸科技與管理學系碩士班

碩士論文

利用運輸路網可靠度評估
先進旅行者資訊系統之價值
Evaluation of ATIS with reliability
for transport network

研究生：王翊倫

指導教授：黃家耀 助理教授

中華民國九十七年六月

利用路網可靠度評估先進旅行者資訊系統之價值

學生：王翊倫

指導教授：黃家耀 助理教授

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

而隨著科技進步，民眾重視交通需求的層面從縮短旅行時間，逐漸轉變成旅行時間的準確程度。然而，路網系統具有不確定因素存在，這些不確定因素會影響路網使用者的平均旅行時間，也影響了系統的總旅行時間。為了評估或預估路網是否能滿足使用者的需求，路網可靠度是一個具代表性的衡量指標。

另一方面，智慧型運輸系統中的先進旅行者資訊系統 (ATIS) 也越來越發達，其功能與發展程度也日益增加。該系統能提供使用者路網資訊，當路網系統受損時，使用者能依據資訊系統提供的建議，減少旅行成本的額外增加。

本研究依據路網使用者是否具備 ATIS 系統將使用者分群，建立多層級使用者 (multiple user class)。透過蒙地卡羅模擬方法 (Monte Carlo technique) 進行交通路網指派 (traffic assignment)。研究採用之交通路網指派方法包含使用者均衡模式 (UE) 與隨機使用者均衡模式 (SUE)，建立不同類型使用者的路徑選擇模式。

研究中將利用路網可靠度 (network reliability) 做為評估指標之一，觀察 ATIS 系統為路網系統帶來的效益。在研究中發現，ATIS 系統對使用者的平均旅行時間改善僅在有限的使用者比例內；而透過路網可靠度則可更進一步的衡量 ATIS 系統對使用者的效益所在。

關鍵字：路網可靠度、使用者均衡模式、隨機使用者均衡模式、多層級使用者、評估 ATIS 系統

Evaluation of ATIS with reliability of transport network

Student: Yi-Lun Wang

Advisor: Ka-Lo Wong

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

With advances in technology, the people extend their attention from receiving travel time information to the concern about the accuracy of the travel time information, which may be affected by many uncertainty factors such as traffic accidents, incidents, or variations of daily travel demand. The level of penetration of information and the response of travelers will in turn affect individual user's travel time and as well the total travel time of the system. In order to assess if the transport network could meet the travel demand in terms of probability, reliability of transport network is a representative measurement indicator.

Reliability of transport network is a topic in Advanced Traveler Information System (ATIS) of Intelligent Transportation Systems. Considering car navigation with real-time information is an application, if the system could provide information about traffic to users who is driving on the road, it is possible to divert the users, so as to reduce traveling cost. This is even pronounced when the traffic network system is degradable.

In this research, users are divided into two classes for analysis: ATIS equipped users and non-ATIS users. Two models are developed to investigate the proposed problem. In the first model, traffic assignment model for multiple user classes is used, where traveler's route choice behavior is in User Equilibrium (UE), and Monte Carlo simulation technique is used to simulate the daily variation of road capacity. The second model is a Stochastic User Equilibrium (SUE) formulation which can model the differences of information perceptions between the two groups of users.

Reliability of transport network is taken as an indicator in this research. With the results of simulation, ATIS system can improve the travel time of all users in the network, but the advantage of ATIS users over non-ATIS users is diminishing as the number of ATIS users (i.e. market penetration) increase.

Key word: Advanced Traveler Information System, Network Reliability, User Equilibrium, Stochastic User Equilibrium, Multiple user classes.

誌謝

經歷碩士班兩年的實驗室生活，終於能完成這篇碩士論文。首先感謝指導老師 黃家耀老師一年多來，在研究上的悉心指導與生活上的照顧。黃老師在學術上的專業見解讓學生獲益良多。在與老師討論的期間也很自由的讓學生發表意見，再給予學生建議與修改方向，讓學生能在自己的研究上充分發揮自己的想法。

另外也感謝 林貴璽老師在碩一時期的栽培與訓練。雖然無法完成預定的研究有些遺憾，但在碩一時期能受到老師的專業指導，對學生之後在文獻的回顧上給予相當大的幫助。也感謝運管系 卓訓榮老師與 王晉元老師在口試期間的建議與指點，使本論文更臻完善。

最感謝我的父母與家人，在這段時間給予的支持與鼓勵，讓學生能專心於學校的研究生活。奶奶的給予的期望也時常提醒自己，警惕自己不能太過鬆懈。以及在成大準備研究所的弟弟，希望他能考上理想的學校，在研究生涯一帆風順。

在交大，轉眼間過了六年的時間。四年在交大的大學生活，有太多人與太多事值得回憶與珍惜。同學四年、同寢兩年的仲豪，雖然在各自的實驗室努力，但閒暇時仍有你，以及 poney、大鈞一起踢球、拯救世界！為研究生活多增添了許多歡笑與快樂。

兩年的碩班生活，雖然少了同屆的實驗室同學以及學長姐指導，但智偉在碩二期間給了許多意見與經驗，讓我能更快解決研究上的問題。伶潔以及亞臻兩個學妹替實驗室帶來熱鬧的氣氛，還有其他實驗室的學弟妹：竹軒、熊、阿芬、蕭仔以及筱嵐等等，都常替實驗室帶來許多開心的氣氛。在這邊也祝福他們明年的論文準備都能非常順利！

另外要感謝苡菡、友維，從碩一下到現在，對你們的感激很難用文字表述，很高興能有你們陪我談心，給我鼓勵，讓我能從一段荒廢的時間中很快找回自己的步調。冠佑以及維真，一起唱歌打保齡球的日子，會是研究生活中很鮮豔的一頁。沒有你們，我無法如此順利的如期完成論文研究。

除了新竹的學校生活，也不忘提及回台北時，能一起喝酒打牌聊天的朋友們：彥瑄、尉倫與佩吟。很感謝你們這群老朋友，在這段時間的陪伴與鼓勵。特別感謝皓翔，十多年的死黨，給了我太多的叮嚀與支持，能有你們這些值得驕傲的朋友，我很幸運。

要謝的人其實很多很多，一面致謝其實寫不了多少的。僅將這篇論文，獻給所有曾鼓勵、勉勵與陪伴我的親朋好友們。謝謝你們。

翊倫 謹誌 2008. 7

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	1
1.3 研究目的.....	2
1.4 研究範圍與方法.....	2
1.5 研究內容與流程.....	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 路網可靠度.....	5
2.1.1 路網之不確定因素	5
2.1.2 連通可靠度	6
2.1.3 旅行時間可靠度	9
2.1.4 容量可靠度	10
2.2 交通指派原則.....	11
2.2.1 Wardrop 指派原則.....	12
2.2.2 隨機使用者均衡原則.....	13
2.3 先進旅行者資訊系統.....	14
2.3.1 ATIS 系統之架構.....	14
2.3.2 ATIS 系統之效益評估	15

2.4	文獻評析.....	17
第三章	可靠度指標與模式之建立	19
3.1	路網定義.....	19
3.2	路網假設.....	19
3.2.1	路網形態假設	19
3.2.2	路網供給假設	20
3.2.3	路網需求假設	20
3.3	計算方式.....	21
3.4	路網變數設定.....	21
3.5	範例分析.....	22
3.5.1	範例架構與試算	22
3.5.2	連通可靠度試算	23
3.5.3	旅行時間可靠度試算.....	25
3.5.4	容量可靠度試算	26
3.6	小結.....	26
第四章	利用可靠度評估資訊系統建置之價值	28
4.1	使用者差異假設.....	28
4.2	指派模式假設.....	28
4.3	路網範例與模擬方法.....	31
4.3.1	範例架構	31
4.3.2	蒙地卡羅方法	31
4.3.3	模擬步驟	32
4.4	模擬結果分析.....	33
4.4.1	路網隨機性與使用者差異.....	33
4.4.2	具 ATIS 之旅行時間可靠度.....	36
4.4.3	具 ATIS 之容量可靠度	38
4.5	小結.....	39
第五章	利用可靠度評估資訊完整度之差異	40

5.1	模式構建.....	40
5.1.1	模式假設	40
5.1.2	模式架構	41
5.2	求解方法.....	42
5.3	範例分析.....	43
5.3.1	使用者比例分析	43
5.3.2	資訊能力分析	47
5.4	小結.....	48
第六章	結論與建議	50
6.1	結論建議.....	50
6.2	後續研究.....	51
參考文獻	52



圖目錄

圖 1 - 1	研究流程示意圖	4
圖 2 - 1	連通可靠度範例	7
圖 2 - 2	ATIS 系統使用者比例與平均旅行時間之關係	16
圖 2 - 3	資訊更新時間與平均旅行時間之關係	17
圖 3 - 1	路網示意圖	22
圖 3 - 2	節點 1 到節點 4 之路徑	22
圖 3 - 3	隨機供給下平均旅行時間	23
圖 3 - 4	需求變動下旅行時間可靠度	25
圖 3 - 5	需求變動下容量可靠度	26
圖 4 - 1	不同類型使用者平均旅行時間	33
圖 4 - 2	不同類型使用者平均旅行時間(排序後).....	34
圖 4 - 3	不同 ATIS 使用者比例下的平均旅行時間	34
圖 4 - 4	不同需求下 ATIS 使用者比例對旅行時間之影響	36
圖 4 - 5	旅行時間可靠度－ATIS User 0%~40%	37
圖 4 - 6	旅行時間可靠度－ATIS User 60%~100%	37
圖 4 - 7	不同使用者比例之容量可靠度	38
圖 5 - 1	MSA 求解多層級 SUE 之流程	43
圖 5 - 2	多層級 MSA 均衡－路徑旅行時間.....	44
圖 5 - 3	多層級 MSA－ATIS 使用者路徑流量	44
圖 5 - 4	多層級 SUE－non-ATIS 使用者路徑流量	45
圖 5 - 5	SUE－D=40，不同使用者比例下之路徑旅行時間	46
圖 5 - 6	SUE－D=40，不同使用者比例下之平均路徑旅行時間	47
圖 5 - 7	提升低資訊能力使用者後之平均旅行時間	47
圖 5 - 8	提升高資訊能力使用者後之平均旅行時間	48

表目錄

表 2-1	道路容量變動因素	5
表 2-2	ATIS 效益評估之相關文獻	15
表 3-1	路網相關參數設定	22
表 3-2	路段降級機率與比例	22
表 4-1	路段道路相關係數—道路容量呈常態分配	33
表 5-1	SUE 試算結果—使用者選擇各路徑之情況	45



第一章 緒論

1.1 研究背景

可靠度 (Reliability, 亦有翻譯成信賴度, 本文中使用的大陸學者翻譯之可靠度。) 是指一個系統能完成預期目標或預期工作的進度之機率。而運輸系統的可靠性在過去已有研究, 但大多注重在水、電等管道運輸上。相較於管道系統, 一般道路較不容易被破壞, 也造成過去一直對此議題缺乏研究。

1995年1月17日, 日本發生芮氏規模7.2級的阪神大地震(Kobe earthquake), 對神戶與其周遭地區帶來嚴重災害。由於該地區屬於日本的交通要衝, 從公路、鐵路到港埠系統都遭受到嚴重破壞, 造成當時的救災與重建工作格外困難。此事件之後引起了日本與國際間, 對運輸路網的可靠度 (transport network reliability) 產生研究興趣。

天然災害的發生機率並不高, 且破壞通常是全面性的, 當災害發生時的應變能力非常有限。但路網受到外部 (例如: 道路施工) 或內部因素 (例如: 車禍), 都會造成路網系統的服務能力下降甚至無法運作。

另一方面, 隨著科技的進步, 人們對於服務的要求不在侷限於高效率的旅行 (例如: 降低旅行時間或旅行費用), 已開始轉為要求更準確的服務品質, 希望能更準確的掌握運輸時間。

從上面的討論中可以發現, 運輸路網的可靠度有越來越重要的趨勢。但如何有效的運用, 是現階段較主要的問題。

1.2 研究動機

由於交通路網與一般的系統具有更特別的不確定性因素, 導致交通路網可靠度的衡量與分析方式與一般的運輸系統有很大的區別。一般來說, 交通路網的不確定性可區分為以下三個種類:

1. 供給的不確定性
2. 需求的不確定性
3. 使用者的不確定性

近年來, 隨著投入運輸路網可靠性的議題的學者越來越多, 對於不同層面的可靠度評估方式也越趨複雜。但從規劃者的角度來看, 要能方便且充分的運用這

些資料，仍然太過粗略。

另外，在上列因素中，路網系統的管理者對於供給與需求的不確定性較難控制；但若在交通路網的既有架構中引進 ATIS 系統，則可對使用者進行分群與進一步的評估。

因此，本研究將從使用者造成的差異為出發點，並透過是否具有 ATIS 系統進行分群，探討使用者對路網可靠度造成的影響。並藉由分析過去的路網可靠度評估模式，希望更進一步了解各種可靠度的使用時機與方式。

1.3 研究目的

從上面的討論中，整理本研究的研究目的為以下兩點：

1. 研究現有的路網可靠度計算模式
針對不同的不確定因素與對應的計算結果進行分析，探討各種可靠度適用的範圍。
2. 利用路網可靠度比較 ATIS 系統造成的使用者差異
在既有的路網架構中加入 ATIS 系統，對使用者提出分群的假設，進而對使用者間的差異性進行比較分析。

1.4 研究範圍與方法

本研究中之運輸路網以一般公路系統的道路交通路網為參考，並不考慮鐵路與航空等運輸系統。探討路網狀態不固定且使用者間具有路徑選擇差異下，路網之績效與可靠度評估。本研究的相關假設與方法敘述如下：

1. 道路僅小客車單一種類運具。
2. 路網狀態與使用者之資訊具有不確定性。
3. 對使用者依照資訊能力進行分群。
4. 研究使用交通指派 (traffic assignment) 進行模擬。
5. 依照資訊完整度建立不同類型的指派模式。
6. 使用 UE 與 SUE 為基本指派模式。

1.5 研究內容與流程

本章節介紹研究動機、目的與相關假設，並簡述研究架構與流程。

第二章文獻回顧中，包含路網可靠度、交通指派方法與 ATIS 系統之相關研究。了解路網可靠度與 ATIS 現階段研究重點與相關假設。

第三章設定了路網的基本架構，使用 UE 與平均道路容量進行交通指派，再計算隨機道路容量下旅行時間的變化，並進行路網可靠度的計算測試，決定後續章節的試驗步驟與評估指標。

第四章依據使用者是否裝置 ATIS 系統進行分群，對不同類型的使用者給定適合的指派方式，進行旅行時間計算與可靠度的評估，並分析 ATIS 系統為使用者與路網系統帶來的效益。

第五章再考慮各類型使用者的資訊程度，以 SUE 為交通指派原則，同樣計算旅行時間與可靠度，分析 ATIS 系統可以改善的方向。

第六章將整理上述章節之研究結果，做出研究結論與後續研究建議。

相關流程如圖 1-1：



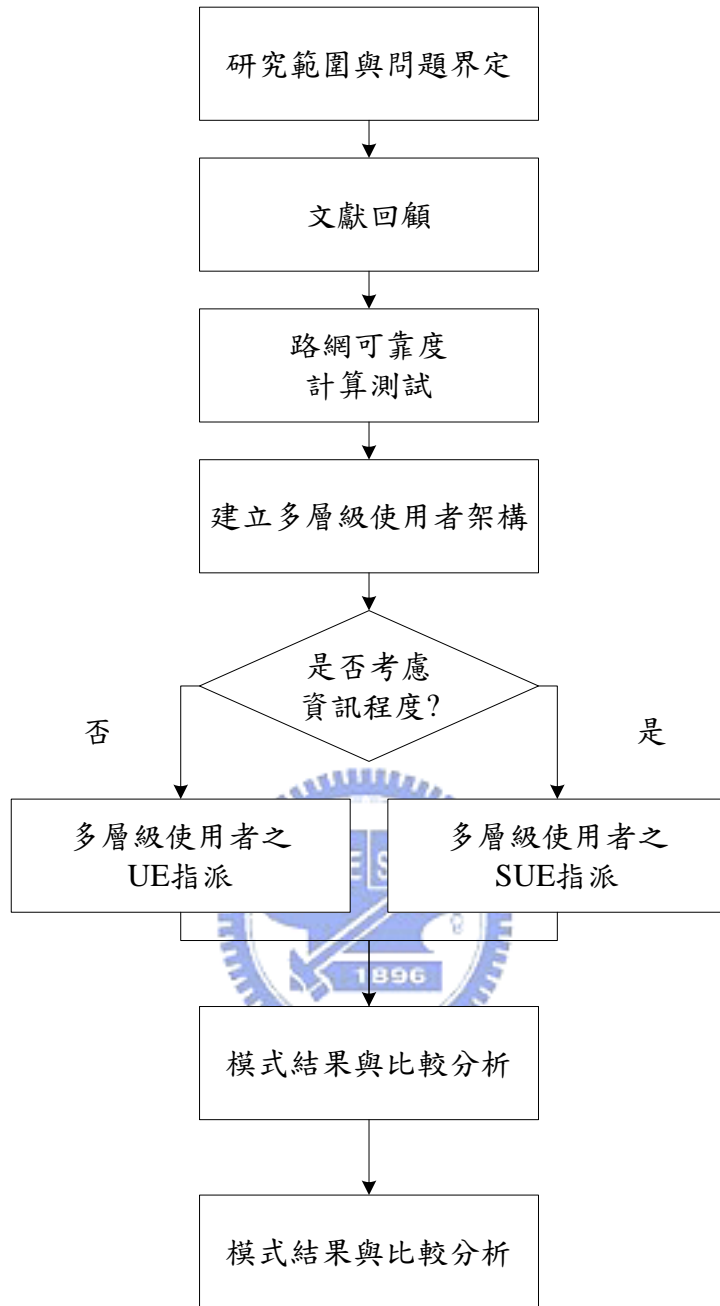


圖 1 - 1 研究流程示意圖

第二章 文獻回顧

本研究主要探討可靠度在路網系統的應用方式，並針對使用者之形態做進一步之分析。因此文獻回顧會以過去對路網可靠度之計算模式與相關的車輛指派模型為主，再引用 ATIS 系統之特性，對使用者的差異做進一步的分析。

2.1 路網可靠度

2.1.1 路網之不確定因素

交通路網對於社會的各項生活具有密不可分的關係存在，例如生活必需品的傳遞與能源物資的輸送等等。當路網功能發生問題時，所影響的並不僅是運輸上的困難，更會影響民眾的生活水平與便利性，因此在設計具有運輸功能的系統時，也需注意是否系統是否可靠 (reliable) 的問題。

系統可靠與否決定於系統是否穩定，當路網系統越不穩定時，則該路網之脆弱度 (Vulnerability) 越高。因而在分析可靠度前必須了解造成路網不穩定的因素為何。一般來說，造成交通路網系統不穩定的因素可從供給與需求兩方面來探討。

從供給面 (supply side) 來看，影響運輸路網系統供給的主要因素為道路通行能力 (或稱為道路容量, capacity)。道路的通行能力會受到許多因素的影響 (卓訓榮等, 民 94)，如。表中固定因素與變動因素的差異在於規劃者是否能進行控制。例如道路的車道數是已設計好的，而車速則會因為駕駛習慣的不同而有差異。

表 2-1 道路容量變動因素

類別	項目	說明
固定因素	幾何設計	例如車道數，車道寬度等
	控制與管理措施	例如號誌控制，匝道控制等
變動因素	車流狀況	如車輛數與車速
	道路兩旁干擾	路邊停等車或公車靠站等
	施工與事故	道路養護或其他工程等

由於供給的道路通行能力並非固定值，路網系統的績效也具有不確定性。Chen (2002) 以道路容量做判斷，若道路容量不能滿足需求的機率越高，則此路網的脆弱度越高。

若不將道路容量的大小與差異性做為判斷基準，僅考慮供給的目的是為了滿足需求的情況下，D'Este 與 Taylor (2003) 利用可及性 (accessibility) 的觀念，假設駕駛完成旅行的機率越低，路網脆弱度越高。

Husdal (2005) 將影響路網脆弱度的因素分為可修復與不可修復 (operability; non-operability) 兩種性質，其概念類似表 2-1 中的分類。認為若不可修復性質的因素若越多，則路網越脆弱。

從需求面來看，路網的績效反映在使用者感受的價值上，而通常都以旅行時間做為使用者對路網系統的價值指標。即旅行時間越短，則路網的績效越高。Du 與 Nicholson (1997) 利用道路降級 (degradable) 前後的旅行時間差異來評估：若通行能力下降後，旅行時間增加的越多，則此路網越脆弱。

在上述的研究中可看出，路網系統本身具有不確定因素，且路網的績效受這些因素的影響範圍有一定的程度。為了更有效的利用與改善路網系統，必須對這些不確定性因素進行分析，評估路網系統是否可靠。以下將介紹三種較常使用的可靠度評估指標與評估方法。

2.1.2 連通可靠度

連通可靠度 (connectivity reliability) 最早是由日本的 Mine Kawai 在 1982 年提出，反映了路網中兩節點間保持連接的機率。連接可靠性在評估路網之通行能力時，以 0、1 兩變數表示連接的狀態。

Iida 與 Wakabayashi 在 1989 年提出端點可靠度 (terminal reliability)。端點可靠度主要是探討起迄點間是否有路徑連接兩節點。由於一條路徑 (Path) 是由一連串的路段 (Link) 所連接而成，而進行連接可靠度的計算時，常以 0-1 變數代表每一路徑之狀況。

Bell 與 Iida (1997) 將連通可靠度整理後，路段 a 之連通可靠度可表示如下：

$$X_a = \begin{cases} 1, & \text{路段}a\text{可通行} \\ 0, & \text{路段}a\text{不可通行} \end{cases} \quad (2.1)$$

同樣的，路網系統之連通可靠度也可以同樣的方式表示：

$$\Phi(X) = \begin{cases} 1, & \text{路網系統中的起迄點都能連通} \\ 0, & \text{路網中有起迄點無法連通} \end{cases} \quad (2.2)$$

(2.1)表示連結兩個節點的路段是否連通，若路網系統中所有路段都能連通，則(2.2)中的路網系統連通狀態為 1。而路段是否可連通具有機率性，故連通可靠

度定義為：

$$r_a = E[X_a] \quad (2.3)$$

$$R = E[\Phi(X)] \quad (2.4)$$

Wakabayashi 與 Iida(1992)提出連通可靠性的上下界範圍。參考如圖 2-1 之路網：A、B 間的連通性時，可分成兩種集合：最小路徑集合(minimal path sets)與最小連通集合(minimal cut sets)。

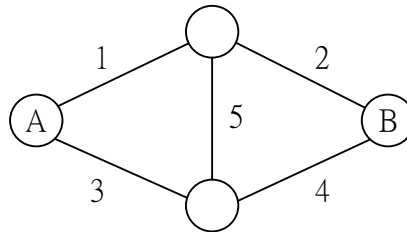


圖 2-1 連通可靠度範例

最小路徑集合 P_s (串聯系統) 對路網的起迄點而言，構成最短路徑的路段集合。此處之最短路徑屬於幾何上的最短路徑，並不考慮行走在路段上的成本。在圖 2-1 中的最短路徑集合為：

$$P_1 = \{1, 2\}, P_2 = \{3, 4\}, P_3 = \{1, 4, 5\}, P_4 = \{2, 3, 5\}$$

最小路徑集合之特性在於若某路段失效，則包含該路段的最小路徑集合也將失效。例如：若路段 1 失效，則 P_1 與 P_3 兩條路徑將無法負擔起迄點間的需求。

將最小路徑集合考慮入連通可靠度的計算模式中，則可得到：

$$\phi(\mathbf{X}) = 1 - \prod_{s=1}^p \left(1 - \prod_{a \in P_s} X_a \right) \quad (2.5)$$

最小連通集合 K_s (並聯系統) 中，若某集合中的所有元素都失效，則該系統無任何路徑可以繼續滿足起迄點間的需求。圖 2-1 中的最小連通集合為：

$$K_1 = \{1, 3\}, K_2 = \{2, 4\}, K_3 = \{1, 4, 5\}, K_4 = \{2, 3, 5\}$$

若路段1與路段3同時失效，則路網系統無任何路徑可以讓使用者從A到B。同樣將最小連通集合考慮入連通可靠度中：

$$\phi(\mathbf{X}) = \prod_{s=1}^k \left(1 - \prod_{a \in K_s} (1 - X_a) \right) \quad (2.6)$$

若路網系統中各路段能正常運作的機率可得知，則可進一步計算其期望值：

$$\Phi_L = E \left[1 - \prod_{s=1}^p \left(1 - \prod_{a \in P_s} X_a \right) \right] \quad (2.7)$$

$$\Phi_U = E \left[\prod_{s=1}^k \left(1 - \prod_{a \in K_s} (1 - X_a) \right) \right] \quad (2.8)$$

Wakabayashi 與 Iida 認為路網的連通可靠度 $\Phi(X_a)$ 存在下列關係：

$$\Phi_L \leq \Phi(X_a) \leq \Phi_U \quad (2.9)$$

(2.9)代表了連通可靠度之上下界。然而僅參考 0-1 的變數會忽略太多實際的道路狀態，假設某段道路處於施工狀態，但仍有車道具有通行能力，則若以 0 或 1 表示路段連接狀態都有所缺失。考慮上述情形，Du 與 Nicholson (1997) 對其改進且提出進一步發展。

考慮路段 k 在狀態 Y 之下的道路通行能力降級比率，計算如下：

$$Y_k = \frac{f_k(x_0) - f_k(x)}{f_k(x_0)} \quad (2.10)$$

其中， $f_k(x_0)$ 表示路段 k 的自由車流速率 (free flow speed)， $f_k(x)$ 則表示現階段路段 k 的車速，根據(2.10)可得到各種道路狀態下的服務水準。利用服務水準可以更準確的表達道路狀態：

$$Z_k(\theta_k, x) = \begin{cases} 1, & Y_k \leq \theta_k \\ 0, & Y_k > \theta_k \end{cases} \quad (2.11)$$

若路段 k 之車速為 x，當路段的降級比率 Y_k 小於最大容忍的降級限度 (maximum acceptable flow decrement rate) 的標準 θ_k ，則表示目前道路的服務能力

仍在可接受範圍內，給予通行的變數 1；反之則表示目前的道路水準已經不能負擔需求，以 0 表示該路段失效。透過不同的性能指標，我們可以衡量不同種類的連通可靠性。

透過此種設計方式，對於路網中的路段發生的各種情形都能判斷其連通可靠性。有別於原先僅考慮道路完全失效(例如因地震造成公路斷裂)，現在也可以衡量因各種突發狀況而造成路段通行能力降低，是否該視為無法通行。是屬於較合理處理路網的連通可靠性的方式。

2.1.3 旅行時間可靠度

Asakura 和 Kashiwadani (1991) 提出了旅行時間可靠度之概念：旅行時間可靠度 (travel time reliability) 可定義為在規定的時間內，使用者能完成旅次的機率。可表示如(2.12)，其中 t^* 表示預期的旅行時間，而 t 則為實際的旅行時間。

$$r = P(t \leq t^*) \quad (2.12)$$

隨後 Asakura (1996) 又提出由於道路狀態惡化，導致容量下降時的旅行時間可靠性計算方式：計算擁擠狀態下的旅行時間與暢通狀態下的旅行時間之比值，當其比值接近 1 時，表示路網的流量接近路網設計的通行能力，如(2.13)所示。


$$r = \frac{t}{t^*} \quad (2.13)$$

當比值越大時，表示某路段或路網本身發生阻塞，使用者到達目的地的能力越困難。根據此旅行時間可靠性之計算結果，可作為衡量與判斷路網的服務水準之依據。

Du 與 Nicholson (1997) 認為旅行時間可靠性之不確定性因素可能起因於兩種因素：

1. 需求性每日變動：
每日交通量的變動，造成衡量路網的績效具有一定程度的變動性。
2. 道路環境的變動：
因道路毀壞或道路容量改變造成通行能力的改變。

Bell 與 Cassir (2000) 認為旅行時間可靠性主要受交通流變化的影響。路徑的旅行時間由各路段的旅行時間決定，其期望值與變異數等於各路段旅行時間的期望值與變異數之和：

$$T = N \left(\sum_{a \in P} \mu_a, \sum_{a \in P} \sigma_a^2 \right) \quad (2.14)$$

其中， T 是路徑 P 的旅行時間， μ_a 是路段 a 的旅行時間的期望值， σ_a^2 是路段 a 的旅行時間的變異數。上式忽略了各路段旅行時間的相關性。定義可靠性為旅行時間小於某定值的概率，得到旅行時間可靠性的模型為：

$$P[T \leq t] = \Phi \left(\frac{\left(t - \sum_{a \in P} \mu_a \right)}{\sqrt{\sum_{a \in P} \sigma_a^2}} \right) \quad (2.15)$$

2.1.4 容量可靠度

容量可靠性 (Capacity reliability) 是由 Chen et al. (1999) 提出：在給定的服務水準下，路網容量能負荷一定交通需求水準之機率。根據該研究之定義，在計算容量可靠性之前需先求得路網儲存容量 (Network Reserve Capacity, NRC)，因此該可靠性之計算屬於雙層規劃，其模型為：

$$R(\mu_r) = P[\mu > \mu_r] \quad (2.16)$$

其中， μ_r 是交通需求的水準， μ 是根據路網儲備容量的雙層模型得到的最大需求乘數，模型上層為：

$$\text{Max } \mu \quad (2.17)$$

$$v_a(\mu q) \leq c_a, a \in A \quad (2.18)$$

下層是固定需求下的使用者均衡模型， q 是路段 a 的平衡流量，在擴大 μ 倍後，不能超過路段的容量或是影響其服務水準。

從建立的雙層模型可以看出，在確定路網儲存容量系數時也考慮了使用者的路徑選擇行為。路網儲存系數 μ 一方面可以表示現在路網的需求狀態，當 $\mu > 1$ 時也表示路網還有 $100(\mu - 1)\%$ 的容量；當 $\mu < 1$ 則是流量超過容量 $100(\mu - 1)\%$ 。利用此系數可以計算路網的容量可靠度，表示現有路網供給能力能滿足預期的交通需求水準的機率：

$$R(D) = P(\mu \geq D) \quad (2.19)$$

(2.19) 中 $R(D)$ 表示路網在需求水準 D 時的容量可靠度，而路網容量可靠度

的上下界則由該需求水準決定：

$$R(D) = \begin{cases} 1, & \text{if } D = 0 \\ 0, & \text{if } D = \infty \end{cases} \quad (2.20)$$

(2.20)代表當路網中沒有需求時，路網的容量 100%可靠；而當需求接近無限大時，路網的可靠度為 0。

Chen 等人(2002)又將將旅行時間可靠性的概念擴展到由於受天氣、擁擠、事故等因素影響而退化的路網。假設 C 和 C_0 分別表示衰減後的和原始的路網容量，OD 對 w 間相應的旅行時間分別為 $t_w(C)$ 和 $t_w(C_0)$ ，做為另一種路網績效之評估指標，如(2.21)

$$\tau_w(\theta) = P\left(\frac{t_w(C)}{t_w(C_0)} \leq \theta\right) \quad (2.21)$$

θ 表示路網應始終保持的服務水準。為了評價整體路網的性能，Chen 提出路網的旅行時間可靠性等於所有路徑的可靠性的加權平均和。但服務水準 θ 該如何決定卻難有一定的標準。

Chen 的研究中同時結合了可靠性分析(Reliability analysis)，不確定分析(Uncertainty analysis)，網路均衡模式(network equilibrium models)，敏感度分析(Sensitivity analysis)與蒙地卡羅理論(Monte Carlo Methods)等方法，發展一套結合容量可靠性與旅行時間可靠性之觀念的方法，以評估路網績效。其評估程序如下：

1. 先由亂數產生器得到所有路徑的容量之機率分佈。
2. 利用路網均衡模式求解各路徑之均衡流量。
3. 敏感度分析和不確定性分析求解旅行時間的變異程度。
4. 計算出旅行時間可靠性和其不確定性，以評估整體路網績效。

2.2 交通指派原則

交通指派是將已知的起訖點 (Origin-Destination, O-D) 需求，按照給訂的規則，分配到路網 (Network) 中符合需求的路徑。但隨著路網之複雜性增加—隨著節點 (Node) 與節線 (Link) 之數量增加而越趨複雜，如何進行交通指派成為

一項重要的問題。

自從 Wardrop (1952) 提出路網均衡的概念和定義之後，如何求解 Wardrop 路網均衡成為一項重要的研究議題。Beckmann 等(1956) 提出了求解靜態均衡交通指派的數學模型。而 20 年後，由 Leblance 等(1975) 將非線性規劃中的 Frank-Wolfe 算法用於求解 Beckmann 模型，進而形成現在的通用解法。

上述的三點突破是交通路網指派與設計的關鍵點，也是現在交通路網設計的基礎。Wardrop 於 1952 年提出關於路網設計的兩項假設：使用者均衡原則 (User-equilibrium) 與系統最佳化原則 (System optimum)。

無論使用者均衡或系統最佳的交通指派模型，都建立在理想狀態且與現實有所差異的假設。實際的路網中由於路網的複雜性與道路狀態的隨機性，使用者不可能完全知道路網狀態；故使用者的路徑選擇行為具有一定程度的隨機性質。

隨機使用者均衡模型 (Stochastic User Equilibrium, SUE) 則考慮使用者所擁有資訊的差異性，可依照給定的資訊能力，進行多類型用戶 (multiple user class) 隨機使用者均衡模型，衡量道路資訊系統對路網績效與使用者效益的影響。

2.2.1 Wardrop 指派原則

使用者均衡原則 (UE) 是指：當道路的使用者都知道路網中的交通狀態時，使用者會試圖尋找最短路徑完成旅次，而當所有使用者都根據需求選擇各自路徑時，所達成的路網流量平衡狀態，稱做使用者均衡，又稱做 Wardrop 平衡。

$$\min \sum_a \int_0^{v_a} t_a(w, c_a) dw \quad (2.22)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k = q^{rs}, rs \in N \quad (2.23)$$

$$v_a = \sum_{rs \in N} \sum_{k \in K_{rs}} f_k \delta_{a,k}^{rs}, a \in A \quad (2.24)$$

$$f_k \geq 0, k \in K_{rs} \quad (2.25)$$

其中：

t_a — 路段 a 旅行時間

c_a — 路段 a 容量

q^{rs} — 起迄點對 rs 間需求量

v_a — 路段 a 流量

$\delta_{a,k}^{rs}$ — 起迄點對 rs 間，路徑 k 是否包含路段 a

其最佳解 f^* 會符合下式，表示了使用者均衡之原則： $u_{rs}^k(f^*) - u_{rs}(f^*)$ ，若其值為零，表示 $f_{rs}^k > 0$ ，若不為零則表示 f_{rs}^k 大於零。其中 $u_{rs}^k(f^*) = \sum_{a \in A} t_a(v_a^*) \delta_{ak}^{rs}$ 是路徑 r 之旅行時間。

系統最佳化原則(SO)的限制條件與使用者均衡原則相同，僅目標式(2.22)改成(2.26)，以系統總旅行時間最小化，而不考慮使用者尋找最短路徑為原則。其限制式同(2.23)–(2.25)。

$$\min \sum_a v_a t_a(v_a) \quad (2.26)$$

$$\text{s.t. (2.23)–(2.25)}$$

2.2.2 隨機使用者均衡原則

隨機使用者均衡原則 (Stochastic User Equilibrium, SUE) 與 Wardrop 的使用者均衡原則最大的差異在於，路網中的使用者並不全都以同樣的定義來評估旅行效用，使用者會根據自己衡量後的預期旅行效用進行路徑選擇。

假設使用者以旅行時間的負效用為效用函數，表示旅行時間越短，對使用者的旅行效用越高。則越具備完整的道路資訊，使用者所預期的旅行效用就越準確。因此，由於使用者無法獲得完整的道路資訊，將定義一係數來決定使用者能獲得的道路資訊程度。將使用者進行路徑選擇行為的決策函數以效用函數 U 來表示：

$$U_k = -\theta \cdot T_k + \xi_k \quad (2.27)$$

其中：

U_k — 使用者預估路徑 k 的旅行效用

θ — 使用者資訊能力係數

T_k — 路徑 k 的實際旅行成本

ξ_k — 評估路徑 k 效益時會產生的誤差

在(2.27)中，使用者認為的效用值會受到路徑的實際旅行成本 T_k 與資訊能力 θ 的影響，而最後進行路徑選擇時也可能跟個人的選擇行為有關，故有隨機誤差項 ξ_k 存在。

假設隨機誤差的期望值 $E[\xi_k] = 0$ ，則 $E[U_k] = \theta \cdot T_k$ 。表示使用者的平均效用可以視為實際的旅行時間與資訊能力的乘積。則對使用者 g 而言，起迄點對 rs 間的各路徑 k 之選擇機率 $P_k^{rs,g}$ 可表示為：

$$P_k^{rs,g} = \frac{\exp(-\theta^g \cdot T_k^{rs})}{\sum_{l \in K_{rs}} \exp(-\theta^g \cdot T_l^{rs})} \quad (2.28)$$

其中，由於使用者進行路徑選擇是以旅行時間最短做為最優先選擇，故對效用函數取負值。故 $P_k^{rs,g}$ 即考慮使用者的資訊差異下，隨機路徑選擇的模式。當達成使用者均衡時會滿足下列數學式。

$$\text{Min. } Z(f) = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx + \sum_{g \in G} \frac{1}{\theta^g} \sum_{rs \in N} \sum_{l \in K_{rs}} f_k^{rs,g} \cdot \ln \left(\frac{f_k^{rs,g}}{q^{rs,g}} \right) \quad (2.29)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_k^{rs,g} = q^{rs,g} \quad (2.30)$$

$$v_a = \sum_{rs \in N} \sum_{k \in K_{rs,g}} \delta_{k,a}^{rs,g} \cdot f_k^{rs,g} \quad (2.31)$$

$$f_k^{rs,g} \geq 0 \quad (2.32)$$

其中，(2.29)代表路網達到穩定狀態所需的目標式，(2.30)到(2.32)為路網狀態守恆的必要限制式。假設資訊能力係數 θ 越大，則(2.29)右側之第二式將越小；當 $\theta \rightarrow \infty$ 時表示使用者擁有完整的道路資訊，則右側第二式將趨近於零，此時函數將與 Wardrop 的 UE 結果相同。顯示當資訊能力接近無限大時，才可能達成使用者均衡。

2.3 先進旅行者資訊系統

交通需求會隨著經濟發展等因素而日益劇增，但路網系統的供給能力彈性並不大，尤其在交通量變化較大的部分，很容易造成系統發生壅擠的現象。因此，發展先進旅行者資訊系統 (Advanced Traveler Information Systems) 變成一項重要的議題。

2.3.1 ATIS 系統之架構

ATIS 系統主要目的是提供道路上的使用者正確的參考資訊，主要包括：

1. 面對不熟悉路網結構的使用者導航資訊。
2. 自然災害、事故或交通管制等訊息。
3. 道路擁擠路段資訊與路徑導引

而對於第三種類型的資訊，已有許多分析多層級用戶(multiple user-classes)的混合路徑選擇行為，透過這類型的方式可以分析 ATIS 系統的價值。

然而，ATIS 系統之功能尚未完全，有許多因素可能造成評估與理想值之間的差異，例如：

1. 訊息傳遞的不完整與不正確性。
透過不同的途徑將訊息傳遞給使用者是 ATIS 系統的特性，但在資訊傳遞的過程中可能造成誤解，或訊息本身的正確性不足等等。
2. 使用者願意接受 ATIS 系統訊息的程度。
ATIS 系統僅提供資訊給使用者參考，但並不能強制改變使用者的用路行為。而現階段來說，ATIS 系統的使用者比例亦尚不能完全掌握，所以並不能確定這些訊息能對使用者產生行為改變。

路網系統狀態的推測與預估。
延續上一個原因，由於使用者並不一定會按照規劃者的預期行動，因此相較於規劃者所預期的系統最佳化，與實際的路網狀態仍有差距。

2.3.2 ATIS 系統之效益評估

從上一小節的討論可得知，ATIS 系統能提供的資訊並不穩定，因此要衡量 ATIS 系統的價值也並不容易。

Levinson 等(1999)將一些針對 ATIS 系統價值的評估研究整理。在整理的相關研究中可發現，故去對 ATIS 系統的評估大多重視在旅行時間的節省與 ATIS 系統的普及率間的關係。

表 2-2 ATIS 效益評估之相關文獻

作者	路網狀態	節省時間(%)	ATIS 占有率(%)
Adler et al.(1999)	Free flow (800 vph)	2.7	100
	Congestion (1500 vph)	3.1	80
Wunderlich(1996)	Rain (25% drop in overall capacity)	12	10
	Construction (50% drop in capacity locally)	18	10
	Incident (50% drop in	6	10

	capacity locally)		
Emmerink(1996)	Recurrent congestion	1-4	100
Wunderlich(1995)	Capacity-reduction incident	15	
Al-Deek and Kanafani(1989)	Difference in SO and UE	3-4	
Al-Deek and Kanafani(1993)	Modeling of incident condition	30-40,25-55	
STORM, Stuttgart, Germany, (Peckmann, 1996)	Field operational test simulation	20	
Inman and Peter(1996)	Field operational test simulation	5,8,11	10,30,50

Asakura(1999)利用隨機使用者均衡原則，將使用者分為有完全道路資訊(perfect information)與沒有道路資訊(not informed)兩種群體，並假設路網中的可通行路徑決定於各路段的通行機率。經過計算各種不同的使用者比例下的總旅行時間，可以得到各種使用者比例下總旅行時間的期望值。

Florian (2004)針對 ATIS 系統使用者在路網中的占有率進行分析，認為 ATIS 系統會造成使用者的路徑選擇行為改變，進而改變路網系統的績效。在 Florian 的研究中可發現，當 ATIS 系統的使用者比例逐漸增加，其旅行時間並非一定會減少。

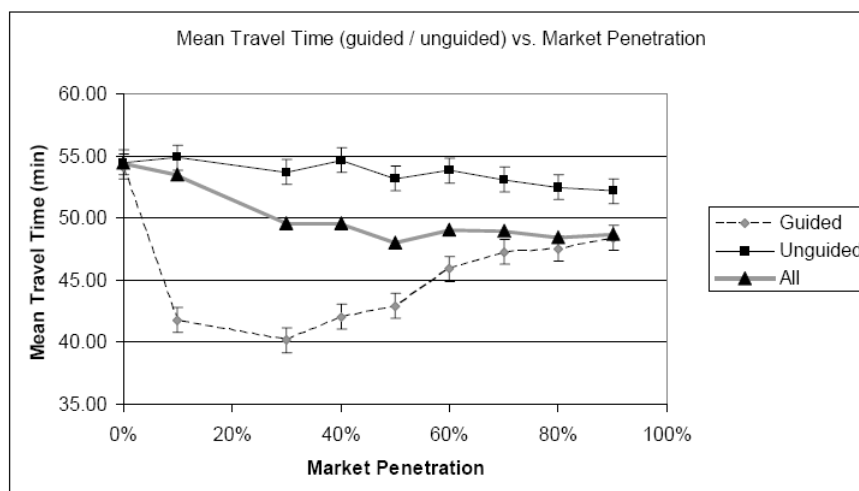


圖 2 - 2 ATIS 系統使用者比例與平均旅行時間之關係

從圖中可發現，當接受 ATIS 系統導航的使用者比例超過 30%後，其平均旅

行時間將開始增加，此時 ATIS 系統是否有價值就出現了爭議。但平均的旅行時間仍然有下降的趨勢。Balakrishna(2004)也有類似的結論：

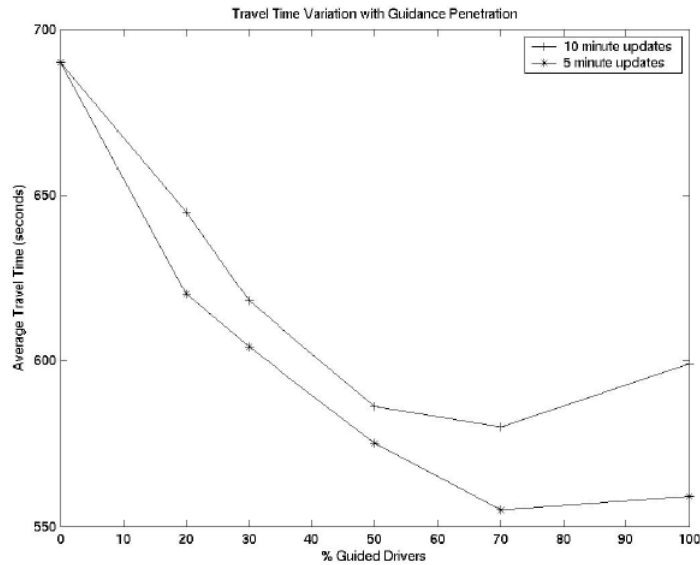


圖 2-3 資訊更新時間與平均旅行時間之關係

Huang 與 Li(2007)則更進一步對使用者提出時間價值(value of time, VOT)的假設，並將使用者分為有 ATIS 裝置(ATIS equipped)與無 ATIS 裝置(ATIS unequipped)兩種，使用負效用(disutility)來做為使用者的績效衡量。旅行負效用是將旅行時間與旅行成本做線性的合併，使用者會基於羅吉特隨機模式(logit-based stochastic)進行路徑選擇。其研究結果可解釋 ATIS 系統與使用者類型間的關聯性與 ATIS 系統的價值。

2.4 文獻評析

將前面各小節所回顧的文獻做一整理，本研究得到以下推論：

1. Wardrop 的使用者均衡原則是最被廣泛利用來解決靜態路網的車流分配問題，但若並未考慮使用者存在差異性，該原則有可能導致錯誤的決策結果。
2. 連接可靠度在交通路網系統在預測遭受重大傷害時—例如地震或積雪等天然災害—，若其機率可準確獲得，則對分析災後交通系統能力有較高的評估能力。但若道路中各節點皆保持連通時，由於缺乏旅行時間與道路容量等變數的評估能力，其價值仍屬有限。
3. 旅行時間可靠度大多針對部分路徑做可靠性計算，缺少能衡量整體路網績效之能力。

4. 容量可靠度則包含了較全面性的評估，但採用的是靜態的無差別需求，忽略用路人可能因擁擠而改變旅行路徑；換句話說，對於容量之定義，使用者跟管理者的想法不同時，容量可靠性有較大的機會失效。
5. ATIS 系統具有提供使用者資訊的能力，期望可降低路網隨機性對使用者造成的額外成本，但從過去的研究發現 ATIS 系統的效果會受到使用者比例的影響而有差異。

回顧有關交通路網可靠性之文獻，大多之研究著重在路網狀態的變化上。但交通路網的使用是一種供需平衡，除了路網供給的不確定外，用路人的使用型態差異性也有一定的影響，更可能比路網的差異性大。而 ATIS 系統可提供使用者道路資訊，故對系統的旅行時間有一定程度的影響。

然而，在 ATIS 系統的相關文獻中也可發現，過去的研究大多注重在旅行時間的改變，但旅行時間僅是路網系統其中一項評估指標，無法從其相關研究中觀察 ATIS 系統道路容量的使用率，或路網系統的供給能力變動時的路網效益。為此，本研究希望引入路網可靠度做為新的評估指標。

大致來說，旅行時間可靠度較考慮到用路人的反應；容量可靠度則是較適合管理者評估與決策時，一個很成功的評估指標。而這部分的推論將在之後的章節做更進一步的說明。



第三章 可靠度指標與模式之建立

本章節將比較前面回顧的各種可靠性計算方式，分析在不同的路網狀態下，各種可靠性指標反映的狀態。

3.1 路網定義

給定 $G = \{N, A\}$ ，其中：

N — 路網 G 中所有節點之集合

A — 路網 G 中所有路段之集合

節點 (Node) 表示路網中路段的交會點，交會點為需求 (Demand) 的起迄點之一；線段 (Link) 則代表路網中的路段，其中包括了路段的流量 (Flow) 與容量 (Capacity)；而每一個需求從起點到迄點所經過的路段會構成路徑 (Path)，每個起迄點對間包含一組以上的路徑集合，以 K 表示。相關的符號與意義如下：

a — 路段編號， $a \in A$

k — 路徑編號， $k \in K$

rs — 起迄點對， $rs \in N$

c_a — 路段 a 道路容量

v_a — 路段 a 流量

f_k — 路徑 k 流量

q^{rs} — 起迄點對 rs 間需求量



3.2 路網假設

3.2.1 路網形態假設

本研究中的路網假設為道路交通路網，使用者型態僅有小客車，且不包含節點的容量與轉向等限制。路網系統的績效以平均旅行時間(average travel time)為指標。若平均旅行時間過高，則可判斷出路網系統發生問題，其中絕大多數是因為部分或路網整體發生擁擠的現象。

在交通路網系統中，擁擠的現象來自於路網中的需求超過供給能力。假設供給與需求都是定值或可準確預測的，則是否會發生擁擠現象是可預測的。但可惜的是，路網的供給與需求具有很高的變動機率，交通需求會因為旅行目的、路徑選擇行為等而產生隨機性；而交通供給則可能因為天氣、事故與其他的人為因素改

變，同樣具有隨機的性質。

除了兩者獨立的隨機性質外，需求也會因為供給的變化而產生變動，例如尖峰時段會有通勤者較多的路段，則包含這些路段的路徑或起迄點對，會發生使用者減少的現象。

在考慮路網供給與需求的變動下，我們將針對供給與需求給予變數，透過這些變數的設定，可以表現出路網狀態的隨機性。

3.2.2 路網供給假設

本研究中對於路網系統的供給，以道路容量(Capacity)作為變數。道路容量也稱為道路通行能力，使指道路的某一段在單位時間內能通過的車輛數。當道路上的車流量越接近甚至超過道路容量，會導致旅行時間急遽增加，也就發生了擁擠現象。反過來說，當流量越低於道路容量，則旅行時間會越接近可達到的最大速率。

從避免擁塞的角度來看，道路容量越大越好。但由於空間有限，故道路容量有一定的極限；另外也會因為部分原因導致道路容量並沒有一定值，一般可區分為以下三類：

1. 永久性影響因素：例如車道寬度、車道數、坡度等等。這些因素由於在道路建置時已經決定，發生變動的機率極小，故可視為定值。
2. 持續性影響因素：例如路邊是否能臨時停車、是否有公車會停靠等等。這些因素受到人為影響的可能性較大，且發生的機率很高；但由於會造成的影響較為固定，因此可以透過特定方法進行局部的預測，屬於隨機性與影響較小的部分。
3. 短暫性影響因素：例如自然災害、交通事故或施工等等。由於這種因素並沒有一定的發生頻率，且對於道路容量的影響較大，其隨機性也最高。

3.2.3 路網需求假設

路網系統的需求代表路網中任意兩節點，是否有使用者願意或正在完成旅次。由於使用者會有旅行目的、旅行方式及路徑選擇等行為，需求同樣具有隨機性。本研究中將需求區分如下：

1. 一般需求：可視為一般狀態下，路網的使用者數，例如每天通勤的駕駛。通勤者每天的數量並非定值，但從長期來看，每天的通勤者數目變化不大且有一定的趨勢。
2. 特殊需求：特殊時段(例如過年假期)或有特殊事件發生在某節點(某處舉

行特賣會等等)，會造成需求大量增加。這類型的需求較不常發生，且不一定有規則可循。

3.3 計算方式

由於使用者不會事先知道道路狀態，因此會依照原先選擇的路徑前往目的地。故利用一般的路網狀態進行流量分配，再依據不同的道路容量，重新計算實際的旅行時間。流量分配採用 Wardrop 的使用者均衡原則。

由於道路的旅行時間會反應出流量與容量之間的關係，故路段旅行時間採用 BPR 函數 (Bureau of Public Road) 來計算，如(3.1)所示。

$$t_a = t_a^0 \left(1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a}\right)^\beta\right) \quad (3.1)$$

(3.1)中， t_a 包含路段容量與流量後計算得到的旅行時間； t_a^0 表示路段 a 上的自由車流旅行時間(free flow travel time)； α 與 β 則為調整系數，會因為各路段的幾何結構與行車規則等等而有差異。

3.4 路網變數設定

在旅行時間可靠度與容量可靠度的相關文獻中，都選擇供給或需求其中一項進行隨機的變動調整。觀察 BPR 函數可發現旅行時間同時受到自由車流旅行時間與道路容量的影響。根據前面討論道路供給與需求的變動因素，本研究認為自由車流旅行時間與平均道路容量皆屬於永久性影響因素，但道路容量本身容易受到其他外在因素影響而變動。

故本研究僅對道路容量採取變數型態之假設，以手動方式調整需求，模擬擁擠與一般狀態的需求量。

針對路網具有的隨機性，以道路容量做以下設定：

$$C_a = \rho_i \cdot \bar{C}_a, \forall i = \{1, 2, \dots\} \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1, \forall i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (3.3)$$

(3.2)表示道路平均容量 \bar{C}_a 會因為各種突發事件發生而造成路段容量降級。

有 P_i 的機率事件 i 會發生，並造成道路容量發生 ρ_i 的降級程度。假設某路段發生

事故的機率為 0.01，且該類型事故會造成雙車道中的單一車道封閉。假設道路平均流量為 1000，則此時 $P_i = 1\%$ 、 $\rho_i = 0.5$ ，道路容量縮減為 500。

3.5 範例分析

3.5.1 範例架構與試算

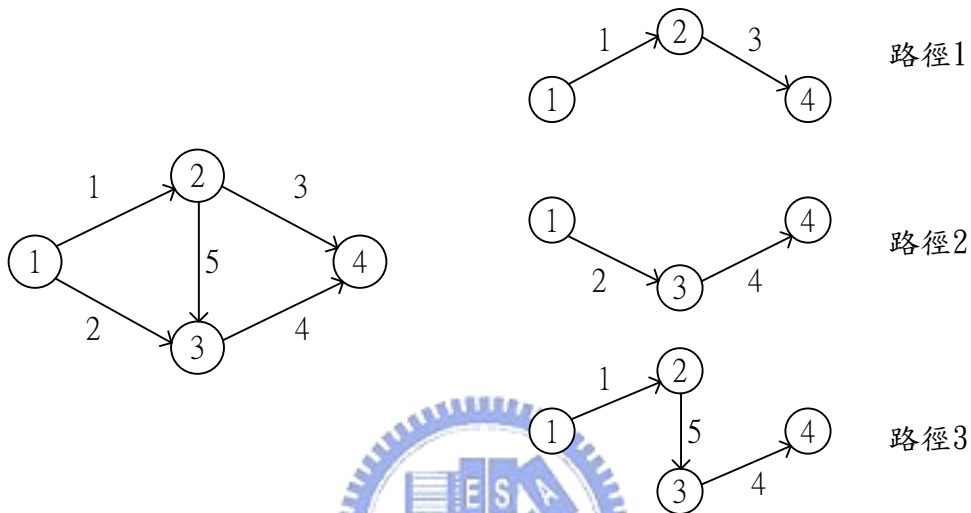


圖 3-1 路網示意圖

圖 3-2 節點 1 到節點 4 之路徑

假設一路網形態如圖 3-1 所示：四個節點與五段具方向性的節線。假設路網中之需求為從節點 1 到節點 4 的使用者數，則使用者可選擇的路徑共有三條，如圖 3-2 所示。各路段的相關參數設定如表 3-1 所示。

表 3-1 路網相關參數設定

路段編號 a	1	2	3	4	5
路段容量 C_a	25	25	25	25	25
自由車流旅行時間 t_a^0	42	53	57	40	10

由於假設路段可能會發生事故等特殊事件導致路段容量降級，相關機率與降級比例如表 3-2 設定。

表 3-2 路段降級機率與比例

路段降級機率 P	0.4	0.3	0.2	0.1
路段降級係數 ρ	100%	80%	60%	40%

首先依據一般狀態的流量與容量，進行使用者均衡原則指派，會得到固定需求下各路段的流量值。再將各路段之流量與實際之道路容量帶入 BPR 函數中，

可求得各種路網供給狀態下的旅行時間。

然而，在前面的討論中可知道，路段的道路容量有可能發生改變，若路段上的流量沒有相對應的改變，則旅行時間也會相對改變。

利用隨機亂數產生之流量，不論樣本中的道路容量大小，使用者仍然遵從原始的流量分配結果，因此重新計算旅行時間可得到如圖 3-3 之結果。

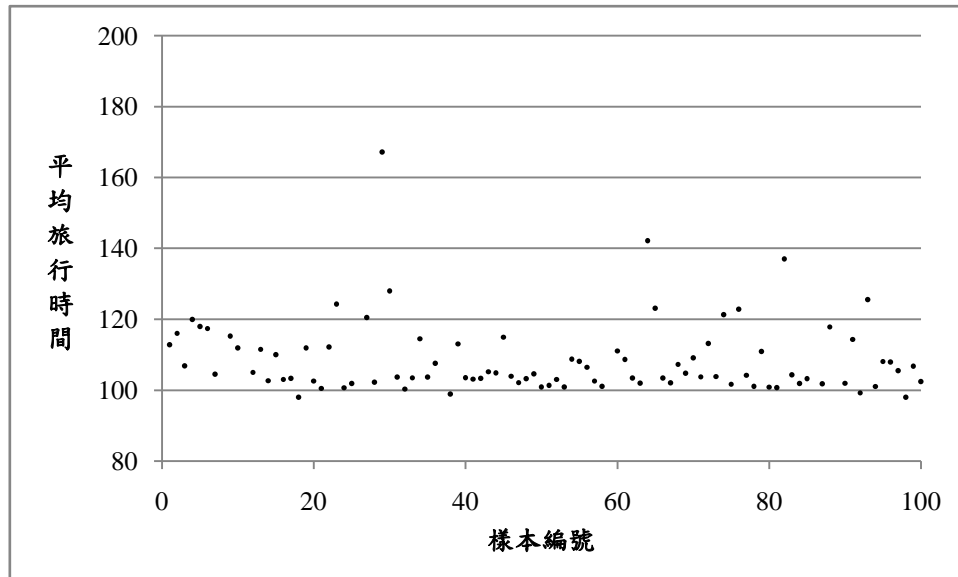


圖 3-3 隨機供給下平均旅行時間

圖 3-3 中，橫軸代表不同的路網供給狀態，可視為每天路網的狀態皆不相同，若使用者仍依據原先的路徑選擇行為，則對應出縱軸的平均旅行時間也會有很大的差異；且路徑旅行時間已不符合 Wardrop 的使用者均衡原則。

從這些數據可驗證以下的假設：當特殊狀態發生（例如道路施工導致原本雙車道變為單一車道），而使用者並不知道路網現在的狀態，而選擇原先的路徑，導致流量大於縮減後的道路容量，旅行時間可能較原先多出數倍。

根據以上的試算結果，可以了解路網的供給能力是否有考慮隨機性質，對於分析結果會有很大的差異性，故路網系統有衡量可靠度之價值。但各種可靠度指標對於路網的隨機性能帶來多少幫助，則需要下一步的計算與分析。

3.5.2 連通可靠度試算

由於連通可靠度僅考慮路段是否能通行，故利用表 3-2 中道路容量發生變動的機率，將道路容量縮減至 50% 以下之路段視為路段發生故障無法通行。則各路段之連通可靠度如下：

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = 0.9$$

從圖 3-2 中可得到路段與路徑間的關係：若需求的起迄點為 1 到 4，則共有三條路徑，故路徑之連通可靠度為：

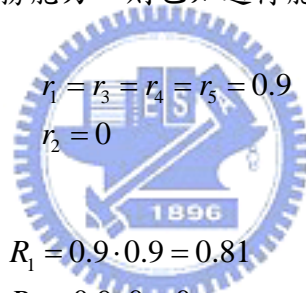
$$R_1 = R_2 = R_3 = 0.9 \cdot 0.9 = 0.81$$

再考慮起迄點間的連通可靠度，則可得到：

$$R = 1 - \prod_1^{p=3} (1 - R_p) = 1 - (0.19 \cdot 0.19 \cdot 0.19) = 0.993141$$

此為範例路網面對起迄點對(1,4)之連通可靠度。在本次試算的過程中可發現，連通可靠度僅考慮路段是否能通行，並未考慮道路容量與路網需求等因素的關係，故其計算結果之實用性較低。另一方面，連通可靠度是以特殊狀態發生之機率為依據，在前面提到道路容量發生特殊狀態之機率較小且很難準確預測，故連通可靠度在一般狀態下並不實用。

但在機率極小的特殊狀態災害發生時，連通可靠性具有較特殊的價值。假設範例路網中之路段 2 失去服務能力，則已知通行能力為 0 的情況下：



$$r_1 = r_3 = r_4 = r_5 = 0.9$$

$$r_2 = 0$$

$$R_1 = 0.9 \cdot 0.9 = 0.81$$

$$R_2 = 0.9 \cdot 0 = 0$$

$$R_3 = 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.9 = 0.729$$

$$R = 1 - \prod_1^{p=3} (1 - R_p) = 1 - (0.19 \cdot 1 \cdot 0.271) = 0.94851$$

若路段 5 失去服務能力，則計算結果如下：

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 0.9$$

$$r_5 = 0$$

$$R_1 = 0.9 \cdot 0.9 = 0.81$$

$$R_2 = 0.9 \cdot 0.9 = 0.81$$

$$R_3 = 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0 = 0$$

$$R = 1 - \prod_{p=1}^{p=3} (1 - R_p) = 1 - (0.19 \cdot 0.19 \cdot 1) = 0.9639$$

比較兩組計算結果後可得到以下結論：若範例路網發生了自然災害(例如地震)造成路段 2 與路段 5 損壞，而修復兩路段的成本相近時，選擇修復路段 2 會較有價值，因為路段 2 能提升系統的連通可靠度較高。

3.5.3 旅行時間可靠度試算

本研究採用(3.4)計算旅行時間可靠度：

$$Tr = P(t \leq \pi \cdot T) \quad (3.4)$$

其中：

- Tr — 旅行時間可靠度
- t — 實際旅行時間
- T — 預期旅行時間
- π — 接受標準系數

將需求 $q = 40$ ，在平均道路容量 \bar{c}_a 下進行 UE 所得到的旅行時間設為預期旅行時間 T ，並假設接受標準 $\pi = 1.1$ — 表示使用者能接受旅行時間比預期旅行時間多 10%。計算不同需求量之旅行時間可靠度。

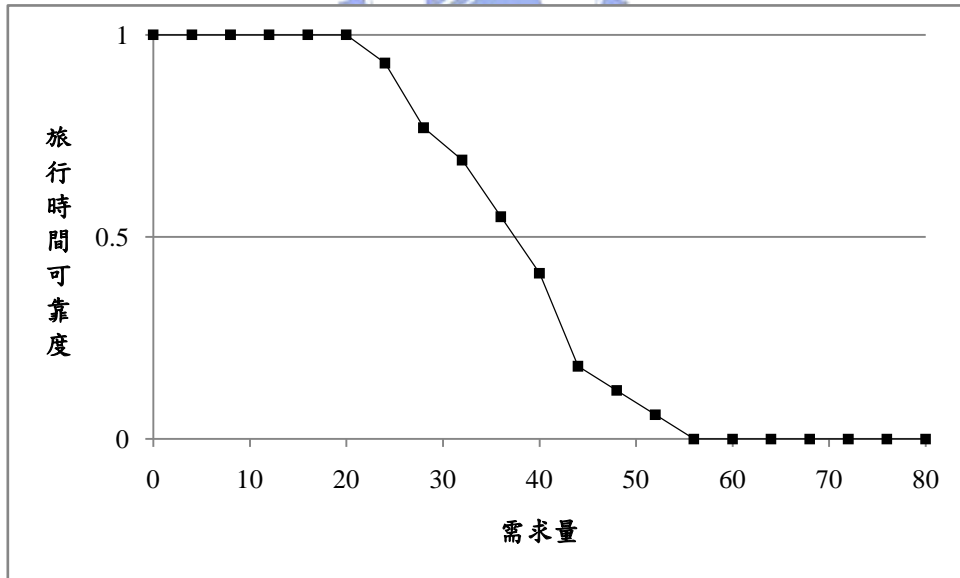


圖 3-4 需求變動下旅行時間可靠度

圖 3-4 中，橫軸代表不同的需求等級；縱軸則代表旅行時間可靠度。當需求等級小於 0.5 時，由於需求量尚未超過縮減後的道路容量，故旅行時間變化不大，旅行時間可靠度也相對較高；隨著需求逐漸上升，各路段發生流量大於道路容量之機率提高，此時旅行時間會明顯提升，超過使用者的預期旅行時間機率也

逐漸增加，導致旅行時間可靠度降低。在圖中可看出，當需求等級為一般狀態的 1.5 倍之後，此隨機供給路網的旅行時間可靠度已趨近於 0，表示系統無法負擔更高的需求量。

3.5.4 容量可靠度試算

首先對已知的需求量 q 與道路容量組合 c_a ，計算路網儲存容量(Network Reverse Capacity, NRC)，再根據(3.5)計算容量可靠度。

$$Cr(\mu) = P(NRC \geq \mu) \quad (3.5)$$

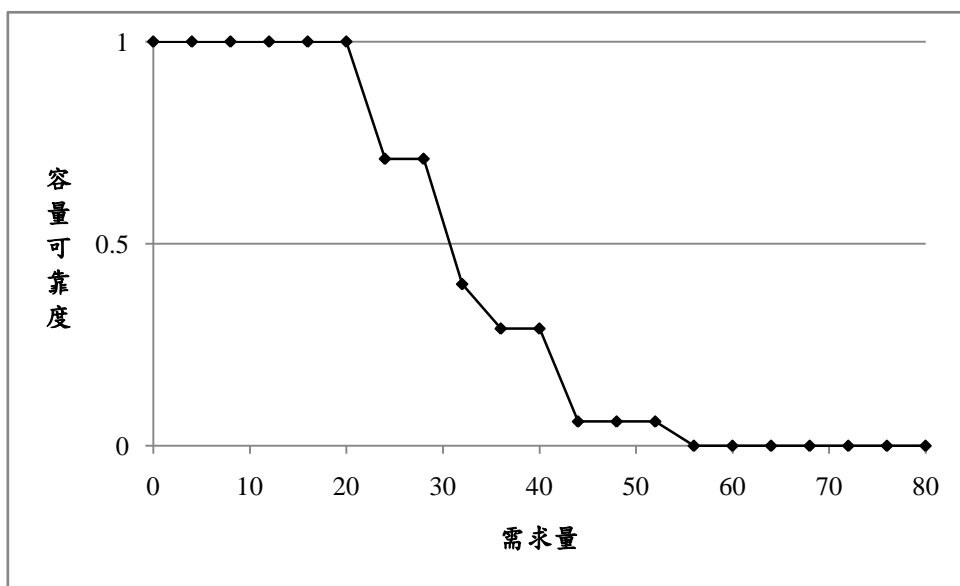


圖 3-5 需求變動下容量可靠度

在圖 3-5 中，隨著需求逐漸升高，路網系統的容量可靠度也逐漸降低。當需求等級超過 1.5 時，路網的容量可靠度也趨近於零。與旅行時間可靠度相比較可發現：在需求等級較低時，容量可靠度較早開始發生遞減的現象。

在計算旅行時間可靠度時，為了反應出使用者有可接受的旅行時間門檻，而設立了旅行時間的接受標準 π ，但在容量可靠度的計算時，當路網任意路段的流量超過道路容量，則視為路網容量不可靠。故可推論：當同樣的需求等級與路網狀態下，容量可靠度在低需求時有較明顯的衡量效果。

3.6 小結

本章節中從分析路網系統具有的隨機性為出發點，透過試算的範例可驗證路網的隨機性質對路網績效的影響。並計算各種可靠度，測試路網可靠度對路網隨

機性的反應。

連通可靠度的計算忽略了道路容量與旅行時間等條件，僅以路段是否能完成節點與節點之間的連通，做機率性的計算。當路網發生範圍較大或全面性的破壞時，可以透過可靠度的計算來衡量必須盡快修復的關鍵路段。

另外，當進行不同類型運具的規劃作業，若該運具並不考慮運具的流量與供給的變動(例如鐵路運輸、管道運輸等等)，或進行路網的可及性分析時，則連通可靠度會有較高且較方便的應用價值。

旅行時間可靠度反應了壅擠與正常狀態下，容量的不同對旅行時間的影響。衡量的觀點從使用者的角度出發，根據可接受的旅行時間標準，來衡量路網在供給變動的狀態下，是否仍能服務給定的需求水準。

容量可靠度考慮了旅行者的路徑選擇、道路容量與需求的隨機性，對於各路段與整體路網都能有效的評估可靠度。但模式中僅以流量不能大於道路容量做為限制式，但並未考慮使用者面對不同的需求等級，所採取的路徑選擇策略可能不同。

從範例的分析中可驗證上述的推論，並可發現：旅行時間可靠度較以使用者的觀點出發，而容量可靠度則較從規劃者的角度來衡量路網績效。

在路網的隨機性中，已經知道道路容量的改變對旅行時間有很大的影響，而其主要原因在於使用者無法發現道路狀態的差異。因此，在下面的章節將進一步的討論，若使用者具有道路資訊系統，且能從中獲得路網資訊時，路網可靠度的評估效果。

第四章 利用可靠度評估資訊系統建置之價值

在前一章節中討論了針對既有路網的可靠度分析方式。在下面的章節中，將進一步的討論當路網架構引進 ATIS 系統前後，路網系統的使用效率會有甚麼樣的變化，並討論如何利用路網可靠度來進行效益評估。

4.1 使用者差異假設

在 Wardrop 的使用者均衡原則中，對於使用者的前提假設具有兩個不合理的部分：

1. 所有使用者能獲得完整的道路資訊，因此能準確判斷最短路徑。
2. 所有使用者的路徑選擇行為一致。

然而，使用者對於道路狀態的掌握能力有限，而道路狀態（例如流量、容量等）並不會保持不變，故無法尋找正確的最短路徑；另一方面，使用者並不

會全部採取相同的路徑選擇依據：有些人會依照最短旅行時間，而有些人可能選擇自己習慣的道路。因此，Wardrop 的使用者均衡原則在實際路網系統中很難達成。

為此，本研究中對路網的交通指派原則提出新的架構：在路網中引入 ATIS 系統，假設路網中的使用者有兩種類型：

1. 完全資訊使用者
具有 ATIS 裝置的使用者 (ATIS User)，會根據導航的結果進行路徑選擇。透過 ATIS 系統偵測道路資訊並分析的結果，可以讓使用者準確尋找最短旅行時間的路徑。
2. 歷史資訊使用者
不具備 ATIS 裝置的使用者 (Non-ATIS User)，無法獲得準確的道路狀態，此類型的使用者會依照固定的路徑完成旅次。

4.2 指派模式假設

在本章節談論的使用者分群僅考慮使用者是否具備 ATIS 系統，忽略 ATIS 系統所能提供的資訊能力大小。故會依照使用者類型不同，具有不同的路徑選擇行為。

歷史資訊使用者因為無法了解路網系統的供給發生甚麼樣的變化，因此對路網系統的供給能力，會以平均道路容量做為參考，並進行最短路徑的選擇。

隨著歷史資訊使用者使用路網的次數增加，這些使用者會逐漸了解各路段的流量分配型態，並逐漸改變路徑的選擇行為。本研究假設這些使用者已經在指定的路網上累積足夠的經驗，使得路徑的流量分配趨近於 Wardrop 的使用者均衡原則。

當路網的容量發生變動時，歷史資訊使用者無法得知路網供給能力變動的情形，而仍然依照過去決定的路徑選擇行為，因此即使遵照原先的路段流量分配，路網中各路段與路徑的旅行時間也不再符合 Wardrop 的使用者均衡原則。

另一方面，完全資訊使用者由於具備資訊系統，能了解各路段的道路容量與歷史資訊使用者的流量分配。故可進一步的假設，當路網系統發生變動時，完全資訊使用者能比歷史資訊使用者更容易達到 UE 的型態。

根據以上的推論建立如下述具有層級的指派原則：

1. Non-ATIS User：依照歷史資訊，以使用者均衡原則來選擇路徑。
2. ATIS User：已知其他使用者的路徑選擇結果與實際的道路容量，以使用者均衡原則選擇路徑。

根據以上假設的層級結構，可得到如下的兩種指派模型：

Non-ATIS-TA(Traffic Assignment)：

$$\min \sum_a \int_0^{v_a^{g=2}} t_a(x, \bar{c}_a) dx \quad (4.1)$$

$$\sum_k f_k^{rs,g} = q^{rs,g}, \forall k \in K_{rs}, \forall rs \in N, g = 2 \quad (4.2)$$

$$v_a^g = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs,g} \cdot \delta_{ak}^{rs}, \forall a \in A, rs \in N, k \in K_{rs}, g = 2 \quad (4.3)$$

$$f_k^{rs,g} \geq 0, \forall k \in K_{rs}, rs \in N, g = 2 \quad (4.4)$$

ATIS-TA(Traffic Assignment)：

$$\min \sum_a \int_0^{v_a^{g=1}} t_a(v_a^{g=2} + x, c_a) dx \quad (4.5)$$

$$\sum_k f_k^{rs,g} = q^{rs,g}, \forall k \in K_{rs}, rs \in N, g = 1 \quad (4.6)$$

$$v_a^g = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs,g} \delta_{ak}^{rs}, \forall a \in A, rs \in N, k \in K_{rs}, g = 1 \quad (4.7)$$

$$f_k^{rs,g} \geq 0, \forall k \in K_{rs}, rs \in N, g = 1 \quad (4.8)$$

各符號與變數代表之意義如下列所示：

rs — 一起迄點對， $rs \in N$

a — 路段編號， $a \in A$

k — 路徑編號， $k \in K$

$q^{rs,g}$ — 一起迄點對 rs 間使用者 g 的需求量

v_a^g — g 類型使用者在路段 a 流量

$f_k^{rs,g}$ — 一起迄點 rs 間使用者 g 在路徑 k 流量

g — 使用者類型， $g = 1$ 代表 ATIS User； $g = 2$ 代表 non-ATIS User

$\delta_{a,k}^{rs}$ — 路徑 k 是否包含路段 a ，若是則 $\delta_{a,k}^{rs} = 1$ ；反之 $\delta_{a,k}^{rs} = 0$

c_a — 路段 a 的實際道路容量

\bar{c}_a — 路段 a 的平均道路容量

在上述的模式中，Non-ATIS-TA 代表對歷史資訊使用者所提出的車輛指派模式。使用者會根據平均道路容量 \bar{c}_a 進行路徑選擇，當道路容量不變時，其路徑選擇行為會符合 Wardrop 均衡原則。但當道路容量改變，由於使用者不具備資訊裝置，故使用者無法先行發覺道路容量的改變，故其路徑選擇行為不變，各路段的使用者流量比例不會改變。

ATIS-TA 則代表了完全資訊使用者的車輛指派模式。在模式中進行交通量指派時，會依據實際的道路容量 c_a 進行路徑選擇，且完全資訊使用者會在得知歷史資訊使用者的流量分配後，在進行路徑選擇。故完全資訊使用者會較歷史資訊使用者具有路徑選擇上的優勢。

當需求量改變時，本研究假設各路徑的使用者比例變更方式為如下：

1. 歷史資訊使用者：各路徑的使用者比例隨著需求比例的改變而等比例變動。
2. 完全資訊使用者：根據實際道路容量與分配後的歷史資訊使用者流量進

行路徑選擇。

4.3 路網範例與模擬方法

4.3.1 範例架構

本章節使用的路網系統與第三章相似，僅有道路容量的假設不同。考慮道路容量的隨機性呈現常態分配如下：

$$c_a = N\{\bar{c}_a, \sigma_a\} \quad (4.9)$$

(4.9)表示路段 a 的道路容量 c_a 呈現平均值 \bar{c}_a 、變異數 σ_a 的常態分配。此處考慮的道路容量意義與道路通行能力相同，平均道路容量 c_a 並非永久性影響因素下產生的道路容量，而是同時考慮了永久性因素與持續性因素。因此路段可能會因為路邊停等車輛或具有公車站牌等因素，使道路通行能力並非固定的最大值（假設路邊停等車輛較少時，則道路通行會較平均值大）。

本研究中透過蒙地卡羅模擬方法建立具隨機性質的道路容量，並模擬具使用者差異的需求在此路網模型的反應。

4.3.2 蒙地卡羅方法

由於可靠性的估計包含許多不確定性與機率分配，在測試模型時選擇使用蒙地卡羅模擬方法（Monte Carlo technique）

蒙地卡羅方法一詞為著名數學家 John von Neumann 等人於 1949 所提出。蒙地卡羅方法是一種數值方法，透過亂數取樣（random sampling）來進行模擬並解決問題。

蒙地卡羅方法具有可解決所有具有隨機效應的過程之能力，使用蒙地卡羅方法進行模擬之優缺點如下：

1. 優點：

(a) 具有模擬極端情況之能力。

當極端情況有分配到隨機亂數時，隨著模擬次數之增加，其極端值也會被考慮，能有效評估系統中的所有情況。

(b) 能模擬整體過程之變化歷程。

隨著模擬次數增加，可觀察系統完整過程，能夠觀察整個系統的變化情況。

2. 缺點：

- (a) 模擬可能低估事件發生之機率。
- (b) 模擬過程可能費時或成本過高。
- (c) 若系統之隨機性較高，則模擬過程中可能因模擬次數不足，導致以現階段之線性近似值來做出錯誤結論。

4.3.3 模擬步驟

使用蒙地卡羅模擬法求解具使用者差異之需求在隨機狀態路網之現象，步驟如下：

Step 0. 設定完全資訊使用者比例 γ ，給定需求 D ，模擬次數 N 。

Step 1. 設定樣本編號 $n=1$ ；計算在需求 D ，道路容量為 \bar{c}_a 時的使用者均衡解。

Step 2. 計算歷史資訊使用者之路徑選擇行為。

依據平均路段容量 \bar{c}_a ，進行使用者均衡指派原則，得到歷史資訊使用者的路徑選擇模式 g_r 。

Step 3. 更新隨機路段容量 c_a
 c_a 為服從常態分配的隨機路段容量，各路段隨機容量獨立產生。

Step 4. 完全資訊使用者之指派。

歷史資訊使用者需求調整為 $\sum f_k^{rs,g=2} = (1-\gamma) \cdot q$ ，得到完全資訊使用者需求 $\sum f_k^{rs,g=1} = q^{rs} - \sum f_k^{rs,g=2}$ ，利用已知路段流量 $v_a^{g=2}$ 與實際道路容量 c_a ，進行使用者均衡指派。

Step 5. 可靠度計算

將各類型使用者之路段旅行時間、路徑旅行時間與路段流量，以原始 UE 結果做標準，計算可靠度。

Step 6. 若 $n < N$ ，令 $n=n+1$ ，回到 Step 2；若 $n=N$ ，停止模擬。

4.4 模擬結果分析

4.4.1 路網隨機性與使用者差異

本階段之測試路網與第三章相同，僅將道路容量的變異改成服從常態分配，相關的設定如表 4-1

表 4-1 路段道路相關係數—道路容量呈常態分配

路段編號	自由車流 旅行時間	平均道路 容量	道路容量 標準差
1	42	25	5
2	53	25	5
3	57	25	5
4	40	25	5
5	10	10	5

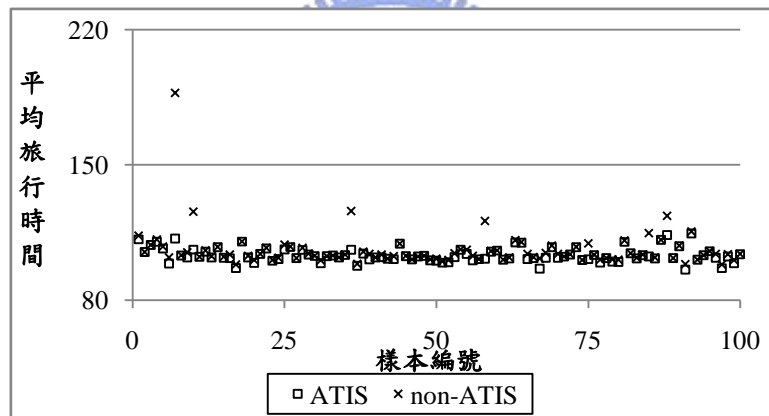


圖 4-1 不同類型使用者平均旅行時間

圖 4-1 中，橫軸代表不同的道路容量樣本，可視為每天的路網供給能力不同。在前面的假設中，路網的道路容量呈現獨立且隨機的常態分配，故各樣本所對應出的旅行時間並無線性的關係存在，表示若每天的道路供給狀態不穩定，擇旅行時間也不規則。從圖中的旅行時間分布狀態可發現：雖然每天的旅行時間不固定，但 ATIS 使用者的旅行時間皆能小於或等於 non-ATIS 使用者的旅行時間；而相比較下，ATIS 使用者的旅行時間也較集中，non-ATIS 使用者的旅行時間變異幅度較大。

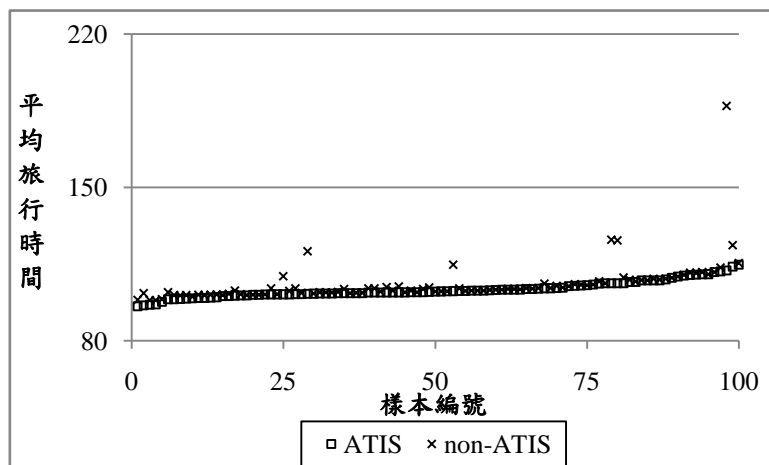


圖 4-2 不同類型使用者平均旅行時間(排序後)

將所有樣本依照 ATIS 使用者的旅行時間由小到大排序，如圖 4-2，可更清楚的觀察到 ATIS 使用者的旅行時間較集中，而 non-ATIS 使用者的旅行時間在某些情況下會大幅提高。

從上面的觀察可以得到以下推論：使用者的旅行時間會受到用路行為的不同而有差異，當路網的供給狀態不穩定時，這些差異會更加明顯。當路網中的使用者具備 ATIS 系統時，旅行時間較穩定，顯示 ATIS 系統在面對不穩定的路網供給時有一定的正面效益。

在上面的範例中，將使用者的比例設定為 $\gamma = 20\%$ 。接下來將比較 ATIS 系統的使用者比例改變時，使用者旅行時間的分布情況。

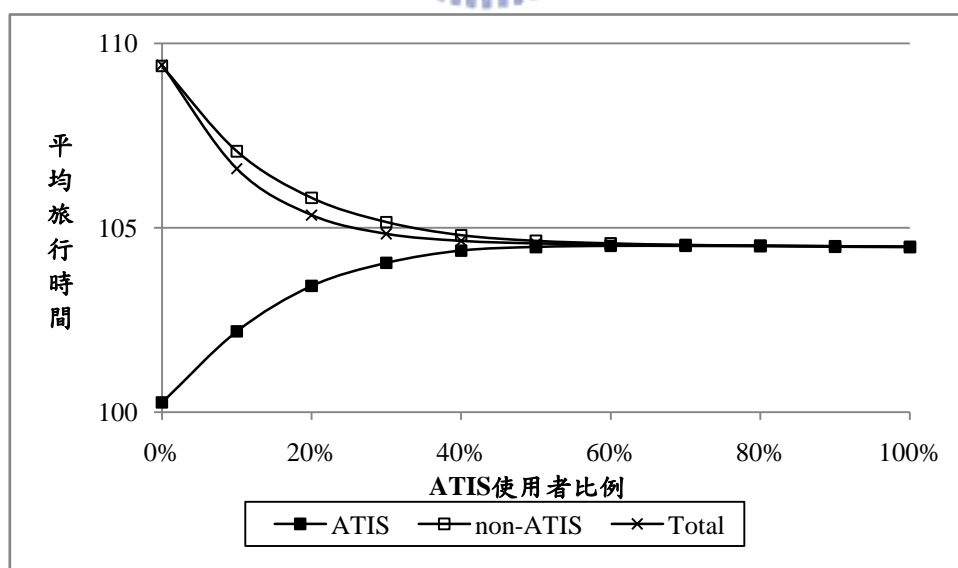


圖 4-3 不同 ATIS 使用者比例下的平均旅行時間

圖 4-3 代表固定需求下、系統中有不同比例的 ATIS 使用者時，旅行時間的

分布情形。橫軸代表 ATIS 系統使用者比例，縱軸代表各類型使用者的平均旅行時間。

當 ATIS 系統使用者比例較小時，由於各路徑的旅行時間差異大，ATIS 使用者選擇較短路徑的機會相對較大，故平均旅行時間較短。隨著 ATIS 使用者的比例逐漸增加，原先路網中的最短路徑逐漸被使用，各路徑旅行時間的差異也逐漸縮小，故 ATIS 使用者的平均旅行時間也逐漸提升，顯示隨著 ATIS 系統的使用者增加，原先的 ATIS 使用者之邊際效用會逐漸降低。

在本範例的測試中，當 ATIS 使用者的比例增加到 40% 以上時，路網中各類型使用者的平均旅行時間已無差異，此時 ATIS 系統的使用者並不具備旅行時間上的優勢。從本試驗中可得到下述結論：ATIS 系統對旅行成本的改善有一定的限制，提升資訊系統的普及程度，並不一定能提升路網系統的使用效率。

另外觀察 non-ATIS 使用者的平均旅行時間可發現，其平均旅行時間也會隨著 ATIS 系統的使用者增加而逐漸減少，表示 ATIS 系統並不只對裝置的使用者帶來效益。

當裝置的使用者逐漸增加，選擇較長旅行時間路徑的使用者將逐漸減少，使得部分路徑的旅行成本也逐漸減少，因此對未裝置 ATIS 系統的使用者也能有正面的效益。故總平均旅行時間也會逐漸減少。

由上述的試驗結果與推論可得知：是否具有 ATIS 系統對使用者確實產生了差異；而隨著佔有率越高，ATIS 系統的功能也逐漸降低，因而 ATIS 系統並非完美的改善措施，需要更多方面的評估。

以下將比較不同需求下，使用者比例不同產生的旅行時間差異：

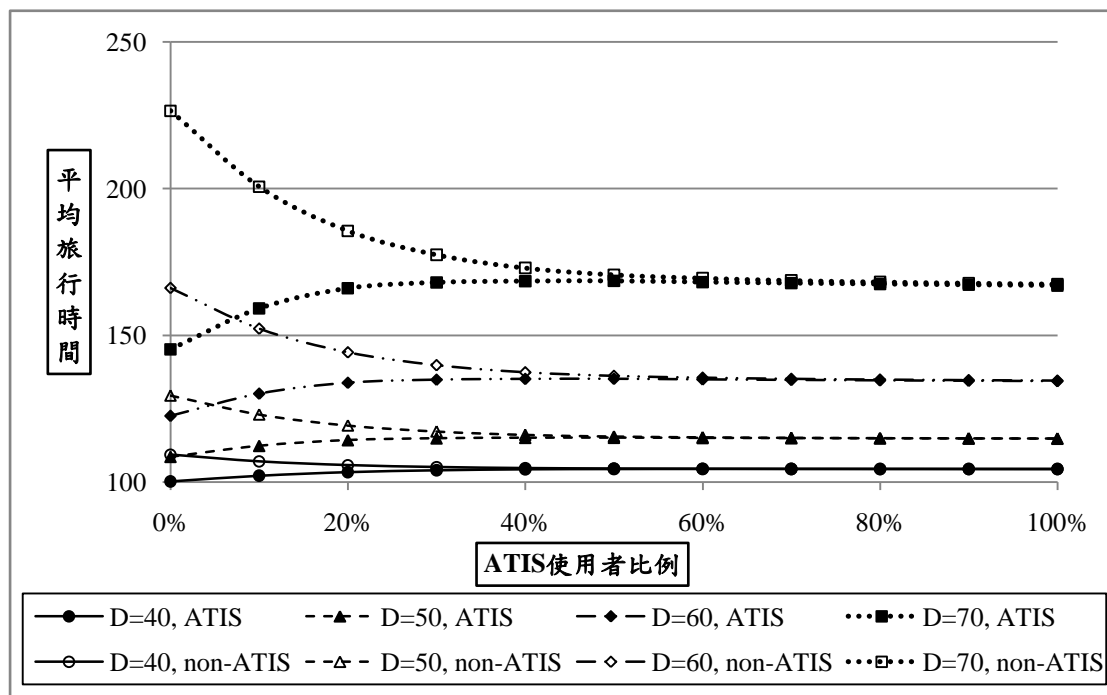


圖 4-4 不同需求下 ATIS 使用者比例對旅行時間之影響

圖 4-4 中包含了 4 種不同的需求與其對應的旅行時間。在圖中可發現各需求等級下，平均旅行時間的分配型態相近，顯示 ATIS 系統的效用範圍並不會隨需求有太大的變化。而旅行時間的差異程度則會隨著需求增加而更加明顯。

當路網總需求越增加，各路段的擁擠程度也越增加。在上圖的比較中可以推得下述結論：當路網程度越擁擠時，ATIS 系統所能帶來的效益也越高。例如：當需求為 40，ATIS 使用者比例從 0% 提升到 40% 時，系統所能縮短的旅行時間約 10%；但當需求為 70 時，能縮短約 40% 的平均旅行時間。

4.4.2 具 ATIS 之旅行時間可靠度

從上一小節的討論中可得知：ATIS 系統的使用者比例，對使用者的旅行時間會產生影響。以下將比較使用者差異對於旅行時間可靠度的影響。

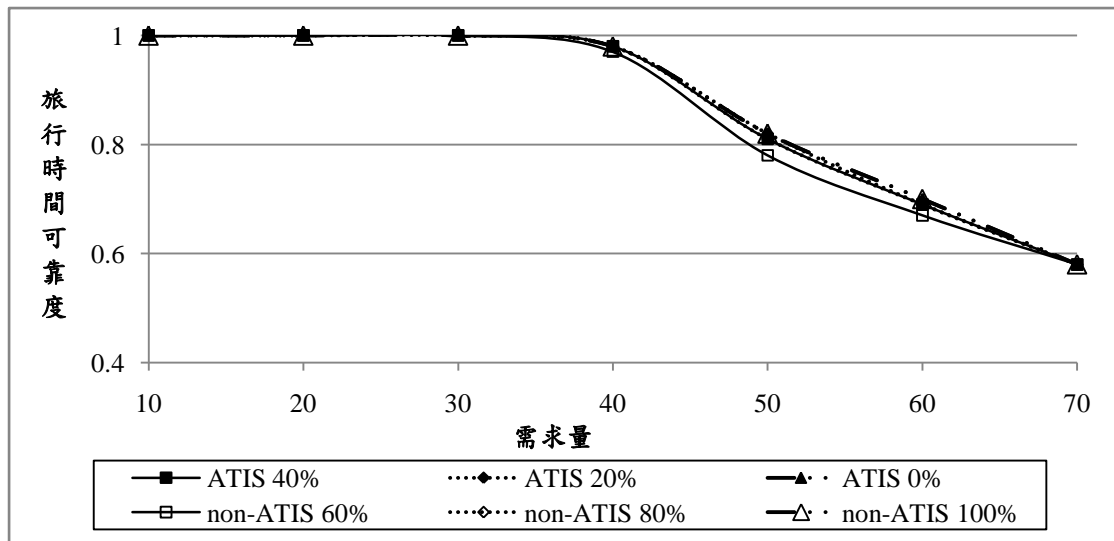


圖 4 - 5 旅行時間可靠度－ATIS User 0%~40%

圖 4 - 5 表示 ATIS 使用者佔總使用者比例 0%~40%時，不同類型使用者的旅行時間可靠度。當需求量低時，所有使用者都能在預期時間內完成旅次，旅行時間可靠度趨近於 1；隨著需求量增加造成路網逐漸擁塞，所有使用者的旅行時間都增加，旅行時間可靠度也逐漸降低。從圖中另外可以看出，此階段使用者比例的變化，對旅行時間可靠度的影響並不大。

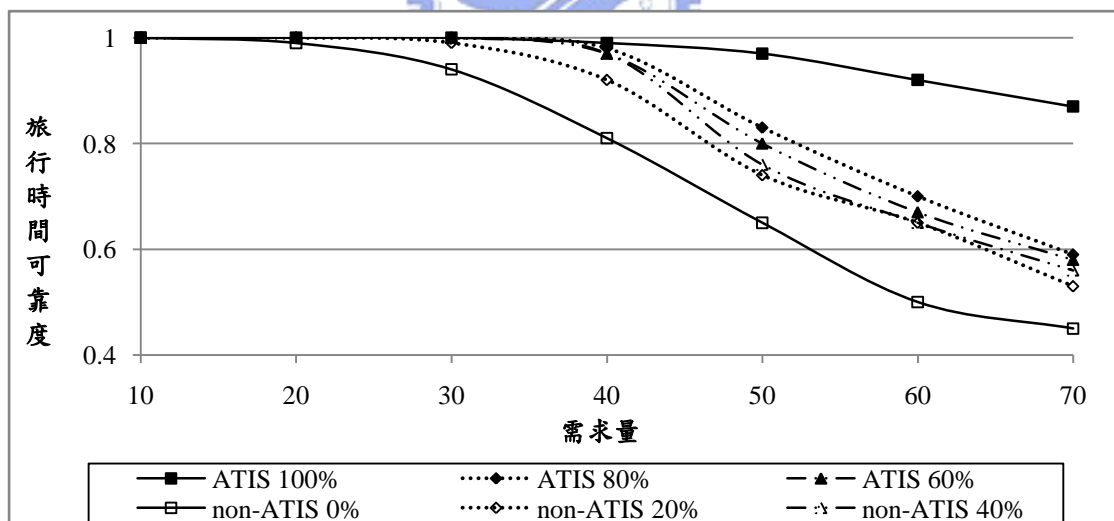


圖 4 - 6 旅行時間可靠度－ATIS User 60%~100%

圖 4 - 6 則表示 ATIS 使用者佔總使用者比例 60%~100%時，不同類型使用者的旅行時間可靠度。在圖中可看出：當需求水準較低時，由於路網狀態較通暢，平均旅行時間變動的幅度不大，因此所有使用者皆能在可接受的時間範圍內完成旅次；而隨著需求逐漸增加，部分路段開始擁塞的結果，non-ATIS 使用者選擇到旅行時間較長路徑的機率增加，而 ATIS 系統的使用者則能依靠系統選擇較佳路

徑，故旅行時間可靠度較高。

從圖中也可發現：隨著 ATIS 使用者的比例增加，旅行時間可靠度的差異也更加明顯，且在 ATIS 使用者比例大於 50% 以上會更加明顯，對照前面討論平均旅行時間的結果可得做以下推論：當 ATIS 系統的普及率超過 50% 時，對平均旅行時間的改善能力非常少；但對於 ATIS 系統的使用者，則能提供更穩定的旅行時間服務。

4.4.3 具 ATIS 之容量可靠度

容量可靠度與旅行時間可靠度較不同的地方在於：容量可靠度並不會因為使用者的分群而有不同的容量可靠度，僅計算路網上各路段的流量與容量之間的關係。計算容量可靠度的結果如下圖所示。

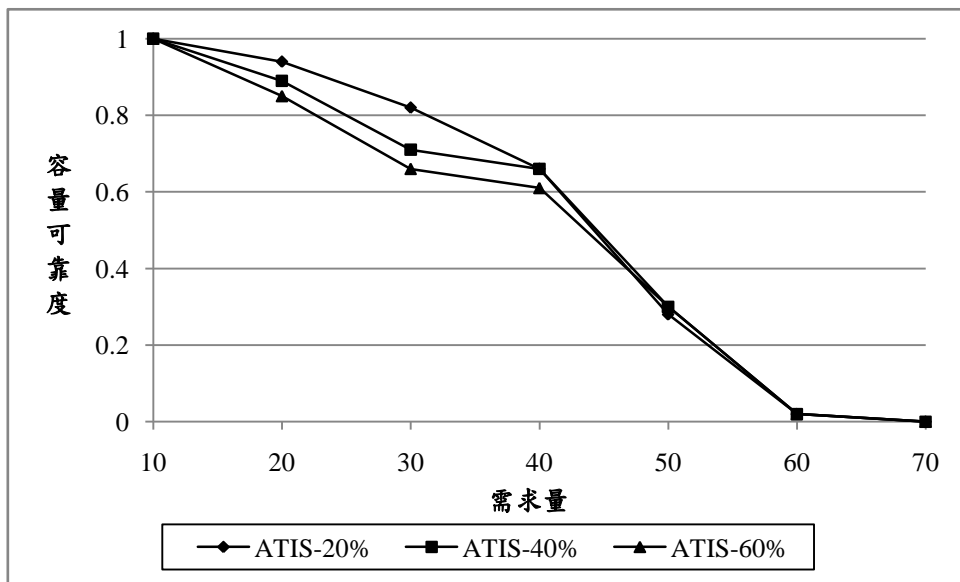


圖 4-7 不同使用者比例之容量可靠度

圖 4-7 為容量可靠度的計算結果，可發現當需求水準越高時，容量可靠度的差異越小，顯示 ATIS 系統在路網狀態較擁擠的情況下，對容量可靠度的影響不大。

但當需求等級小時，從圖中可發現：隨著 ATIS 使用者的比例增加，路網的容量可靠度卻減少。由於各種不同使用者比例的總需求數都相等，因此可推論：路網中的流量在需求較小時，由於追求較短旅行時間路徑，ATIS 使用者集中於部分路段，造成路網中的儲存容量比例差異越來越大。

假設路網中 ATIS 使用者的總數不變，當特殊狀態的需求增加(例如特殊節日的觀光景點，臨時增加的需求並不具備該地的路網資訊)，則造成路網擁擠的可能性反而增加。

從容量可靠度的評估結果來推論：對既有的路網設計，引入 ATIS 系統可能造成流量集中於部分路段，除了造成剩餘路段的道路容量浪費，也提高了需求變動後造成路網擁塞的可能性。

4.5 小結

在本章節中主要探討 ATIS 系統在路網系統的價值，透過設定不同的使用者層級與不同的指派模式，來模擬不同的 ATIS 系統佔有率在路網系統中之影響，並以此衡量路網可靠度的績效。

從需求面看，當路網需求越大時，ATIS 系統造成的旅行時間差異越明顯；但隨著佔有率越高，ATIS 系統的差異性就越小。從以上的觀察中我們可以推論：當路網系統的 ATIS 使用者越多時，並不僅是裝置的使用者得到效益，由於 ATIS 系統使用者選擇較佳路徑之後，也減輕了原先系統的負擔。

因此，對 ATIS 系統的使用者來說，市場佔有率越高，反而使其機會成本降低。從模擬的結果來看，當占有率大於 40% 以上時，ATIS 系統造成的差異就趨近於 0。

從旅行時間可靠度來看，當需求較低時，由於並未造成壅擠狀態，旅行時間差異不大，因此旅行時間可靠度的評量能力有限；隨著需求增加，一般使用者越難依靠經驗選擇準確的路徑，此時與具有 ATIS 系統裝置的使用者有了差異，旅行時間可靠度發揮效用。相較於僅從旅行時間評估 ATIS 系統的效益，透過旅行時間可靠度可以發現更多 ATIS 系統的潛在價值。

容量可靠度則由於系統在高需求等級時，其容量已不足以負荷使用者需求，因此容量可靠度失效；但在低需求等級時，由於 ATIS 系統的使用者可能為了追求旅行時間較短路徑，選擇了剩餘容量較小的路段，使得路網系統整體的剩餘容量降低，能承受變動需求的能力也連帶降低。顯示 ATIS 系統除了改善旅行時間的效益，也具有降低既有路網供給能力的負面效用存在。

第五章 利用可靠度評估資訊完整度之差異

本研究將道路容量視為隨機變數，而路網系統中除了供給本身具有隨機性外，使用者也具有隨機的性質，其主要原因在於使用者的路徑選擇行為上。由於使用者的路徑選擇行為會影響流量在路網的分布情形，進而影響路網整體的績效，若僅使用 Wardrop 的使用者均衡原則，會忽略這些具有隨機性質的路徑選擇行為。

在前一章節中，透過上述的方法測試可評估 ATIS 系統能為路網帶來的效益。而本章節將更進一步的假設：若路網系統已具備 ATIS 系統架構，且能透過調查分析使用者的資訊能力時，應該如何進行評估與改善的建議。

本章節將使用考慮隨機使用者均衡模型(Stochastic User Equilibrium, SUE)為基礎，考慮使用者所擁有資訊的差異性，利用多類型用戶(multiple user class)隨機使用者均衡模型，衡量道路資訊系統對路網績效與使用者效益的影響。

5.1 模式構建

5.1.1 模式假設

路網使用者在進行路徑選擇時，會依照個人所認知的效用(utility)進行路徑選擇。本研究中主要探討的效用為旅行時間的大小—旅行時間越小，對使用者而言的效用就越高。

然而，使用者並不可能準確的知道道路上的所有狀態，因此路徑選擇是依照感知的旅行時間進行。將使用者的預期旅行時間以下列方式表示：

$$U_k = -\theta \cdot T_k + \xi_k \quad (5.1)$$

U_k	使用者 g 的效用函數
θ	使用者 g 的資訊能力系數
T_k	路徑 k 的實際旅行時間
ξ_k	隨機誤差

(5.1)中表示：使用者 g 認為的效用值會受到路徑的實際旅行時間 T_k 與資訊能力 θ 的影響，而最後進行路徑選擇時也可能跟個人的選擇行為有關，故有隨機誤差項 ξ_k 存在。

假設隨機誤差的期望值 $E[\xi_k] = 0$ ，則 $E[U_k] = \theta \cdot T_k$ 。表示使用者的平均效用可以視為實際的旅行時間與資訊能力的乘積。則對使用者 g 而言，起迄點對 rs 間

的各路徑 k 之選擇機率 $P_k^{rs,g}$ 可表示為：

$$P_k^{rs,g} = \frac{\exp(-\theta^g \cdot T_k^{rs})}{\sum_{l \in K_{rs}} \exp(-\theta^g \cdot T_l^{rs})} \quad (5.2)$$

其中，由於使用者進行路徑選擇是以旅行時間最短做為最優先選擇，故對效用函數取負值。故 $P_k^{rs,g}$ 即考慮使用者的資訊差異下，隨機路徑選擇的模式。

5.1.2 模式架構

本階段使用之模型架構類似於第四章：在一已知路網中存在兩種類型使用者—ATIS 使用者與沒有 ATIS 裝置的使用者。與前述章節不同的部分在於：兩種使用者的路徑選擇模式，從 Wordrop 的使用者均衡原則，改為 logit 型態的機率選擇模式。

假設路網中起迄點對 rs 之間具有兩種類型的使用者，其表示型態如下：

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs,g=1} = q^{rs,g=1} = \omega \cdot q^{rs} \quad (5.3)$$

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs,g=2} = q^{rs,g=2} = (1-\omega) \cdot q^{rs} \quad (5.4)$$

$f_k^{rs,g}$ — 起迄點對 rs 間的使用者 g 在路徑 k 流量

$q^{rs,g}$ — 起迄點對 rs 間使用者 g 的需求量

ω — ATIS 使用者的比例

式(5.3)與式(5.4)中， $g=1$ 與 $g=2$ 分別代表有 ATIS 裝置的使用者與不具備 ATIS 裝置的使用者。在(5.1)的路徑選擇模式中，根據給定的使用者資訊程度與每條路徑的旅行時間，將可得到各種分群的使用者選擇該路徑的機率。而當路網達到穩定狀態時，會滿足下列數學式：

$$\text{Min.} Z(f) = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx + \sum_{g \in G} \frac{1}{\theta^g} \sum_{rs \in N} \sum_{l \in K_{rs}} f_l^{rs,g} \cdot \ln \left(\frac{f_l^{rs,g}}{q^{rs,g}} \right) \quad (5.5)$$

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_k^{rs,g} = q^{rs,g}, \forall rs \in N, g \in G \quad (5.6)$$

$$v_a = \sum_{rs \in N} \sum_{k \in K_{rs,g}} \delta_{k,a}^{rs,g} \cdot f_k^{rs,g}, \forall g \in G \quad (5.7)$$

$$f_k^{rs,g} \geq 0, \forall k \in K_{rs}, rs \in N, g \in G \quad (5.8)$$

其中，(5.5)代表路網達到穩定狀態所需的目標式，(5.6)到(5.8)為路網狀態守恒的必要限制式。

5.2 求解方法

對上述模式的求解採用，採用 MSA(Method of Successive Averages)方法，參考 Sheffi (1985) 對 MSA 的求解方法並進行修改，其步驟如下：

Step 1. 給定需求 q^{rs} ，使用者比例 r ，計算 ATIS 與 non-ATIS 使用者量；並給定各自的資訊能力變數 $\theta^{rs,g}$ 。

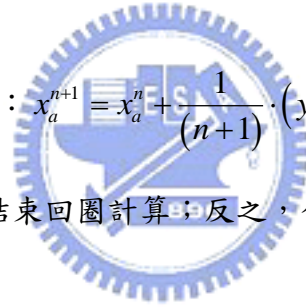
Step 2. 設定計算次數 $n=1$ 。根據路網中的路段流量 x_a^n ，計算路段旅行時間 $t_a^n(x)$ ，並求得起迄點間的路徑時間 T_k^n 。

Step 3. 根據 $\theta^{rs,g}$ 與 T_k^n ，計算各類型使用者的路徑選擇機率 $P_k^{rs,g}$ ，得到預設路段流量 y_a^n 。

Step 4. 更新路段流量： $x_a^{n+1} = x_a^n + \frac{1}{(n+1)} \cdot (y_a^n - x_a^n)$ 。

Step 5. 若 $n = n_{\max}$ 則結束回圈計算；反之，令 $n = n+1$ ，回到 Step 2。

其流程可表示如圖。



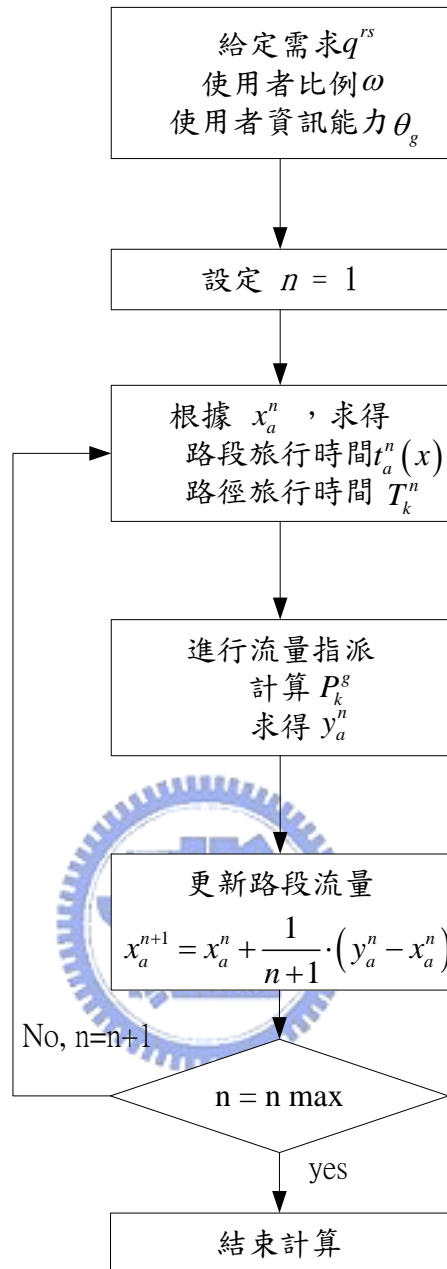


圖 5 - 1 MSA 求解多層級 SUE 之流程

5.3 範例分析

5.3.1 使用者比例分析

利用第三章與第四章提到之路網架構，在本章節為探討使用者的路徑選擇行為具有的隨機性質，故以平均道路容量做為樣本，僅變動需求、使用者比例與資訊能力程度來進行範例試算。

首先以 $\omega = 20\%$ 、 $(\theta_1, \theta_2) = (0.1, 0.01)$ 進行測試，計算利用 MSA 求解 SUE 所

需的迴圈次數 n_{\max} 。計算過程中考慮需求 $q = 100$ ，以 $n_{\max} = 50$ 為測試迴圈數。其計算結果如下：

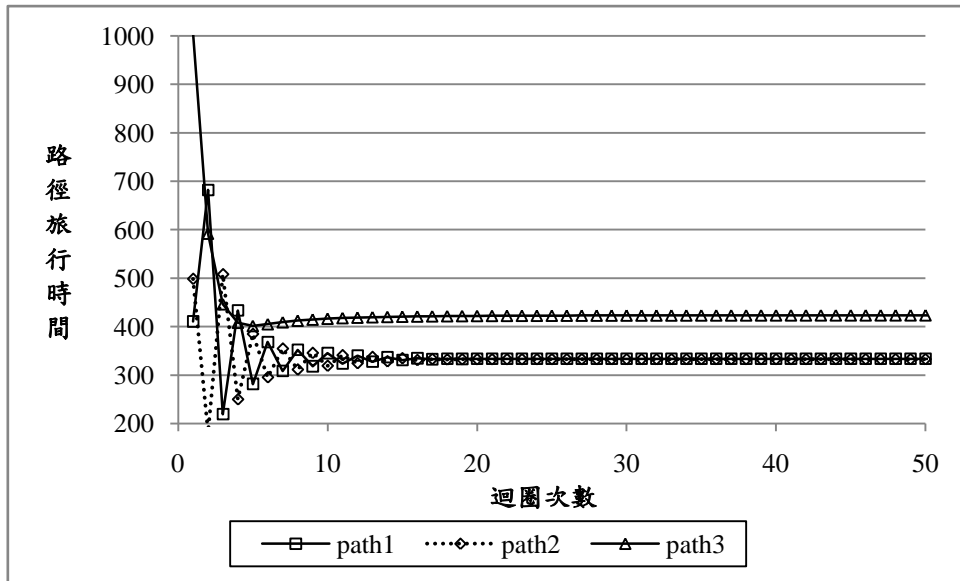


圖 5 - 2 多層級 MSA 均衡—路徑旅行時間

由圖 5 - 2 可看出各路徑的旅行時間收斂情況。在 SUE 的指派下，各路徑的旅行時間收斂後並不完全相等，顯示路徑選擇行為對旅行時間有影響，且與 UE 的結果並不相同。以下將進一步驗證 SUE 指派的正確性。

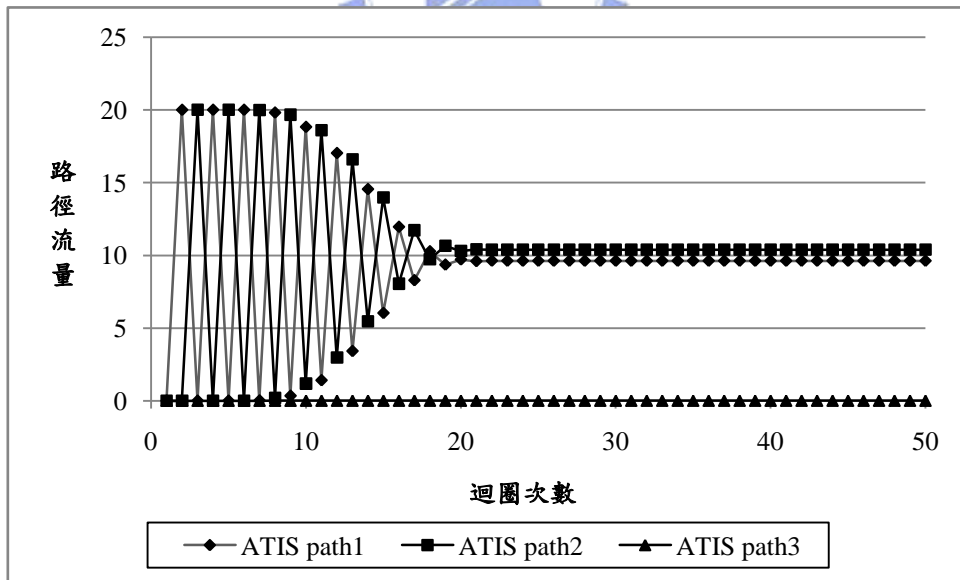


圖 5 - 3 多層級 MSA—ATIS 使用者路徑流量

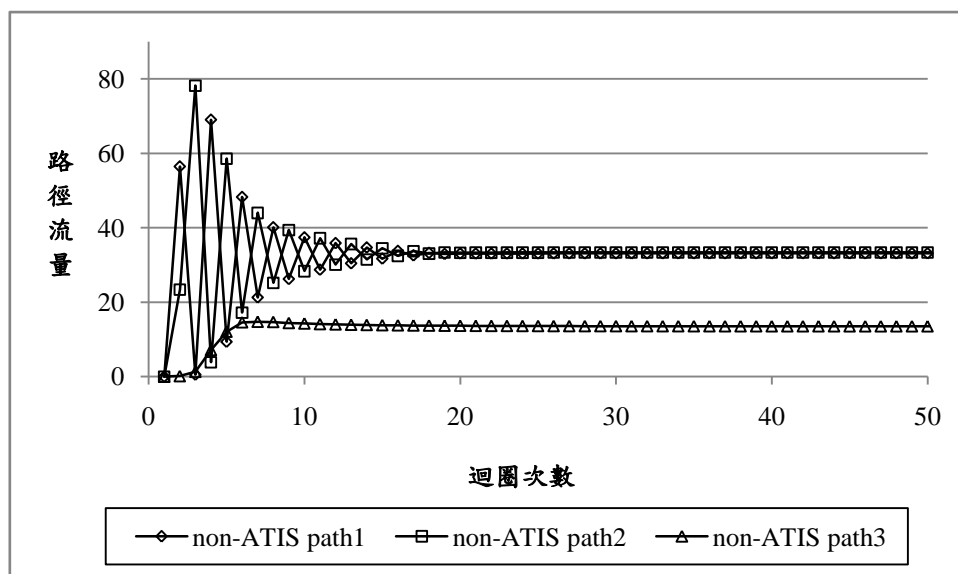


圖 5-4 多層級 SUE—non-ATIS 使用者路徑流量

由圖 5-3 與圖 5-4 可看出，不同使用者在各路徑的比例並不相等，表示不同的使用者選擇路徑的行為有所差異。在 ATIS 使用者的路徑流量中可看出，各路徑的使用者比例差異較大，顯示 ATIS 使用者對路徑旅行時間較敏感，有較多的使用者會選擇旅行時間較短的路徑。相對的，non-ATIS 使用者則對旅行時間較不敏感，其路徑流量的比例差異較小，顯示這類型使用者對旅行時間的差異較不敏感。

進一步觀察收斂後的旅行時間與流量的關係，如表 5-1。則可發現 ATIS 使用者在各路徑的比例與旅行時間呈現的比例相關性較高，顯示 ATIS 使用者確實會對旅行時間較敏感。

表 5-1 SUE 試算結果—使用者選擇各路徑之情況

	Flow	Travel time	P_{ATIS}	$P_{non-ATIS}$	f_{ATIS}	$f_{non-ATIS}$
Path1	42.75	333.41	0.48	0.41	9.62	33.13
Path2	43.76	332.65	0.52	0.42	10.38	33.38
Path3	13.49	423.24	0.00	0.17	0.00	13.49
Total	100		1.000	1.000	20	80

測試結果中，當系統達到穩定狀態時，各路徑的旅行時間相近但不相等，顯示 UE 與 SUE 之間結果有差距，而這為 SUE 之必然結果。故在本階段的測試結論下，將之後的範例測試皆以 $n_{max} = 40$ 作為迴圈最大值。

將本範例的使用者資訊能力 $(\theta_1, \theta_2) = (0.1, 0.01)$ 作為使用者的資訊能力指標，以下將進行不同的使用者比例之隨機使用者均衡範例分析。

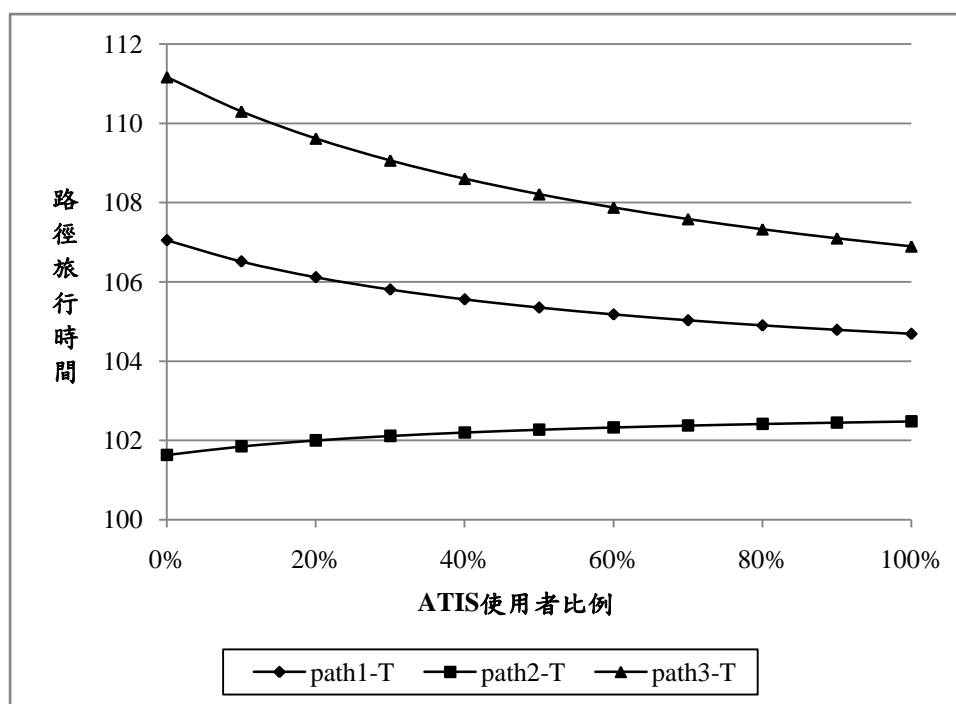


圖 5 - 5 SUE-D=40，不同使用者比例下之路徑旅行時間

首先以需求 $q = 40$ 進行測試。圖 5 - 5 為經過 SUE 指派後，各路徑的旅行時間比較圖。由圖中可發現，隨著 ATIS 系統使用者的比例越高，各路徑間的旅行時間差異越小。但與前面章節利用 UE 的測試結果相比較，則可發現其改變的幅度並不大，且各路徑的時間成本差異仍然存在。因此單圖 5 - 5 從中我們仍無法很明確的得知 ATIS 系統對路網能帶來的正面效益有多少。故接著比較路網中不同類型使用者的平均時間，如圖 5 - 6。

圖 5 - 6 為 ATIS 系統使用者與 non-ATIS 使用者的平均旅行時間比較結果。從圖中可發現：ATIS 系統使用者的平均旅行時間，無論在使用者比例為多少的情況下，皆能小於 non-ATIS 使用者的旅行時間，顯示裝置 ATIS 系統的使用者有較高的路徑選擇優勢存在。

但在各自使用者的平均旅行時間中卻並未能發現明顯的效益，在圖 5 - 6 中，ATIS 系統使用者的平均旅行時間雖然都低於 non-ATIS 使用者，但差異並不明顯，並無法說服 ATIS 系統對於時間價值較高的使用者，擁有明顯的價值。

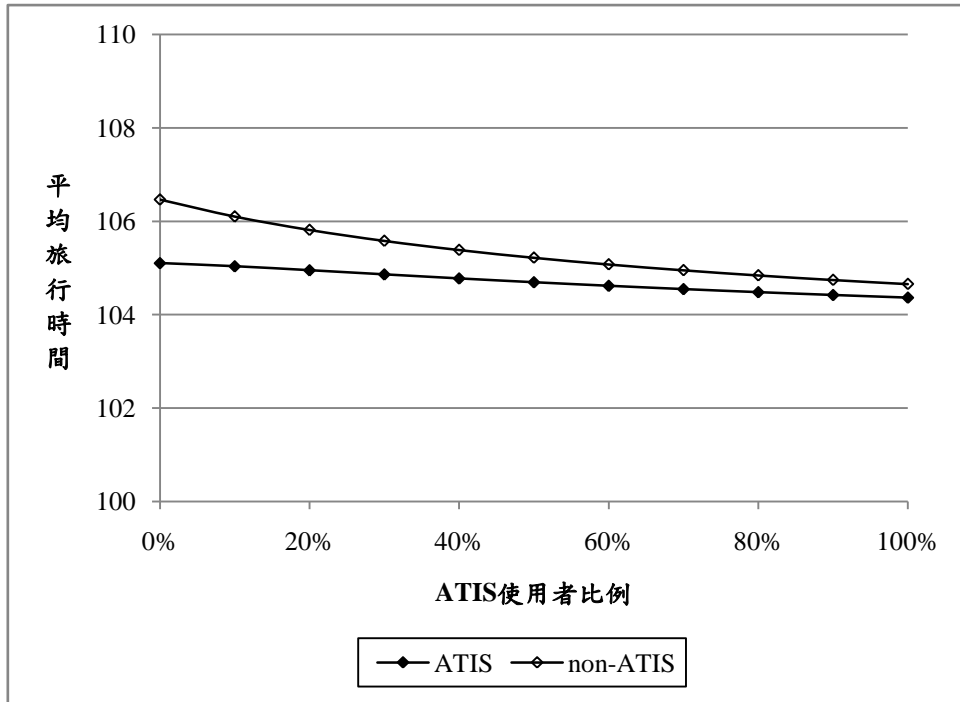


圖 5 - 6 SUE-D=40，不同使用者比例下之平均路徑旅行時間

5.3.2 資訊能力分析

在本章節中，將進一步利用 SUE 指派的特性，分析若使用者的資訊能力能被衡量與改善時，平均旅行時間會產生甚麼樣的變化。

假設既有路網中的使用者有 ATIS 與 non-ATIS 兩種類型，其對應的資訊能力分別為 $(\theta_1, \theta_2) = (0.1, 0.025)$ ，則首先對低資訊能力的使用者提出改善措施，使其資訊能力提升至 0.025，計算平均旅行時間可得如下圖結果：

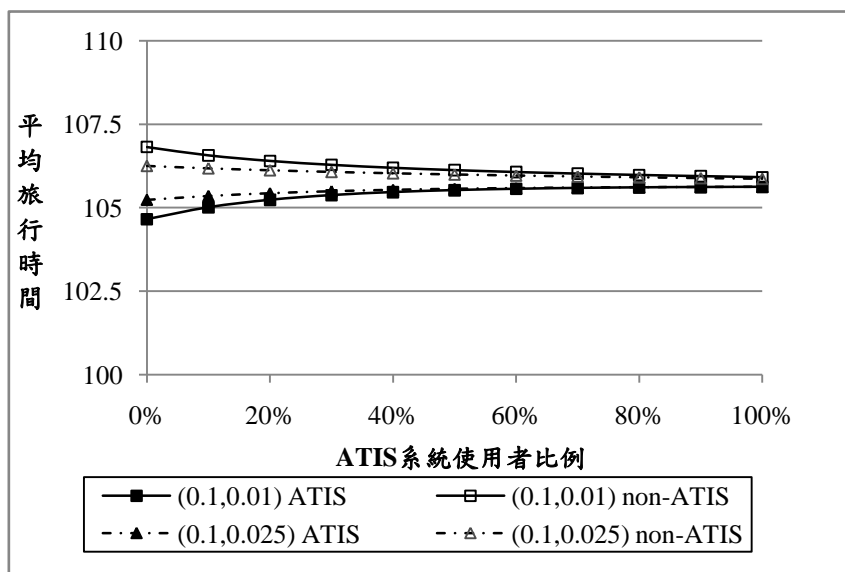


圖 5 - 7 提升低資訊能力使用者後之平均旅行時間

圖 5-7 中顯示：當低資訊能力使用者獲得改善措施時，路網中的旅行時間差異將縮小，整體的平均旅行時間變化不大。而高資訊能力使用者的平均旅行時間仍具有一定的優勢。

對於 non-ATIS 使用者，能獲得的道路資訊大多透過廣播或新聞等途徑，路網狀態資訊有限，但能減少面臨突發事件而遭遇堵塞的狀況發生，故平均旅行時間有降低的機會。

然而，對原先擁有高資訊能力的使用者而言，其原先具有的選擇路徑優勢將逐漸被取代，因此平均旅行時間受影響相對提升。顯示單只提升低資訊能力使用者的資訊能力並不能對所有使用者帶來效益。

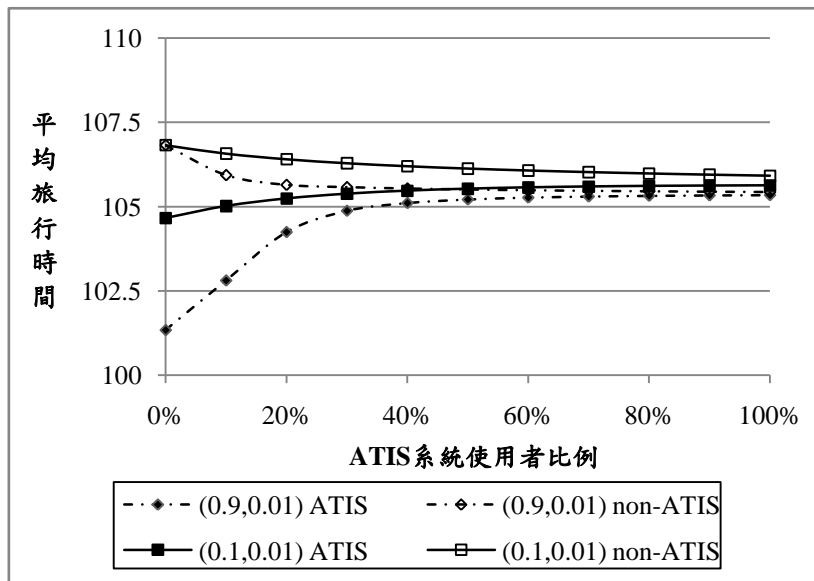


圖 5-8 提升高資訊能力使用者後之平均旅行時間

圖 5-8 表示提升高資訊能力者的資訊能力，假設改變了導航裝置的能力，則 ATIS 系統的使用者將有更高的機率使用較短旅行路徑，因此改善的幅度較大，而如同第四章的測試結果，non-ATIS 使用者的平均旅行時間也連帶獲得改善。

5.4 小結

在本章節的測試中，藉由 SUE 的指派模式，可以分析路網中不同使用者的資訊能力，並可針對特定使用者的資訊能力改變進行效益評估。

一般而言，提升 ATIS 系統的資訊能力所需成本較高，但對路網中的旅行時間改善較有全面的影響。此情況類似於第四章中之結論。表示對一既有路網提供資訊系統可能帶來正面效益，且此效益不僅發生在 ATIS 的使用者上，對未裝置資訊系統的使用者與路網整體的旅行成本都有改善的效果。

相對提升既有路網資訊能力時，雖能縮短旅行時間差異，且所需成本較低，但可能犧牲了 ATIS 系統的效益，且平均旅行時間減少的幅度不大，對路網的總旅行成本改善程度效益不高。



第六章 結論與建議

6.1 結論建議

本研究探討以下方向，並做出以下結論：

1. 路網績效會受到的影響因素包含供給、需求與使用者三方面。利用路網可靠度進行路網績效評估有其實用價值。而大部分研究僅考慮供給與需求的變動，較少考慮使用者帶來的影響。
2. 本研究測試結果認為：使用者的用路行為與資訊能力，對路網系統的績效有一定程度的影響，而透過 ATIS 系統提供使用者資訊，可以有效提升路網的可靠度。
3. 利用路網可靠度可更多方面的評估 ATIS 系統的價值。從旅行時間可靠度可進一步評估旅行時間無差異的部分；而容量可靠度則可評估 ATIS 系統帶來的負面效用，顯示 ATIS 系統並非必要改善措施之一。
4. 透過不同的使用者分群與模擬方式，可評估建置 ATIS 系統與改善資訊能力系統時，對路網系統與使用者所帶來的效果。
5. 當路網發生降級時，提供使用者道路資訊可能導致旅行成本增加。

本研究更進一步的針對 ATIS 系統的建置與改善做出以下建議：

1. 若路網系統尚未建置 ATIS 系統，則考慮以下條件：
 - (a) 該路網的需求等級
 - (b) 影響路網的因素
 - (c) 路網幾何設計
2. 若路網已建置 ATIS 系統，則考慮以下條件：
 - (a) ATIS 系統使用者的比例
 - (b) 不同類型使用者的路徑選擇模式
 - (c) 現階段路網的擁塞與路段失效機率

透過不同的交通量指派方式，可對不同類型的使用者進行模擬分析，對於評估資訊系統的建置與改善期望有進一步的評估能力。

6.2 後續研究

本研究試利用路網可靠度來進行 ATIS 系統的效益評估，在過程中考慮了使用者的差異性對路網可靠度的影響。同時考慮了供給、需求與使用者三個層面的影響因素。以下針對本研究提出後續研究建議：

1. 需求對路網可靠度之影響
本研究僅改變使用者數與不同類型使用者比例，但未考慮需求的變動特性，建議後續研究可對需求的變動與路網可靠度之進行進一步分析，例如：彈性需求。
2. 不同的使用者分群與指派方式
本研究僅對使用者進行兩種分群方式，建議後續研究可考慮更多層級的使用者類型與其對應的指派模式。
3. 考慮現有的 ATIS 系統所能提供的服務
將指派模式以現有的服務功能進行取代，可更進一步的評估現有的導航裝置的效用與進步空間。例如考慮現有的導航裝置功能：高速公路優先、機慢車優先等路徑選擇行為。
4. 考慮使用者的使用意願與 ATIS 的效用成本
本研究並未考慮使用者如何判斷是否使用 ATIS 系統，建議同時考慮 ATIS 系統能提供使用者的時間價值，則可更進一步的討論 ATIS 的建置是否符合成本效益。
5. 考慮不同的資訊系統對使用者的可靠度
在本研究中有部分結論顯示 ATIS 系統並非任何狀態都能發揮正面效益，甚至在路網發生降級時會帶來負效用，則可考慮資訊系統對路網使用者的可靠度計算，建立新的可靠度評估模式。

參考文獻

1. 徐敏超 (2003). 路網容量信賴度之研究，中央大學土木工程學系碩士論文.
2. 曾瓊玉 (2002). 路網容量信賴度之研究，國立中央大學土木工程學系碩士論文.
3. 陳豔豔，劉小明，梁穎 (2005). *可靠度在交通系統規劃與原理中的應用*.北京:人民交通出版社.
4. 繆立新 (2005). 路網可靠度模型的研究與拓展.北京清華大學. Working paper)
5. 卓訓榮等 (2007). 靜態旅行時間路段成本函數 BPR 之校估及應用，*運輸學刊*，19 卷 1 期，pp. 1-24
6. Asakura, Y. and Kashiwadani, M. (1991). "Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow." *Proceedings of the 19th PTRC Summer Annual Meeting*, Brighton, pp. 73-84.
7. Asakura, Y. (1999). "Evaluation of network reliability using stochastic user equilibrium" *Journal of Advanced Transportation*, 33, pp. 147-158.
8. Bell, M.G.H. and Iida, Y. (2002). *The network reliability of transport. Proceedings of the 1st international symposium on transportation network reliability (instr)*.
9. Bell, M.G.H. and Chris Cassir. (2002). *Reliability of Transport Networks*. Research Studies Press LTD.
10. Berdica, K. (2002). "An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done." *Transport Policy*, 9, pp. 117-127.
11. Chen, A., Yang, H., Lo, H.K., and Tang, W. (1999). "A capacity related reliability for transportation network." *Journal of Advanced Transportation*, 33, pp. 183-200.
12. Chen, A., Yang, H., Lo, H.K., Tang, W. (2002). "Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results" *Transportation Research Part B*, 36, pp. 225-252.

13. Du, Z.P., Nicholson, A.J. (1997). "Degradable transportation system: sensitivity and reliability analysis." *Transportation Research Part B*, 32, pp. 225-237.
14. Florian, D.G. (2004). "Simulation-Based Evaluation of Advanced Traveler Information Services (ATIS)." McGill University, Montreal.
15. Huang, H.J. and Li, Z.C. (2007). "A multiclass, multicriteria logit-based traffic equilibrium assignment model under ATIS" *European Journal of Operational Research*, 176, pp. 1464-1477.
16. Husdal, J. (2004). "Reliability/vulnerability versus Costs/Benefits." *Proceedings of the 2nd International Symposium on Transportation Network Reliability*, Queenstown and Christchurch New Zealand, pp. 367-380.
17. Iida, Y. and Wakabayashi, H. (1989). "An approximation method of terminal reliability of a road network using partial minimal path and cut set. " In: *Proceedings of the 5th WCTR, Yokohama*, pp. 367–380.
18. Iida, Y. (1999). "Basic concept and future directions of road network Reliability Analysis." *Journal of Advanced Transportation*, 33, No.2, pp. 125-134.
19. Jenelius, E. and Petersen, T. (2006). "Road network vulnerability: identifying important links and exposed regions. " *Transportation Research Part A*, 40, pp.537–560.
20. Mine, H. and Kawai, H. (1982). *Mathematics for Reliability Analysis*. pp.12-14.
21. Nicholson, A. and Du, Z.P. (1997). "Degradable transportation systems: an integrated equilibrium model." *Transportation Research Part B*, 31, pp 209-223.
22. Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks*. Prentice-Hall, New Jersey.
23. *Highway Capacity Manual* (2000) Transportation Research Board. Washington D. C: National Research Council.
24. Yang, H., Lo, H.K., Tang, W. (2000). "Travel time versus capacity reliability of a road network." *Reliability of transport networks*. pp.119-138.