

國 立 交 通 大 學

資 訊 科 學 系

碩 士 論 文

探討多人共享有限資源問題中個體的策



研 究 生：黃思綿

指 導 教 授：孫 春 在 教 授

中 華 民 國 九 十 七 年 七 月

# 探討多人共享有限資源問題中個體的策略動態

The Individual Strategies Dynamics for Sharing The Limited  
Recourses Problem

研究 生：黃思綿

Student : Szu-Mien Huang

指導 教授：孫春在

Advisor : Chuen-Tsai Sun



A Thesis

Submitted to Institute of Computer Science and Engineering  
College of Computer Science  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in

Computer Science

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

# 探討多人共享有限資源問題中個體的策略動態

學生：黃思綿

指導教授：孫春在 教授

國立交通大學

資訊工程與科學研究所

## 摘要

只要是符合，個體擁有主控權、週期性、多種選擇、有限資源與個體共享五個特徵的問題都屬於多人共享有限資源問題，而現實生活中有許多的問題都是屬於這種多人共享有限資源問題，例如澳門賭場增設問題、連鎖飲料店關店問題、遊樂場增設遊樂設施問題。而影響這類問題的主要因素就是個體所使用的策略，故本研究藉由觀察個體策略的動態來尋求解決這類問題的方法。

我們保留過去模型的優點，改善過去模型對於個體行為不合理的設定，以酒吧模型為基礎，設計了一個符合真實狀況的多人共享有限資源模型。可以提供給現實生活中遇到類似問題的管理者一個測試平台，各管理者可在本模型中模擬各種解決問題的方案，藉此尋找最適當的辦法在現實生活中進行推動。

最後，本研究就利用發展出來的模型，嘗試的解決現實生活中不同的問題。在不同的情況下，管理者可藉由提出各種方案或是過去5~10次的總消費人數來提高自身的效益。另外，也發現管理者在增加或減少分店時，必須掌握最佳時機，而透過本研究之模型也可以找何時為最佳時機。

關鍵字：酒吧模型、個體行為、有限資源、個體策略、策略動態

# **The Individual Strategies Dynamics for Sharing The Limited Recourses Problem**

Student : Szu-Mien Hiang

Advisor : Dr. Chuen-Tsai Sun

Institute of Computer and Information Science  
National Chiao-Tung University

## **ABSTRACT**

When a situation has the following five characteristics, the individual has the command, the periodicity, the multiple options, the limited resources and the individual must share these resources, all belongs to the Multi-Agent Sharing Problem. In the realistic society, there are many situations which belong to the Multi-Agent Sharing Problem, for example the problems about Macao government increases or decreases the casinos, the amusement park additionally the facilities...etc. The strategy is the primary factor which affects these problems, therefore we observe these dynamic of strategies to discover some methods which can solve these Multi-Agent Sharing Problem.

We build a Multi-Agent Sharing Model based on the Bar Model and it keeps the advantages of the past model. Besides, our new model improves the disadvantages about unadvisable setting of the individual behavior. This model provides a testing platform for some managers who face the above problem. These managers can use this new model to search for the best method to solve their problems and carry it out in real life.

Finally, according to the new model, this paper finds some ways to deal with the real-life problems. In the different situations, the managers can provide many plans or the total amounts of consumer in the last 5~10 times to advance their income.

Otherwise, managers must catch the best timing when they want to increase or decrease branches. This new model can help them to find the best timing.

**Keywords:** Bar Model, Individual Behavior, Limited Recourses



## 誌謝

終於完成這一份論文，要感謝的人很多，首先要感謝孫老師這兩年來的教導，還有崇源學長在這一段期間給我許多幫助，在遇到問題時也很有耐心的協助我解決，還犧牲自己的假日和我們討論。博士班學長，吉隆、家胤、宇軒、聖文也在這段期間給了我許多論文上的建議。

一起奮鬥的同學們。一直和鈺瀅一起互相鼓勵，互相討論問題，無論是研究上還是生活上的，討論過後心情穩定不少，繼續找到研究的目標；本然，謝謝他很無私的貢獻自己研究的心得，和研究過的文章；効儒，常常會搞笑的讓大家放鬆，當然還要感謝瀚萱、奕瑄，和研究室裡的學弟妹們。

最後一定要感謝的是爸爸媽媽，雖然他們不能直接的幫我解決論文上的問題，但謝謝他們讓我衣食無缺可以專心的做研究。也謝謝我的弟弟和一竿子的好朋友，時常給我鼓勵、帶我出去玩，讓我在研究之餘還可以看看美麗的藍天和綠地。



# 目錄

摘要 iii

ABSTRACT iv

誌謝 vi

表目錄 .....	x
圖目錄 .....	xi
第 1 章、前言 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 問題描述 .....	3
1.3 研究目標 .....	6
第 2 章、文獻探討 .....	8
2.1 個體策略 .....	8
2.1.1 各種可能策略 .....	8
2.1.2 EMB 模型 .....	8
2.1.3 小結 .....	9
2.2 酒吧模型 .....	10
2.2.1 少數者為贏模型 .....	12
2.2.2 有限資源二元個體行為模型 .....	13
2.2.3 小結 .....	14
2.3 社會網路 .....	16
2.3.1 正規網路模型 .....	17
2.3.2 隨機網路模型 .....	17
2.3.3 小世界網路模型 .....	18
2.3.4 無尺度網路模型 .....	20
2.3.5 小結 .....	21
2.4 相關研究 .....	22
2.4.1 策略 .....	22
2.4.2 居民 .....	24
2.4.3 酒吧老闆 .....	26
2.4.4 小結 .....	27
第 3 章、系統架構或模型設計 .....	28

3.1	基本架構 .....	28
3.1.1	環境 .....	28
3.2	模組功能說明 .....	30
3.2.1	策略 .....	30
3.2.2	個體 .....	31
3.2.3	選項 .....	32
3.3	模型流程 .....	34
3.3.1	初始設定 .....	35
3.3.2	挑選策略集合 .....	35
3.3.3	根據經驗選擇最佳策略 .....	36
3.3.4	預測 .....	37
3.3.5	多選項時的決策 .....	38
3.3.6	資訊傳遞 .....	39
3.3.7	滿意度評估 .....	41
3.3.8	轉換成經驗 .....	42
3.3.9	結果 .....	43
3.3.10	小結 .....	43
3.4	系統特色 .....	44
<b>第 4 章、 實驗 .....</b>		<b>46</b>
4.1	參數設定 .....	46
4.2	模型驗證 .....	51
4.2.1	重現酒吧模型實驗結果 .....	51
4.3	敏感度分析實驗 .....	53
4.2.1	觀察策略被使用情形 .....	53
4.2.2	個體策略數之影響 .....	56
4.2.3	個體記憶能力之影響 .....	58
4.4	應用 .....	61
4.3.1	選項個數增加之時機 .....	61
4.3.2	選項個數減少之時機 .....	63
<b>第 5 章、 結論 .....</b>		<b>67</b>
5.1	優點與貢獻 .....	67
5.2	綜合結果 .....	69
5.3	未來發展 .....	70



## 表目錄

表 1. 酒吧小鎮問題符合的五項特點.....	4
表 2. 各問題與酒吧小鎮的對應關係.....	4
表 3. 執行成功定義.....	6
表 4. 各模型之優缺點 .....	15
表 5. 各網路的特性（群聚度、分隔度） .....	18
表 6. 無尺度網路的例子[8].....	21
表 7 不同社會網路其酒吧出席率標準差[21].....	26
表 8. 實際策略範例 .....	30
表 9 本模型參數簡介 .....	33
表 10. 滿意度評估標準 .....	42
表 11 本研究模型與過去模型比較.....	44
表 12 各實驗基本參數設定.....	46
表 13 驗證實驗參數設定 .....	51
表 14 觀察策略被使用情形實驗參數設定.....	53
表 15 個體策略數之實驗參數設定 .....	56
表 16 個體策略數之實驗參數設定 .....	58
表 17 選項個數增加時機之實驗參數設定 .....	61
表 18 選項個數增加時機之實驗參數設定 .....	64



## 圖目錄

圖 1. 解決問題流程 .....	5
圖 2. 酒吧小鎮階層圖 .....	5
圖 3. EMB 模型 .....	9
圖 4. 酒吧模型流程 .....	10
圖 5. 酒吧模型結果[1].....	11
圖 6. 少數者為贏模型的M=3 時的策略[15].....	12
圖 7. 有限資源二元個體行為模型的個體行為流程[4] .....	14
圖 8. 正規網路模型[6].....	17
圖 9. 隨機網路模型[6].....	17
圖 10. 小世界網路模型[6] .....	19
圖 11. 群聚度與分隔度的動態變化.....	19
圖 12. 節點數分佈：常態分佈 .....	20
圖 13. 節點數分佈：幕次分佈 .....	20
圖 14. 無尺度網路由 2 個節點到 11 個節點的建造過程 .....	21
圖 15. 個體擁有的策略數分佈[20].....	22
圖 16 不同種策略的分佈圖 (KIRLEY) [21] .....	23
圖 17 不同種策略的分佈圖 (HOD) [3].....	23
圖 18 個體數量與酒吧出席率標準差關係[5].....	24
圖 19 連接率與個體成功率的關係 (GOURLEY) [22] .....	24
圖 20 個體連結度與成功率的關係 (Lo) [23] .....	25
圖 21 個體總數與酒吧出席率平均、標準差的關係[5] .....	25
圖 22. 不同酒吧最適合人數與平均出席率、出席率標準差[24] .....	26
圖 23. 各相關研究所討論的層級 .....	27
圖 24 本模型的環境架構.....	28
圖 25 個體所擁有的參數.....	31
圖 26. 本模型流程 .....	34
圖 27 個體透過社會網路進行資料分享 .....	40
圖 28. 個體進行模糊資訊的選擇 .....	41
圖 29 總策略數增加對個體成功率之影響 (多選項) .....	48
圖 30 傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響 (隨機網路) .....	49
圖 31 傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響 (正規網路、小世界網路、無尺度網路) .....	49
圖 32 傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響 (連結度為 20) .....	49
圖 33 資訊完整度與個體成功率之關係 .....	50
圖 34 重現酒吧模型研究之結果 .....	52
圖 35 執行後期策略被使用情形分佈圖 .....	54
圖 36 執行後期策略被使用情形分佈圖 (總策略數為 100) .....	55
圖 37 策略分類動態變化.....	55

圖 38 個體策略數增加對個體成功率之影響（單一選項） .....	57
圖 39 個體策略數增加對個體成功率之影響（多選項） .....	57
圖 40 個體記憶能力增加對個體成功率之影響（單一選項） .....	59
圖 41 個體記憶能力增加對個體成功率之影響（多選項） .....	59
圖 42 個體記憶能力對各選項平均個體數之影響.....	60
圖 43 在第一階段新增選項.....	62
圖 44 在第二階段新增選項 .....	62
圖 45 在第三階段新增選項 .....	63
圖 46 在第一階段減少選項.....	65
圖 47 在第二階段減少選項 .....	65
圖 48 在第三階段減少選項 .....	66



## 第1章、 前言

### 1.1 研究動機

在澳門有許多間賭場，目前每一間賭場的生意都不錯，都有穩定的顧客人數，但是澳門政府卻遭遇到一個問題，他希望可以再開一間新的賭場期望增加一些成本但提昇整體的收益。但沒有真的開一間賭場很難知道開店之後可以將多少賭客吸引到新的賭場，抑或是開了新的賭場卻使得所有的賭場平均消費人數下降，反而造成虧損。

林小姐是一間連鎖的飲料店總部的老闆，最近發現在同一條街上開設太多間分店，使得每一間分店的生意都不夠好，公司沒有盈餘。所以必須考慮是否可以關閉一間分店，減少成本也讓園先的消費者轉移到其他的分店。但是何時才是關閉一間分店的最佳時機，如果抓錯時機可能關閉一間分店會造成其他店的額外負擔，因為消費者轉而其他分店消費。



王老闆有一間遊樂園，裡面有許多有趣的遊樂設施，咖啡杯、碰碰車、雲霄飛車...等。但是遊樂園到了假日會有許多人道遊樂原來玩，使得遊樂園十分的擁擠，王老闆對於此事十分憂心，因為每到假日遊客都必須排很久隊才能玩到一個遊樂設施，漸漸的遊客就會不想到遊樂園玩，王老闆在考慮是否要增加一些遊樂設施來容納更多的遊客，使得來園的遊客平均的等候時間減少，或是必須另外再開一間遊樂園。

上述三個人所遇到的問題看似毫無相干，可是都有幾個共同的特點。首先這三者的問題中有都是由個體來自由選擇，個體具有完全的主控權，沒有人可以硬性規定個體的行為。澳門政府不能規定賭客要光臨他新開的賭場、林小姐不可以規定顧客一定要光臨她每一間分店、王老闆也不可以去規定遊客什麼時間來游樂園玩。第二，多種選擇。整個澳門有許多間的賭場讓賭客們選擇、林小姐的飲料店在一條街上就開了許多間，顧客要從中選擇一間來購買。第三，週期性選擇。顧客要每次要喝飲料的時候就會到上選擇飲料店、遊客們每到假日就要決定是否

要去王老闆的遊樂園玩。第四，有限的資源。每一間賭場裡面機台的個數、牌桌的個數都是有限的，如果位置已經被佔用，不可能突然增加、飲料店中同時可以調製的飲料就是這麼多，來不及應付的話，顧客就必須等待、遊樂園的每個遊樂設施，都有座位的限制，也不能一個座位坐兩個人。第五，個體必須分享這些有限的資源。不可能有一個機台專門為了一個賭客而設置、也不可能突然多出一位店員專門為某一位顧客調配飲料、或是遊客自備椅子來乘坐的已經坐滿人的遊樂設施，必須和其他人分享。

而上述這些問題我們通稱他為多人共享有限資源問題，過去已經有一些相關的研究[1, 2]。但是這些研究，都只是強調個體對於單一物品的選擇，轉換成澳門政府的例子就是澳門只有一間賭場，研究賭客進入此賭場的最佳時機、個體使用哪些策略進行決策[3]，或是如何能使得同時進入此賭場的賭客人數是很穩定[4, 5]，不要有時候人很少，有時候要等機台等很久。或許這種單一選擇是簡化了我們的問題，但是結果是沒有辦法加成的，因為多重選擇會增加了個體選擇時的複雜度。並且我們探討的問題必須提高一個層次，像是系統管理一般，選擇每一個遊樂設施的人數都要穩定，並且要選擇的人數多，否則浪費的成本反而更高。

我們希望可以利用這些問題的共通性和過去的研究為基礎，設計一套模擬個體決策行為的系統，來研究個體如何對於多種選擇進行決策、如何達到每一樣的選擇都被平均的選擇，並且個體所使用的策略會產生什麼樣的動態變化。另外可以提供上述或是類似的問題一個工具，只要進行簡單的調整就可以利用此系統來進行模擬，找出最合適的解決辦法。

## 1.2 問題描述

在這裡我們以「酒吧小鎮」的例子來綜合上述的三個煩惱，並且說明我們的研究問題。在這個小鎮上有許多間的酒吧，小鎮上的居民每個週末都要決定要去哪間酒吧玩，或者選擇不去酒吧。而這個小鎮裡有三種角色：居民、酒吧老闆與鎮長，他們有各自的需求。

居民：希望每次去酒吧的時候，酒吧內的人數是剛剛好的。若是人太多，酒吧會太過擁擠，連上個廁所都不容易，或是太過吵雜影響到當天的心情，無法玩的盡興；相反地，太少，就會覺得酒吧不夠熱鬧，或是對於這間酒吧提出質疑，怎麼都沒有人來玩，是不是出了什麼問題，心裡毛毛的。

酒吧老闆：希望能夠替每一個來玩的人提供良好的服務，所以人數最好是它可以負荷的，不需要人多到高朋滿座，但是不要讓客人覺得有服務不周的地方。另外也希望每一周來的人數都是穩定的，有時候多有時候少他會沒有辦法決定每天要準備多少的量提供給客人。若是今天準備了 40 人份結果來了 80 個人那就會有一半的人無法使用餐點；隔天，準備了 80 人份才來 40 個人，多出來的餐點就變成是浪費成本。

鎮長：希望人民盡量去酒吧玩，不要每個週末都窩在家裡，使得整個小鎮的經濟可以互相流通；也希望每間酒吧的生意都很好，讓整個小鎮繁榮，不要只是少數的幾間酒吧很受歡迎，但是有些酒吧瀕臨倒閉的危機。萬一小鎮中有酒吧倒閉或是有酒吧無法負荷過多的顧客，對於整個小鎮的經濟平衡都是一個衝擊。

我們希望在這個小鎮中，每個人的需求都被滿足，但是這三種人的需求有幾個矛盾的地方：

1. 居民們可以選擇去或不去酒吧，在乎的只有去酒吧的時候最好人數剛剛好就好。但是鎮長希望大家盡量去酒吧消費，鎮長要透過什麼方法來達到他的需求。

2. 酒吧老闆只在乎自己的酒吧每週人數是否穩定，人數是否夠多到維持收支平衡。但鎮長希望所有的酒吧生意都很好，使得整個小鎮的經濟繁榮。

既然這三者間有所衝突，什麼時候才能達到這三者間的最大利益，讓這三者的需求都盡可能的被滿足，就是我們的研究問題。大部分居民到酒吧時，酒吧人數都是最合適的、每間酒吧的每週消費人數最好都是穩定的，並且每間酒吧的消費人數都很平均、生意都不錯。

而這個酒吧小鎮就符合我們先前所說的五項特點，如表 1：

個體擁有主控權	只有個體自己能決定是否去酒吧。
週期性	每個星期都必須做決策。
多種選擇	小鎮上有許多間的酒吧，提供居民選擇
有限資源	每間酒吧的空間和座位都是固定的。
個體共享	整個小鎮中的居民都只有這些酒吧、這些座位可以使用。

表 1. 酒吧小鎮問題符合的五項特點

另外，前一節舉出的三個問題與酒吧小鎮也有相互的對應關係(如表 2)。喝飲料的顧客、網站的使用者、到遊樂園的遊客，這些具有主動權的個體就比喻成小鎮中的居民，對於自己的選擇項目會有人數上的需求；而同業、上站時間、遊樂器材是這些分別是個體選擇的項目就比喻成酒吧老闆，皆希望能夠穩定的被個體所選擇，但是人數不要多到無法負荷的程度；最後，這三個人就像是鎮長的角色，希望在滿足個體以及每個選擇項目需求的基礎下達到自己目的。

澳門政府	林小姐	王老闆	鎮長
賭場老闆	分店店長	遊樂園	酒吧老闆
賭客	喝飲料的顧客	遊客	居民

表 2. 各問題與酒吧小鎮的對應關係

所以這些問題，澳門政府希望能夠知道開新賭場的最佳時機、林小姐能夠之到此時是否需要關閉一間分店、王老闆想知道增加遊樂設施是否可以增加收

益，我們都可以適度的傳換成酒吧小鎮裡的鎮長的需求，再我們設法解決酒吧小鎮問題後，只需要調變一些參數就可以輕易的給予類似問題合適的解答（如圖 1）。

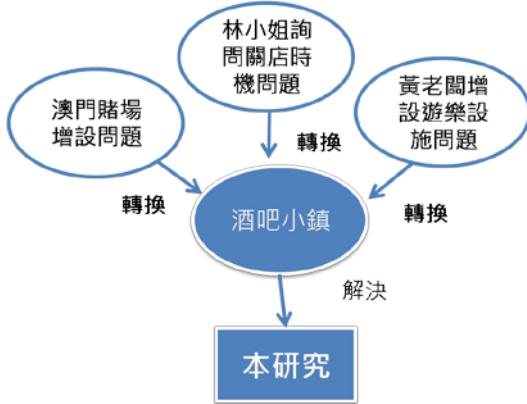


圖 1. 解決問題流程

我們該如何達到三者的最大利益，那我們就必須找出這個問題中的關鍵。關鍵就在於，只有居民擁有主動權。每個居民都有權利決定要不要去酒吧、要去哪一個酒吧，居民們每週決定去或不去的這個行為促使整個小鎮的活動，酒吧老闆和鎮長又沒有辦法強制規定這樣的行為，所以才讓這個問題變得複雜。

現在我們聚焦在這些居民身上。第一個問題就是，居民利用什麼方法來決定是否要去酒吧。其實每個人都有自己的一套策略，並且會利用現在已有的資訊，決定要用哪個策略，再利用這個策略來決定是否要去酒吧(如圖 2)。所以我們必須要去研究個體如何使用這些策略，藉由觀察每條策略的動態，來研究如何達到整體的最大的利益，達成多贏的局面。

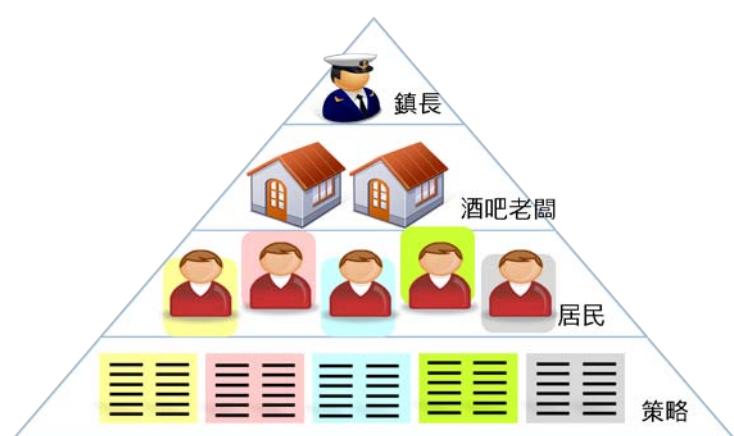


圖 2. 酒吧小鎮階層圖

### 1.3 研究目標

在酒吧小鎮的階層關係中，我們已經知道解決問題必須要從個體的策略著手，那個體會運用什麼樣的策略就是我們所關注的。Arthur[1]提出個體會利用過去的經驗來進行預測，再由這些預測的人數決定下一週是否要去酒吧。

我們利用一套系統來模擬小鎮中居民們的活動。系統中有若干間酒吧，和許多居民，居民們可以運用過去經驗的策略來預測下一週每間酒吧的人數，如果有酒吧預測出來的人數是在他所能接受的範圍內，他就選擇其中最佳的酒吧去；若是所有的酒吧預測出來的結果都超出這個範圍，本週他就不去酒吧。

個體策略所需的過去經驗，在 Arthur[1]的模型中就是前幾周酒吧的出席率，每個居民皆獲知過去幾周酒吧內的詳細人數，並以此來預測。然而現實生活中，我們不容易取得每一間酒吧的詳細人數。除非真的去過酒吧消費，不然我們只能透過周遭的朋友，分享去過的酒吧狀況。由於個體會透過周遭的朋友得到資訊，所以我們必須將社會網路引進我們的系統，使個體在透過社會網路互相傳播資訊，並且裡用這些區域資訊進行預測。無論是隨機網路、正規網路、小世界網路[6]還是無尺度網路[7, 8]，因為我們可能在任何社會網路中發生酒吧小鎮的問題。

系統執行完成後，我們定義三種值來測量這各階層的需求是否被滿足：

1. 每週成功的個體數：每週有多少個體成功。此值越高，表有越多的個體滿意這次的選擇。當個體到了酒吧後發現，人數是他覺得合適的，那麼就稱個體這一次執行成功；相反，那就是失敗。另外，選擇不去酒吧的個體，若從朋友的口中得知，本週酒吧人數是合適的，那就當作這次失敗，因為去是比較好的選擇；相反，若沒有被告知有酒吧的人數是合適的，就算成功。表 3 簡單說明個體執行成功的定義。

	成功	失敗
去酒吧	酒吧中的人數是合適的	酒吧中的人數是不合適的
不去酒吧	沒有被告知有酒吧人數是合適的	得知酒吧中人數是合適的

表 3. 執行成功定義

2. 單一酒吧出席率之標準差：此值越低越好，代表每週差異不大。每週系統會紀錄每間酒吧有多少人，並且在執行結束時，計算各間酒吧的標準差。
3. 各間酒吧之出席率：鎮長希望每一間酒吧都生意很好，所以每一間酒吧的人數都必需要高，才會滿足鎮長的需求。

這三個值是漸進式的，酒吧老闆的需求滿足前必須先確定個體需求已經被滿足；相同的，鎮長的需求也先建立在居民與酒吧老闆上，當此二者的需求以被滿足，我們才討論鎮長的需求是否有備滿足。之後，我們就可以在此系統上執行各種的政策，並且測試是否可以盡可能的達到各階層的需求。

不過，在執行政策之前，必須知道有哪些政策可以使用，所以我們先觀察個體在自由選擇下，會達到多大的共同利益，並且在什麼時後會發生。每一次執行系統都會記住每一個策略每週被使用的狀況，被多少人使用、被使用了多久、哪些人使用這個策略，當執行完成之後我們尋找最大共同利益發生的時間，並且檢查此時各個策略被使用的狀態，此時個體使用的策略是怎樣的組合、這些策略的相互關係為何、是否每一次產生較大共同利益時都是相似的策略組合。

得到發生最大共同利益時的策略資訊後，我們進一步的探討，這些策略是怎麼被開始使用的。這些策略在整個執行過程式如何的變化，這些策略是否一開始就被個體所發現，亦或是突然被個體所發現，產生了一次美好的巧合。這些策略的存活時間多長，產生了最大共同利益之後就消失，還是依舊被某些個體使用。

總結以上，條列研究目標與流程：

1. 首先，我們要完成一個可以模擬酒吧小鎮中個體行為的系統，並且制定評量各階層利益的標準。
2. 利用評量標準來找出在執行過程中，何時達到最大共同利益。
3. 觀察發生最大共同利益時，個體的策略如何被使用。
4. 最終我們將提出，策略與共同利益之間的關係，提供解決類似問題時的可以使用的政策。

## 第2章、文獻探討

### 2.1 個體策略

在上述的介紹中，我們提到這種多人共享有限資源模型的系統中，只有個體擁有主控權，最終影響結果的因素只有個體每次所做的各種決定，並且這些決定是依據個體每次使用的策略而來。首先，我們就必須要瞭解個體會使用什麼樣的策略，才能模擬出個體在什麼狀況下會做什麼樣的決定，最終才能來探討這些策略如何對結果造成影響。

#### 2.1.1 各種可能策略

LeBaron[9]從一堆多人共享有限資源模型中，歸納出幾種較典型例子，我們從中整理了幾種個體可能使用策略。

1. 隨機策略[10]：個體的選擇沒有什麼理由，每一次的選擇間也沒有關係。
2. 利用過去的經驗[2, 11]：個體會因為過去幾次的選擇而決定這次要做什麼樣的決定。
3. 尋找有用的資訊[12]：個體必須付出一些代價來收集對這次決策非常有用的資訊，可是個體尋求的資訊好壞取決於付出代價的多寡。

但哪一個是現實生活中的個體較常去使用的策略，又怎麼使用。在此，我們借助行銷學中，個體在購買商品時的決策程序，來觀察發生在現實生活中的決策行為是如何運作。行銷學中有許多種消費者的決策模型。其中以 EBM 模型定義出的消費者決策過程較廣泛的被應用，以下我們詳細的介紹 EBM 模型[13, 14]。

#### 2.1.2 EBM 模型

EBM 模型針對消費者的決策過程分成七個連續的階段（如圖），一切由「需求」這個刺激開始。當消費者確認並且瞭解自己真正的需求後，就去會蒐集相關的資訊，這其中又分成內部搜尋與外部搜尋，內部搜尋是指過去購買的相關經驗和自己的標準；外部搜尋就是透過朋友、家人、報章雜誌或是和商家得來的訊息。接著個體利用收集來的資料對於各商品進行比較與評估，並且透過這些評估尋找

最佳的方案作為最後的抉擇，並且進行購買行為。消費者在使用過後，會給予這樣商品一個回饋，滿意或是不滿意，提供以後的選擇一個依據。最終，當該項商品使用完畢，消費者還必須決定要如何處理這個商品，拿去回收、拍賣還是有其他的使用價值。

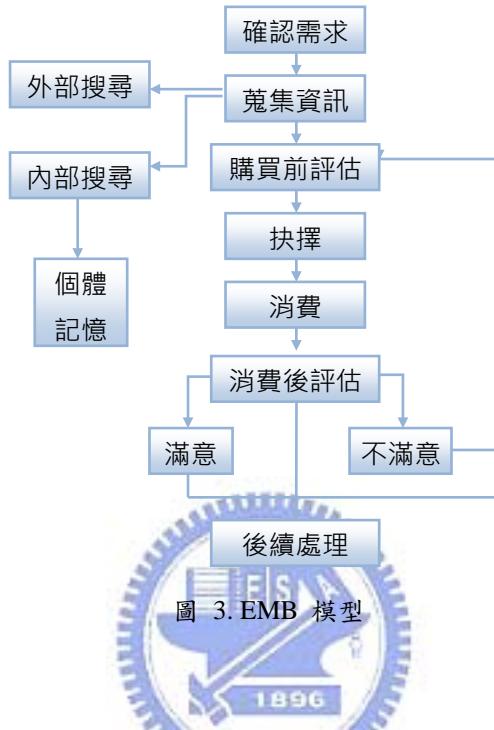


圖 3. EMB 模型

### 2.1.3小結

從這個模型中我們可以看出，個體是透過過去的經驗以及由周遭朋友蒐集資訊的這種策略來評估要選擇什麼樣的商品。與 2.1.1 節中介紹的第二和第三種策略似乎是符合的。不過，在 EMB 模型中並沒有說明蒐集得來的資訊好壞會絕對影響到最後選擇的結果，所以將第三種策略作簡化，個體蒐集來的資訊只給個體作為參考，不能保證一定可以收到好的效果。於是，我們結合此二種策略：個體利用過去的經驗以及和周遭朋友蒐集資訊來進行決策。而這種新的策略就當成本研究中個體決策的依據。

在 LeBaron[9]介紹的幾個模型中，使用第二種策略的就是 Arthur[2, 11]的酒吧模型，此酒吧模型也是大部分探討在有限資源下，進行個體互相分享資源的集體行為研究的基礎。所以在下一節，我們將介紹酒吧模型中，個體是如何運用過去經驗來進行決策，並且探討 Arthur 使用的酒吧模型最後得到什麼樣的結果。

## 2.2 酒吧模型

在酒吧模型[1]中，有 100 個個體與一間擁有 100 個座位的酒吧，每個星期個體要各自決定本週是否要去酒吧。酒吧內的座位是固定不會變動的，對於個體來說酒吧內最適合  $L$  個人去，在此設定  $L$  為 60。如果人數超過 60 人個體就會覺得不舒服。沒有任何的辦法知道本週的人數會有多少，所以個體只能各自猜測。

個體依據過去幾周酒吧的人數來猜測本週的酒吧人數，例如前幾星期到酒吧的人數是 60、48、59、61、70、45、80、40、35，那個體策略可能就有下列幾種：

1. 和兩個星期前人數一樣，那這樣看來就是 40 個人。
2. 前四星期的平均，那就猜這個星期大概會有 50 個人去酒吧。
3. 是上一個月的平均，那就是 (48、59、61、70) 的平均，59 人。
4. 上個星期的人數以 50 人做一對應，猜測的結果就是 65 人。

個體的這些策略是由整個世界中的策略池所得到，並且是固定的，個體無法對這些策略進行改變或是額外開發出新的策略。若是個體利用這些策略猜測出來的結果是低於 60 人的那就決定去酒吧；相反地，本週就不去酒吧。個體每週選擇去酒吧的行為會成為結果的一部分，最終，收集每週酒吧的出席率來觀察個體行為每週的變化。

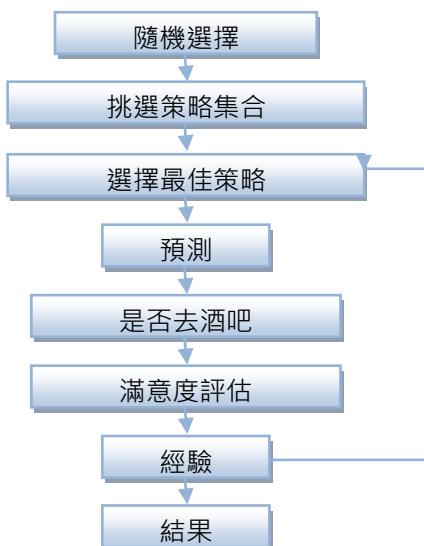


圖 4. 酒吧模型流程

上圖 4 呈現了酒吧模型的流程。一開始的幾個星期，所有的個體以隨機選擇的方式決定是否要去酒吧，以建立之後預測的基礎。接著，每個個體都從策略池中任意挑選  $K$  條策略，策略池中的策略數目永遠不會改變，個體也只能從這個策略池中挑選。個體每一次在做決策之前，會挑出目前最好的策略進行預測，並且判斷是否要去酒吧。不管個體當週是否有去酒吧，都會對於這次使用的策略進行滿意度的評估，變成個體自己的經驗。若是策略使他太過於不滿意，以後就會影響到個體是否會再使用該策略來進行預測。

個體由選擇最佳策略開始到收集經驗不斷的重複執行 100 次，最後收集這 100 次每週酒吧的人數當成結果（如圖 5）。

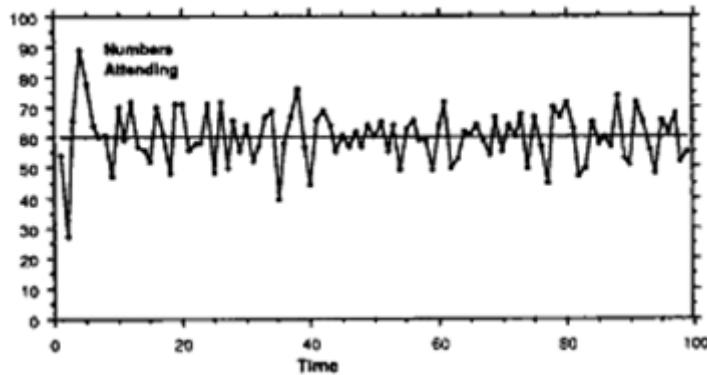


圖 5. 酒吧模型結果[1]

我們由圖 5 可以看出來，每一周的人數都呈現不斷的上下震盪，就算有幾周人數稍微穩定，但也會馬上出現大幅度的變化，這就是酒吧模型的重要貢獻。在沒有任何外力因素只有個體自己決定是否要去酒吧的情況下，為什麼會如此震盪。原因是當太多人使用相同的策略，該策略就會馬上失效，例如今天有 80 個人預測今天酒吧人不會太多，所以決定上酒吧，那這樣的結果就是 80 個人都去了酒吧，超出了酒吧的最適合人數，造成策略的失敗；相反地如果大部分的人猜今天酒吧人會很多，所以決定不上酒吧，那就是酒吧沒有什麼人。

在圖 5 方框的區間內，我們就可以發現連續幾次大家都在適合得時候去酒吧，接著就引起他人的跟隨，使用相同策略的人數增加，策略就馬上失效，

於是產生較大的波動。

Arthur 1998 年提出了酒吧模型，因為發現個體在沒有外力因素下還無法使得群體行為形成某一種穩定的狀態而引起其他學者的興趣，紛紛以此酒吧模型為出發點進行各種研究。其中也出現了一些變形，來應付不同的問題，較常被使用的有少數者為贏模型（Minority Game）以及有限資源二元個體行為模型（B.A.R Model, Binary Agent Resource），以下我們將分別介紹。

### 2.2.1 少數者為贏模型

為了發展出更單純的模型，Challet 與 Zhang[15]以酒吧模型的精神建立了少數者為贏的模型。在此模型中，有  $N$  個個體與兩個集合 A 與 B，此  $N$  必為奇數，每次每個個體都必須決定要選擇哪一個集合，而選到集合中人數相對較少的為贏家。

此模型改變了個體紀錄過去經驗的方式，將過去幾周酒吧的出席率改成集合  $\mathcal{A}$  是否是贏的那一方，若  $\mathcal{A}$  是則紀錄 1；相反地，紀錄 0。如圖 6，個體紀錄一個二元字串，並且以此預測本此哪個集合會是贏家。若個體可以記住前  $M$  次的結果，那就會有  $2^M$  種不同的記憶，產生出  $2^{2^M}$  個不同的策略，個體就由這些策略中挑出幾個來使用。

Signal	Prediction
000	1
001	0
010	0
011	1
100	1
101	0
110	1
111	0

圖 6. 少數者為贏模型的  $M=3$  時的策略[15]

我們可以將此模型解讀成酒吧模型的一個特例，集合 A 與 B 代表個體是否要去酒吧，並且將最適合比例  $L$  設定為 50%。如此若個體酒吧去時人數少於最適合比例  $L$ ，就必定是少數；相反地，若人數超出  $L$ ，那就必為多數。

少數者為贏模型雖然只是酒吧模型的一部分，但此模型比酒吧模型更為單純，

所以在進行各種實驗的時，我們可以較確定結果不會受到其他的因素影響。

### 2.2.2有限資源二元個體行為模型

Johnson 等人[4, 5]對於酒吧模型和少數者為贏模型提出了兩點與現實就不相符，需要改進的地方：

1. 這兩個模型在個體報酬的結構上限制太多。例如少數者為贏規定每一次的選擇都只會有一邊的人贏（相對少數者），但現實生活中，絕對少數並不是我們唯一的希望。
2. 個體只能取得全域資訊。在現實生活中，大部分的社會結構每個個體間都是有所關聯的，我們除了全域資訊之外也會和其他個體彼此交流得到區域的資訊。

Johnson 等人為了改善以上兩點，便以 Arthur 的酒吧模型為基礎，建立了有限資源二元個體行為模型（以下簡稱 B.A.R 模型）。在此模型中，有  $N$  個個體和一間酒吧，此酒吧最適合的人數是  $L$ ，個體每週都必須利用策略來決定是否要去酒吧，而此結果也會給予個體一個回饋，提供個體下次挑選時的依據。有鑑於過去的模型對於個體有太多的限制，此模型增加個體較多的異質性，不去限制個體什麼結果才是好的，讓個體能有自己的思維。

在初始值方面，B.A.R 模型也有有趣的設定，他覺得每個策略的出發點可以不一樣，每個策略可以一開始就賦予不同的分數，觀察這些不同分數的策略最後會怎麼被個體使用；或是執行不一定要以個體隨機決定是否要去酒吧為起始，我們可以刻意設定個體的最初記憶，觀察不同的記憶是否會對結果造成影響。

另外，個體不是每一周都需要做決策的，如果本週覺得每個策略都成功率都不高，那個體可以選擇不要做任何決策；另外每週酒吧人數的最適合值  $L$  並非固定，他設定在時間  $t$  時，酒吧最適合人數是  $L[t]$ 。

B.A.R 模型紀錄過去經驗的方式和少數者為贏模型相似，如下圖 7 的左下角所示，個體記憶一個二元字串，其中 0 代表當週去酒吧的人數小於最適合人數

$(N_{go}[t] < L[t])$ ; 1 代表當週去酒吧人數超出了此門檻值  $(N_{go}[t] > L[t])$ 。

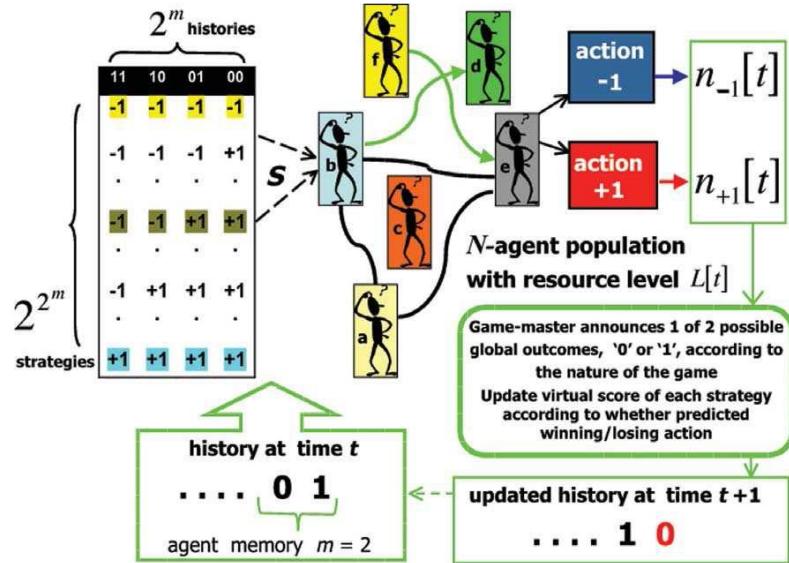


圖 7. 有限資源二元個體行為模型的個體行為流程[4]

個體如圖 7 的左上角所示，一樣以過去幾周的歷史紀錄來判斷本週是否要去酒吧，但個體選擇最佳策略的方法可以是有所不同的。B.A.R 模型沒有規定個體每次都要選擇當下最佳的策略來進行預測，可以是當下最差的策略，或是被使用最少次的策略...等，增加個體間的異質性。

最後改善在酒吧模型中個體只能存取全域的資訊不足，保留酒吧模型中以每週的出席率和酒吧最適合的人數為個體的全域資訊，但是個體彼此再也不是沒有任何的關聯，個體間可以有一些的連接，可以是鬆散的，或是緊密的，也無論是恆定的還是短暫的。個體彼此以最高分的策略進行交流，觀察他人的策略後調適自己的策略，以此增加個體區域性資訊的流通。

### 2.2.3小結

酒吧模型和少數者為贏模型在進行有限資源下，個體互相分享資源的模擬時，為了探討的方便，以最簡單的假設來進行，但似乎有點不符合我們的現實；B.A.R 模型則較現實貼近，並且增加了社會網路，使得個體可以得到區域間的交流，但為了使得個體有較高的異質性，使得模型太過於複雜，影響個體決策的因素增加，造成我們判斷策略如何影響群體行為的困難。

另外，在這三個模型中還有一些對於個體的行為上設定的不合理處：

1. 全域資訊：在現實生活中，我們不容易取得這樣子的詳細資訊。除非曾經去過，不然我們只能從周遭的朋友口中得到過去幾周酒吧內的人數狀況，所以酒吧出席率不應為全域資訊，成為一個區域資訊比較合理。
2. 精確資訊：另外，每個人到了酒吧後，很少會詳細的計算這間酒吧的人數，通常是猜測一個大概的人數。
3. 敏感個體：對於這些模型來說，酒吧中的最適合人數  $L$  是非常嚴厲的。若去人數超過  $L$  個體就會覺得是失敗，即使只超出了一點，例如設定  $L$  為 60，當酒吧人數為 61 時，個體就會感到不滿意。實際上，我們是無法感覺到這一種些微的差異，所以我們應該給予個體一個模糊區間，當人數超出這個區間個體才會感覺到不舒服。

我們將融合這些模型的優點，並且加入上述的區域概略資訊與新的判斷方式，以簡單但較符合現實的方式來進行模擬。雖然個體的異質性較低，但影響個體決策的因素較為單純，研究的結果較不受影響。

	酒吧模型	少數者為贏模型	B.A.R 模型	本研究
優點	<b>模型簡單</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>容易判斷影響個體決策的因素</li> </ul>	<b>最簡單的模型</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>容易判斷影響個體決策的因素</li> </ul>	<b>符合現實之處</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>個體可以存取區域資訊</li> <li>存在多贏</li> </ul> <p><b>個體異質性高</b></p>	<b>模型簡單</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>容易判斷影響個體決策的因素</li> </ul> <p><b>符合現實之處</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>個體可以存取區域資訊</li> <li>存在多贏</li> </ul> <p><b>個體行為</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>進行資訊傳播</li> <li>個體模糊資訊</li> <li>不敏感的個體</li> </ul>
缺點	<b>較不符合現實</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>個體只能存取全域資訊</li> </ul> <p><b>個體行為</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>沒有資訊傳播</li> <li>個體精確資訊</li> <li>過於敏感的個體</li> </ul> <p><b>個體異質性低</b></p>	<b>較不符合現實</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>個體只能存取全域資訊</li> <li>每次過程只存在單贏</li> </ul> <p><b>個體行為</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>沒有資訊傳播</li> <li>個體精確資訊</li> <li>過於敏感的個體</li> </ul> <p><b>個體異質性低</b></p>	<b>模型太複雜</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>個體決策的因素過多，容易影響判斷</li> </ul> <p><b>個體行為</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>沒有資訊傳播</li> <li>個體精確資訊</li> <li>過於敏感的個體</li> </ul>	<b>個體異質性低</b>

表 4. 各模型之優缺點

## 2.3 社會網路

許多重要的問題我們都可以用網路的形式呈現出來，我們的社會結構也是，在現實生活中個體彼此間通常會有一些關聯，例如彼此互為朋友、彼此共事、互為鄰居、互相傳染疾病。而把每個體當成一個節點，將有關係的個體以線連接，用來表達個體間關係的圖，我們就稱為是一個社會網路，可能是朋友關係網路、疾病傳播的網路...等，而較常見到的社會網路類型有：隨機網路模型、正規網路模型、小世界網路模型與無尺度網路模型。

在介紹各種社會網路之前，我們先瞭解形容社會網路結構的三個指標：

1. 連結度 (Degree)：代表個體連向其他多少個個體。 $D(V_i) = 3$ ，表示節點*i*與其他三個個體互相有關連。
2. 群聚度 (Clustering Coefficient)：在整個網路中，個體其鄰居彼此間互相連接的機率。在朋友網路中的意思就是，假設我有兩個朋友一個是Andy，一個是Bill，則Andy和Bill彼此也是朋友的機率有多少。一個網路 $G$ 的群聚度 $C(G)$ 是所有節點群聚度的平均。一個節點 $V_i$ 其群聚度 $C(V_i)$ 我們定義

$$C(V_i) = \frac{2 \times \mathcal{E}_i}{\mathcal{K}_i \times (\mathcal{K}_i - 1)}$$

$\mathcal{E}_i$ 為節點*i*其鄰居彼此相連的邊數， $\mathcal{K}_i$ 則是節點*i*的連結度。節點 $V_i$ 與其他 $\mathcal{K}_i$ 個節點相連接，而這 $\mathcal{K}_i$ 個節點彼此間可能出現的最多連接數量有 $\mathcal{K}_i \times (\mathcal{K}_i - 1)/2$ 這麼多，所以節點 $V_i$ 的群聚度就是目前這 $\mathcal{K}_i$ 個節點真正的連接邊數除以可能的最多邊數。

3. 分隔度：一個節點的分隔度是去計算此節點與網路上其他節點的最短路徑長度平均，也就與其他節點平均最少需要多少次的連接才會有所交集。而整個網路的分隔度就是將所有節點分隔度的平均，算出任意兩點的組合，平均最少只要連接幾次就可以產生交集。

### 2.3.1 正規網路模型

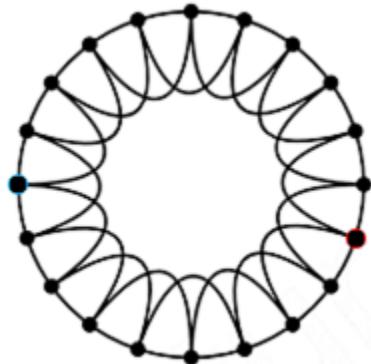


圖 8. 正規網路模型[6]

正規網路規定每個個體都只能和周遭的  $K$  個朋友連接，所以每個個體的連結度都是  $K$ 。圖 8 就是一個  $K = 4$  的正規網路模型，我們觀察圖 8 可以看到，個體間的區域性與連接度有很大的關聯，是一個群聚度相當高的網路；但我們也可以發現互為對角的兩個節點有相當長的最短路徑長度，也就使得正規網路的分隔度相當高。而這是因為正規網路中沒有長距離的連接，就像比較偏遠的地區或早期的農村，人們與同村的人會互動非常頻繁，同一村莊內幾乎每個人都互相認識，但是跨越了村之後互有關係的人就非常的少，尤其是和距離較遠的村莊幾乎沒有交集。

### 2.3.2 隨機網路模型

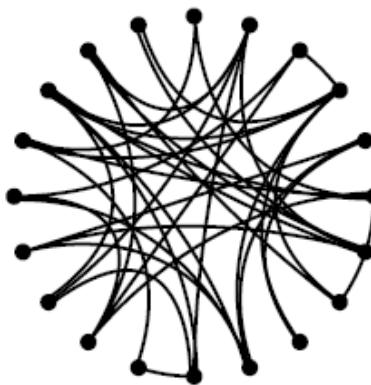


圖 9. 隨機網路模型[6]

和正規網路模型相反，隨機網路不規定個體必須和誰連接，個體以隨機選擇的方式互相連結，如圖 9。如此一來距離較遠的個體就有機會可以互相連接，個

體間的最短路徑長度減少，這也是隨機網路比正規網路分隔度來的低的原因；但相對的，個體間的連結度與區域間關係變得薄弱，個體增加了和遠距離節點的連接，但卻少了與臨近個體的連結，使得群聚度變低。在早期的研究中，以為每個人的交友狀態就像是隨機的，任兩個體彼此接可能互相認識，以隨機網路模型就可以表達現實生活網路結構。

但根據 Rapoport 和 Milgram 的研究，真實的社會網路是具高群聚度與低分隔度特性這兩種特性的。Rapoport 提出三角閉合的觀念，假設有三個人 Alex、Bob 與 Candy，若 Bob 與 Candy 都是 Alex 的朋友，那 Bob 與 Candy 彼此也是朋友的機率就非常的大，如此，三個人就形成了一個關係緊密的群體[16, 17]，並且稱為這種連結為個體間的強連結[18]，這也可以看出現實社會應該具有高群聚度特性的；另外，Milgram[19]在 1967 年設計了一個傳信的實驗，並且計算出，在真實世界中的分隔度只有 6 這麼小，隨便兩個人，平均只要連接 6 次就可以產生交集，證明我們所處的世界，遠比我們想像的還要小，而這是因為現實世界中的個體間存在一種使得個體輕易的和遠距離的個體連接的弱連結，就像是我們除了會與周遭的朋友互動，也可能會與遠房的親戚、曾經一起參加營隊的外國朋友保持聯絡，使得現實社會中同時也擁有低分隔度的特性。

所以，由表 5 可以發現，隨機網路與較制式化的正規網路，雖然建構起來容易，但都不符合真實世界中網路的特性，用來進行實際狀況的模擬就會顯得有些失真。

	真實世界	隨機網路	小世界網路	隨機網路
群聚度	高	低	高	高
分隔度	低	低	低	高

表 5. 各網路的特性（群聚度、分隔度）

### 2.3.3 小世界網路模型

1998 年 Watts 與 Strogatz[6]結合正規網路與隨機網路的優點，在正規網路上加上了一些隨機的捷徑，產生了新的一種同時具有高群聚度與低分隔度特性的社

會網路模型，稱之為小世界網路模型，結構如圖 10。

由一個正規網路開始，對於此網路上的每一個邊進行檢查，檢查此邊是否可以通過一機率 $P$ ，若是可以就將此邊拿掉，並且讓此邊上的其中一節點再另外隨機選擇的個體連接；若不能通過就維持原來的連結。顯而易見地，當 $P = 0$ ，所有的邊都沒有變動，個體接維持著原來的連結，也就是初始的正規網路；但若 $P = 1$ ，就會使原先的邊都被拿掉，個體再另外隨機選擇，變成了一隨機網路。

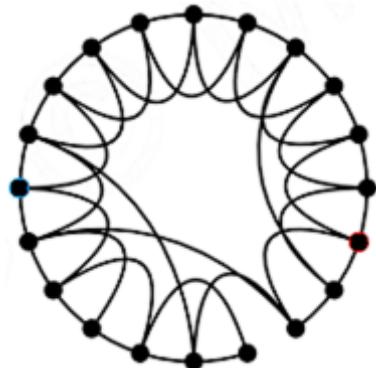


圖 10. 小世界網路模型[6]

若是我們根據不同的 $P$ 值來計算群聚度與分隔度，就可以繪製出如圖 11 的圖表。觀察圖 11，我們可以看出當 $P = 0$ 時的正規網路群聚度與分隔度都相當的高；而 $P = 1$ 時的隨機網路其群聚度與分隔度則是相當的低；但除此之外，在 $0 < P < 1$ 時，有很大一個區間網路會同時具有高群聚度與低分隔度的現象，此時，這個新的社會網路就會與我們的現實世界較為符合。

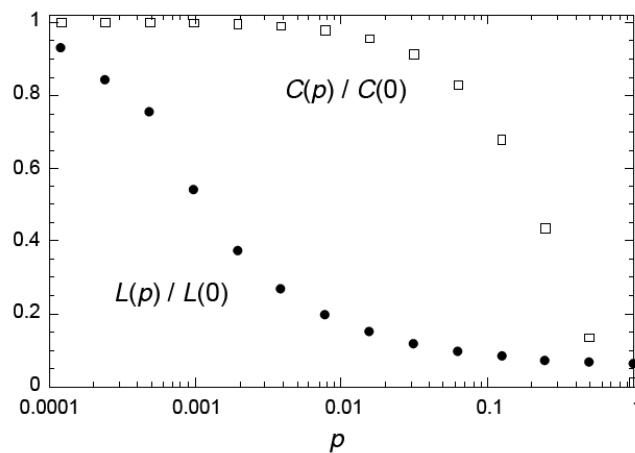


圖 11. 群聚度與分隔度的動態變化

在正規網路模型中，我們可以確定每個個體連接度都是相等；但是，在小世

界網路中，每個個體的連接度可能不是我們一開始設定的值，因為每一個節點都具有重新隨機選擇的機會，所以個體的連接度有些可能會減少、有些會增加。而根據觀察，小世界網路中節點的連接度可能會出現兩種分佈型態：常態分佈或是冪次分佈。若是常態分佈就代表每個個體的連接度是差不多的，被均勻的分配；而冪次分佈則是有少部份個體具有非常大的連接度，但大部分的個體其連結度較小，就像是現實生活中，大部分人的朋友數都是差不多的，但是有少數的人因為工作或是個性的關係會認識非常多的朋友。

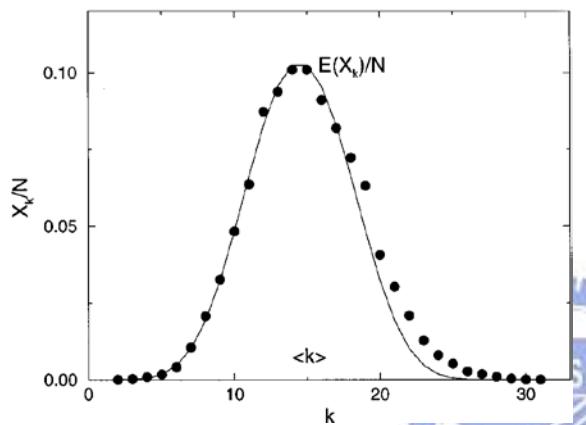


圖 12. 節點數分佈：常態分佈

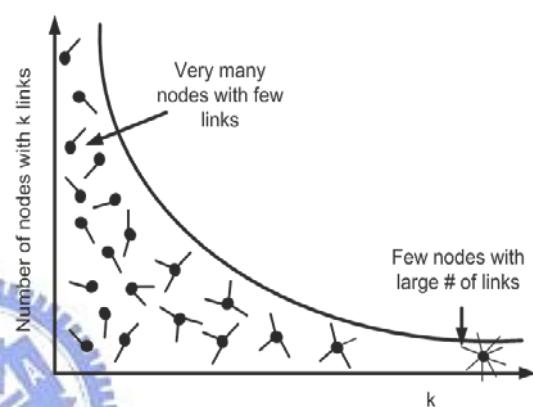


圖 13. 節點數分佈：冪次分佈

### 2.3.4 無尺度網路模型

1998 年 Barabási 與 Albert 提出了一種新的網路模型。此網路在建構時，每加入一個新節點前，會先去檢查原先網路中各節點的連結度，連結度越高的節點就越有機會和此新節點相連。隨著節點的增加，原本均勻分佈的網路就會開始出現某些節點很常被選擇，而這種狀況會越來越嚴重，因為他們會具有更高的機率被選擇，而其他連結度較低的節點被選擇的機率相對的就低。最終，而這種連結度高節點具有優先連接率的特點會使得此網路建構完成後產生一些連結度高到不成比例的節點。

若我們畫出此網路模型的連結度分佈圖還可以發現，只有少部份的節點擁有非常高的連結度，但大多數的節點其連結度是較低的，如同圖 13，我們就稱這種網路模型為無尺度網路模型。下圖 14 是無尺度網路建造的過程，可以看到當建造到第 11 個節點的時候，就出現有節點其連結度已經相對的高。

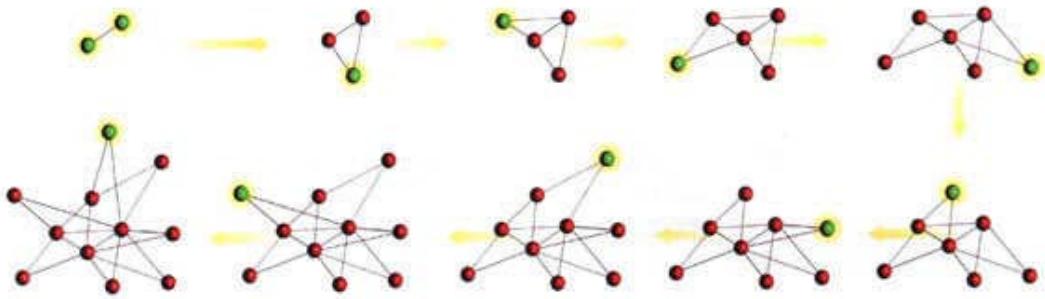


圖 14. 無尺度網路由 2 個節點到 11 個節點的建造過程

而在真實的社會中，屬於無尺度網路的社會結構也有許多（如表）。事實上，只要不去限制節點的發展，任何一個真實的網路結構，最終都會具有無尺度的特性。

網路名稱	節點	連接關聯
細胞的代謝	參與消化食物以產生能量的分子	參與相同生化反應
好萊塢網路	演員	曾經共演一部電影
網際網路 (Internet)	路由器	光纖或其他實體連接
蛋白質調控網路	協助管理細胞活動的蛋白質	曾經相互影響
共同研究網路	科學家	論文的共同作者
性關係網路	人	具有性接觸
全球資訊網 (WWW)	網頁	連接位址

表 6. 無尺度網路的例子[8]

### 2.3.5 小結

在本研究中我們為了改善過去模型的缺失，設定個體只能透過社會網路來取得相關的資訊，而個體的連結度會影響到個體取得資訊的完整度。交友廣泛的人，他可以從多方得到他所需要的資訊，並且也可以把這個資訊廣泛的傳播出去；相反地，一個生活較封閉，朋友數少又沒有認識這種交友廣泛的朋友的話，就很難取得相關的資訊。若是一個社會中存在這兩種個體，或是整個社會上只有一種人，所有人取得資訊的能力都相同，如同正規網路，此兩社會所造成的群體結果是否會有所不同。

雖然現實生活中的社會網路大多都存在有無尺度網路的特性，但本研究的問題也可能在任何一種社會網路中發生，所以我們將嘗試任何一種社會網路模型，並且探討不同的模型對本研究造成什麼樣的影響。

## 2.4 相關研究

過去已經出現了許多利用酒吧模型，或是使用少數者為贏模型、B.A.R 模型，探討多個體互相分享有限資源的研究，而以下我們就研究探討的層級不同分別介紹，層級的定義就如同我們第一章曾經介紹的，分成策略、居民、酒吧老闆、鎮長四個部份。

### 2.4.1 策略

Kalinowski 等人[20]，對於每個居民可以擁有的策略數感到好奇。若是個體擁有的策略很少，會不會使得他每次去酒吧的時機都是錯的，因為他的策略可能不夠應付各種狀況；另外，個體擁有越多的策略，成功率是否就會越高，會不會反而不能確定要選哪一個策略好，因為每個策略被使用的次數都不夠多。他設定剛開始每個人都可以擁有 4 個策略，但個體的策略數目會進行演化，而演化到最後如圖 15，發現大部分的個體只使用 2 或 3 個策略而已。

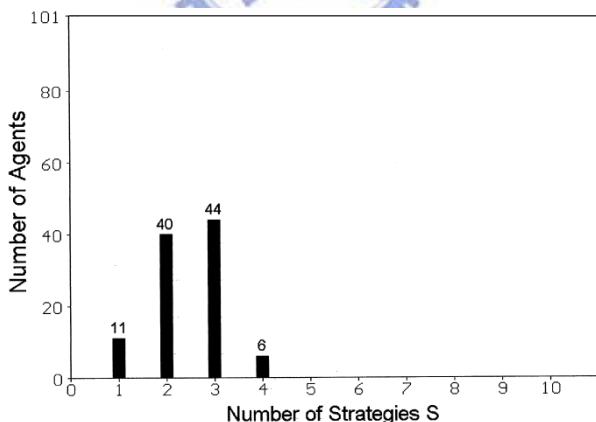


圖 15. 個體擁有的策略數分佈[20]

Kirley[21]研究個體比較喜歡什麼樣的策略，在他的模型中每個人都可以汰換掉分數過低的策略，最後發現個體會傾向於使用較極端的策略，而比較保守的策略使用的人數就較少，無論是否建構在社會網路上，或是使用不同的社會網路都呈現這相同的結果，只差在使用極端策略的人數多寡，其中正規網路上使用極端策略的人數最多，如圖 16。然而這與 Hod 和 Nakar[3]研究的結果卻剛好相反

(圖 17)，模型執行到最後沒有人使用最極端的策略，而除此以外的策略平均的被個體所使用，在策略演化的過程中，極端策略的存活時間也是最短，其他策略的生存時間則非常平均。顯示出若個體使用極端的策略可能會導致失敗，結果這些極端策略就會被淘汰掉，演化到最後再也沒有個體選擇極端策略。

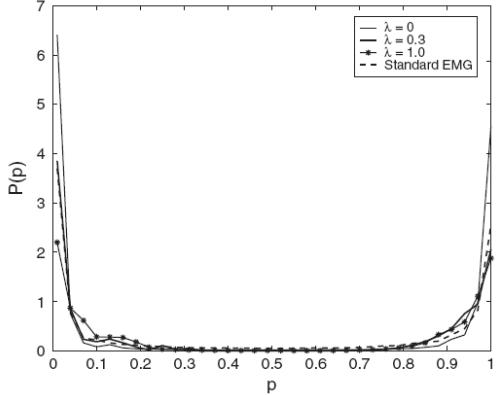


圖 16 不同種策略的分佈圖 (Kirley) [21]

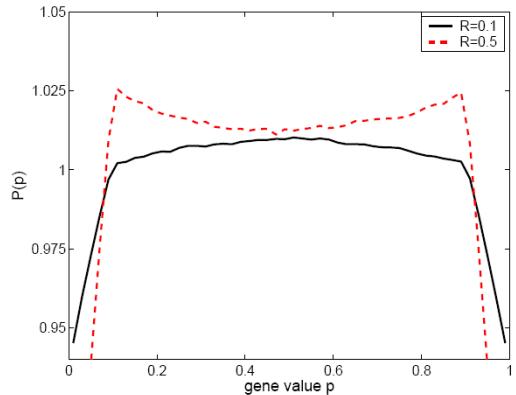


圖 17 不同種策略的分佈圖 (Hod) [3]

#### 2.4.1.1 策略 v.s 居民

Gourley[22]等人，觀察個體可以擁有的策略數目與個體成功率的關係，個體可以擁有 1 個策略到 4 個，進行 4 次實驗，結果發現擁有的策略越多，個體平均的成功率反而會減少。這與 Kalinowski 等人[20]的研究有一些不同，在 Kalinowski 等人的演化結果中，個體會傾向於使用 2、3 個策略，不過這有可能是社會網路不同造成的影響，但我們也可以確定，最好設定策略數小於 4 個。

#### 2.4.1.2 策略 v.s 酒吧老闆

Johnson 等人[5]也對於居民可以擁有的策略數感到好奇，不過他觀察的層級高了一級，他想知道策略數對於酒吧出席率的標準差有什麼影響，如圖 18，發現個體的策略在 6 個的時候標準差最小，而由策略數目不管是小於 6 或大於都會增加標準差，而且當策略數大於 6 之後，隨著數目增加標準差也會增加。這與 Kalinowski 等人[20]的結果在數字上有些差異，不過趨勢是相同的，些微的差異可能是因為他們的研究建構有受到區域資訊的影響。

另外，Johnson 等人[5]也想知道整個世界的策略數目大小如果較少，是否會使得個體找不到適合的策略來使用；越大，是否個體就找到適合的策略來使用，

而使得酒吧出席率較為穩定。結果整體的策略數目越多，的確是會使得酒吧出席率的標準差較小，酒吧的出席率也較接近酒吧的最適人數。

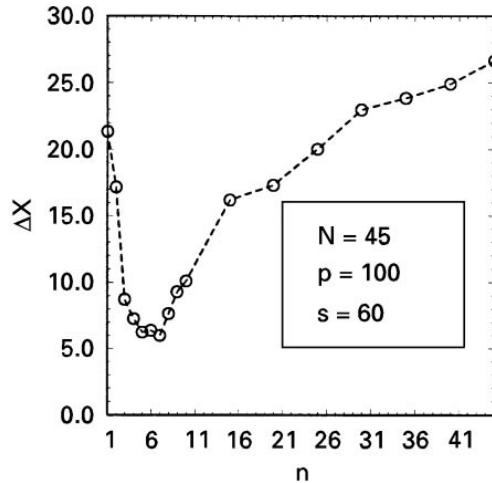


圖 18 個體數量與酒吧出席率標準差關係[5]

#### 2.4.2 居民

Gourley[22]將 B.A.R 模型建立在一個隨機網路上，在此隨機網路中每個個體有一機率  $P$  可以和他人連接，並且可以彼此分享自己最高分的策略，若是發現別人的策略比較好，那就換一個與對方相近的策略來使用。結果發現當這個互相連接的機率  $P$  越高，個體的平均成功率反而會變低，並且個體的個數越多還會使得這個平均成功率再降低，低到只剩 25%。Lo 等人[23]的研究也顯示，個體的連結度越高，平均成功率就越低。

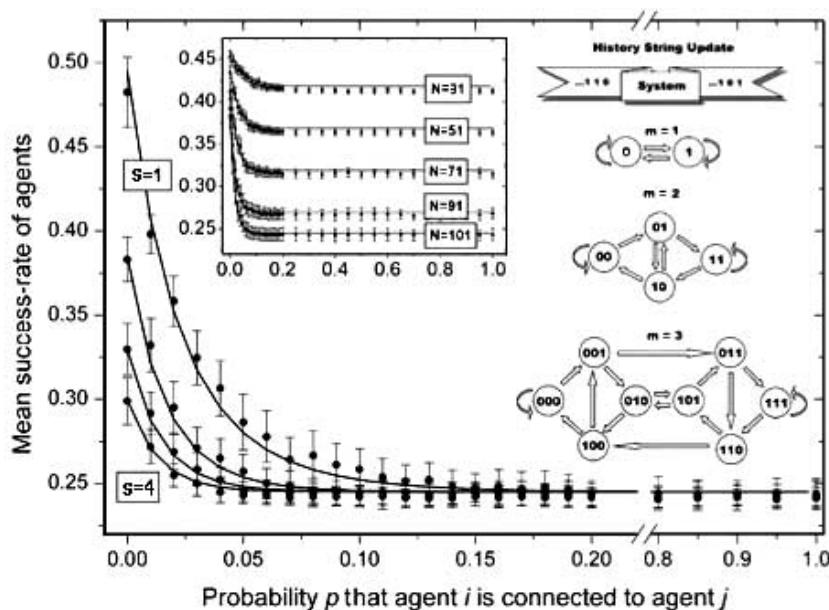


圖 19 連接率與個體成功率的關係 (Gourley) [22]

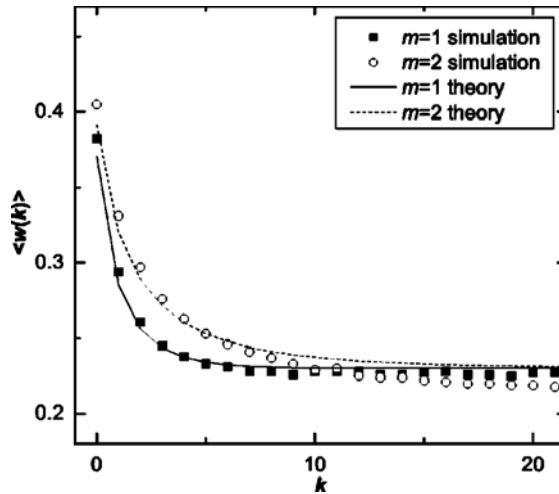


圖 20 個體連結度與成功率的關係 (Lo) [23]

#### 2.4.2.1 居民 v.s 酒吧老闆

居民的個數越多，是否就會彼此就會越難配合，使得酒吧的出席率非常震盪，如圖 21，Johnson 等人[5]發現當個體的數目小於酒吧最適合人數時，酒吧平均出席率就與個體數目相同，而酒吧出席率標準差則是 0；接著隨著個體數目增加，酒吧平均出席率只會有一些的增加，而酒吧出席率的標準差增加的趨勢和人數的平方根類似。這個結果和 Kalinowski 等人[20]的類似，人數越多標準差就越大。而 Kalinowski 等人也發現當個體連接度小於 2 的時候，與個體數成正比；當連接度大於 2，標準差就正比於個體數的平方根。

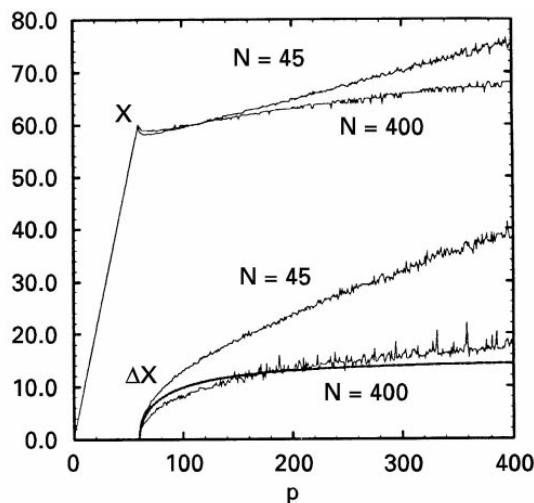


圖 21 個體總數與酒吧出席率平均、標準差的關係[5]

### 2.4.3 酒吧老闆

Kalinowski 等人[20]將少數者為贏的模型建立在自動細胞機上，使得個體除了擁有一般的全域資訊之外，還和其他個體相互交流，得到區域資訊。互相交流的方式就是，每個個體可以和周遭  $\mathcal{K}$  個朋友分享自己分數最高的策略，所以每個個體就可以擁有，包括自己總共  $\mathcal{K} + 1$  個最高分的策略，接著再從這裡選出分數最高的策略來使用，若是  $\mathcal{K}$  值越高就可以參考越多人的最高分策略，是否就可以找到最佳的策略，而結果發現個體彼此沒有連接時標準差最大，連結度等於 2 的時候，酒吧出席率的標準差最低，接近 0；但隨著連結度增加標準差也會增加，但最後標準差會收斂在 0.25。由此看來，和個體所擁有的策略數不宜太多一樣，個體的連結度也不適合太高。

Model	$\lambda$	$C$	$L$	Mean	SD
Regular	0.0	0.105	14.5	0.44	0.031
Small-world	0.3	0.054	7.7	0.20	0.035
Random	1.0	0.022	6.1	0.54	0.190
Standard EMG	-	-	-	0.61	0.040

表 7 不同社會網路其酒吧出席率標準差[21]

Kirley[21]測試不同的社會網路對於酒吧的出席率造成什麼影響，結果如表 22，隨機網路的平均值與標準差都最高，而小世界網路的平均值與標準差都是最小，但是在沒有無尺度網路的狀況下，酒吧平均出席率比較接近酒吧最適合人數。

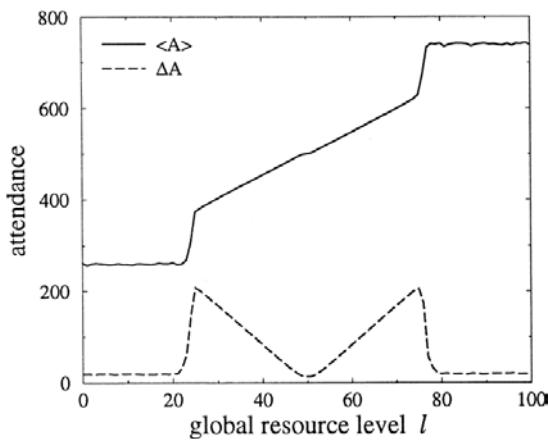


圖 22. 不同酒吧最適合人數與平均出席率、出席率標準差[24]

Johnson[24]等人做了一個有趣的研究，他們改變酒吧的最適合人數  $L$ ，觀察

這對於平均出席率和出席率標準差會造成什麼影響，結果發現由這兩個值繪製出來的圖就如同水的變相一樣，會出現一些定值，在某一個區間不管如何改變 $L$ ，結果都不會改變，如同圖 23，在 $L = 0 \sim 20$ 與 $L = 80 \sim 100$ 這兩個區間中，無論如何改變 $L$ 的大小，此二值都不變。而且酒吧出席率標準差以 $L = 50$ 準，左右互相對稱。

#### 2.4.4 小結

由前面幾個小節我們可以發現，過去已經有許多相關的研究，並且這些研究所探討的層級不僅詳細也非常的廣泛，個體數目多寡、整體的策略數應該多少、個體必須擁有多少策略、個體使用什麼樣的策略、網路連結度應該要多高，如同圖 23 所框出的部分，幾乎所有層級間相互的關係幾乎都已經被探討。

但我們今天所遇到的問題是發生在個體有許多種選擇的時候，個體要從這幾個選擇中選擇哪一個，過去的這些研究為了簡化問題而只使用單一選擇，而且我們又不確定結果可不可以直接套用到多重選擇的情況，因為多重選擇會增加了個體選擇時的複雜度，並且我們所希望得到的是一個群體多贏的結果，而上述的研究都不曾探討過。所以，我們勢必要在將我們探討的層級提升到鎮長的部份，完成圖 23，尚未被完成的部份。不過我們可以嘗試這些研究所得到的數據，在本研究中是否可以產生類似的結果。

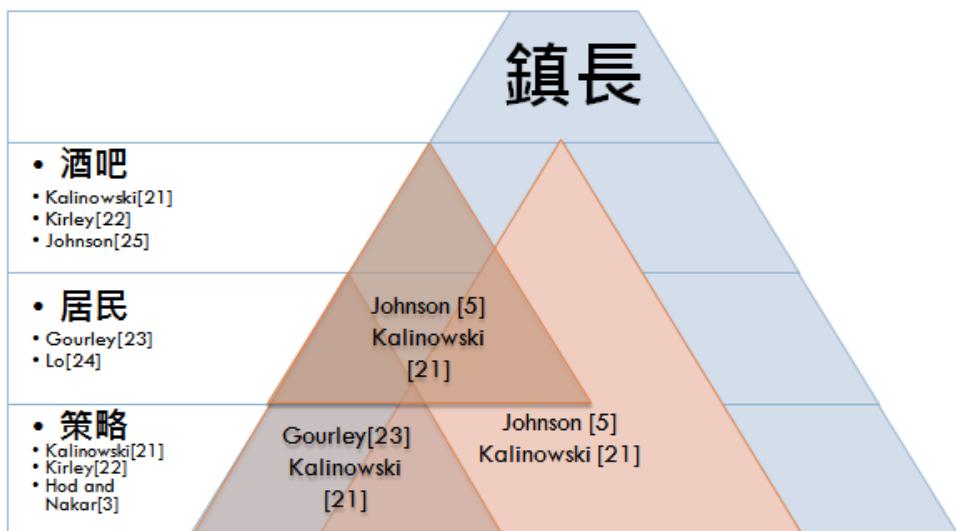


圖 23. 各相關研究所討論的層級

### 3.1 基本架構

在上一章，我們已經知道個體會透過過去的經驗來進行決策，並且提出在進行多人共享有限資源的研究上，酒吧模型是一個相當有效的模型。然而，包括酒吧模型與其兩個變形，都存在著一些我們應該要去改進的缺失，例如：與現實不符、模型太過複雜。為了解決本研究所面對的問題，我們保留這些模型的優點，並且改善缺失，以簡單但較符合現實的方式建立新的一套模型。

#### 3.1.1 環境

如圖 24，在我們的模型由三個要素組成，個體、選項、策略。 $N$  個個體必須從  $M$  個選項中進行選擇，其中  $M \ll N$ 。對於所有個體來說，每個選項都是相同的，沒有任何偏袒，但這些選項都有固定的配額，個體必須共同分享這些有限的資源。為了使模擬結果更貼近真實，個體將被建立在社會網路之下，進行區域性的資訊傳播，而個體所屬的社會網路，可以是正規網路、隨機網路、小世界網路或無尺度網路。另外，環境中有一個策略池，裝有  $S$  個策略，在模型建立時就被建立，所有的個體都只能從這個策略池中選擇一些來使用，無法自行發展或是改變這些策略，更不能將策略池中的策略刪除。

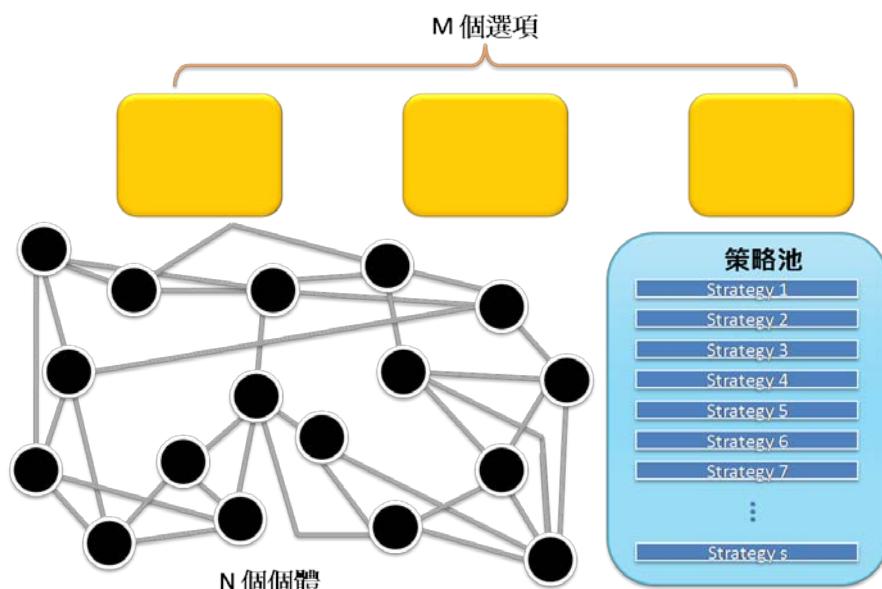


圖 24 本模型的環境架構

在執行過程中，個體不斷的在此 $M$ 個選項中進行選擇，每一回合選擇某一選項加入或是不做任何選擇。每個個體都是獨立進行選擇的，沒有辦法互相約定這次要選擇相同的選項，或是類似合作行為。但是個體彼此間可以進行資訊交流，每個個體對於曾經加入過的選項，可以粗略的估算同時有多少個體也加入該選項並將此訊息紀錄在記憶中，個體就以此資訊互相傳遞。

如上圖 24，個體被建立在社會網路之上，在初始階段每個個體可得知自己所擁有的朋友清單以及傳播機率 $P$ 。個體對於每一個朋友進行傳播時，都需通過此傳播機率 $P$ 才可進行傳遞。而個體經過互相傳遞資訊的過程後，就可以得到不同選項最近幾回合的資訊，個體就以這些資訊與本身的策略對於各個選項進行預測，決定再下一回合要加入那一選項。



## 3.2 模組功能說明

### 3.2.1 策略

模型設定，每個個體所使用的策略都是同一種的，皆是利用過去的經驗來進行預測，我們的策略設定延續過去酒吧模型採用的方法，將策略與過去記憶相加乘就可計算出本回合各選項被加入的個體數，來判斷本回合要加入那一選項。

策略被賦予的數值分為兩個方面，第一，一個介於 $0 \sim 1$ 區間的基準權重，將此基準權重乘上選項的配額 $C$ ，當成是我們的基準值；第二，對於記憶範圍內的每一個資訊賦予一個介於 $-1 \sim 1$ 值，為各資訊的在意程度，也就是對於各資訊的權重，每一權重分別乘上對應的記憶資訊，代表必須在基準值上增加或減少多少個體才是該選項本回合加入的個體數。最後，將所有數值相加成為本次的預測結果，為了避免預測的值超出合理範圍 ( $0 \sim C$ )，各策略的所有值相加必須介於 $0 \sim 1$ 間。假設目前個體的記憶容量 $m = 5$ ，則我們就必須建構一長度為 6 的策略，如：

偏差權重	對於每 $m$ 次資訊所賦予的比重				
	第前 1 次	第前 2 次	第前 3 次	第前 4 次	第前 5 次
策略 1	0	0	1	0	0
策略 2	0.5	0.1	0.1	0.1	0
策略 3	0.5	-0.5	0	0	0

表 8. 實際策略範例

策略 1：只在乎第前 2 次的資料，其他資料都不予理會；且基準值為 0。意思是個體猜測此回合選擇該選項的個體數和前 2 次是一樣的。

策略 2：前四次的資料的權重皆相同為 0.1，但有偏差權重 0.5。意思是我們猜測本回合基本上會有有  $C \times 0.5$  個體加入此選項，必且因為前四回合的資訊使得基準值必須再加上此四回合中各 0.1 比例的個體。

策略 3：此策略中一樣有基準值  $C \times 0.5$ ，但給予第前一次資訊一個負的權重 -0.5，這並非代表對於該次資訊不予理會，而是指我們考慮當次的

資訊會使得基準值中的部份個體不加入該選項，而減少的個體數就是第前一次加入該選項的  $0.5$  比例個體數。

### 3.2.2 個體

我們設定每個個體皆擁有  $s$  條各自由系統策略池隨機挑選而來的策略和  $m$  大小的記憶容量，可以記住最近  $m$  回合所蒐集的資訊，並且利用自身的策略與記憶進行決策。

在初始階段時，個體會從系統策略池的  $S$  條策略中隨機挑選出  $s$  條策略，每個人所選擇的策略都只是策略池中的一個子集， $s \leq$  總策略數  $S$ 。個體將所選擇的策略進行複製並且放入如圖 25 的個體策略集合，同時建構一個策略評分表，在每一次使用策略之後，對於策略實施的結果好壞進行評分，若是策略的分數過低，個體就將該策略淘汰，再從策略池中隨機挑選新的策略進行決策。

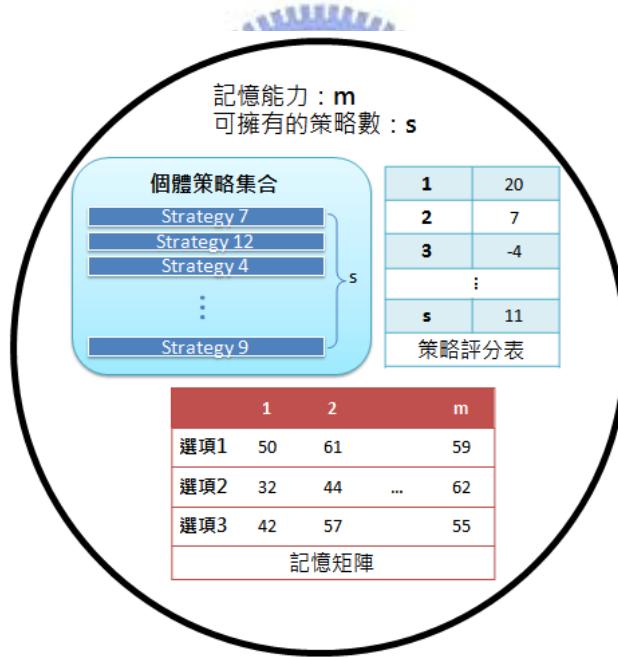


圖 25 個體所擁有的參數

此外，個體還擁有一記憶矩陣如圖 25，在初始階段，記憶矩陣中的值都是空值，但個體會將自己計算出來同時加入相同選項的個體數或是經由朋友傳遞得到的其他選項同時加入個體數蒐集起來，存入此矩陣。矩陣中表列出前面第幾次有多少個體加入某個選項，隨著執行回合數增加，個體自己計算出來的訊息或透

過社會網路蒐集來的資訊逐漸填滿記憶矩陣，如在圖 25 中，此個體蒐集到上一次有 32 個個體加入選項 2、上上一次 57 個個體加入選項 3...等的資訊。由此可知，傳播次數越多或是個體的朋友數越多就有越高的機會可將記憶矩陣填滿，個體就可用較完整的資訊進行預測。但個體只擁有  $m$  大小的記憶容量，故記憶矩陣只能紀錄最近  $m$  回合的資訊，在  $m$  回合以前的記憶就選擇遺忘。

### 3.2.3 選項

對於每個選項來說，都有一個固定且有限的配額  $C$ ，並且每個選項皆有一個最適合比例  $L$ ，此比例是個體覺得最適合的同時加入個體數比例，也是系統管理者所設定收支最好的比例。

而此資訊是屬於個體的全域資訊。在執行的初始階段，個體都會被告知每一個選項的配額以及其最適合被選擇的比例，因每個個體皆不希望加入同一選項的個體數太多，多餘  $L$  過多，或是加入同一選項的個體數太少，低餘  $L$  過多。故個體每一次在進行決策時，如同前兩小節所說明的會先猜測本次的每個選項可能各有多少人同時選擇。若是猜測本次共同選項  $i$  的個體數太多，超過該選項的最適合個體數 ( $P_i(t) > C \times L$ )，個體就會不會選擇該選項  $i$ 。

對於系統管理者來說同一選項加入的個體數過多或過少都是不好的。管理者也瞭解個體最喜歡加入同一選項的個體數符合  $L$ ，故將支出最好的比例也設定為  $L$ 。若是有一選項同時加入的個體數比例超出  $L$  代表目前提供的資源無法滿足加入的個體，個體選擇此選項常常無法得到資源，就可能有個體逐漸不加入此選項的危機；而加入的個體數比例低於  $L$  就是系統管理在此選項付出過多的資源，造成支出大於收入的情形。所以站在管理者個觀點，我們必須盡量保持每個選項加入的個體數符合最適合比例。

以上是整個模型的架構介紹，最後，表 9 整體出本模型上的各個參數，並且說明其代表意義，其中上述已經有所介紹，另外一些會在之後提出。

參數	型態	範圍	預設值	意義	所屬函式
$\mathcal{T}$	整數	1~10000	500	執行次數	全域參數
$\mathcal{N}$	整數	1~1000	100	總個體數	全域參數
$\mathcal{M}$	整數	1~10	1	選項個數	全域參數
$\mathcal{S}$	整數	1~1000	200	策略總數	全域參數
$\mathcal{P}$	浮點數	0~1	0.8	個體傳播機率	全域參數
$\mathcal{SP}$	整數	0~10	1	個體傳播次數	全域參數
$\mathcal{D}$	偶數	2~ $\mathcal{N}$ - 2	10	個體的連結度	全域參數
$\mathcal{m}$	整數	1~20	5	個體的記憶容量	全域參數
$\mathcal{s}$	整數	0~ $\mathcal{S}$	10	個體可擁有策略數	全域參數
$\mathcal{C}$	整數	1~ $\mathcal{N}$	$\mathcal{N}/\mathcal{M}$	選項配額	全域參數
$\mathcal{L}_i$	浮點數	0~1	0.6	同時加入選項 <i>i</i> 的最適合個體比例	全域參數
$\text{Mean}_{\mathcal{R}}$	浮點數	0~ $\mathcal{C}$	0	隨機資料的平均值	全域參數
$\mathcal{SD}_{\mathcal{R}}$	浮點數	0~100	0	隨機資料的標準差	全域參數
$\mathcal{S}_{c_i}$	整數	0~ $\mathcal{C}$		選項計數器，精確紀錄該選項 <i>i</i> 同時有多少個體選擇	選項參數
$\mathcal{R}_c$	整數	$\mathcal{S}_{\mathcal{C}} + \mathcal{SD}_{\mathcal{R}}$ $\sim \mathcal{S}_{\mathcal{C}} - \mathcal{SD}_{\mathcal{R}}$		個體對於該選項同時有多少個體加入的模糊猜測	個體參數
$\mathcal{Pre}_j$	整數	0~ $\mathcal{C}$		策略 <i>j</i> 本次的預測	個體參數
$\mathcal{Sn}_j$	整數	-1000~0	0	策略 <i>j</i> 本次預測所得分數	個體參數
$\mathcal{ER}_j$	浮點數	0~1	0	策略 <i>j</i> 過去的失敗率	個體參數
$\mathcal{ET}_s$	整數	0~ $\mathcal{T}$	0	策略 <i>j</i> 的失敗次數	個體參數
$\mathcal{TT}_s$	整數	0~ $\mathcal{T}$	0	策略 <i>j</i> 總使用次數	個體參數
$\mathcal{Sc}_j$	整數	-1000~0	0	策略 <i>j</i> 的預測分數	個體參數
$\mathcal{Ex}_j$	整數	-1000~1000	0	策略 <i>j</i> 的經驗分數	個體參數

表 9 本模型參數簡介

### 3.3 模型流程

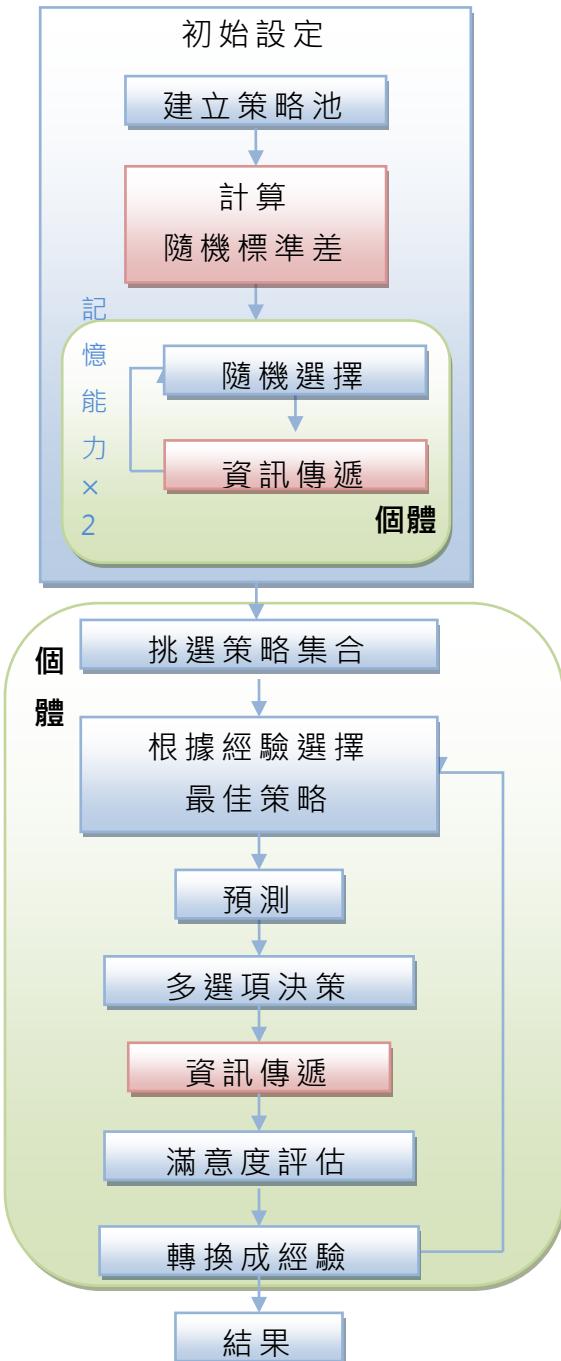


圖 26. 本模型流程

上圖 26，是本模型的所有流程，以過去酒吧模型為基準並加上「計算隨機標準差」與「資訊傳遞」兩個階段。以下用模型中有個體數 $N$ 、選項個數 $M$ 、各選項配額為 $C$ 且最適合比例為 $L$ 、每個個體可以擁有 $s$ 個策略和可以記住最近 $m$ 次資訊的記憶能力、傳播機率 $P$ 為例，詳細的介紹各個階段。

### 3.3.1 初始設定

在此階段，建立在社會網路上的 $N$ 個個體、提供這些個體選擇的 $M$ 個選項與 $S$ 條給予個體進行預測的策略。每個個體在此階段可獲知自己的朋友清單以及傳播率 $P$ 、各個選項的配額 $C_i$ 與其最適合比例 $L_i$ ，並且建立各自的記憶矩陣與策略評分表。

另外，在每一執行前我們還必須計算出一隨機標準差，因為在每一次模型開始執行之前，我們必須先探討在相同的參數值下，若每個選項是被個體隨機選擇的，會產生什麼樣的結果，提供每個個體作為評估的依據。假設每個選項的配額 $C_i$ 都是個體總數除上選項個數， $N/M$ 。根據每個選項的最適合比例為 $L$ ，開放 $N \times L$ 個個體隨機的選擇此 $M$ 個選項，如此重複十次，最後統計這十次所蒐集到，總共  $10 \times M$  筆隨機資料，計算其平均值 $Mean_R$ 和標準差 $SD_R$ 。個體就由此二值作為進行模糊資訊傳播、策略評分與滿意度評估時的依據，以此改善過去酒吧模型個體的不合理行為。

一開始幾回合這 $N$ 個個體會獨自的對於各個選項進行隨機的挑選，每個個體都可以選擇這 $M$ 個選項的其中一項加入，也可以不加入任何選項，這是為提供之後個體進行預測所需要的資訊。

若是個體獨自的隨機選擇其中一個選項，個體就會粗略的判斷有多少個體和他選擇了相同的選項，並將此資訊存入自己的記憶矩陣，之後透過社會網路把資訊傳播出去。每個個體在對朋友傳播之前必須通過傳播機率 $P$ ，而接收到資訊的朋友將此資訊記入本身的記憶矩陣，下一次進行資訊傳遞時再將此訊息傳遞出去，經過 $SP$ 次資訊傳遞後，就重回隨機選擇的階段，一直重複直到做了  $2m$  次，確保個體的記憶矩陣已經紀錄了過去幾次的資訊。

### 3.3.2 挑選策略集合

在尚未使用策略進行預測之前，每個個體必須獨立的從策略池中隨機挑選 $s$ 個策略到個體本身的策略集合內，供以後進行預測時所用。每個個體都只能由模

型中的策略池中複製策略，無法自行發展新的策略，或是擅自的將策略池中的策略刪除，使得其他個體無法取得刪除的策略。

### 3.3.3根據經驗選擇最佳策略

由此階段開始到轉換成經驗的六個階段成為個體執行的一回合，個體每回合都必須獨自的進行，個體間沒有合作關係，除了互相傳遞資訊外沒有任何的互動。

每個個體在每一次決策前，會先挑選最佳的策略來使用，而什麼才是最佳的策略。在此，我們改良酒吧模型的作法，在每一次決策前，個體所擁有的每個策略都會針對每一選項進行預測，並且對於每個策略所計算出來的預測值進行評分，預測值越貼近最適合數 ( $C_i \times L$ ) 越好：首先，我們計算出此預測值  $Pre_{S_i}$  與最適合比例  $L$  相差了幾個隨機標準差  $SD_R$ 。接著，將此值平方，便得到該策略本次對於選項  $i$  進行預測的分數  $Sn_{S_i}$ 。加入了標準差平方的算法，是為了使得分數落在同一區標準差與落在不同區標準差，在得分上有更大的差異。而所謂的過去經驗，指的是在分數上我們必須乘上該策略過去使用過的失敗率，故失敗率越低該策略的分數就會越高。若是策略尚未被使用過，設定失敗率為  $1/M$ 。

我們以系統中的系統中總選項數  $M = 1$  的情況為例，個體利用他所擁有的四個策略分別對此選項所做出的預測，其中隨機標準差為 7，而此選項的配額為 100、最適合共同選擇的個體數是 60。這四個策略做出的預測如下表，分別是 68、50、49、70，其中以策略 1 與策略 2 本次做的預測皆相當貼近最佳值 60，所以本次的分數皆為最高。但是加入了過去經驗的因素後，就可比較出此兩策略的差異，策略 2 從過去以來的表現是比較好的，失敗率較低，所以最終的總分最高，於是個體就以策略 2 所預測的結果來進行決策。

	策略 1	策略 2	策略 3	策略 4
預測值 ( $Pre_{S_i}$ )	68	50	35	75
本次得分 ( $Sn_S$ )	-1	-1	-9	-4
過去失敗率 ( $ER_S$ )	0.9	0.2	0.3	0.5
總分 ( $Sc_S$ )	-0.9	-0.2	-2.7	-2

但若是系統中的選項數  $M > 1$  時，策略本次的得分，就必須計算對於各選項進行預測所得到的總分。如下表，個體計算出各個策略對於每一選項進行預測所得到的分數後，要將每一個選項的分數加總，才得到本次的得分，然後一樣參考各策略的失敗率，最後得到總分，選擇分數最高者來進行判斷。

	策略 1	策略 2	策略 3	策略 4
選項 1 ( $\mathcal{S}n_{\mathcal{S}_1}$ )	-1	-4	-9	-4
選項 2 ( $\mathcal{S}n_{\mathcal{S}_2}$ )	-25	-1	-9	-1
...		...		
選項 $M$ ( $\mathcal{S}n_{\mathcal{S}_M}$ )	-9	-4	-1	0
本次得分 ( $\mathcal{S}n_{\mathcal{S}}$ )	-39	-17	-28	-9
過去失敗率 ( $\mathcal{ER}_{\mathcal{S}}$ )	0.9	0.2	0.3	0.5
總分 ( $\mathcal{Sc}_{\mathcal{S}}$ )	-35.1	-3.4	-8.4	-4.5

### 3.3.4 預測

選出最佳策略後，個體必須去觀察剛才對於各個選項做預測所得到的分數為何，在 3.2.1 節我們介紹了策略的格式，在此小節我們詳細的介紹個體如何利用策略與自身的記憶矩陣進行預測。

如下表，個體拿出欲進行預測的策略，首先計算預測的基準值(偏差權重×該選項配額  $C_i$ )，接著依據策略對每一回合賦予的權重計算出需要再增加或減少的個體數，推測出本回合會有多少個體選擇該選項。

例如欲預測選項的配額為 100、個體在記憶能力為 4 的情況下，該選項過去 4 次的資訊與個體使用的策略如下：

	偏差權重	對於每 $m$ 次資訊所賦予的權重			
策略	0.5	0.2	0.3	-0.4	0.1
相對資訊	100	45	80	50	35

預測基準值為  $0.5 \times 100 = 50$ ，另外需增加與減少的個體數為  $0.2 \times 45 + 0.3 \times 80 + (-0.4) \times 50 + 0.1 \times 35 = 16.5$ ，故本回合該選項的預測值就為  $50 + 13.7 = 66.5$ 。

在上面範例個體擁有該選項過去每一回合的資訊，但是不是每個個體都可以得到如此完整的資料。我們知道個體在決策後，會進行資訊分享，所以每一個體

都可能會擁有其他選項本次的資訊，但倘若有個體的朋友數較少，或是周遭朋友都加入相同選項，就沒有辦法蒐集到所有選項本回合的資訊，使得該個體無法將自己的記憶矩陣填滿，導致個體必須要利用不完整的資訊來進行預測。以下是個體只取得部份資訊的範例：

	偏差權重	對於每 $m$ 次資訊所賦予的比重				
策略	0.5	0.2	0.3	-0.4	0.1	
相對資訊	100	45	Empty	50	35	

個體沒有蒐集到該選項第前三次的資訊，我們如果用原本的計算方式，將 Empty 值以 0 取代，所計算出來的值會變成  $0.5 \times 100 + 0.2 \times 45 + 0.3 \times 0 + (-0.4) \times 50 + 0.1 \times 35 = 42.5$ ，與先前的結果相差非常多，因為 0 值就如同統計中的離異值，會使得此策略失去預測的準確度，並非真的策略不好，或許當我們取得完整資訊時，這是一個不錯的策略。所以我們不能因為個體無法取得完整資訊而使得這一個不錯的策略而遭遇淘汰的危機，我們必須採取其他作法。

當我們無法取得某一回合的資訊時，我們就不應該給予該回合任何權重值，因為沒有資料參考權重是沒有意義的，故我們要稍微調整該策略，將沒有對應資料的權重平均分配給其他回合，如下表我們將沒有資料對應的權重值平均分配給其他三回合。本來預期當次資訊會使得基準值增加前第二回合 0.3 比例的個體，我們將增加的比例分配給其他三回合，故原本要扣除前第三回合 0.4 比例的個體現在只扣除 0.3 比例。

	偏差權重	對於每 $m$ 次資訊所賦予的比重				
原策略	0.5	0.2	0.3	-0.4	0.1	
調整後策略	0.5	0.3	0	-0.3	0.2	

如此一來調整後的策略所預測出來的結果  $0.5 \times 100 + 0.3 \times 45 + (-0.3) \times 50 + 0.2 \times 35 = 55.5$ ，雖然計算出來的數值還是和具有完整資訊的預測有些差距，但調整過後的策略還是擁有較好的預測。

### 3.3.5 多選項時的決策

利用最佳策略對各選項進行預測後，挑選其中分數最佳的選項。並且判斷此

最佳策略 $S$ 對於該選項 $i$ 的預測值 $Pre_{S_i}$ 來判斷是否要選擇該選項，是否超過該選項最適合同時加入的個體數 $C_i \times L$ ，若沒有超過，就決定本回合選擇選項 $i$ ；否則，本回合不做任何選擇。

個體在進行多選項決策的時間點可以是不同的，但是必須等所有個體都完成決策後個體才會進入到下一階段。如同到的澳門去的賭客每天都要到賭場裡試試手氣，每個個體可以在每天的任何時間中決定好他要去那一間賭場，然後在玩了一天之後再進行後續的資訊傳播、滿意度評估等動作，也就是每個賭客都有一整天的時間來判斷要去哪間賭場，每回合的時間單位為「天」，每個個體做完決策的時間可以是不同的，可是在一天的時間內必須做完決策，之後進入下一階段。我們也可以依據不同的實際行為將時間單位拉長，到遊樂園玩的遊客其時間單位就是「周」，遊客們有一整週的時間可以進行決策，然後在週末進入遊樂園之後再對於遊樂園的情況對朋友進行傳播。抑或是時間單位為「季」、「年」…等，看各種問題的需要。

### 3.3.6 資訊傳遞



當個體完成決策，並且加入了某一選項，此時也會有其他個體和也做了相同的選擇，使得該選項同時被多人選擇，加入相同選項的個體都可以粗略的估計有多少個體也做了相同的選擇。並且將此訊息傳遞給他的朋友，如下圖 27(a)中，Amy 與 Gina 此回合加入了某一選項，並且粗略計算出同時選擇該選項的個體數，欲將此訊息傳遞給她的朋友，Amy 有四個朋友 Bill、Cindy、Daisy、Eric，但是對於每個朋友進行傳遞前需要通過傳播機率 $P$ ，故在第一次傳播時，只有 Bill 和 Cindy 得到 Amy 的資訊；Henry 也以相同的方式從 Gina 那得到資訊，而得到資訊的個體會將此資訊存入自己的記憶當中，並且再下一次傳播時將此資訊傳遞給他們的朋友。

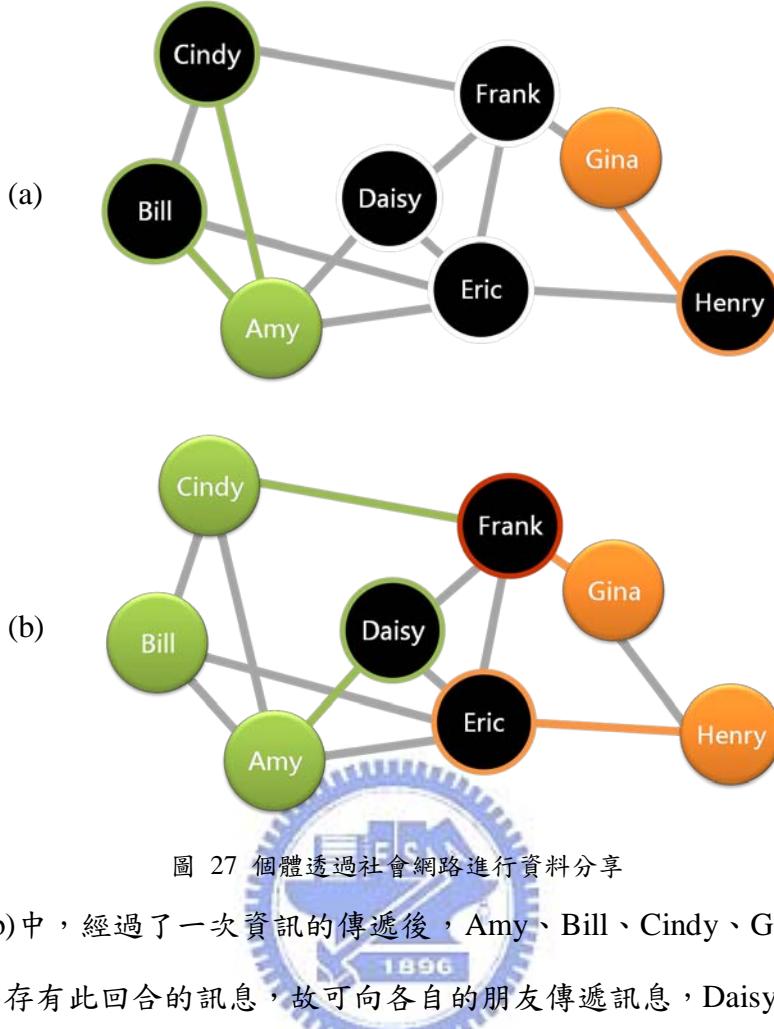


圖 27 個體透過社會網路進行資料分享

圖 27(b)中，經過了一次資訊的傳遞後，Amy、Bill、Cindy、Gina 與 Henry 的記憶中都存有此回合的訊息，故可向各自的朋友傳遞訊息，Daisy 與 Eric 分別從 Amy 與 Henry 取得資訊，而 Frank 則是同時收到 Cindy 與 Gina 的訊息，若 Cindy 與 Gina 的訊息是關於相同的選項，則 Frank 就必須將此兩訊息取平均值後存入自己的記憶中，若是分屬於不同選項，Frank 就擁有同一回合中兩個選項的資訊。

一個個體在每一回合中最多只能加入一個選項，但透過社會網路的資訊交流，如圖 27(b)的 Frank 就可以得到多餘一個選項的資訊，並且隨著傳播次數的增加個體就可以擁有多餘選項的資訊，就可以用較完整得資訊來進行判斷。

而個體如何估計有多少個體在同一回合中也加入相同選項。在這裡我們不採用絕對資訊，是因為在現實生活中，若是採用人工的方式，我們很難精準判斷同時有多少人和我們做了相同的決定，也很少會去這麼做。

以下介紹個體粗略估計選擇相同選項個體數的行為如何在本模型中實現。每

一個選項，每一回合被個體選擇時候都利用一個計數器用來計算同時被多少個體選擇，此計數器用來計算個數是精準的，就如同一個酒吧的老闆，可以透過送出的餐點數目來計算今天有多少人來消費。而個體則是用猜測的來估計同時有多少個體也加入該選項，個體猜測出來的值會有稍微的偏差，有些個體猜測的比精準值多、有些比較少，但是綜合來看個體猜測的數值會呈現常態分佈如圖 28。

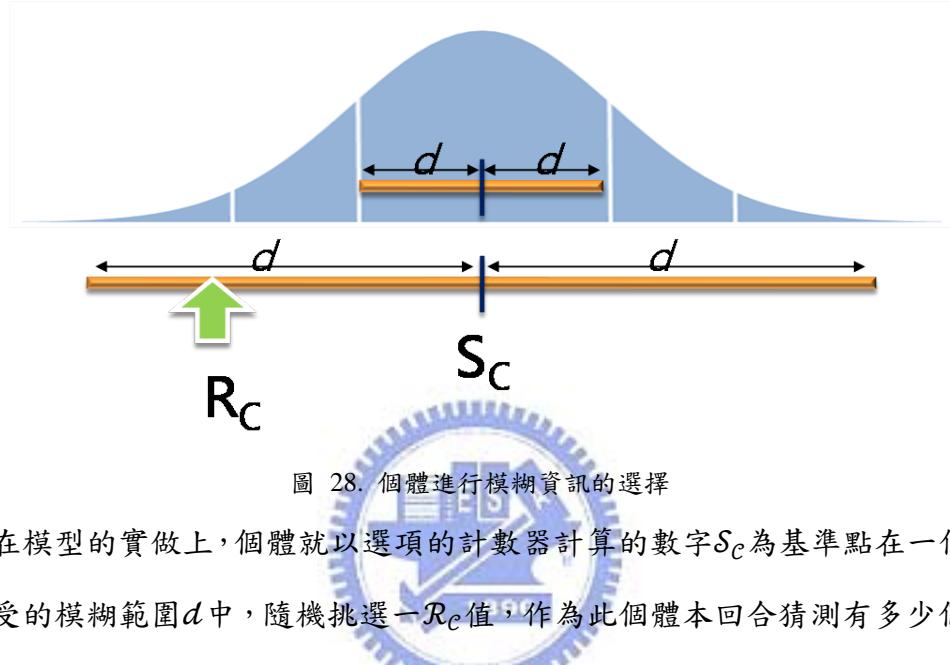


圖 28. 個體進行模糊資訊的選擇

在模型的實做上，個體就以選項的計數器計算的數字 $S_c$ 為基準點在一個可以被接受的模糊範圍 $d$ 中，隨機挑選一 $R_c$ 值，作為此個體本回合猜測有多少個體和他加入相同選項的數值，並且以此數值與朋友分享。

由於同時選擇同一選項的個體都會進行相同的步驟，所以每個個體猜測出來的數字會有所不同，如此一來當個體在進行資訊交換時，就可能會得到多個互相矛盾的資料。例如 Andy 有兩個朋友 Bob 和 Cindy，碰巧 Bob 和 Cindy 本次所作的選擇是相同的，但他們各自的模糊資訊不同，導致他們向 Andy 分享資料時，Andy 會拿到同一回合、同一個選項但數字不同的兩筆資料。個體對於這種矛盾現象，就直接取這多筆資料的平均值，因為個體雖然得到兩個不同的數字，但是所有的數字都存在上述 $S_c + d \sim S_c - d$ 的區間，所以個體把得到的資料取一平均值，還是會存在於 $S_c + d \sim S_c - d$ 內，是還可以接受的模糊範圍。

### 3.3.7 滿意度評估

個體無論是本身是否有加入任一選項，都有機會得到所有選項本回合的資訊，

並且利用蒐集的資訊判斷本回合所作的決策是否正確。而策略成功的標準必須是個體估計出該回合加入同選項 $i$ 的個體數 $\mathcal{R}_{C_i}$ 與最適合個體數相差一個隨機標準差內： $\mathcal{C}_i \times \mathcal{L} - \mathcal{SD}_{\mathcal{R}} \leq \mathcal{R}_{C_i} \leq \mathcal{C}_i \times \mathcal{L} + \mathcal{SD}_{\mathcal{R}}$ 。

如下表 10，若是個體本回合選擇了某個策略，並且該選項本回合加入的個體數與最適合個體數相差一個隨機標準差內，就是符合標準，我們稱此個體本回合所使用的策略是成功的；相反地，同時加入此選項 $i$ 的個體數超過一個隨機標準差，個體就不滿意本回合結果，用來進行預測的策略就算失敗。

	成功	失敗
加入選項 <i>i</i>	符合標準，同時加入選項 <i>i</i> 的個體數與最適合數相差一個隨機標準差內	不符合標準，同時選擇選項 <i>i</i> 的個體數與最適合數相差超過一個標準差
不加入任何選項	沒有接獲任意選項 $j$ ，其本次共同選擇的個體數與最適合數相差在一個標準差內的資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 得知某選項<math>j</math>本次共同選擇的個體數與最適合數相差一個標準差內。</li> <li>· 已連續幾回合沒加入任一選項</li> </ul>

表 10. 滿意度評估標準

另外，若是個體本回合沒有加入任何選項，但透過資訊傳播可能得到各個選項本回合的訊息，如果個體得知有任何選項本回合加入的個體數符合標準，代表個體策略是失敗的，因為要加入該選項才是正確的決策；相反地，若個體沒有得知有選項本回合符合標準，代表使用的策略成功，因為選擇任何策略都可能會失敗，但是策略不能使個體連續幾次都不選擇任何選項，因為個體是期望要加入選項的，故若有策略使個體連續數次不加入任何選項，也是失敗。

倘若有策略失敗次數過高，超過門檻值，個體就會將此策略淘汰，重新由策略池中隨機選擇新的策略。

### 3.3.8 轉換成經驗

在判斷該回合最佳策略時，我們必須使用到過去經驗，在 3.3.3 小節中我們也提到過去經驗指的是各策略過去的失敗率，我們利用上一小節 3.3.7 的方法判斷每一回合所使用的策略是成功亦或是失敗，並且累計每一策略使用的次數與其

失敗的次數，將失敗次數除上總使用次數就成該策略的失敗率，

$$\mathcal{ER}_S = \text{失敗次數} (\mathcal{ET}_S) / \text{總使用次數} (\mathcal{TT}_S)$$

而將策略的滿意度轉換成經驗後，個體的執行流程就回到利用經驗選擇最佳策略，開始下一回合的決策。

### 3.3.9 結果

每個個體由選擇最佳策略開始到將策略的滿意度轉換成經驗，獨立的進行一次次的決策，個體雖然做出不同的選擇，但每一回合各選項加入的個體數就可以呈現出每一回合個體決策的綜合結果，故執行過程中每一回合各選項的加數個體數就成本模型最終的結果呈現。

### 3.3.10 小結

最後以本文一開始提出的酒吧小鎮問題簡單的說明整個模型的流程，在酒吧小鎮裡的每個居民，在小鎮建造的開始幾周，隨機的選擇要去那一間酒吧消費，或是乾脆留在家裏，若是去酒吧消費那就可以粗略知道當週酒吧內的人數，或是透過周遭的朋友分享，也會知道這幾間酒吧最近幾周大概的資訊。

之後，個體為了不要去酒吧時人數過多，使他玩的不盡興，所以開始利用策略和過去這幾周去過酒吧的經驗、和朋友交流的結果來進行決策。首先從本身的策略中選擇一個較好的來預測，並且從多間酒吧中選擇一本週預測人數最符合個體需求的去，若是預測的人數皆超過該個體可以容忍的範圍，則個體本週就留在家裏。並且個體在這之後會透過自己去酒吧時的感受或朋友分享的資訊對本週使用的策略進行評估，成功的策略下次就有機會再度使用，而失敗次數太多的策略有可能被換掉。如此周復一周的每個個體透過自身策略和經驗來判斷要去那一間酒吧。

最後我們統計小鎮中的每一間酒吧，過去幾周消費的人數，就可觀察出這些居民的行為並且進一步的分析。

### 3.4 系統特色

如下表，過去的酒吧模型與有限資源二元個體行為模型（B.A.R 模型）各有過於簡單與過於複雜的缺失，酒吧模型太過簡略導致不符合現實狀態，但 B.A.R 模型為了貼近現實又太過強調個體異質性，導致模型過於複雜，對於探討的問題較難找出真正的原因。並且這兩種模型中個體行為的設定有些有共通的不合理處：全域資訊、精確資訊、敏感個體。

所以本研究之模型希望可以在保留過去模型的優點在簡單且符合現實的情況下，設定個體的合理行為，使本模型可以更貼近真實情況，用來解決更多真實的問題。

模型	簡述	簡單	多贏機制	個體異質性	區域資訊	個體合規行為
酒吧模型	研究有限資源下，個體互相分享資源的基礎模型	○	X	X	X	X
少數為贏模型	更簡化的酒吧模型	○	X	X	X	X
有限資源二元個體行為模型（B.A.R 模型）	改善酒吧模型不符現實狀態的缺點	X	○	○	△	X
本研究之模型	改善過去模型個體行為上缺失，使模型較貼近真實狀況，能夠解決更多現實問題	○	○	X	○	○

表 11 本研究模型與過去模型比較

本模型幾乎保留了酒吧模型的所有作法，以其我們的模型不要太過複雜，若是我們給予模型太多的彈性就會如同 B.A.R 模型一般，使得模型太過於複雜，不容易進行分析。並且我們也以下列三個作法完成個體行為的合理性：

區域資訊：將個體建立在社會網路上，並且在每一回合做完決策後，會透過社會網路進行資訊交流，將本身的訊息傳遞給朋友。

模糊資訊：個體在加入某一選項後，可以透過粗略的估計來計算出同時有多少個體也加入相同選項。

遲鈍個體：本研究將個體評估策略每次使用時的成功與失敗標準放寬，使得個體不會因為些微的差距就將有不錯執行結果的策略判定為失

敗。

如此一來，本研究之模型就具有符合現實的特性，用來解決現實中問題時就具有較高的可信度。



## 第4章、實驗

我們將實驗分成三個部份，第一部份將探討實驗中的各個參數的設定值對於結果的影響，並且和過去的研究作比較；第二部份則回應本文前段的問題，探討策略如何被個體所使用，另外也討論左右個體進行決策的兩個因素個體策略數與個體記憶能力，如何影響整體效益；最後也做一個實驗來解決，第一章所提澳門政府所遭遇到的問題，探討何時是再開一間店或是關閉一間分店的時機。

### 4.1 參數設定

單一選項		多選項		
總個體數 ( $N$ )	選項個數 ( $M$ )	總個體數 ( $N$ )	選項個數 ( $M$ )	
100	1	300	3	
策略總數 ( $c$ )	執行次數 ( $T$ )	個體記憶容量 ( $m$ )	個體擁有策略數 ( $s$ )	選項配額 ( $C$ )
50	500	5	10	100
最適合比例 ( $L$ )	網路型態	個體連結度 ( $D$ )	傳播率 ( $P$ )	傳播次數 ( $SP$ )
60%	隨機網路	10	0.8	1

表 12 各實驗基本參數設定

在實驗開始前我們對於本研究中的多個參數進行適當的設定，我們對於每個實驗有一共同的參數設定，除非各實驗在實驗設定中有另外說明參數的數值，否則各參數的設定就如同上表 12。而參數設定的依據如下列各項。

#### 1. 總個體數、選項個數、選項配額、最適合比例：

當實驗單一選項的情況時，我們就比照過去 Arthur 對於酒吧模型的設定將總個體數 ( $N$ ) 設為 100、選項數 ( $M$ ) 設為 1，並且該選項的選項配額 ( $C$ ) 為 100、最適合比例 ( $L$ ) 為 60%。另外本研究必須再實驗多選項時的情況，為了不失一般性，多選項時設定總個體數 ( $N$ ) 為 300、選項數 ( $M$ ) 設為 3，並且維持每個選項的選項配額 ( $C$ ) 為 100、最適合比例 ( $L$ ) 皆相同為 60%。

#### 2. 執行次數：

過去酒吧模型與其他相關模型的研究其執行次數大多設定為 100 次，本研究因為會遇到多選項時的情況，模型可能會需要較長的時間來

穩定，故延長執行次數（ $T$ ）為 500 次。

### 3. 策略總數：

在過去的單一選項研究中有些模型會設定，總策略數為  $2^{2^m}$  個，因為個體會紀錄最近  $m$  次該選項被選擇的情形，而被選擇的情形只會有共同選擇的個體數超過最適合比例與不超過兩種，故個體所有可能的記憶就只有  $2^m$  種，而每一各記憶都會對應出兩個行動，選擇該選項或不選，所以總策略數就是  $2^{2^m}$  種。倘若我們將此數值移植到多重選項的模型，那就會發生總策略數過大的情況，個體對於每一個選項都有  $2^m$  種情況，而現在有  $M$  個選項，所以個體可能的記憶就有  $M^{2^m}$  種，對應的行動也會變成  $M + 1$  個，選擇任一個選項或都不選，故總策略必須有  $(M + 1)^{M^{2^m}}$  個。只要選項有 2 個，個體記憶容量為 3，就必須要有 6561 條策略。

個體是否需要這麼多條策略來選擇，個體希望共同選擇同一選項的數量不要太多，由過去的研究我們可以知道，只要不要有太多個體同時選擇相同的策略，就可以減少同時選擇相同選項機率。若是總策略數和人數的比例過小，個體間使用相同策略的機率就越高，出現多人選擇同一選項的機率也就較高；但若只有 100 個個體，兩個個體要從 6561 條策略中選擇到相同的策略幾乎是很困難的事情，或許我們可以試著使用相同的個體數，但將策略數減少一些，觀察個體是否還保有一定的成功率。

下圖 29 就是測試總策略數由 10 個增加到 300 個時個體的成功率。我們可以看到當總策略數的增加對於個體的成功率並沒有影響，成功率一直維持在 0.3 附近，由此得知就算總策略數少，個體間使用相同策略的機率雖然提高，但是並不會使得個體的成功率降低。所以我們就不必使用太多策略來進行模擬，接下來的實驗我們就設定總策略數為 50。

#### 4. 個體記憶容量、個體擁有策略數：

此兩參數是個體用來進行決策的重要參數，個體的記憶容量越大代表個體可以記住越多回合前的資訊、個體擁有的策略數越多，個體就有越多的方案可以使用，這兩個參數也是本研究的重點項目，針對此兩參數在 4.2 小節會更深入的探討，但一般而言我們就先設定個體記憶容量為 5、並且可擁有 10 條策略。

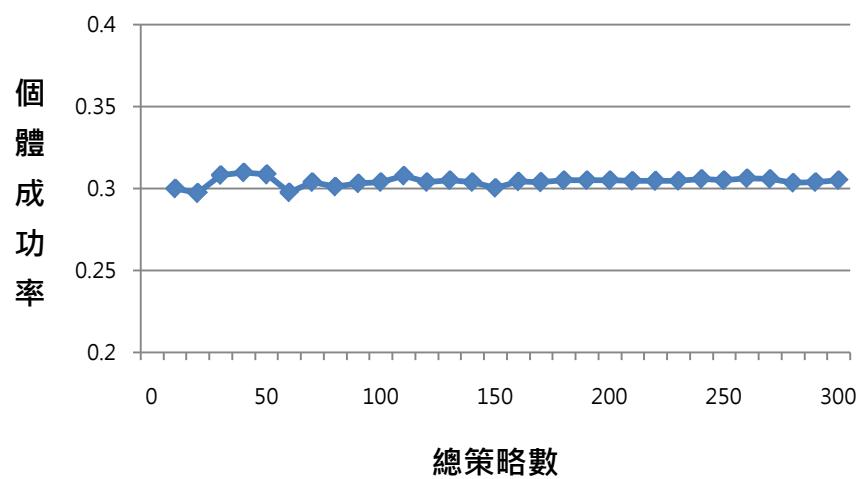


圖 29 總策略數增加對個體成功率之影響 (多選項)

#### 5. 網路型態、連結度、傳播率、傳播次數：

這四個參數都是與社會網路相關的設定，在本模型中牽涉到社會網路的部份只有個體會透過社會網路進行資訊的傳播，而這樣的傳播方式對於個體的判斷會有些微的影響，當個體的朋友數多、傳播率大、或是傳播的次數多，都會使得個體得到資訊的完整度越高。

下圖 30 為在隨機網路下，傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響，我們可以明顯的看到當傳播率與傳遞次數增加都可以提高資訊完整度，並且若是傳播率高時，則傳遞次數則不需要許多就可以達到不錯的完整度，例如當傳播率為 0.8 時只要傳遞一次就可以達到 86% 的資訊完整度。

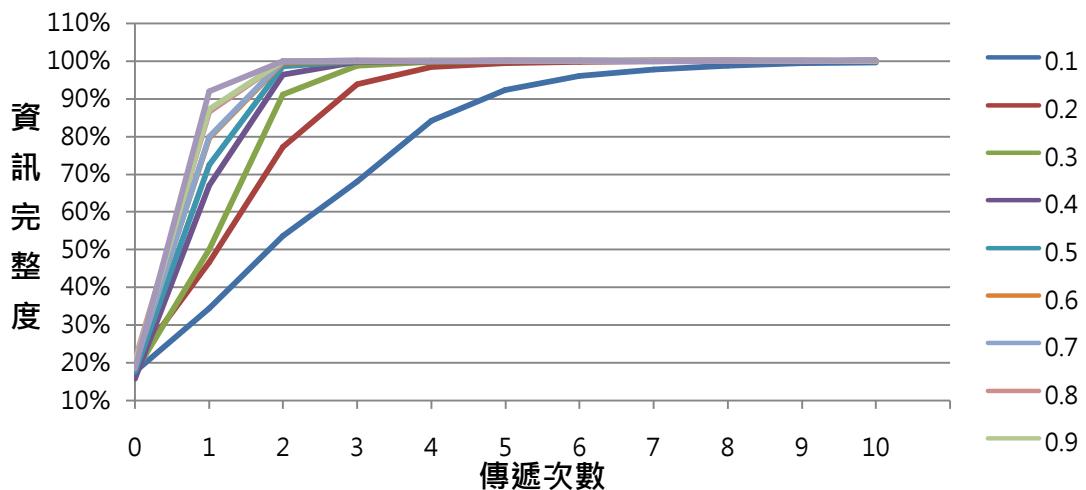


圖 30 傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響（隨機網路）

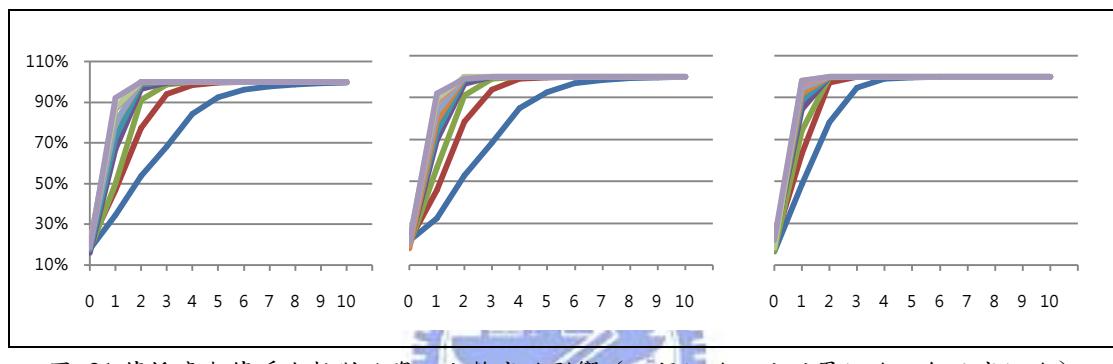


圖 31 傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響（正規網路、小世界網路、無尺度網路）

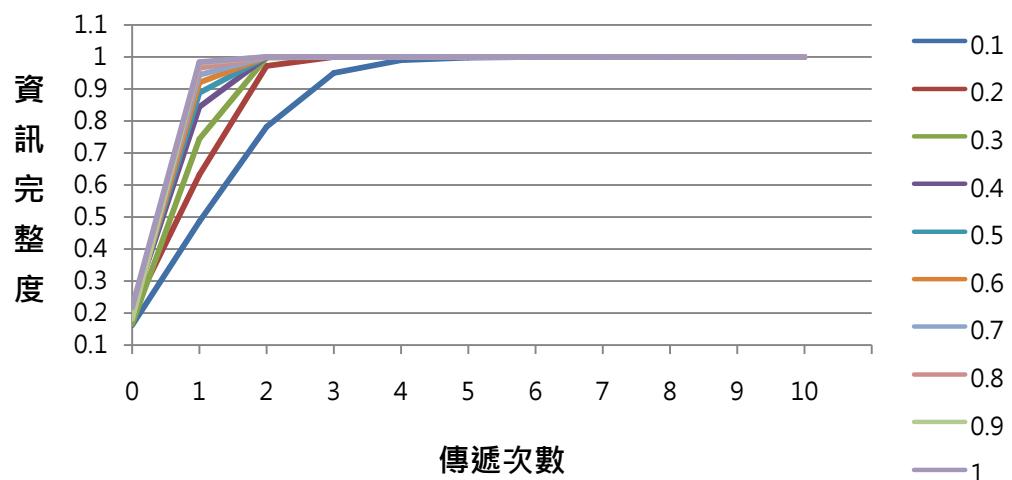


圖 32 傳播率與傳遞次數對於資訊完整度的影響（連結度為 20）

圖 31 中我們也嘗試著使用其他類型的社會網路做相同的實驗，結果發現在任何社會網路上進行傳播的結果，傳播率與傳遞次數的增加都可以使資訊完整度提高。但也發現相同的傳播率與傳遞次數設定下，無

尺度網路中個體的資訊完整度最低，其餘三者的結果則相差不遠。圖 32 則是將網路連結度增加為 20 個，與圖 30 相比連結度增加資訊完整度只被稍微提昇。

但資訊完整度的增加並不能提高個體的成功率，在 Arthur 的酒吧模型中個體的資訊就是 100% 完整的，個體也沒有因此就有非常高的成功率，個體策略的成功與否是受到與該回合其他個體行為的影響。所以就算個體擁有 100% 完整的資訊，也無法保證個體可以非常準確的預測，本也印證了這一點。我們由圖 30 中發現當傳播率為 0.1 時，隨著傳播次數的增加資訊完整度有非常明顯的提昇，圖 31 就是觀察當時個體成功率所受的影響，可以看出傳播率為 0.1 時隨著傳播次數增加，資訊完整度也隨之增加，但是個體的成功率如先前預期並沒有任何改善。

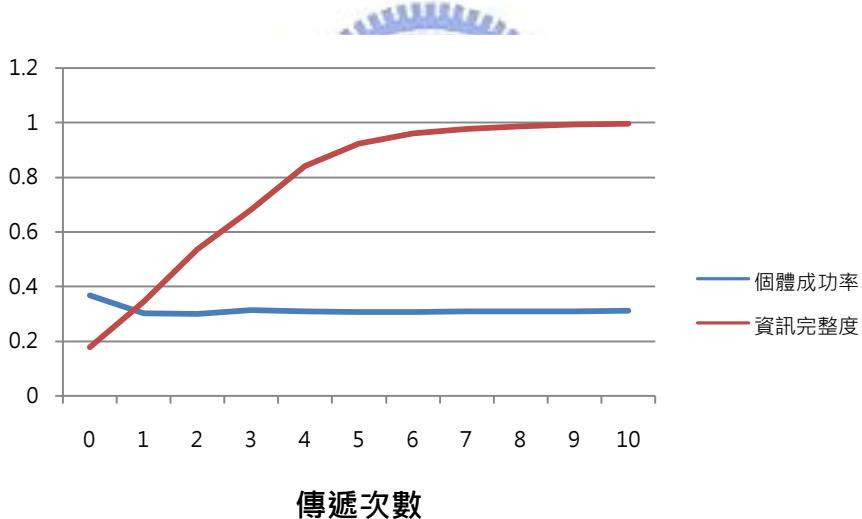


圖 33 資訊完整度與個體成功率之關係

雖然資訊完整度無法直接對個體成功率造成影響，但個體還是需要依據社會網路來得到各選項的資訊，故我們將使用隨機網路且連結度為 10，而傳播率與傳播次數分別設定為 0.8 與 1 使得完整度可以達到 86% 就好。雖然使用其他的社會網路、連結度或是當傳播率為 0.1 與傳播次數為 4 時也可以達到相當的完整度，但傳播次數與系統效能成反比，所以我們希望傳播次數越低越好，使得傳播率設為 0.8 會是較好的設定。

## 4.2 模型驗證

### 4.1.1 重現酒吧模型實驗結果

#### 4.2.1.1 實驗目的

本研究為了要使得模型更貼近現實，能夠解決更多現實中的問題，所以在原本的酒吧模型中加入了社會模型，讓個體可以進行資訊交流，並且加入多贏的機制；另外為了使個體進行合理行為，又加入了區域資訊、模糊資訊、遲鈍個體三個功能，如此一來本研究之模型與過去的酒吧模型執行的結果是否會有所不同。

#### 4.2.1.2 實驗設定

過去的酒吧模型中設定有 100 個個體但只有一個選項，而該選項配額為 100、最適合比例為 60%，且執行 100 次，故本次實驗將各參數設定如下表 13，比較最終結果與之前研究有何不同。

總個體數 ( $N$ )	選項個數 ( $M$ )	策略總數 ( $c$ )	執行次數 ( $T$ )
100	1	50	100
個體記憶容量 ( $m$ )	個體可擁有策略數 ( $s$ )	選項配額 ( $C$ )	最適合比例 ( $L$ )
5	10	100	60%
網路型態	個體連結度 ( $D$ )	傳播率 ( $P$ )	傳播次數 ( $SP$ )
隨機網路	10	0.8	1

表 13 驗證實驗參數設定

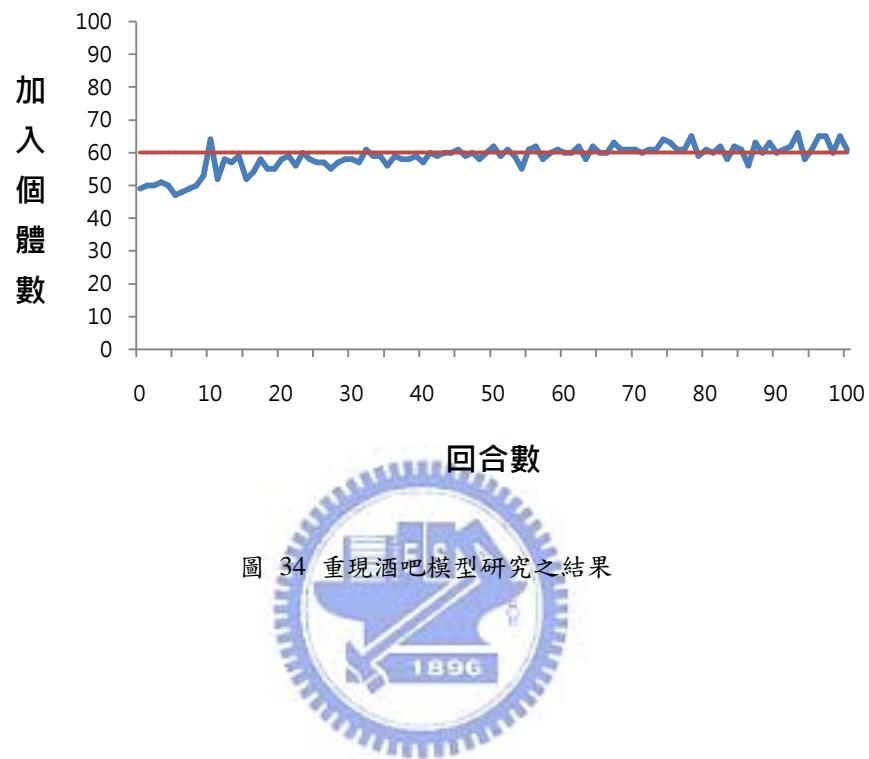
#### 4.2.1.3 結果呈現

酒吧模型中統計每一周酒吧的出席人數當成群體決策的結果呈現，故本實驗也以該選項每一回合加入的個體數為結果的呈現方式。

#### 4.2.1.4 結果分析

酒吧模型的研究指出，每一周的酒吧的出席人數會不斷的上下震盪，無法收斂，因為好的策略可能馬上就會失效，個體需要不斷的適應，尋找最當下最好用的策略。而利用本模型執行的結果如下圖 34，每一回合加入的個體數依舊是呈現不斷的震盪，但可以看出和過去的酒吧模型比較，震盪的幅度減低了許多，這是因為本模型中改善酒吧模型裡個體行為的不合理假設，將個體設定為遲鈍的個

體，當個體將評估每次執行之策略的標準放寬之後，執行結果不錯的策略就得以保存，不至於預測只偏差了一點就被淘汰，下一次遇到類似狀況就找不到這一個不錯策略，故個體的策略集合可以適應較長的時間，使得每個個體都可以找到最適當的時機加入該選項。



## 4.3 敏感度分析實驗

### 4.2.1 觀察策略被使用情形

#### 4.2.1.1 實驗目的

在個體執行的過程中，會利用策略來預測本回合加入各個選項的個體數，讓我們好奇的是，會不會有些策略被使用的時間較其他策略長，可以適應任何情形的「優勢策略」，或是有沒有哪些策略是非常熱門的，大部分的個體都利用此策略來進行預測。

#### 4.2.1.2 實驗設定

在本實驗中我們將整個模型中策略池的總策略數設定為 50 條策略，並且將執行次數拉長為 500 次，以方便我們觀察策略被使用的情形。其餘參數設定如下表 14。本實驗以就多重選項進行實驗，設定個體數為 300 人，選項數設為 3。

策略總數 ( $c$ )	執行次數 ( $T$ )	個體記憶容量 ( $m$ )	個體擁有策略數 ( $s$ )	選項配額 ( $C$ )
50	500	5	10	100
最適合比例 ( $L$ )	網路型態	個體連結度 ( $D$ )	傳播率 ( $P$ )	傳播次數 ( $SP$ )
60%	隨機網路	10 1896	0.8	1

表 14 觀察策略被使用情形實驗參數設定

#### 4.2.1.3 結果呈現

因為模型執行的初期，個體還在適應的階段，所以策略是否為優勢策略或熱門策略時，著重在執行階段的後期策略被使用的情況，本實驗將觀察執行的最後 100 回合個體策略是否曾被大部份個體所使用，或是在最後 100 回合中是否有策略皆有個體所使用。故我們以最後 100 回合策略同時被多少個體所使用的分佈圖呈現結果。

另外，我們將策略進行分類，觀察哪一個種類的策略較可能成為優勢策略或熱門策略。分類的方式以過去記憶中看中的比例為依據，例如目前個體的記憶能力為 5，就會出現六種分類，一種是在過去的五次記憶中個體不特別看中任何一次、或是在過去的五次記憶中個體特別看中其中的兩三次記憶，抑或是每一次記憶個體都十分看中。而我們就以這六種分類隨時間的動態變化來觀察是否存在優

勢策略或熱門策略。

#### 4.2.1.4 結果分析

以過去酒吧模型的結果我們大致可以推斷，不會存在優勢策略，但可能存在熱門策略。該研究告訴我們，若有一策略被大部分的個體所使用則策略會馬上失效，另外，過去模型對於策略執行結果的標準非常嚴格固的，所以策略非常容易被淘汰，不會出現長期都可以維持非常精準預測的策略。但上一個驗證實驗我們也提到，因為本研究之模型加入了個體行為的合理假設，放寬了個體評估策略好壞的標準，故可能出現優勢策略。

觀察下圖 35 可以發現，如我們推測在最後的 100 回合中只有極少數的策略沒有被個體使用，由此得知每個策略存活的時間都差不多，沒有可以使用特別長時間的策略。另外，我們也可以發現策略被使用的情況呈現常態分佈，大部分的策略都同時被  $n$  個個體所使用，只有少數的策略被同時被較少個體或較多的個體所使用。 $n = \text{總個體數}/\text{總策略數}$ ，例如本實驗中的結果就是大部分的策略都同時被 6 個個體所使用（總個體數為 300，總策略數為 50）。我們另外測試當總策略數增加時  $n = \text{總個體數}/\text{總策略數}$  的公式是否正確，結果得總策略數為 100 時，的確是大部分的策略都同時被 3 個個體所使用，如圖 36。

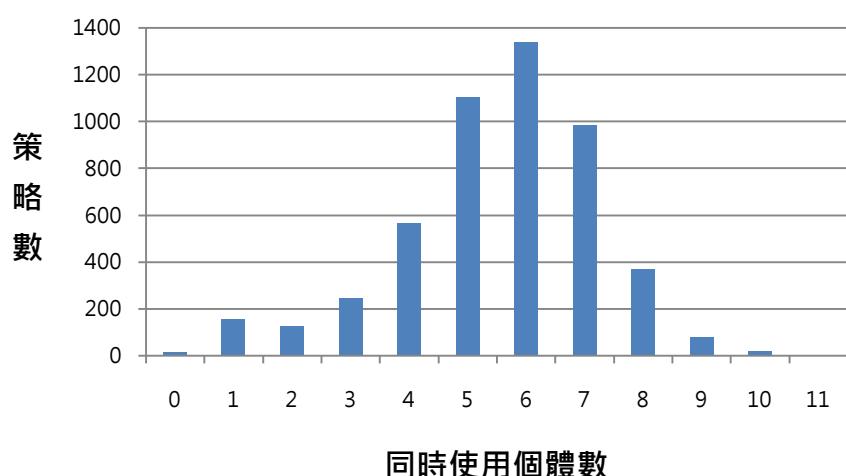


圖 35 執行後期策略被使用情形分佈圖

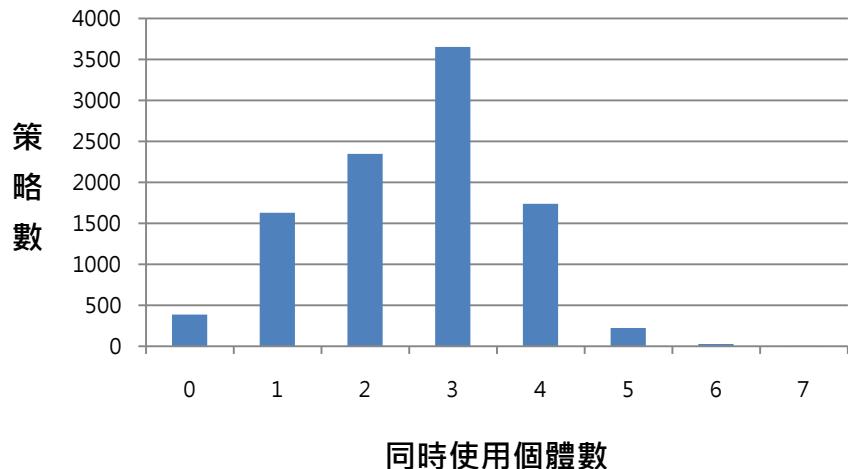


圖 36 執行後期策略被使用情形分佈圖（總策略數為 100）

以上圖 35 我們無法觀察來是否存在熱門策略，因為策略至多只同時被 10 個個體所使用，但下圖 37 我們將策略進行分類後可以看出分類 2 與分類 3 的策略屬於熱門策略，是大部分個體較喜歡使用的策略，而分類 2 與分類 3 所代表的就是在個體五次的記憶中，特別看中兩回合或三回合的策略。由此圖我們也可得知，每一次記憶都不看中的策略與每一次記憶都非常看中的策略屬於比較冷門的策略，而越中庸的策略會越熱門。

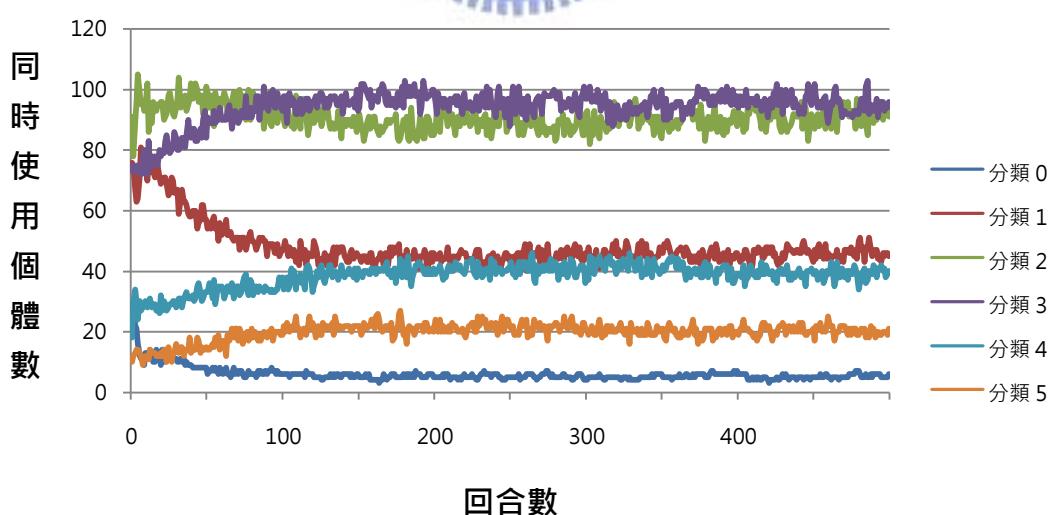


圖 37 策略分類動態變化

## 4.2.2 個體策略數之影響

### 4.2.2.1 實驗目的

當我們遇到週期較短的問題或是比較容易達成的問題，就容易發展出較多的策略，例如本文開頭的範例，個體每天晚上都必須買飲料喝，比起每年只去一次澳門小試身手能夠發展出來的策略就相對的多。而個體擁有比較多策略時，是否可以提昇個體預測的精準度。

### 4.2.2.2 實驗設定

本實驗以個體可擁有的策略數為變量，策略個數由 1 逐漸增加至 40，來探討策略數的多寡之影響，其餘參數設定就如下表 15。另外，分別就單一選項以及多選項進行實驗，單一選項時設定個體數為 100 人，選項數為 1；多選項時的設定為個體數 300、選項數為 3。

策略總數 (c)	執行次數 (T)	個體記憶容量 (m)	個體擁有策略數 (s)	各選項配額 (C)
50	500	5	5	控制參數 100
最適合比例 ( $L$ )	網路型態	個體連結度 ( $D$ )	傳播率 ( $P$ )	傳播次數 ( $SP$ )
60%	隨機網路	10	0.8	1

表 15 個體策略數之實驗參數設定

### 4.2.2.3 結果呈現

本實驗以個體的成功率來觀察策略數的增加是否使得個體預測的更準確，成功率提昇代表個體可以較準確的預測。另外也將觀察各選項每回合平均加入的個體數與每回合加入個體數之標準差，若標準差越大代表每回合加入的個體數不夠穩定，個體無法因策略數提昇而較能掌握選擇各選項的時機。

### 4.2.2.4 結果分析

結果發現當個體處於單一選項時策略數的增加的確會提昇個體預測的準確度，並且該選項每回合加入的個體數非常接近最適合比例、穩定度也相當高每回合加入的個體數不會相差太多，顯示個體非常能夠掌握選擇該選項的時機；但當個體面臨多重選項時，由於問題太過於複雜，無法藉由策略數的增加而提昇預測的準確度，策略數的多寡對於整體效益的關聯度相當低。

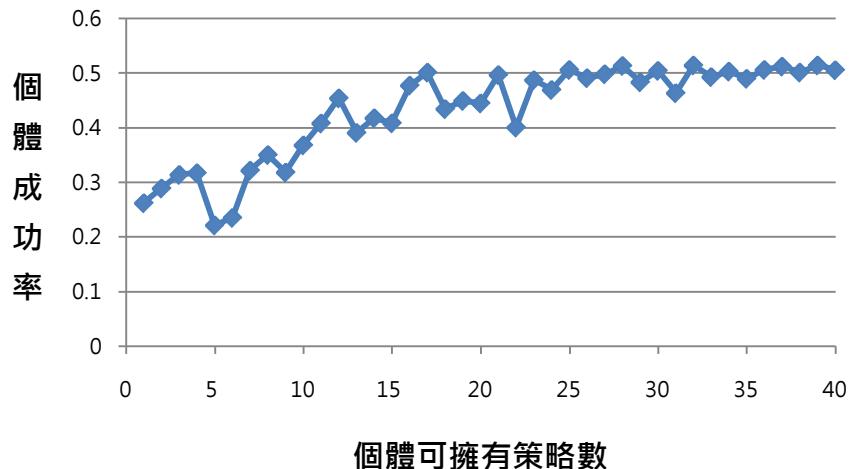


圖 38 個體策略數增加對個體成功率之影響（單一選項）

由上圖 38 可以發現，當個體處於單一選項時，隨著個體策略數的增加，個體成功率可以提昇至 50%，甚至是超越一些。這對於單一間公司、單一間店的管理者來說是相當好的消息，管理者可以利用各種促銷方案來讓顧客獲得新的策略，例如遊樂園的老闆可以提出星光票每天晚上半價，或是平日兩人同行一人免費的優惠促使個體用不同的時間進入園區，如此顧客就擁有較多的策略，可以在不同的時間到遊樂場遊玩，進而找出最適合入園的時機。遊樂園老闆就不一定要增設新的遊樂設施或是新開一間遊樂園來提昇收益。

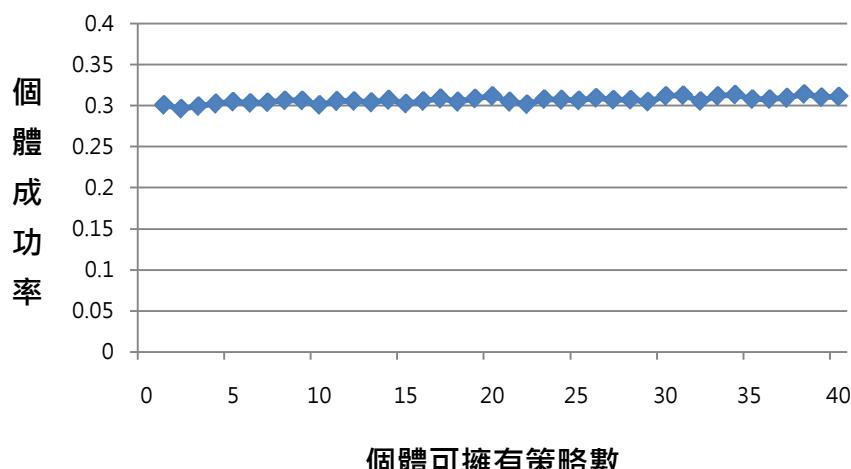


圖 39 個體策略數增加對個體成功率之影響（多選項）

但擁有多間分店的管理者就沒辦法利用此方式來提高收益，如上圖 39 所示

個體擁有的策略數越多個體成功率還是維持在 30%，所以管理者必須要用其他的方式來提昇整體效益。

#### 4.2.3 個體記憶能力之影響

##### 4.2.3.1 實驗目的

個體的記憶能力越強就能紀錄較久以前的資訊，而較長的歷史紀錄是否能幫助個體提昇預測的精準度，因為個體擁有較龐大的資訊可以參考。抑或是個體反而會擾亂個體的預測值，個體被過去某一次較不好經歷所影響，造成預測值的偏差。

##### 4.2.3.2 實驗設定

本實驗以個體的記憶能力為變量，記憶能力由 1 逐漸增加至 40，來探討個體記憶能力之影響，其餘參數設定就如下表 16。另外，也分別就單一選項以及多選項進行實驗，單一選項時設定個體數為 100 人，選項數為 1；多選項時的設定為個體數 300、選項數為 3。



策略總數 (c)	執行次數 (T)	個體記憶容量 (m)	個體擁有策略數 (s)	選項配額 (C)
50	500	控制參數	10	100
最適合比例 (L)	網路型態	個體連結度 (D)	傳播率 (P)	傳播次數 (SP)
60%	隨機網路	10	0.8	1

表 16 個體策略數之實驗參數設定

##### 4.2.3.3 結果呈現

本實驗以個體的成功率來觀察個體記憶能力的增加是否使得個體預測的更準確，成功率提昇代表個體可以較準確的預測。另外也將觀察各選項每回合平均加入的個體數與每回合加入個體數之標準差，若標準差越大代表每回合加入的個體數不夠穩定，個體無法因記憶能力提昇而較能掌握選擇各選項的時機。

##### 4.2.3.4 結果分析

結果發現無論單一選項或是多選項，較強的記憶能力都可以使得個體預測的準確度提昇，並且每回合各選項所加入的個體數都相當的穩定，不會有時多有時

少，顯示個體較能掌握選擇各選項的時機。如下圖 40 所示單一選項的個體成功率從 20% 快速上升到 50%，可看出記憶能力的提昇對於個體成功率有非常大的幫助，雖然在多選項時個體成功率提昇的幅度較小，但還是可以看出記憶能力對於個體預測的準確度有一定的影響。

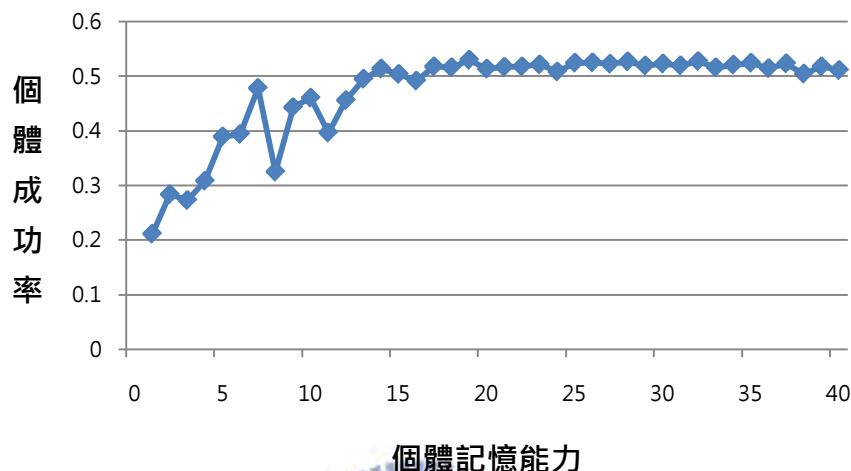


圖 40 個體記憶能力增加對個體成功率之影響（單一選項）

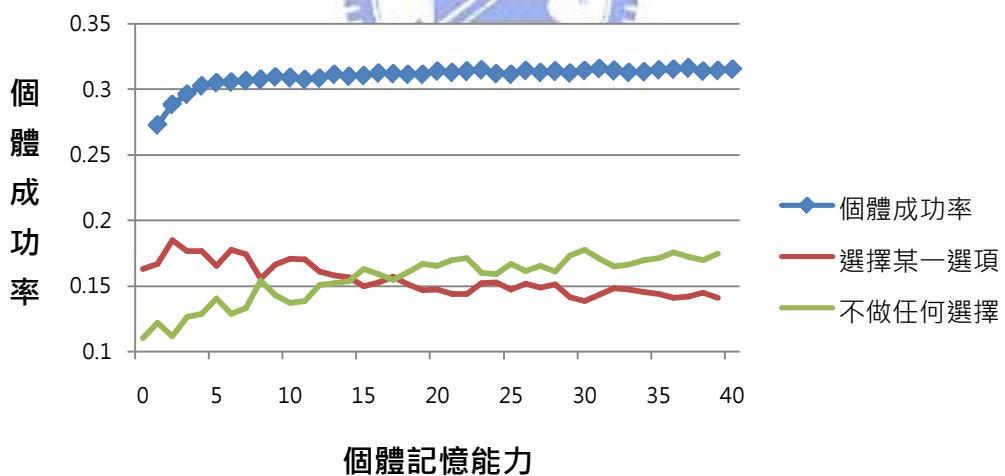


圖 41 個體記憶能力增加對個體成功率之影響（多選項）

但我們觀察圖 42 可以發現，當個體面臨多選項時，當個體記憶能力越強，每回合加入各選項的平均個體數目就越少，並且會逐漸少於管理者所要求的最適合個體數，不做任何選擇的個體數越來越多。這如同我們一開始所推測的，個體紀錄的次數越多，在進行預測時就會受到很久之前某一次不好的經驗所影響，導

致預測時的偏差。故記憶能力越強使得個體趨於保守，願意加入選項的個體數減少。

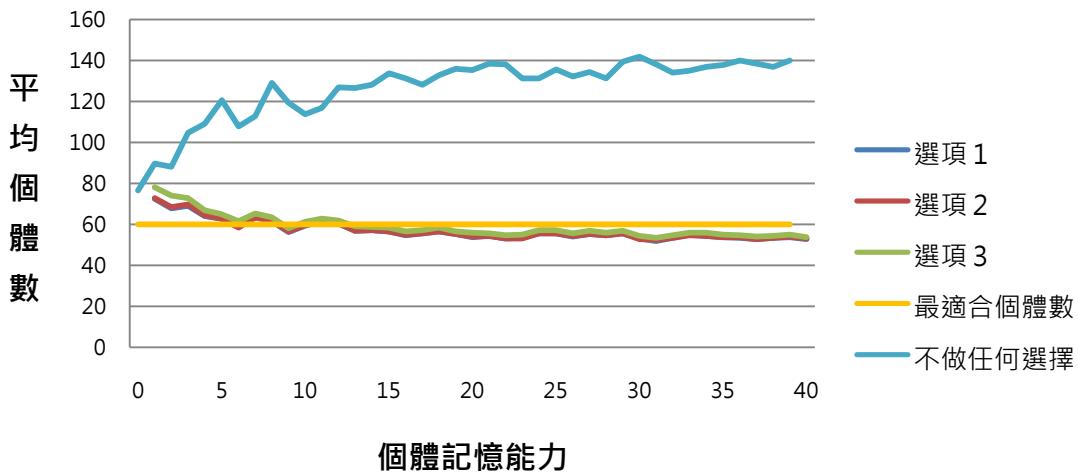


圖 42 個體記憶能力對各選項平均個體數之影響

為何個體趨於保守，較不願意加入選項的同時，圖 41 會還是呈現出個體此時的成功率逐漸升高。這是由於個體策略的成功來自兩方面，在表 10 中清楚的呈現，除了個體選擇某一個選項時該選項時，同時選擇該選項的個體數是符合該個體之標準外，當個體都不做任何選擇且同時沒有接獲有任何選項是符合標準的情況下個體所使用的策略也會判斷為成功的。

我們細看圖 41，可以發現當個體的記憶能力越強，個體成功率中因為選擇某一選項而得到成功的比率越來越低，這是促使個體越來越保守的原因；而另一方面個體不做任何選擇所得到成功的比率卻逐漸升高，升高的速度比選擇某一選項得到成功的比率其下降速度來的快，這也使得個體整體的成功率逐漸升高。

雖然記憶能力的增加會使得個體較不願意加入選項，造成管理者的收入下降，並且當人數低於管理者所要求的最適合人數時會造成虧損。但由圖 42 也可以發現，當個體的記憶能力沒有太強大，只維持在 5~10 時，各選項的平均個體數最接近最適合比例。所以擁有多間分店的管理者可以嘗試的讓個體容易記住過去五到十次的經驗。例如澳門政府就可以在每間賭場外標示出過去十次進場的賭客數，個體就可以利用此資訊來判斷今天要選擇那一間賭場消費。

## 4.4 應用

### 4.3.1 選項個數增加之時機

#### 4.3.1.1 實驗目的

本文開始我們有提到澳門賭場增設的問題，當每一間賭場生意都不錯時，是不是可以考慮再開設一間賭場，若是原本賭場的生意還不夠好，就急忙開設一間賭場可能會導致原本幾間賭場的客人被分散，連同新開的賭場每一間都變的生意不好，同時又必須負擔開設新賭場的成本，反倒會造成虧損，到底什麼時候是開設的最好時機呢？

#### 4.3.1.2 實驗設定

執行初期設定個體總數為 300，而選項數為 3，此後每一階段增加 50 個個體，故第一階段增加為 350 個個體、第二階段增為 400 個個體、第三階段為 450 個個體，並且我們分別在此三個階段完成後增加一選項，使選項數變成 4。來觀察何時是增加一選項的最佳時機。其餘參數設定如下表 17。

策略總數 (c)	執行次數 ( $T$ )	個體記憶容量( $m$ )	個體擁有策略數( $s$ )	選項配額 (C)
50	500	5	10	100
最適合比例 ( $L$ )	網路型態	個體連結度 ( $D$ )	傳播率 ( $P$ )	傳播次數 ( $SP$ )
60%	隨機網路	10	0.8	1

表 17 選項個數增加時機之實驗參數設定

#### 4.3.1.3 結果呈現

本實驗中根據增加選項的時機不同會有三個結果，而每一個結果我們都以每回合各選項加入的個體數動態圖來表示，觀察增加一個選項之後是否可以使系統管理者取得更大的效益。

#### 4.3.1.4 結果分析

根據不同階段的觀察可以發現不是每個階段都適合增加選項，必須加入各選項的個體數成長到某程度才適合增加選項，否則會造成虧損。三個階段的實驗結果如下圖 43 至 45，首先我們觀察各階段加入選項之前與之後平均加入的個體數，在第一階段加入選項之前每一個選項平均被 70 個個體選擇，故選擇選項的

總個體數為 210 個；但是在加了選項後，每一個選項都只被 50 個個體選擇，選擇各個選項的總個體數減少成 200 個個體，對於系統管理者而言是最糟糕的結果；但第二和第三階段加入選項後都可以看到選擇各個選項的總個體數皆有所提昇，第二階段提昇了 15 個個體，第三階段提昇了 20 個個體。另外我們必須考慮的因素還有系統管理者在已經增加選項的成本考量下不會希望還有額外的成本必須增加，在第三階段，雖然選擇各選項的總個體數增加，但增加一個選項個選項會平均被 65 個個體所選擇，超出原本系統管理者設定的只能服務 60 個個體的服務範圍，所以使得包括新增的選項在內，系統管理者還必須增加一些成本來應付這多出的負擔，故在本實驗的設定中在第二階段新增一個選項是最佳的時機。

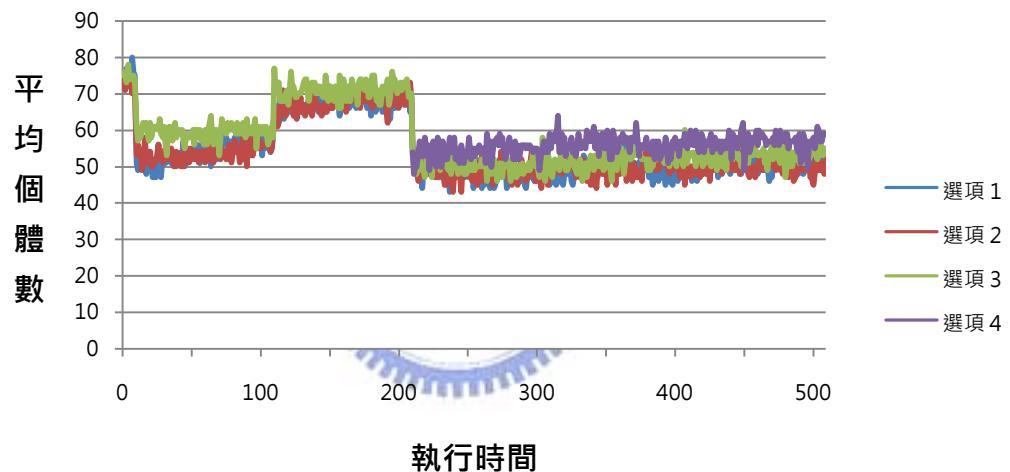


圖 43 在第一階段新增選項

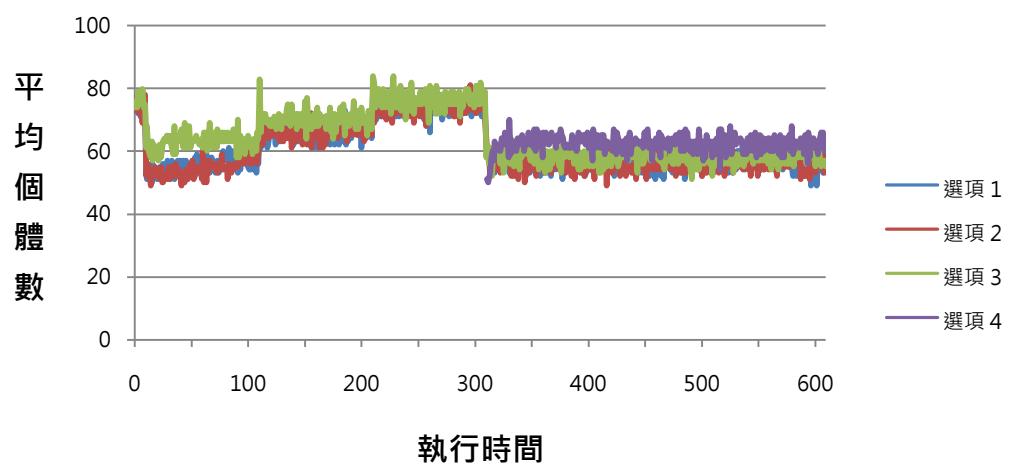


圖 44 在第二階段新增選項

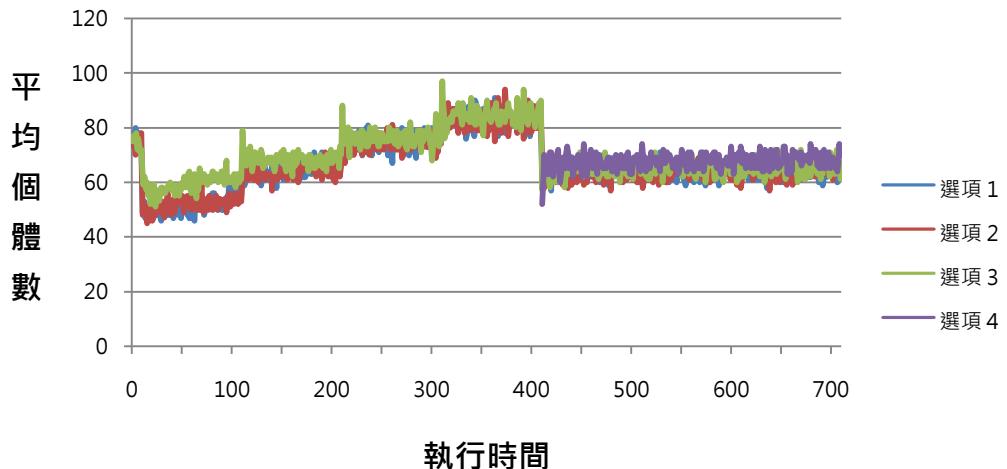


圖 45 在第三階段新增選項

#### 4.3.2 選項個數減少之時機

##### 4.3.2.1 實驗目的

管理者會有考慮是否要增加一間分店、一個賭場的時候，當然也會有考慮是否要關閉一間店的時候，當流行熱潮過後或是管理者操之過急的廣設分店後，可能會出現每間分店生意都不好的情況，此時管理者可以考慮關掉一間店來降低成本，觀察是否可以藉此得到較多的利益。

我們在上一小節發現不是每個時機都適合增加選項，可想而知也不是每個時機都適合刪減選項。若是在不對的時間點關閉分店，被關閉的分店其原先的客戶流到剩下的分店中，可能會造成其餘分店的負擔，雖然降低了一些成本但是卻使得其餘分店無法應付增加的顧客，也會造成顧客流失，最終還是無法提高收入。哪一個時間點才是最適合關閉分店的時機，就是本實驗的目的。

##### 4.3.2.2 實驗設定

執行初期設定個體總數為 300，而選項數為 3，此後每一階段減少 50 個個體，故第一階段增加為 250 個體、第二階段增為 200 個個體、第三階段為 150 個個體，並且我們分別在此三個階段完成後減少一選項，使選項數變成 2。來觀察何時是增加一選項的最佳時機。其餘參數設定如下表 18。

策略總數 (c)	執行次數 ( $T$ )	個體記憶容量 ( $m$ )	個體擁有策略數 ( $s$ )	選項配額 ( $C$ )
50	500	5	10	100
最適合比例 ( $L$ )	網路型態	個體連結度 ( $D$ )	傳播率 ( $P$ )	傳播次數 ( $SP$ )
60%	隨機網路	10	0.8	1

表 18 選項個數增加時機之實驗參數設定

#### 4.3.2.3 結果呈現

本實驗根據減少選項的時機不同會有三個結果，而每一個結果我們都以每回合各選項加入的個體數動態圖來表示，觀察減少一個選項之後是否可以使系統管理者取得更大的效益。

#### 4.3.2.4 結果分析

根據不同階段的觀察可以發現和增加選項相同，不是每個階段都適合減少選項，各選項的個體數必須低於某一程度才適合減少選項，否則反而造成虧損。三個階段的實驗結果如下圖 46 至 48，我們一樣先觀察各階段加入選項之前與之後平均加入的個體數，我們不希望在進行決策後顧客的總數減少。在第一階段減少選項之前選擇選項的總個體數為 165 個；但是在減少選項後，每一個選項都被 80 個個體選擇，選擇各個選項的總個體數減少成 160 個個體，對於系統管理者而言是糟糕的結果，進行決策後的顧客人數不升反降，無法提高收入；而第二和第三階段減少選項後都可以看到選擇各個選項的總個體數皆有所提昇，第二階段提昇了 5 個個體，第三階段提昇了 15 個個體。

雖然第二與第三階段都減少選項後選擇各選項的總個體數都有所提昇，但我們還是要觀察，是否在減少選項後管理者還有額外必須負擔的成本。第二階段減少選項後，造成剩下的兩個選項其平均個體數增加到 70 個，超出管理者設定只能服務 60 個個體的範圍，增加此兩選項額外的負擔；在第三階段減少選項後，各選項則是為時平均個體數在 60 個，符合管理者設定的範圍。在上一小節增加選項時，我們稱第二階段的情況為不好的狀況，因為使用者要再增加額外的成本來負荷增加的個體數，但在這裡並不一定為不好的狀況。但倘若刪除的選項中用來服務顧客的物品是可以轉移的，管理者就不需負擔額外的成本。例如連鎖餐廳

的老闆關閉了一間分店後，使得剩餘的分店多出了許多顧客，超出原本可負擔的範圍，則此老闆可以利用被關閉的分店內還可使用的物品來支援剩餘的分店，將不用的桌子放到剩餘的分店內，或是將部份的廚具搬到剩餘的分店。如此管理者並沒有額外的增加成本，所以在物品可以被轉移的情況下，故第二與第三階段都是適合減少選項的時機。

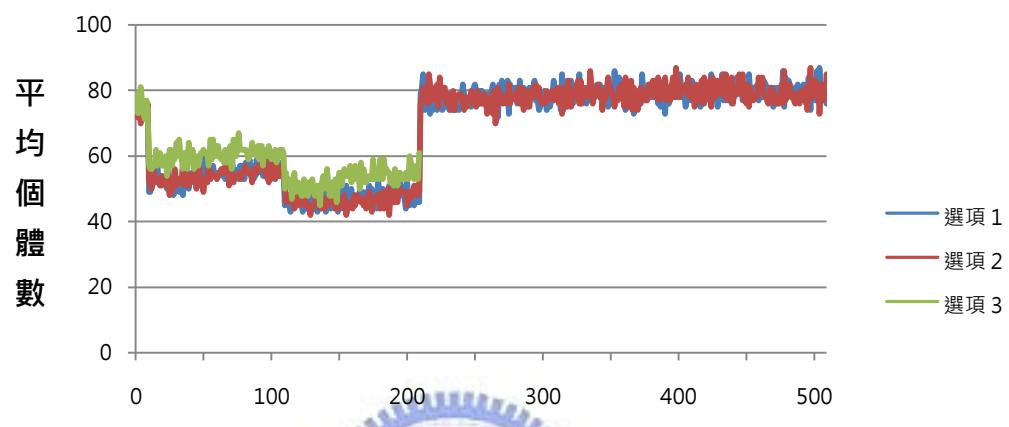


圖 46 在第一階段減少選項  
1996

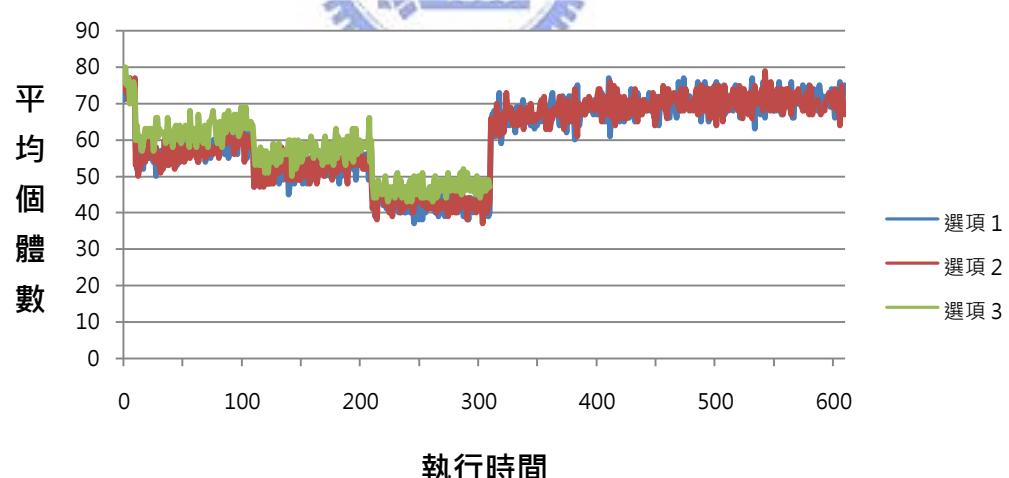


圖 47 在第二階段減少選項

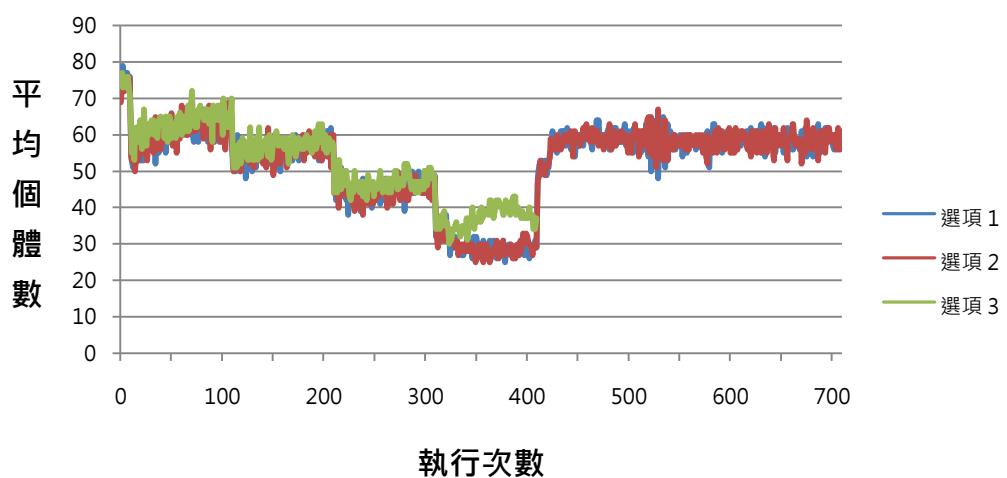


圖 48 在第三階段減少選項



## 第5章、結論

### 5.1 優點與貢獻

本研究以簡單酒吧模型為基礎，加入了現實層面中的多贏機制以及區域資訊，發展了一個新的模型用來解決多人共享有限資源問題。並且以下列方式來達成這類問題的五個重要特徵：

個體擁有主控權—在本模型中只有個體被賦予判斷能力，獨自決定要加入哪一選項。

週期性—每個個體每一回合都必須決定要選擇哪一選項，或是皆不選擇。

多重選項—每個個體每一回合皆必須從 M 個個體選擇一個加入，或是判斷都不加入。

有限資源—每個個體都希望加入相同選項的個體不要超過最適合比例，此比例為固定有限的，個體必須爭取這有限的資源。

共同選擇—每一選項的有限資源都同時被所有個體所分享，所以個體會利用部分經驗來做預測，預測本回合各個選項會被多少個體所選擇，個體在從中決定本回合要加入哪一選項。

並且本研究中也提出過去酒吧模型或相關模型的對於個體行為假設的不合理性，並且本模型以下列方式達到合理假設：

區域資訊—將個體建立在社會網路上，並且在每一回合做完決策後，會透過社會網路進行資訊交流，將本身的訊息傳遞給朋友。

模糊資訊—個體在加入某一選項後，可以透過粗略的估計來計算出同時有多少個體也加入相同選項。

遲鈍個體—本研究將個體評估策略每次使用時的成功與失敗標準放寬，使得個體不會因為些微的差距就將有不錯執行結果的策略判定為失敗。

使得本模型在加入現實因素與個體行為的合理假設後，使得本模型較符合真

實社會的狀態，讓此模型可以解決更多現實層面的問題，使得模型用來解決現實生活中的問題時的可信度被增加。

而各系統的管理者無論是澳門政府要思考是否需要增加一間賭場，或是飲料店業者考慮是否要關閉一間分店都可先使用本模型來進行模擬，討論在目前的狀態是否增加一間賭場或是關閉一間分店可以提升收益。另外，本模型還可供系統管理者進行下列的政策決定；

1. 管理者需要提供給個體多少方案才能使整體效能有效提升。
2. 在各飲料分店、各間賭場的消費者數漸漸提升，管理者是否可以在不新增一間分店的情況下，以增加服務人員、機台的方式來滿足消費者的需求，以增加些微的成本就提升整體收益。



## 5.2 綜合結果

在發展了一套新的模型之後針對個體的策略與個體進行決策時的因素進行了一些實驗，實驗結果如下：

1. 在多人有限資源問題中不存在「優勢策略」，每個策略發展到後期都平均的被個體所使用，沒有使用特別長時間的策略。
2. 在多人有限資源問題中越中庸的策略越可能成為「熱門策略」，在個體的記憶能力中在意其中一半的回合數之策略為最熱門的策略。
3. 在個體面對單一選項的決策時，個體可擁有的策略數越多，個體的預測就較為準確，並且此選項平均加入的個體數接近最適合比例，每次加入的個體數也都相去不遠，相當的穩定，故個體擁有的策略數越多單一商店的管理者就可得到較大的利益。
4. 無論個體面對單一選項還是多重選項的問題，個體記憶能力的提升皆可以使個體的預測更準確，但面臨多重選項時個體的記憶能力太強會使每回合加入各選項的個體數下降，造成系統管理者的收益低於成本。
5. 系統管理者必須在適當的時機增加一個選項才能提升整體的效益，否則可能造成選擇各選項的總個體數流失，亦或是除了增加一個選項所需的成本外，還必須負擔額外的成本。

### 5.3 未來發展

在本研究的設計上為了降低複雜度將每一個分店或是每一個個體都視為相同的，但是現實生活中並非如此雖然連鎖企業有許多的分店，可是每一分店可以有自己的特色，也可以有不同實施的策略，並且每間分店彼此的關係可以是互相競爭的。未來的研究可以針對各種條件來創造各分店不同的特徵，例如本研究的實驗有中提出一個建議，建議每間分店可以在店外標示出最近十次來該店消費的顧客人數，但我們也可以嘗試著只有部份的分店在店外標示出最近消費的顧客人數，有些分店並不做任何標示，來測試在這種情況下，到各間分店消費的人數有何差異。

另外每個個體雖然會共同的希望在人數不多也不少的情況下消費，但是每個個體還是可能有不同的特殊要求，例如服務人員的長相、店內的裝潢、或是對於各分店原本的依賴程度，未來可以增加每個個體特殊的要求，觀察對於結果有何影響。

最後，本研究目前還處於理論的階段，雖然在非常貼近現實的假設下可供系統管理者模擬各種政策的實施情況，但還必須有和真實資料互相驗證的動作。可以嘗試對於真實社會中某一問題中實施某一政策，然後與模型執行結果相互對照，檢察本模型是否可以模擬出真實的情況。

## 參考文獻

- [1] W. B. Arthur, "Inductive Reasoning and Bounded Rationality," *AMERICAN ECONOMIC REVIEW* vol. 84, pp. 406-411, 1994.
- [2] W. B. Arthur, J. H. Holland, and B. Lebaron, "Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market," in *The Economy as an Evolving Complex System*, W. B. Arthur, S. Durlauf, and D. Lane, Eds., 2 ed, 1996, pp. 15-44.
- [3] S. Hod and E. Nakar, "Strategy updating rules and strategy distributions in dynamical multiagent systems," *physical review E*, vol. 68, 2003.
- [4] N.F.Johnson, S. C. Choe, S. Gourley, T. Jarrett, and P.M.Hui, "Crowd Effects in Competitive, Multi-Agent Populations and Networks" in *Nonlinear Dynamics and Heterogeneous Interacting Agents*, T. Lux, E. Samanidou, and S. Reitz, Eds., 2005.
- [5] N.F.Johnson, S. Jarvis, R. Jonson, P. Cheung, Y. R. Kwong, and P.M.Hui, "Volatility and agent adaptability in a self-organizing market," *Physical A*, vol. 258, pp. 230, 1998.
- [6] D. J.Watts and S. H.Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks," *Nature*, vol. 393, pp. 440-442, 1998.
- [7] Albert-Laszlo, Barabasi, and R. Albert, "Emergence of Scaling in Random Networks," *Science*, vol. 286, pp. 509-512, 1999.
- [8] Barabasi, R. Albert, and H. Jeong, "Scale-free characteristics of random networks: the topology of the world-wide web," *Physical A*, vol. 281, pp. 69-77, 2000.
- [9] B. Lebaron, "Agent-based computational finance:Suggested readings and early research," *Journal of Economic Dynamics & Control*, vol. 24, pp. 679-702, 2004.
- [10] D. K.Gode and S. Sunder, "Allocative efficiency of markets with zero intelligence traders," *Journal of Political Economy*, vol. 101, pp. 119-137, 1993.
- [11] B. Lebaron, W. B. Arthur, and R. Palmer, "Time series properties of an artificial stock market," *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 23, pp. 1487-1516, 1999.
- [12] S. Grossman and J. Stiglitz, "On the Impossibility of Informationally Efficient Markets," *The American Economic Review*, vol. 70, pp. 393-408, 1980.
- [13] R. D.Blackwell, P. W.Miniard, and J. F.Engel, *Consumer Behavior*, 9 ed, 2001.
- [14] T. S.H.Teo and Y. D. Yeong, "Assessing the consumer decision process in the digital marketpla," *Omega*, vol. 31, pp. 349-363, 2003.
- [15] D.Challet and Y.C.Zhang, "emergence of cooperation and organization in an

- evolutionary game," *Physical A*, vol. 246, pp. 407, 1997.
- [16] A. Rapoport, "MATHEMATICAL MODELS OF SOCIAL INTERACTION," in *Handbook Of Mathematical Psychology*: John Wiley And Sons, Inc., 1963, pp. 493-580.
  - [17] G. Kossinets and D. J.Watts, "Empirical Analysis of an Evolving Social Network" *Science*, vol. 311, pp. 88-90, 2006.
  - [18] M. S. Granovetter, "The Strength of Weak Tie," *The American Journal of Sociology*, vol. 78, pp. 1360-1380, 1973.
  - [19] I. Nasell, "Stochastic models of some endemic infections," *Mathematical Biosciences*, vol. 179, pp. 1-19, 2001.
  - [20] T. Kalinowski, H.-J. Schulz, and M. Briese, "Cooperation in the Minority Game with local information," *Physical A*, vol. 277, pp. 502 508, 2000.
  - [21] M. Kirley, "Evolutionary minority games with small-world interactions " *Physical A*, vol. 365, pp. 521-528, 2006.
  - [22] S. Gourley, S. C. Choe, P. M. Hui, and N. F. Johnson, "Effects of local connectivity in a competitive population with limited resources," *EUROPHYSICS LETTERS*, vol. 67, pp. 867-873, 2004.
  - [23] N.F.Johnson, P.M.Hui, R.Jonson, and T.S.Lo, "Self-Organized Segregation within an Evolving Population," *Physical Review Letters*, vol. 82, pp. 3360, 1999.
  - [24] N.F.Johnson, D. J. T. Leonard, P.M.Hui, and T.S.Lo, "Evolutionary freezing in a competitive population," *Physical A*, vol. 283, pp. 568-574, 2000.