

# 國立交通大學

## 資訊科學與工程研究所

### 碩士論文

小世界社會網絡演化模型：

階段性需求於社交網絡拓樸動態的影響

Evolution Model of “Small-World” Social Network :  
Dynamic Influence on Social Network Topology  
by Hierarchy Needs

研究生：蔡文翊

指導教授：孫春在 教授

中華民國九十六年六月

小世界社會網絡演化模型：  
階段性需求於社交網路拓樸動態的影響

Evolution Model of “Small-World” Social Network：  
Dynamic Influence on Social Network Topology  
by Hierarchy Needs

研究生：蔡文翊

Student：Wun-Yi Tsai

指導教授：孫春在

Advisor：Chuen-Tsai Sun

國立交通大學  
資訊科學與工程研究所  
碩士論文



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 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年六月

# 小世界社會網絡演化模型：

## 階段性需求於社交網絡拓樸動態的影響

學生：蔡文翊

指導教授：孫春在 教授

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

### 摘 要

本研究提出一個以代理人為基礎，並結合個體階段式社交需求的小世界社會網絡模擬模型。模型中根據個體受社交吸引的各種因素，將各種因素依照個體階段的認知原則，歸納為不同層次的需求結構，建立出一個具階段式的需求金字塔模型。該模擬模型可分成五個階段層面：時空接近性、完整緊密性、正向相似性、連續權力性、邊際衰退性。模型各階段皆遵循不同的社交原則，透過動態演化方式形成的社會網絡是一個小世界複雜網絡，具有高群聚度與低分隔度二種在真實社會中常見的拓樸特性，並且滿足個體社交網絡中『富者益富』的普適現象，呈現無尺度性質一個體度分佈遵循冪次律，說明個體間社交關係發展的差異性。模型中透過代理人模擬真實社會中的人類個體，並以階段式需求金字塔來表現人類個體間的社交關係，充份呈現出人類社交行為的全貌。最後，以小世界性質的兩項評估指標，來進行模型各階段的敏感度分析，並透過找出社交關係的連結模式，瞭解社交關係的各種傳播行為現象，並嘗試探討未來考量模擬虛擬社交型態的可能性。

**關鍵字：**複雜網絡、小世界性質、無尺度特性、傳播行為、臨界現象

Evolution Model of “Small-World” Social Network :  
Dynamic Influence on Social Network Topology  
by Hierarchy Needs

Student : Wun-Yi Tsai

Advisor : Dr. Chuen-Tsai Sun

Institute of Computer and Information Science  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

The thesis presents an agent-based and small-world social network model combining individual hierarchy needs in the social network. Based on various factors, which gives impact on social behavior of individual, we classify these factors into different group and build up the pyramid model with hierarchy needs. These needs include five layers: space-time proximity, complete closure, positive similarity, status continuous, and marginal decline. This model is assumed to be changed continuously and formed a complicated social network with “small-world” and scale-free characteristics. First, the “small-world” has two well-known features: high clustering and low separation. Second, scale-free presents the feature of preferential attachment. That is, the fact the degree distribution of individual abides power-law explains the reason why the deviation of social relationship development exists among individuals. Besides, we also assume that agents act as individuals in the real world and have social relationship by the pyramid of hierarchy needs. From this thesis, we can conclude that our empirical results could reflect social behavior in the real world. Moreover,

this thesis also provide sensitivity analysis to evaluate the impact of clustering and separation on the model and tries to the find out connected pattern to understand human propagation behavior for further research references.

**Keywords :** complex network 、 small-world property 、 scale-free characteristic 、 propagation behavior 、 critical phenomenon



# 目錄

摘要.....	iii
ABSTRACT .....	iv
目錄.....	vi
圖目錄.....	ix
表目錄.....	x
<b>第一章 緒論</b> .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 研究動機.....	2
1.1.2 社交關係的複雜性.....	2
1.1.3 電腦模擬建立社交網絡模型.....	3
1.2 研究目標.....	4
1.3 論文架構.....	4
<b>第二章 文獻探討</b> .....	5
2.1 社會認知原理.....	5
2.1.1 格式塔心理學原理.....	6
2.1.2 格式塔心理學—認知模式.....	6
2.1.3 格式塔心理學—認知法則.....	7
2.2 馬斯洛的需求層級理論.....	9
2.2.1 馬斯洛的需求層級理論深度剖析.....	11
2.2.2 行為是由優勢需要決定.....	11
2.3 簡單社會網絡模型.....	13
2.3.1 有序網絡模型(Regular Network Model).....	13
2.3.2 隨機網絡模型(Random Network Model).....	14
2.3.3 小世界網絡模型(Small-World Network Model).....	14
2.3.4 無尺度網絡(Scale-Free Network).....	17
<b>第三章 階段性社交關係模型設計</b> .....	21
3.1 模型架構.....	22
3.2 社交吸引因素—階段式需求金字塔.....	24
3.3 社交關係模型—階段性需求金字塔.....	26
3.3.1 第一階段 時空接近性 (Space-Time Proximity).....	26

3.3.2	第二階段	完整閉合性 (Complete Closure).....	27
3.3.3	第三階段	正向相似性(Positive Similarity).....	27
3.3.4	第四階段	權力連續性(Status Continuous).....	28
3.3.5	第五階段	邊際衰退性(Marginal Decline).....	28
3.4	模型操作性定義(Operational Definition) .....		29
3.4.1	第一階段	時空接近性 (Space-Time proximity).....	29
3.4.2	第二階段	完整閉合性 (Complete Closure).....	30
3.4.3	第三階段	正向相似性(Positive Similarity).....	31
3.4.4	第四階段	權力連續性(Status Continuous).....	35
3.4.5	第五階段	邊際衰退性(Marginal Decline).....	37
3.5	社交關係的個體差異性 .....		38
3.6	模型參數設計 .....		40
3.6.1	代理人參數 .....		40
3.6.2	社會網絡環境參數 .....		41
3.7	模擬步驟說明 .....		42
3.7.1	程式流程說明(個體).....		44
3.7.2	程式流程說明(環境).....		45
<b>第四章</b>	<b>實驗與結果</b> .....		<b>46</b>
4.1	模擬結果 .....		46
4.1.1	小世界性質驗證—高群聚度 .....		48
4.1.2	小世界性質驗證—低分隔度 .....		49
4.1.3	網絡拓樸性質分析—平均度分佈 .....		50
4.1.4	網絡拓樸性質分析—度分佈(對數圖).....		51
4.1.5	社交網絡模型結論 .....		51
4.2	模擬模型階段性參數敏感度分性 .....		52
4.2.1	參數敏感度相關性 .....		52
4.2.2	參數敏感度分析結論 .....		53
4.3	模擬模型階段性網絡拓樸性質 .....		54
4.3.1	平均度分佈 .....		55
4.3.2	度分佈 (對數圖) .....		56
4.4	傳播的趨同模式 .....		57
4.4.1	個體傳播行為 .....		57

4.4.2	傳播速度—每日新增傳播人數 .....	58
4.4.3	傳播速度—每日累積傳播人數 .....	58
4.5	模擬模型其它網絡拓樸性質 .....	59
4.5.1	連結關係型態 .....	60
4.5.2	連結關係模式 .....	61
4.5.3	連結關係成長分佈 .....	62
4.5.4	模擬模型其它網絡拓樸性質結論 .....	63
<b>第五章</b>	<b>結論與未來研究</b> .....	<b>64</b>
5.1	結論 .....	64
5.2	未來研究方向 .....	65
	<b>參考文獻</b> .....	<b>66</b>
	<b>附錄 程式碼</b> .....	<b>69</b>



# 圖目錄

圖 1 接近法則.....	7
圖 2 閉合法則.....	8
圖 3 相似法則.....	8
圖 4 連續法則.....	9
圖 5 馬斯洛需要層級.....	9
圖 6 個體階段性發展.....	12
圖 7 WATTS-STROGATZ 小世界網絡模型.....	15
圖 8 平均最短路徑和群聚度(小世界網絡模型).....	15
圖 9 『貴族式』小世界網絡.....	16
圖 10 『平等式』小世界網絡.....	16
圖 11 節點連結數呈鐘形曲線分佈(『平等式』小世界網絡).....	17
圖 12 節點連結數呈冪次定律分佈(『貴族式』小世界網絡).....	17
圖 13 無尺度網絡上的節點度數對應到節點個數.....	18
圖 14 無尺度網絡的形成過程.....	19
圖 15 無尺度網絡中的「集散節點」.....	21
圖 16 階段式需求金字塔.....	24
圖 17 階段式需求金字塔(依循階段性社交法則).....	26
圖 18 HEIDER 認知狀態圖.....	32
圖 19 網絡節點聲望值概略圖.....	37
圖 20 模擬模型的整體架構(階段式需求金字塔).....	39
圖 21 階段式需求金字塔，作用於二維晶格上的個體.....	39
圖 22 代理人個體階段性社交關係圖.....	40
圖 23 模擬步驟說明圖.....	43
圖 24 代理人個體 模擬流程.....	44
圖 25 社交網絡 環境模擬流程.....	45
圖 26 小世界性質驗證—高群聚度實驗結果.....	48
圖 27 小世界性質驗證—低分隔度實驗結果.....	49
圖 28 小世界性質驗證—度分佈實驗結果.....	50
圖 29 小世界性質驗證—度分佈實驗結果(對數圖).....	51
圖 30 小世界性質驗證—群聚度實驗結果(階段性模型).....	52

圖 31	小世界性質驗證—分隔度實驗結果(階段性模型)	53
圖 32	小世界性質驗證—度分佈實驗結果(對數圖)	56
圖 33	SIR 疾病傳染模型	57
圖 34	模型各階層的傳播速度	58
圖 35	模型各階層的傳播速度	58
圖 36	網絡中強弱連結關係示意圖	59
圖 37	群體透過弱連結建立關係	60
圖 38	強連結和弱連結的示意圖	60
圖 39	模型各階段的強弱連結的比例	61
圖 40	模型各階段弱連結與群體數目	62
圖 41	各階段連結數目的成長	63



表格 1	無尺度網絡的例子	20
表格 2	代理人個體參數表	41
表格 3	社會網絡環境參數	41
表格 4	各種實際網絡的基本統計數據(取自文獻[3])	47
表格 5	模型各階段群聚度和分隔度	53
表格 6	模型各階段平均度分佈值	55

# 第一章 緒論

近年來，真實網絡中小世界性質和無尺度特性的發現激起了各學術領域對複雜網絡的研究熱潮，其中網絡拓撲結構對複雜網絡上動力學行為的影響是研究焦點之一，像是大眾都很重視的議題，包括金融泡沫是如何發生的、政治改革的影響力是如何造成的，這些都是跟社會中的個體社交行為有著密切的關係。

社交關係是影響著個體傳播的行為，當傳播擴散到整體的社會時，就會造成上述某一種特別的社會現象被突顯出來，單一的行為模式像是只要有社會接觸的，就有機率會造成傳播的疾病的傳染，或者是只要透過社交關係就可以不斷被強化的謠言被廣為流傳著。這些不管是疾病或是資訊的傳播行為，都是藉由個體的社交關係散佈到社會網絡上，因而當我們了解了個體間的社交關係，將有助我們了解到個體的社交行為，是如何在實際的社會中將資訊串連起來。



## 1.1 研究背景

如果把社交互動中的個人視為點，而互動過程視為線，那麼連結社交環境中的個人所造成之連接關係，其結構與動態過程，即是社交網絡概念。

我們必須避免錯誤地高估物體動力特徵(dynamic characters)的恆常性，需求特徵(demand characters)會隨著需要而發生變化—動力特徵的可變性，將會對社交關係的活動，產生關鍵性的影響。

一條彎路可能變成一條直路，一塊絆腳石可能變成一塊墊腳石，一個具有吸引力的物體也可能在活動進行過程中變成一個具有殺傷力的東西，這些變化取決於瞬間的條件而定，並具有不同程度上的持久性。『能適應性』(quality of pliancy)的行為模式，和行為環境中的其它個體亦有關性。

### 1.1.1 研究動機

自 1998 年鄧肯·華茲(Duncan J. Watts)與論文指導教授史特羅蓋茲(Steven Strogatz) 共同提出論文《小世界網絡的集體動力學》，發表了同時具有高群聚度與低分隔度的小世界網絡建構理論與實證資料後[1]，與複雜網絡相關的議題成為了各界學者熱切研究的對象 [2, 3, 4, 5, 6]。

科學家們發現大量的真實網絡既不是規則網絡，也不是隨機網絡，而是具有與前兩者皆不同的統計特徵的網絡。這樣的一些網絡被科學家們叫做複雜網絡，其諸多統計特徵中最重要的是小世界效應[1, 31]和無標度特性[32, 33]。

舉凡生態學中的食物鏈網、美國電力網，以一種看似隨機實際上卻遵循著驚人的特定法則模式，形成各種形式的複雜網絡，仍而在這些看似結構各異的網絡中，卻隱含著相同的拓撲性質，無論是小世界現象[1, 7, 8, 9]—低分隔度與高群聚度，或是節點間呈現冪次律的度分佈[1, 10, 11, 12]。

然而，過去的研究都把網絡當作是一種『純然的結構』(pure structure)，其特性是靜止固定的，但是這些假設，與真實的情況相距甚遠。

首先，真實的網絡代表的是一群操作中的個別份子—能夠產生力量、傳遞資料，或者甚至立下決定；雖然個別份子之間的關係結構確實意趣橫生，但是其重要性主要來自於它對個體或系統整體行為的影響。

再者，網絡是個動態的實體，不僅因為網絡系統中會有事情發生，更因為網絡本身會隨著時間演化，會被組成份子的行動或決定影響，而有所改變。

因此，社交網絡其實是一種持續演化、自我型塑的整合性系統。

### 1.1.2 社交關係的複雜性

社交關係(social relationships) 是指個體在某一段生命歷程裡與其它特定個體經常保持社會接觸，這類的社會接觸不是一些較為浮面的接觸，如：

同一班列車上的乘客。

社交關係發展的變化(developmental change)，個體間發展的演變雖存在差異性，但似乎遵守著一些大原則，其中有三個原則可以視為演變過程中的普遍現象(universal phenomena)：

1. 社交關係發展有先後的規律性
2. 社交關係發展有個別的差異性
3. 社交關係發展有前後的一貫性

個體在發交關係的發展演變絕非隨機(random)而無目的的改變，這種社交關係發展先後的規律性，見於不同社交需求的權重，而每個需求階段中的過渡時期，亦具有個體社交行為的連續性，社交行為之間有其關連性。

### 1.1.3 電腦模擬建立社交網絡模型

對於社交網絡的模擬，電腦模擬的方法相較於以往用數學公式統計的方式，具有更多的優點：

#### 1. 模擬性 (Simulation)

模擬可以將某些特殊問題給予概念化，並呈現出某些變項間的特殊關係，模擬類似於真實世界的不同個體，並客觀維持著個體之間的某些空間特性。如：距離、年齡。

#### 2. 抽象性 (Abstractness)

模擬類似於真實世界的個體，但又不是個體關係的刻板摹寫，客觀個體是以其不同的具體形式存在的，而模擬則具有一定程度的抽象性。例如：較一般身高較高一公分的人、和較一般身高較高三公分的人，認定為身高較一般人高的人。

#### 3. 易變性 (Changeability)

模擬與傳統數理方法不同，它具有易變性的特點，模擬強調現象何以或怎樣變化，並且簡明敘說事象之間的相關性；發生在社交網絡的社交

關係，會因為個體階段需求的不同，而使個體的社交行為發生變化。例如：隨著時間的流逝，童年時代的鄰里情誼會逐漸暗淡，而失去具有地理上鄰近性的優勢。

#### 4. 可操作性 (Operability)

模擬作為人的一種行為表徵，具有可操作性的特點，可提供衡量模擬因素和模擬過程的方法。如：模擬社交活動的進程，需要從各個面向觀察，將真實的狀況作來回的調整。

因此，使用電腦模擬的方法，在建立社交網絡的動態演化模型上，具有眾多優勢，可以讓研究者用更精確的角度了解社交關係的發展進程。

## 1.2 研究目標

建立一個多代理人的動態社交網絡模擬模型；在這個模型中，會考量個體階段性的社交需求，而提出一個階段性需求金字塔，而這個金字塔式的需求結構，考慮個體受社交吸引的各種因素，再將各種因素依照個體階段的認知原則，歸納為不同層次的需求結構。最後，我們要能夠驗證，我們所提出來的需求金字塔模型，是符合真實社會的情況，所以會用二個評估指標，來驗證我們模型建立的社交網絡具有小世界性質。

## 1.3 論文架構

本篇論文撰寫的順序如下：第一章為『緒論』，提出本研究的研究動機及主要的研究目標。在第二章為『文獻探討』，此章節特別探討與本篇論文相關的背景知識、過去的研究，其中包含了社會認知原理、馬斯洛的需求層級理論、簡單社會網絡模型。第三章為『社交網絡模型設計』，此章說明以階段性需要理論為基礎的社交網絡整體結構。第四章為『實驗』，此章針對本研究設計的『社交網絡模型』作敏感度分析，於社交關係的小世界性質進行驗證、社交網絡的拓撲進行分析，而在第五章的部份將針對模型未來發展有所探討。

## 第二章 文獻探討

社交關係(social relationship)定義為維持社會互動所產生的一種個人關係的型態，是透過知覺、評鑑、了解與反應模式而進行的互動歷程，亦即一個個體對另一個個體的看法、想法及做法，同時也是兩個個體彼此對外在的目標所採取的同時行動。

社交關係是指個體與個體相互交往中的一些比較持久的行為模式，在交往的過程中，個體與個體彼此構成對方的刺激，從而影響個體的感受和行為，而對方的行為又轉而成為自己的行為刺激，此種連續而互動的關係就是社交關係。社交關係也是個體與個體之間的心理關係及距離，且反應了個體尋求滿足社會需求之心理狀態，因此，社交關係的變化與發展，決定於個體雙方需要滿足的程度。

近年來西方學者對社交關係的研究，幾乎以社會交換理論(Social Exchange Theory)的研究為重心，社會交換理論重要概念是：社交行為一定涉及『資源』(Resource)[28]。社會交換理論家將『資源』定義為：可透過社交行為加以傳遞的任何物質或符號，並假定『資源』有六種類型：愛情、地位、服務、貨品、資訊、和金錢[23][24]。

社會交換理論指出：要瞭解個體為什麼選擇去追求一種社交關係，維持社交關係，或結束社交關係，可以藉著檢驗與此社交關係相關聯的潛在獎賞和可能付出的代價，而得以更加清楚。

### 2.1 社會認知原理

認知理論研究人們如何處理訊息，近年來社會心理學家將之應用至社會知覺、歸因、刻板印象等方面的研究，探討人們如何將有關人、社會情境與團體的訊息組合起來，以及如何做相關的推論[29]。

社會知覺是指一個人對人、事、物等社會性刺激的知覺，格式塔理論對這

方面研究的影響很大，格式塔理論提出的知覺原則如：接近法則、閉合法則、相似法則、連續法則等，被廣泛的用來研究人的社會知覺。

## 2.1.1 格式塔心理學原理

「格式塔」(Gestalt) 心理學誕生於一九一二年，它強調經驗和行為的整體性，認為整體不等於部分之和，意識不等於感覺元素的集和，行為不等於反射弧的循環。在格式塔心理學家看來，知覺到的東西要大於眼睛見到的東西；任何一種經驗的現象，其中的每一成分都牽連到其他成分，每一成分之所以有其特性，是因為它與其他部分具有關係。

由此構成的整體，並不決定於其個別的元素，而局部過程卻取決於整體的內在特性，完整的現象具有它本身的完整特性，它既不能分解為簡單的元素，它的特性又不包含於元素之內。

格式塔的主要學說極大地影響了知覺領域，從而也在某種程度上影響了學習理論，它使心理學研究人員從另一角度去研究意識經驗，為認知心理學奠定了基礎。



## 2.1.2 格式塔心理學—認知模式

格式塔心理學(Gestalt Psychology)的觀點是由魏哲默(M. Wertheimer)、柯勒(Kurt Lewin)、和考夫卡(Kurt Koffka)以及其他在三〇年代遷移至美國的歐洲心理學家發展出來的，他們的重點是放在個人知覺與瞭解人事物的方式上，以他們的觀點來說，人所知覺到的情境或事件並不是由許多片斷的元素所組成，而是由『動態的整體』所組成。

請想想你最好的朋友，你上一次看到她的時候，你會將她知覺為手臂、腿、手指、與其它特徵的聚集嗎？或許不會，比較可能的是，你將她知覺為一個整體，她身體各部分之間的關係被整合為熟悉的『整體』或是你所認識與喜歡的人。其強調的是將環境知覺為整體，整體大於部分的總合，這便是著名

的完形心理學，Gestalt 一詞起源於德文，意為『形狀』或『形態』。

認知觀點的學者使用『基模』的概念來探討人的內在心理歷程。基模是對某些對象或概念之一套有組織、有結構的知識，是一個人將過去所經驗的事情組織起來而形成的，當眼前的情境將適當的基模激發起來後，此基模就會影響人對新事件的知覺與解釋，也會影響其後續的行為。

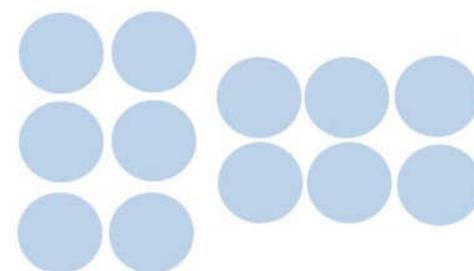
### 2.1.3 格式塔心理學—認知法則

我們自然而然地觀察到的經驗，都帶有格式塔的特點，以心物場為格式塔的總綱，由此派生出若干原則，稱作組織律；每一個人，包括兒童和未開化的人，都是依照組織律經驗到有意義的知覺場的。

這些良好的組織原則—感知的結構因素，有五種規律：

#### 1. 接近連續性(Proximity)—連續法則

接近連續性，指一種知覺傾向。一系列不同的刺激發生很接近的，通常都被組織在一起，並且使認為是一個整體；某些距離較短或相互接近的部分，容易組成整體。例如，圖一所示。距離較近而比鄰的線條，組合成為一個整體。



Law of Proximity:

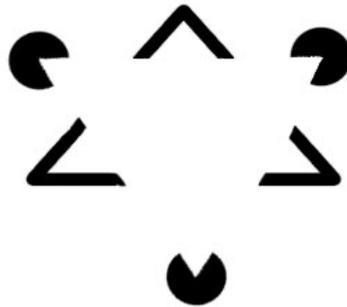
Objects near each other tend to be grouped together.

圖 1 接近法則

#### 2. 完整閉合傾向 (Closure)—閉合法則

知覺印象隨環境而呈現最為完善的形式，彼此相屬的部分，容易組合

成整體，反之，彼此不相屬的部分，則容易被隔離開來。這種完整性說明知覺者心理的一種推論傾向，幾個刺激因子若共同包圍一個空間，則這幾個刺激容易構成一個感知單位，意即把一種不連貫有缺口的圖形使之趨合，即為閉合傾向。例如，圖二所示。觀察者總會將此視作三角形圖形，而不會視作其他分別獨立的線條或圓圈。



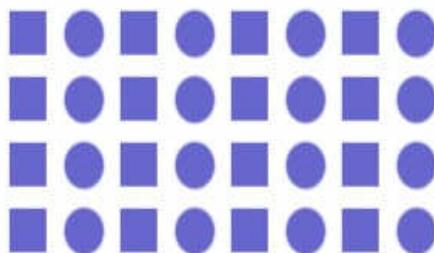
#### Law of Closure:

Objects grouped together are seen as a whole.

圖 2 閉合法則

### 3. 相似性(Resemblance)—相似法則

如果各部分的距離相等，形狀有異，那麼形狀相同的部分，就組合成為整體。例如，圖三所示。觀察者總會將圖看作按直線排列，而非以橫線排列。



#### Law of Similarity:

Items that are similar tend to be grouped together.

圖 3 相似法則

#### 4. 共同方向運動(Common Fate)—連續法則

一個整體中的部份，如果作共同方向的移動，則這些作共同方向移動的部分，容易組成新的整體。例如，圖四所示。當物體朝同方向運動，即視為同一整體。

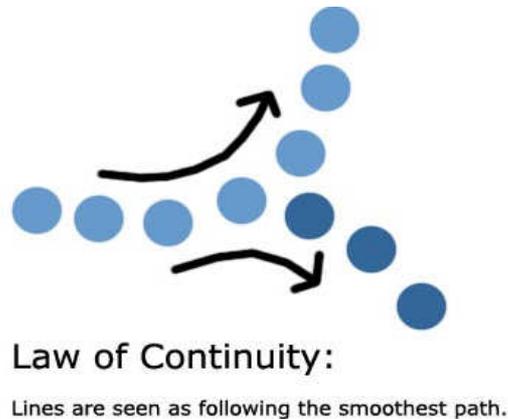


圖 4 連續法則

## 2.2 馬斯洛的需求層級理論

人類是複雜的有機體，除了外在刺激、角色與認知外，還有各種需求與動機會影響的人的知覺、態度與行為。心理學家馬斯洛(Abraham Harold Maslow, 1908~1970)的需要層級理論(Theory of Hierarchy of Needs) 將人的需要分為五個層次：

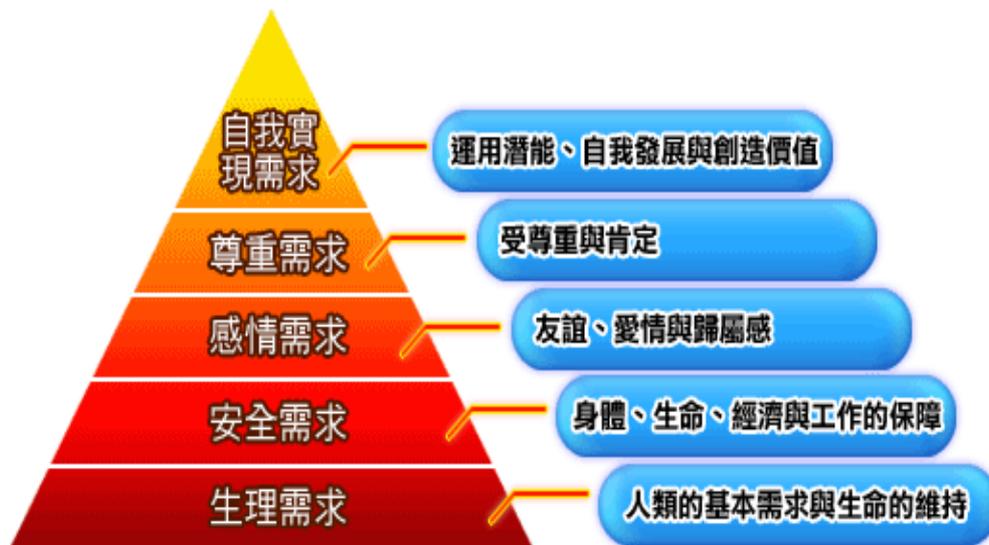


圖 6 馬斯洛需要層級

## 1. 生理的需要 (Physiological Need)

生理需要是人的各種需要中最基本、最強烈的一種，是對生存的基本需要，也是所有動物都需要的最基本的最低維持生命的需要，包括對食物、水、住所、衣服、性、睡眠等的需要，它基本上是人的生理機能的本能需要，是需要層次金字塔的基礎。

## 2. 安全的需要 (Safety Need)

安全需要表現為人們要求保障自身安全、擺脫失業和喪失財產威脅、避免職業病的侵擾等方面的需要。安全需要是在生理需要得到滿足之後產生並對人形成激勵的。在實際生活中人們偏愛熟悉的事物，而非不熟悉的事物；偏愛已知的事物，而非未知的事物；偏愛已有的行動規律與秩序，而非無規則的變化等，所有這些都是人類對安全需要的具體表現。

## 3. 歸屬和愛的需要 (Belongingness and Love Need)

社交的需要，同人往來、進行社交、獲得朋友的友誼、獲得別人的愛、給予別人愛、希望被社會和團體所接納、得到認可。人們對朋友、愛人的渴望，並且渴望在團體、家庭等正式或非正式組織中有自己的位置，這就是歸屬與愛的需要。

人們希望能夠真正地團結起來，共同地應對外來危險，共同地面對同一件事情。人們渴望得到別人的愛，也希望給予別人愛。歸屬的需要也包括被擁有的需求；例如：工作團體(teamwork)。足球球迷在觀看比賽中所表現出的巨大的熱情、同仇敵愾的凝聚力，正是現代人歸屬感的一個有力的例證。

## 4. 尊重的需要 (Esteem Need)

人們追求穩定的社會地位，要求個人的能力和成就能夠得到社會的認可。尊重的需要又可分為內部尊重和外部尊重。內部尊重是指一個人希望在各種不同情境中有實力、能勝任、充滿信心、能獨立自主。內部尊

重就是人的自尊；外部尊重是指一個人希望有地位、聲望、榮譽、有威信，受到別人的尊重、信賴和高度評價。自尊需要的滿足可以獲得一種自信的情感，這時，人覺得活有價值，能體驗到活著的用處和價值，因而，對社會充滿熱情。

## 5. 自我實現的需要 (Self-Actualization Need)

馬斯洛指出這是最高層次的需要，它是指實現個人理想、抱負，發揮個人的能力到最大程度，完成與自己的能力相稱的一切事情的需要。此層次的需求強調個人的成長，例如：自我成長、自我實踐，潛能的發揮等需求；自我實現的需要是在努力實現自己的潛力，使自己越來越成為自己所期望的人物。自我實現是人類需要的最高層次。

### 2.2.1 馬斯洛的需求層級理論深度剖析

人的需要層次並不是機械的、靜態的、絕對的，而是相互交叉的、動態的、相對的。它受到歷史、地理、人種、環境、法律、道德、風俗、宗教、文化、經濟等諸多因素的制約和影響。

1. 個人並不是等到自己的一種需要完全滿足以後才想起其他需要，個人的不同的基本需要往往只是得到部分的滿足，其需要的重點便已經開始轉移。也就是說，每一層次需要只需相對滿足即可。
2. 低層級的需要滿足後，高級需要的出現並不是跳躍的、突然的，它實質上是緩慢地從無到有、逐步發生的。
3. 每一層次的需要，不同的人，不同的素質，受不同的複雜因素的影響，對該層次需要的認識和滿足程度是不同的。比如對自尊、自我實現需要的認識和滿足程度，農民和知識份子是完全不同的。

### 2.2.2 行為是由優勢需要決定

馬斯洛認為，在同一時間點個體存在多種需要，其中有一種占優勢地位的

需要決定著個體的行為；當一種需要滿足以後，它就不再是行為的積極推動力，而是其它較高層次的需要開始發生作用。優勢需要滿足後出現的新需要，並不以突然跳躍的形式出現，而是以緩慢的速度從無到有，由弱到強，逐步發生的。

採取認知觀點的學者常使用『基模』的概念來探討人的內在心理歷程。基模是對某些對象或概念之一套有組織、有結構的知識，是一個人將過去所經驗的事情組織起來而形成的，當眼前的情境將適當的基模激發起來後，此基模就會影響人對新事件的知覺與解釋，也會影響其後續的行為。

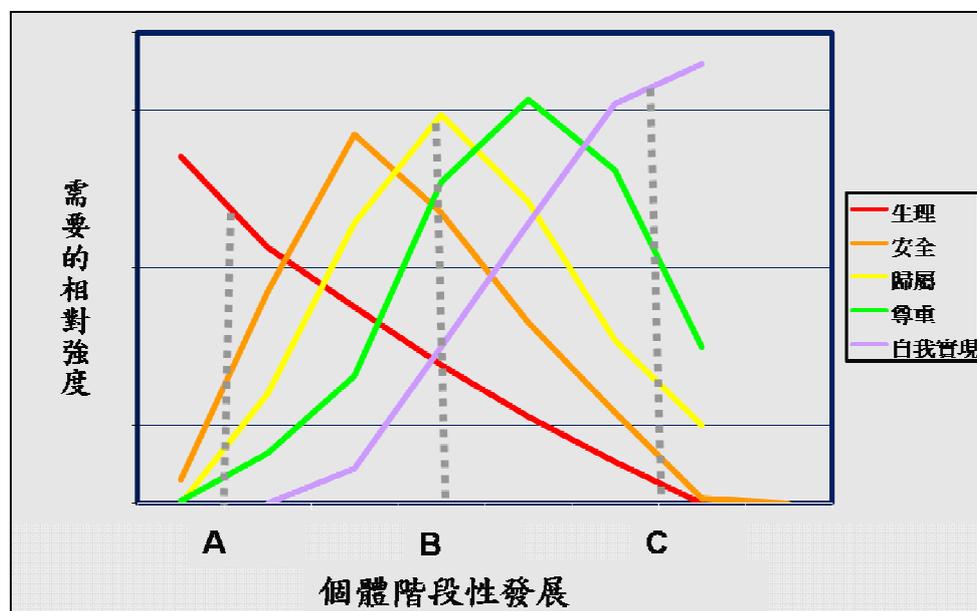


圖 7 個體階段性發展

上圖說明可以從需要層次發展橫軸上任取一點，來分析了解個體動機結構的內容。例如，在 A 點上，個體生理需要最為迫切，其次為安全需要，其他三種層次的需要尚未產生，在 B 點上，歸屬和愛的需要對個體的影響最大，其次是安全需要，而生理需要已獲相當的滿足，而尊重與自我實現的需要已經開始發展，但對行為的推動作用尚微；在 C 點上，該個體的行為主要由尊重的需要所決定，自我實現的需要已有相當大的作用，而生理與安全的需要已退居下位。

## 2.3 簡單社會網絡模型

為了要充分利用電腦建模去模擬各種社會現象，因而必須考慮到個體與個體之間的互動，社會科學家利用簡單的社會網絡來描述最基本的人際關係。

簡單社會網絡模型的基本概念，是將每一個個體視為網絡上的一個節點，個體與個體之間若存在著某種關係，則以連結兩個節點(個體)來代表關係的存在，例如：個體間具有社交關係，則此連結的關係可以表示為一個訊息傳遞的溝通連結、疾病的傳染途徑…等。

在網絡模型中每個個體藉由關係的連結與其它個體進行互動，過往的模型中大都採用有序網絡模型(Regular Network Model)、隨機網絡模型(Random Network Model)二種方法來建立簡單的社會網絡。

而 Watts 與 Strogatz 於 1998 提出的小世界網絡(Small-World Network Model)[1]可以呈現出具有高群聚係數(Clustering Coefficient)、低分隔係數(Separation coefficient)的特性，較符合真實社會中社會性的原貌，而成為用來研究社會現象的重要網絡模型。

### 2.3.1 有序網絡模型(Regular Network Model)

社會網絡中的每個節點都連向它附近的其他節點，且連結數固定，稱為有序網絡模型。有序網絡模型強調的是對區域性的描述，如：個體與週圍個體之間的關係，但是真實社會網絡中並非如同有序網絡一般有整齊一致的脈絡。

有序網絡中具有高群聚係數(Clustering Coefficient)的特性。若以社會網絡  $G$  為例，在此網絡上每一個節點以  $v_i$  來表示，而  $k_i$  表示節點  $v_i$  的分支度(Degree of Vertex)，對於點  $v_i$  的群聚係數以  $C(v_i)$  表示，定義  $E_i$  (與節點  $v_i$  相鄰的點彼此之間的邊數)除以  $\frac{k_i(k_i-1)}{2}$ 。

每個節點的群聚係數可以寫成：

$$C(v_i) = \frac{2 \times E_i}{k_i \times (k_i - 1)} \quad (1)$$

而此網絡的群聚係數  $C(G)$ ，則是每個節點群聚係數  $C(v_i)$  的平均值。

### 2.3.2 隨機網絡模型(Random Network Model)

強調模型中個體與個體之間的連結，是透過隨機機率連結的方式，因而稱為隨機網絡模型。隨機網絡強調的是個體與個體之間是全然隨機的連結，無法表現出真實社會中具有區域性高群聚度的現象。

隨機網絡中具有低分隔係數(Separation Coefficient)的特性。若以社會網絡  $G$  為例，以  $S(v_i, v_j)$  代表任兩節點  $v_i$  與  $v_j$  之間的最短路徑， $S(G)$  定義為整個網絡的分隔係數，代表網絡上任兩個節點之間的平均最短路徑。



### 2.3.3 小世界網絡模型(Small-World Network Model)

1998 年 Watts and Strogatz 將一個有序網絡 (Regular Network) 的模型再加上隨機的『捷徑』(shortcut)，提出了小世界網絡模型(Small-World Network Model) [1]。群聚程度高和平均距離短的網絡稱為小世界網絡，在小世界網絡模型中，首先對於有序規則網絡的每一個節點的所有邊，以概率  $p$  斷開一個節點，並重新連結，連結的新節點從網絡中的其它節點隨機選擇。當  $p=0$  時，該網絡就演變成為有序規則網絡，當  $p=1$  時則為隨機網絡，當  $0 < p < 1$  的情況，則存在一個很大的  $p$  取值區間，使生成的網絡同時具有較大的群聚係數和較小的平均距離。

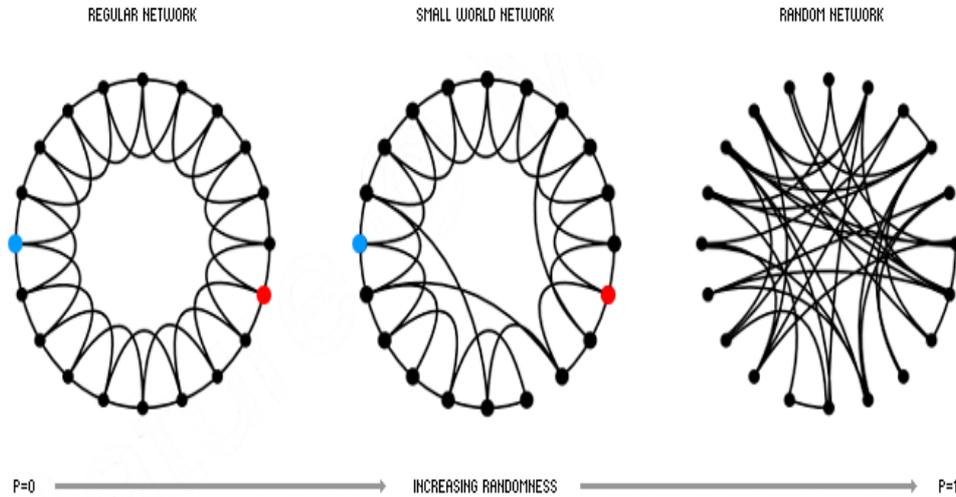


圖 8 Watts-Strogatz 小世界網絡模型

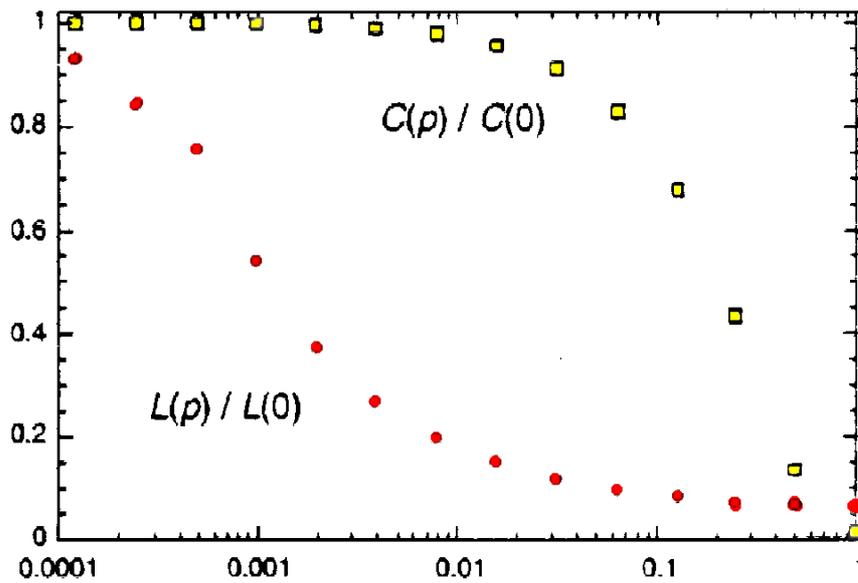


圖 9 平均最短路徑和群聚度(小世界網絡模型)

小世界網絡模型具有高群聚係數(Clustering Coefficient)與低分隔係數(Separation Coefficient)的網絡拓撲性質。這兩個性質呈現出實際的社會現象，高群聚度展現出社交關係的緊密度，這種緊密性就是 Rapoport 提出的三角閉合(Triadic Closure) [20] 的概念，如：當 Alice 和 Bob 都認識 Cindy，則 Alice 和 Bob 有很大的機率彼此認識，這些彼此互相認識的個體形

成了一個關係較緊密的群體，而在這種關係較緊密的群體內，個體之間的關係就是一種強連結[21]。

低分隔度表達的是一種“小世界”的概念，也就是 Milgram 所提出的六度分隔—網絡中任意兩個個體之間的人際距離大約只有 6 步—遠比想像中的來得短[22]，若以 Watts 和 Strogatz 的模型來加以解釋這個現象，只要在一個有序網絡 中加入一小部份的長距離連結，便可以大大地降低整個網絡的分隔度，而這些長距離的連結，對應到實際社會中即是所謂的弱連結[22]，如：不常聯絡的遠方親戚。

小世界模型具有二種不同的型式，如圖 9、圖 10 所示，一種是「平等式」的(圖 9)，一種是「貴族式」的(圖 10)；兩種主要的差異是連結的數目比例。平等式的各節點間連結數較為平均，不會差異太大；而貴族式的則明顯會有的節點擁有比例差異極大的連結數，也就是說有部分的節點比較重要。

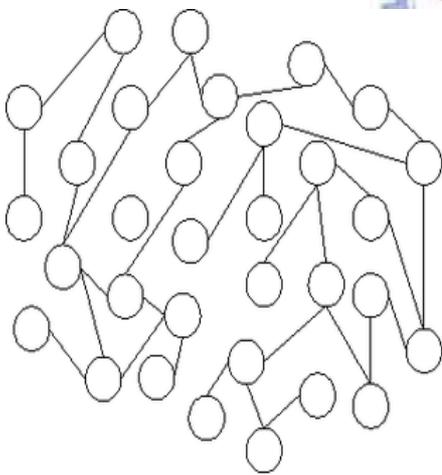


圖 11 『平等式』小世界網絡

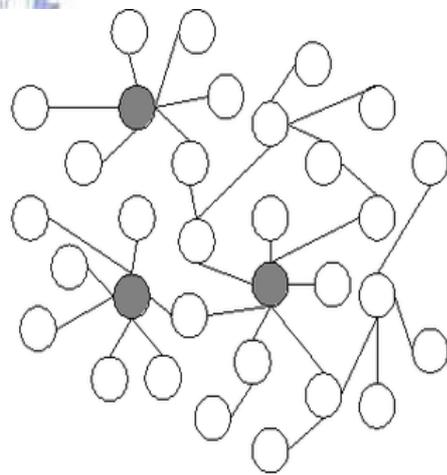


圖 10 『貴族式』小世界網絡

二種小世界模型的度分佈呈現不同的性質，如圖 11、圖 12 所示，「平等式」小世界網絡節點度分佈呈現常態分配(圖 11)，節點的度數大致形成鐘形曲線。而「貴族式」小世界網絡節點度分佈呈現冪次法則(Power-Law)(圖 12)，將節點分佈和節點數量取對數座標，會發現呈現一直線的曲線趨勢。

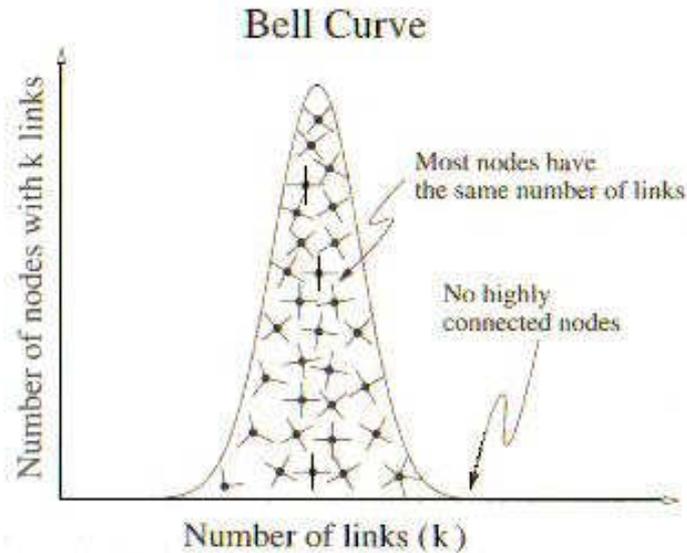


圖 12 節點連結數呈鐘形曲線分佈(『平等式』小世界網絡)

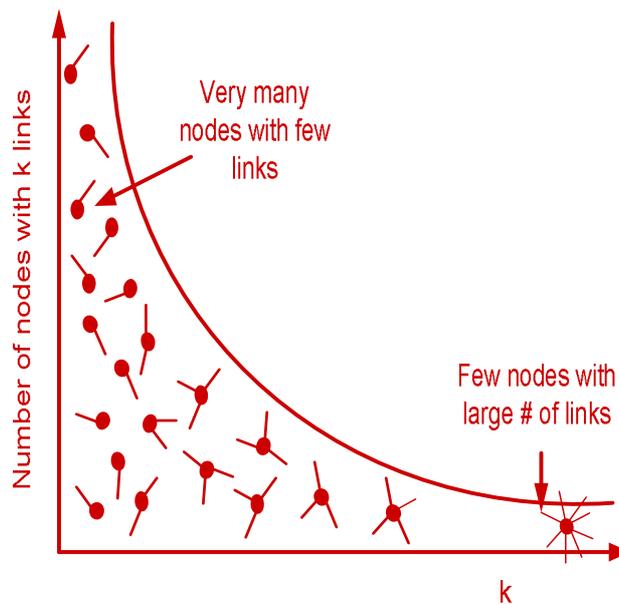
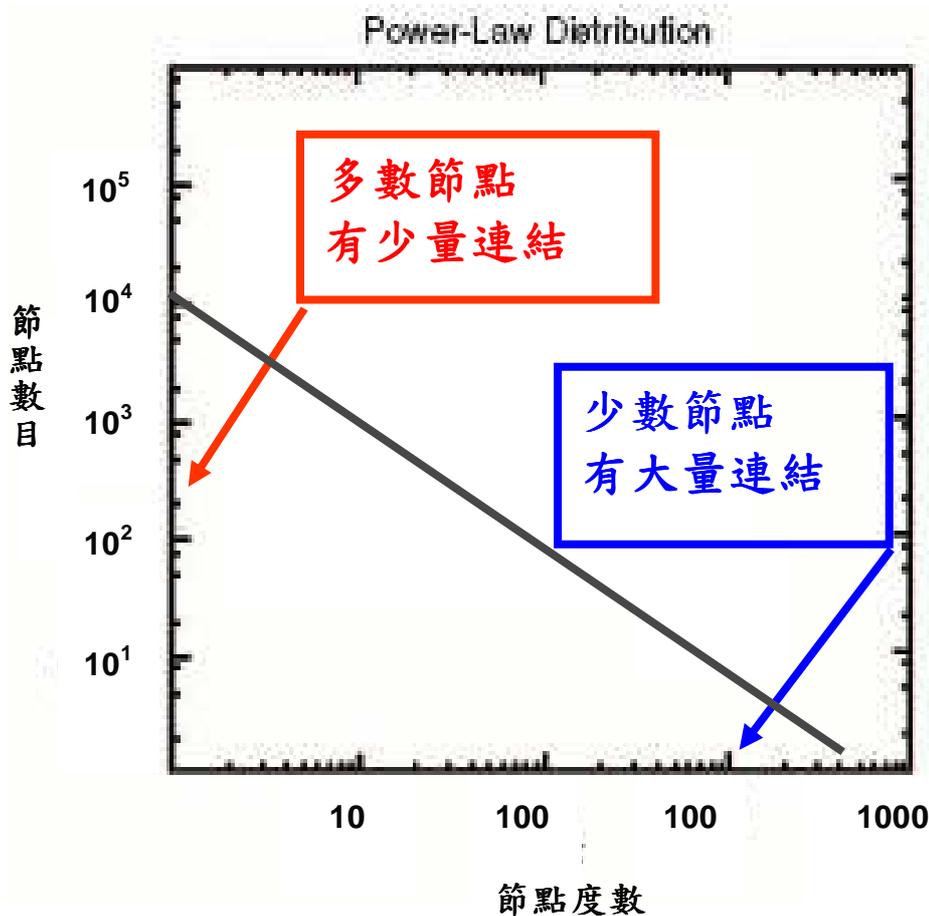


圖 13 節點連結數呈冪次定律分佈(『貴族式』小世界網絡)

### 2.3.4 無尺度網絡(Scale-Free Network)

無尺度網絡於 1998 年由 Barabasi 以及 Albert 提出，具有特殊的網絡拓樸結構，其網絡拓樸會隨著時間的進展而成長；若節點 A 的連結數是節點 B 的兩倍，那麼一個新的連結連到節點 A 的機率是連到節點 B 的兩倍。『無尺度』的現象就像是在茫茫人海中，突然出現若干身高數百米巨人一樣令人吃驚；

巨人的身高之大，已不能用普通人高度的尺度來度量，於是『無尺度』一詞被應用，以形容少數節點連結數大大超出普通節點的現象。無尺度現象的成因，可以從多個角度解釋，Barabasi 等人認為，優先連結性和網絡成長性是兩個起因。因為優先連結的作用，隨著時間的推進，某些節點愈加熱門，因而使得由原先相對均勻分佈的隨機網絡，逐漸演化為極不均勻的無尺度網絡。在這種特殊的網絡拓撲中，點的連結數及相對應節點個數呈現冪次律分佈：少數節點擁有大量的連結，而大部份的節點擁有的連結數不多。



在無尺網絡上，如圖 13 所示，大多數的節點連結數都很少，因此隨機選擇到像這樣節點的機率很高，然而隨著連結數的增加，這樣的節點個數銳減，隨機選擇到這樣節點的機率大大降低。這種新的連結連到原本就存在於網絡

中的節點的機率，與原本所擁有的連結數成正比的現象，稱之為『富者益富』(Preferential Attachment)原理。無尺度網絡的形成過程，便是依循著『富者益富』的原理進行，連結狀況良好的點將更有可能產生新連結，而原本連結不良的節點很有可能繼續保持弱勢狀態。以下圖 14 為例，無尺度網絡的節點以 2 個節點成長到 11 個節點，當新節點決定建立連結時，總是傾向於和已經擁有較多連結的節點相連結，成長性和優先連結這兩個基本機制，最終會造成擁有大量連結的集散節點所控制的網絡結構。

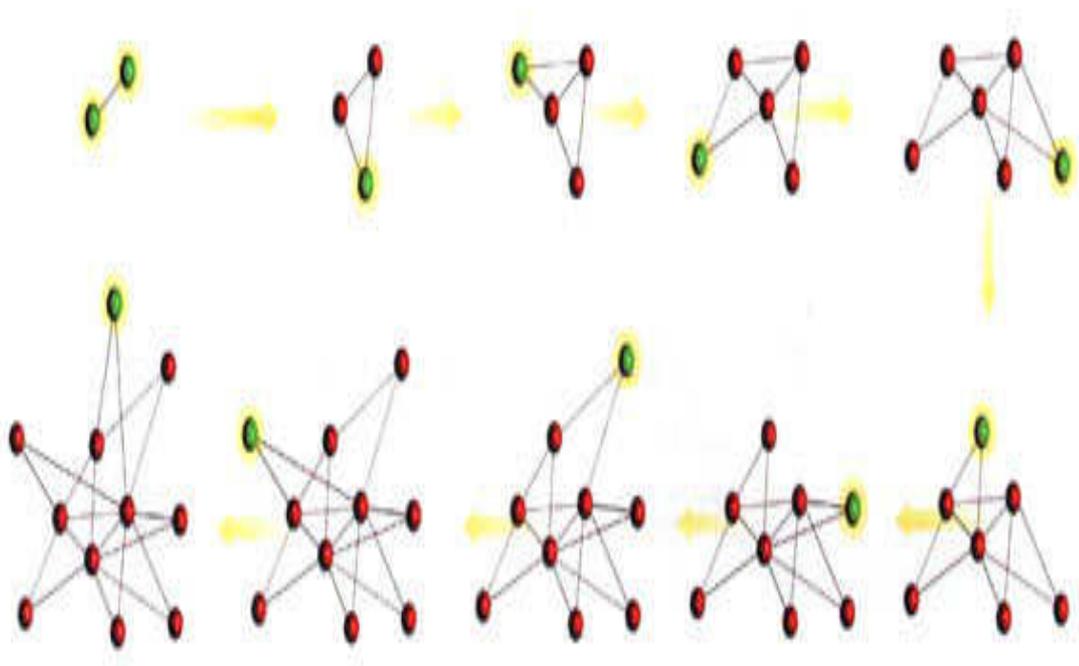


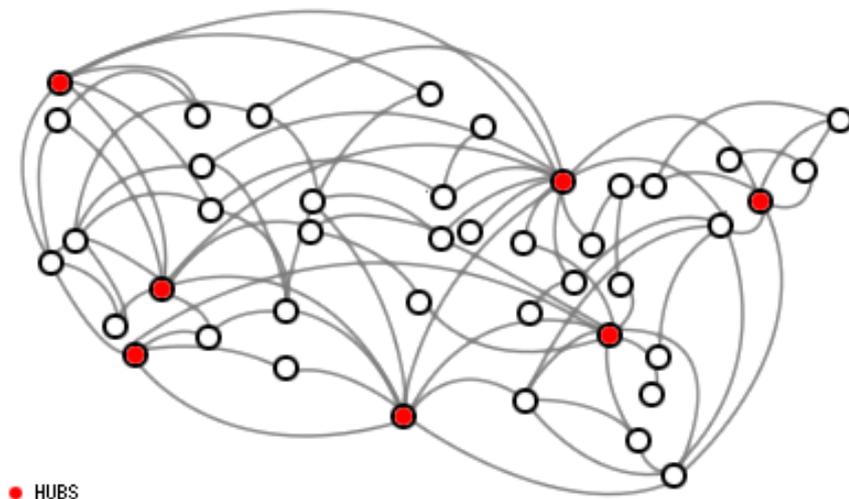
圖 15 無尺度網絡的形成過程

近年來，越來越多學者發現許多的社會網絡具有無尺度網絡的特性，例如：性關係網絡、網際網絡、長途電話網絡、食物鏈等(見表格 1)，事實上，科學家研究的網絡越多，發現的無尺度網絡也越多。

表格 1 無尺度網絡的例子

網絡	節點	連接型態
組織代謝	參與消化食物以釋放能量的分子	參與相同的生化反應
好萊塢	演員	合作演出同一部電影
網際網絡 (Internet)	路由器	光纖及其它物理連接
蛋白質調控網絡	協助調控細胞活動的蛋白質	蛋白質間的相互作用
研究合作網絡	科學家	合作撰寫論文
性關係網絡	人	性接觸
全球資訊網(WWW)	網頁	連接位址

而在無尺度網絡中，具有大量連結的節點被稱為「集散節點」(圖 15 所示)，在這樣的網絡結構中這些少數但卻擁有大多數連結的「集散節點」占著重要的支配地位。具有集散節點和集群架構的無尺度網絡，對意外故障具有極強的承受能力，但面對蓄意的攻擊和破壞卻可能不堪一擊。在隨機網絡中，如果大部分節點發生癱瘓，將不可避免地導致網絡的分裂。無尺度網絡的類比結果，則展現了全然不同的情況。



### 第三章 階段性社交關係模型設計

人是社會性的動物，會與其他個體接觸、建立並維持關係的『親和需求』(need for affiliation; McAdams, 1989)，個體的社交行為係由需求所引起，而需求又促使個體產生一種動力，驅使個體活動朝向一個特定的社交行為進行，直到需求獲得滿足。

個體在社會環境中不斷地連續互動(Dynamic Interaction)，並非不分親疏遠近地一視同仁(Hui & Triandis, 1986; Leung & Bond, 1986)，而是隨著個體間社交關係的不同，而有不同的社交互動法則。

1. 關係親近者—『願車馬衣裘與朋友共』。
2. 關係疏遠者—『各取所需，各謀其利』。

因此，個體之間的友誼架構包含兩個重要的組成成分：表層表徵(surface representation)和深層表徵(deep representation)。當個體歷經不同社交週期，個體的社交需求將不斷地進行重新調整，不同階段的社交關係是動態的，關係是會隨著時間推移，造成社會網絡中社交關係變化不已、流動不息。

任何一種需要並不因為下一個高層次需要的發展而告消失，各層次的需要相互依賴與重疊，高層次的需要發展後，低層次的需要仍然存在，只是對行為影響的比重減輕而已。逐級上升需要具有層次且需要有其限度的，當需要被滿足時，它就不再作為個體行為的激勵動機，而此激勵的過程是動態的、逐步的、有因果關係的。

人的社交需要是隨著年齡、時期的不同而發展變化的，也就是說個體在發展的不同時期，需要的特點也不同。階段性需求發展歷程中，每一階段均有特殊的發展任務(developmental tasks)需待完成，所謂發展任務是指在該階段應有的發展水準或成就水準，亦即應發展或表現的若干心理特質或行為

型態，前一階段發展任務的達成與否關係著後一階段的發展情況。

例如，嬰幼兒主要是生理需要，即需要吃、喝、睡的基本需求；少年時代開始發展到對知識、安全的需要；到青年時期又發展到對戀愛、婚姻的需要；到成年時，又發展到對名譽、地位、尊重的需要等。因此，任何人的需求層次都會受到個人差異的影響，並且會隨時間的推移而發生變化。

低層次的需要基本得到滿足以後，它的激勵作用就會降低，其優勢地位將不再保持下去，高層次的需要會取代它成為推動行為的主要原因。然而，每個層次的需要不可能完全滿足，愈到上層，滿足的百分比愈少，這就是所謂金字塔型的需要理論。

在前面的章節說明了社會網絡的基本概念，本章將詳細地介紹『以階段性社交需求為基礎的社交網絡模型』，首先根據模型的基本架構、基本運作規則，將社交關係的模型分為五個階段層次：

1. 第一階段生理需求層次，個體間社交關係的階段性策略—時空接近性。
2. 第二階段安全需求層次，個體間社交關係的階段性策略—完整閉合性。
3. 第三階段愛與歸屬層次，個體間社交關係的階段性策略—正向相似性。
4. 第四階段自尊需求層次，個體間社交關係的階段性策略—權力連續性。
5. 第五階段效益遞減層次，個體間社交關係的階段性策略—邊際衰退性。

根據實際社會網絡的社交情形，將社交關係的建立分為五個主要部份，分別為：接近性、閉合性、正向性、連續性、衰退性，並清楚描述此五個部份對應到社交關係模型設計；最後會說明模型實作上所用的結構模組以及使用的參數設計或調整的方法。

### 3.1 模型架構

我們提出了一個以「格式塔」(Gestalt) 心理學的法則、馬斯洛(Maslow)的需要層級理論為基礎的社交關係模型，此模型具有需求階段的觀念，我們

模型的架構由下而上可以為五層：

### 1. 第一階段為社交生理需求層次(Physiological Need Layer)

這是人類最原始、最基本的需要，在一切需要之中，生理需要是最優先產生的；受生理需求層次影響，個體間社交關係的階段性策略為時空接近性，如：家庭成員間的血親關係。

### 2. 第二階段為社交安全需求層次(Safety Need Layer)，

安全的需要是生存的需要，是帶給個體安全、穩定的力量，個體與其它個體建立社交情誼，謀求團結以擺脫不安全感；受安全需求層次影響，個體間社交關係的階段性策略為完整閉合性，如：同儕團體緊密的社交關係。

### 3. 第三階段為社交歸屬層次(Belongingness Need Layer)

歸屬的需要是指個體渴望與其它個體所屬於同一群體，個體尋求歸屬感；受愛與歸屬需求層次影響，個體間社交關係的階段性策略為正向相似性，如：志趣相投的閨中密友。

### 4. 第四階段為社交地位層次(Esteem Need Layer)

每一個個體都有一種確定性，個體在生命歷程中力求達到它，對個體的確定性最清楚的定義就是個體本身的價值[密爾頓·洛克克(Milton Rokeach)的價值理論(value theory)]；受自尊需求層次影響，個體間社交關係的階段性策略為權力連續性，如：個體受社會地位影響而建立的社交關係。

### 5. 第五階段為社交衰退層次(Decline Layer)

個體盡最大的潛力，追求內心的平靜，能對生活做出許多選擇，並且滿意、理解所作出的選擇，個體總是向著提高成長的機會開放，把新的經驗融入過往累積的生活中，受自我實現層次影響，個體間社交關係的階段性策略為邊際衰退性，如：個體進入某一社交圈隨著時間拉長，漸

漸失去對其他個體的社交新鮮感。

### 3.2 社交吸引因素—階段式需求金字塔

依據實際的建立社交關係的方式，我們將社交關係分為五個重要部份，其分別為圖 16 所示，模型所依據之階段式需求金字塔：

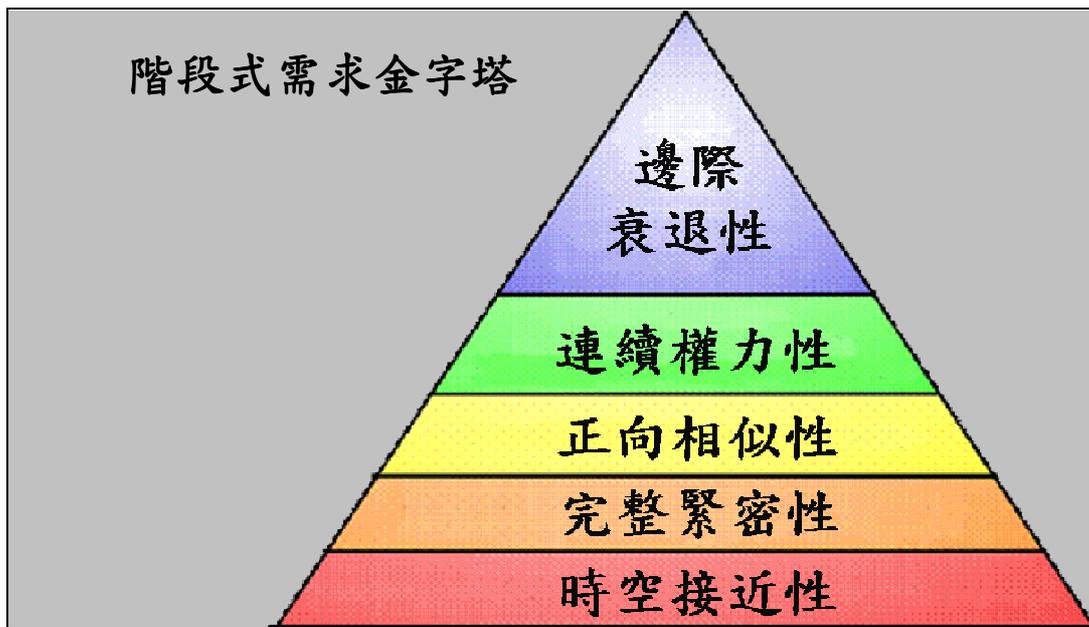


圖 17 階段式需求金字塔

#### 1. 時空接近性(Space-Time Proximity)

Festinger 等人的研究，清楚地呈現了時空距離對友誼形成的影響。學者曾針對學生宿舍公寓進行研究，結果發現雖然這些學生當初是以隨機分派的方式，住進彼此距離遠近不同的公寓，但經過一段時間後，當 Festinger 要這些學生列出他們在宿舍公寓區中最好的三個朋友時，41% 的學生指出他們的好朋友，是他們的隔壁鄰居，另有 22% 的學生的好朋友，則是相隔不遠(約隔一兩戶)的鄰居[Festinger、Schachter 與 Back(1950)]。

#### 2. 完整緊密性(Complete Closure)

從演化的觀點來提出解釋，個體在社會環境中，惟有謹慎小心方能

利於個體的生存，對不熟悉或陌生的個體抱有高度警戒心，只有當重複接觸這些陌生個體的頻率變高時，社交關係才予以建立 [Bornstein(1989)]。

### 3. 正向相似性(Positive Similarity)

針對大學生所做的研究中發現，好朋友之間對重要的價值對象都有類似的態度，在相處的初期，空間距離決定了人們之間的吸引，然而到了社交關係的後期其相互吸引發生了變化，當個體彼此間的態度和價值觀越是相似的人，相互間的吸引力會變的更大，成為主導社交關係的關鍵因素。這種常見的『物以類聚』的社交關係，就是因為被個體之間的『相似性』所影響的，如：對社交關係中對某個特定個體，個體雙方普持正面評價的態度，使社交關係呈現加分的傾向。

### 4. 權力連續性(Status Continuous)

在複雜的社會結構中，每一個個體會有其社交關係網絡，藉由網絡與其他個體連結，因此個人所處的網絡結構及地位會影響其社交競爭優勢。權力地位(status) 是指一個個體在社網絡中的位置，它是明確而肯定的，賦有特殊的聲望，個體間建立社交關係的基礎不再只是單純的因素，而是包含許多複雜的、多面向的考量因素。受社會地位觀念影響，名聲地位成為社交關係建立的重要因素。

### 5. 邊際衰退性(Marginal Decline)

社會交換理論，其主旨是從交往雙方的收益和代價的角度考察人際關係。社會交換理論與學習理論的共同點在於都承認人們是尋求強化的；二者的不同點在於社會交換理論增加了一個內容，即吸引的判斷基於從關係中獲得的收益和代價之比。當收益超過代價時，關係受到重視，當代價大於收益時，則關係不受重視，它們依賴於需要、價值觀、交往者的個人經驗等。

### 3.3 社交關係模型—階段性需求金字塔

本節將清楚地描述我們的階段性社交模型，如何模擬此五個部份，並將模型對應到不同的社交原則。

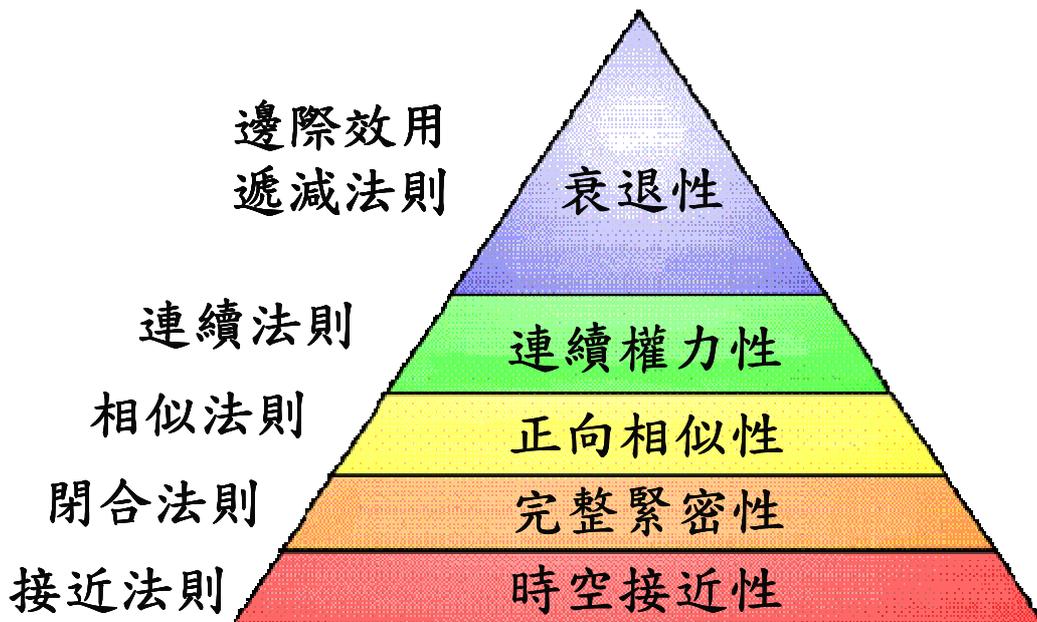


圖 18 階段式需求金字塔(依循階段性社交法則)

#### 3.3.1 第一階段 時空接近性 (Space-Time Proximity)

##### 1. 時空接近性優勢

當時空距離接近時，彼此的互動機會自然隨之增加，若在這些互動過程中，彼此能分享情緒，好感自然逐漸累積，而形成社交關係，如：童年時代深厚而緊密的街坊鄰里情誼。

##### 2. 時空接近性限制

時空距離的接近有助於情誼的增進，但時空距離拉遠之後，既有的感情自然也就面臨嚴苛的考驗，如：因為地緣的關係，國小、國中求學時期，各有各個不同階段的朋友群。

### 3.3.2 第二階段 完整閉合性 (Complete Closure)

#### 1. 完整閉合性優勢

當社交環境中有一方的個體帶有高度的曝光效果(exposure effect)，意即，當個體有較高的機會重複接觸某個特定的個體，則兩個個體之間建立起社交關係的可能性，會遠高社交網絡中其它相較下較為陌生的個體，如：和朋友的朋友建立起社交關係，形成具有完整閉合性的三角社交關係。

#### 2. 完整閉合性限制

雖然重複曝光的效果是獲得證實的，但其中有個最重要的面向需要被考量，就是當個體首次接觸這些陌生的個體時，最初的評價不能是極端負面。[(Swap, 1977)]，如：當個體重覆聽到某個特定個體的負面評價時，久而久之會確信此個體確實是個難以親近的對象[Zajonc(1968)]。

### 3.3.3 第三階段 正向相似性(Positive Similarity)

#### 1. 正向相似性優勢

正向的相似性讓個體容易了解對方，溝通過程中較不容易有衝突發生，且具正向相似性的個體之間，肯定彼此的想法，也有助於社交關係的情誼維持，如：個體之間對某些特定的事物有著相同的看法，態度價值觀的相似性很快地拉近彼此距離，增加彼此的好感度。

#### 2. 正向相似性限制

Kerckhoff 與 Davis(1962) 提出了『需求互補』(complementarity of needs)，認為互補的吸引是有可能的；Buss(1985) 則質疑互補是否真能導致吸引，即使有互補所造成的吸引，也只是在剛認識的階段，最終還是會被相似的個體所吸引。

### 3.3.4 第四階段 權力連續性(Status Continuous)

#### 1. 權力連續性的優勢

社會角色地位將決定個體所擁有的社交關係，人的社會發展是通過社會地位採取行動的，當人們有了來自外界的經驗，產生了自我意識，從他人角色的觀點觀察自己，是實現人際交往的必要過程[37]，個人就是根據這樣的過程去決定其與其它個人的交往頻率之程度。

#### 2. 權力連續性的限制

在社交關係的建立上，雖然社會角色地位佔有影響力，不過要使社交關係繼續維持，在社交關係中的個體間必須具備適當的互動能力，讓社交關係中的個人可以對此社交關係感到滿意，否則仍會使這樣的社交關係進入改變的可能。

### 3.3.5 第五階段 邊際衰退性(Marginal Decline)

#### 1. 邊際衰退性的優勢

人際互動過程中，社會行為是一種商品交換；個人所付出的行為為了獲得報酬和逃避懲罰，降低付出的代價和提高回收利益的方式去行動，交換的觀點在於分析雙方付出代價與獲得報酬的情形，期待低代價高報酬的互動，人們會被最能夠提供報酬的人所吸引[社會交換]。

#### 2. 邊際衰退性的限制

如果一種需要長期得到滿足，人們會對這種需要的價值估計不足，套用經濟學的術語，可以稱之為“需要滿足效用遞減”；個體在社交網絡中，隨著時間的推移，在此社交圈中因為失去新鮮感，新認識朋友數逐漸下降，因而在此社交網絡進入衰退期。

## 3.4 模型操作性定義(Operational Definition)

本章節說明階段性社交模型內參數的設定以及實作程式概念與流程，根據階段性社交關係的需求，將分別就程式實作部份詳細加以探討，由於社交關係的建立會隨著模擬間隔時間而改變，所以我們定義了以『年為單位的社交次數』作為社交關係接觸的頻率。

### 3.4.1 第一階段 時空接近性 (Space-Time proximity)

#### 1. 階段性特徵：『地域性』(physical proximity)。

指個體之間的社交距離(social distance)有多相近(proximity)，是一種單純而自我中心式的社交關係，如：個體在時空接近感(Space-Time Effect)的影響下，而與社交接觸頻率較高的個體鄰居建立社交關係。

#### 2. 公式說明：

$$Neighbors(u) = Position(u) * distance \quad (3)$$

#### 3. 程式碼說明：

```
ArrayList neighbor = new ArrayList();
int x = ((Position)m_Positions[u]).x;
int y = ((Position)m_Positions[u]).y;
for(int i=x-radius;i<=x+radius;i++)
    for (int j = y - radius; j <= y + radius; j++)
    {
        Position p = new Position(i, j);
        neighbor.AddRange(getNodes_pos(p));
    }
neighbor.Remove(u);
IVertex w = (IVertex)neighbor[r.Next(0, neighbor.Count)];
addEdge(u, w);
```

### 程式實作：

我們以節點代表個體，連結關係代表社交關係，在模型定義的時空接近性層級中，『地域性』為階段性社交特徵，程式碼實作部份，個體間社交關係以 u 節點為例(即為 u 編號之代理人)，先取出 u 節點的所在位置，以一定範圍的半徑(參數設定)為限，取出 u 節點的鄰居節點，即受地域性吸引影響的其它代理人個體，並將這些節點與 u 節點建立起連結關係。

## 3.4.2 第二階段 完整閉合性 (Complete Closure)

### 1. 階段性特徵：『緊密度』(density)。

指某個個體所能活動的通路，佔所有社交關係裡的百分比，如：個體傾向和朋友的朋友，建立具有三角閉合(Triadic Closure)傾向的社交關係。當 A 個體和 B 個體之間，若與 C 個體、D 個體分別皆保有社交關係，則在此社交網絡中的社交關係將更緊密，因為 A 個體和 B 個體之間的社交關係，受到社交網絡中其它個體的支持，形成具有不同緊密度的社交關係。

### 2. 公式說明：

$$Density(u, v) = \sum_{v \in N_u} Neighbor(v) * density_i \quad (4)$$

### 3. 程式碼說明：

```
IVertex[] neighbors = getNeighbors(u);
IVertex v = null;
v = neighbors[r.Next(0, neighbors.Length)];
double density_uv = getDensity(u, v);
if (alpha <= density_uv)
    return;
else if (alpha > density_uv)
{
    exe_times = (int)Math.Ceiling( g.OutDegree(v)*(alpha - density_uv));
}
```

### 程式實作：

在模型定義的完整閉合性層級中，『緊密度』為階段性社交特徵，程式碼實作部份，個體間社交關係若以 u 節點為例(即為 u 編號之代理人)，先取出 u 節點的所擁有的鄰居節點，以一定範圍的緊密度(參數設定)為限，找出鄰居節點的鄰居，即受閉合性影響的其它代理人個體，並將這些節點與 u 節點建立起連結關係，完成 u 節點與其鄰居節點間的三角閉合關係。

## 3.4.3 第三階段 正向相似性(Positive Similarity)

### 1. 階段性特徵：『平衡關係』(Structural Balance)。

個體認同(identity)是一個主要的課題，個體之間對其它社交關係中個體的評價，將會影響個體間的社交關係，個體傾向發展『正向』的社交關係，如：互動過程中，若個體對共同的朋友看法不一致，將會造成減分的社交關係。

『正向』社交關係發展的二大原則：

- (1) 個體會努力地達成對其它的個體維持『正向』的狀態，當個體與個體之間符合平衡關係時，構成了社會網絡中，有意義的社會關係知覺。
- (2) 當社交關係進入不平衡的狀態，將會使個體產生壓力，以最不費力原則(least effort principle) 來改變個體間，不平衡的社交關係現象。

認知平衡的 P - O - X 模型基本要素有：認知者 P (Person)，與認知者相對應的個體 O (Other Person)，認知物件 X (Attitude Object)。

3 個要素之間的關係有兩種：包括肯定/正向關係 (Positive Relationship) 或否定/負向關係(Negative Relationship)。

三個要素二種關係構成認知者 P 的認知系統，假定八種認知狀態，其中上層四種是均衡狀態，下層四種是不均衡狀態，如圖 18 所示：

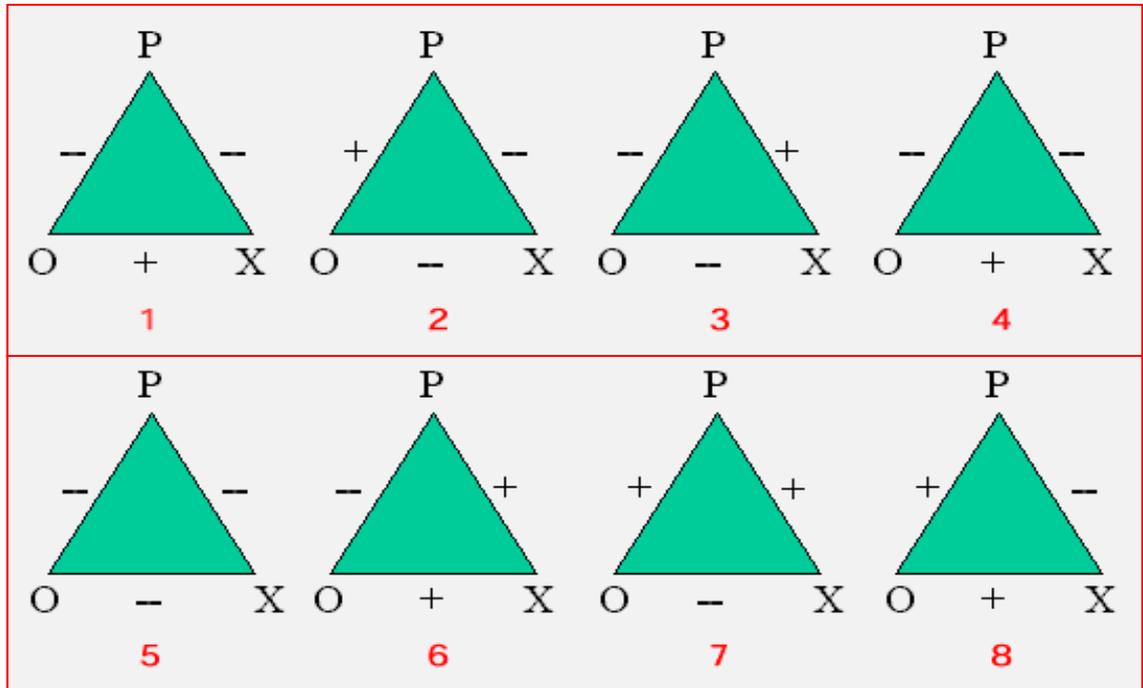


圖 19 Heider 認知狀態圖

當兩個個體的社交關係處於不平衡狀態時，個體雙方都可能設法改變自己或對方的看法。如果看法改變了，就會恢復平衡；如果兩個個體在許多問題上有不同看法，又都堅持己見，那麼兩個個體的社交關係可能會逐漸變為冷淡或不喜歡。

## 2. 公式說明：

$$\begin{aligned}
 & \text{Relation}(u, v) \\
 & = \begin{cases} 0 & , e_{u,v} \notin E \\ \alpha * \text{Relation}(u, v) + (1 - \alpha) * \sum_{e_{vw}, e_{uw} \in E} \text{Relation}(u, w) + \text{Relation}(v, w), & e_{u,v} \in E \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

操作說明：

- ① 平衡關係是對社交關係是正面的，具加分的作用。
- ② 不平衡關係對社交關係是負面的，具減分的作用。

### 3. 程式碼說明：

```
IVertex v = this.randomNeighbor(u);
IEdge uv = getEdge(u, v);
IEdge vu = getEdge(v, u);
ArrayList list_u = new ArrayList();
ArrayList list_v = new ArrayList();
foreach (IEdge eu in g.OutEdges(u))
    foreach (IEdge ev in g.OutEdges(v))
        if (eu.Target == ev.Target)
        {
            list_u.Add(eu);
            list_v.Add(ev);
        }

for (int i = 0; i < list_u.Count; i++)
{
    double uw_wight = m_EdgeWight[(IEdge)list_u[i]];
    double vw_wight = m_EdgeWight[(IEdge)list_v[i]];
    if (uw_wight > 0.5 && vw_wight > 0.5)
        offset += (uw_wight + vw_wight - 1);
    else if (uw_wight > 0.5 && vw_wight < 0.5)
        offset -= uw_wight - vw_wight;
    else if (uw_wight < 0.5 && vw_wight > 0.5)
        offset -= uw_wight - vw_wight;
    else if (uw_wight < 0.5 && vw_wight < 0.5)
        offset += (1 - uw_wight - vw_wight);
}
```

### 程式實作：

在模型定義的正向相似性層級中，『平衡關係』為階段性社交特徵，程式碼實作部份，個體間社交關係若以 u 節點和 v 節點為例(即為 u 編號和 v 編號之代理人)，先取出 u 節點和 v 節點所共同擁有的連結節點，以一定範圍的平衡關係(參數設定)為限，找出 u 節點和 v 節點對共同節點的正向程度，即受相似性影響的其它代理人個體，並將這些節點與 u、v 節點間的連結關係進行修正調整，完成 u 節點和 v 節點間(具有連結關係的個體間)的正向相似關係。

```
m_EdgeWight[uv] = ((1 - rate) * m_EdgeWight[uv])+(offset * rate);
m_EdgeWight[vu] = ((1 - rate) * m_EdgeWight[vu]) + (offset * rate);
if (m_EdgeWight[uv] > 1)
{
    m_EdgeWight[uv] = 1;
    m_EdgeWight[vu] = 1;
}
else if (m_EdgeWight[uv] <= 0)
{
    removeEdgeD(u, v);
}
```

### 程式實作：

在 u 節點和 v 節點間(具有連結關係的個體間)的正向相似關係，以一定範圍的正向程度(參數設定)為限，定義出 u 節點和 v 節點對共同節點的正向程度，當 u、v 節點間的正向程度符合平衡關係(參數設定)時，兩者間的連結關係(社交關係)繼續存在，僅做連結關係權重的微調整修正；若 u、v 此二個節點間的連結關係過大時(參數設定)，二節點間的連結關係仍受連結關係權重最大值(參數設定)所限；但是，若 u、v 此二個節點間的連結關係過小時(參數設定)，則 u 節點和 v 節點開始斷絕連結關係，因為彼此間的正向程度不再處於平衡狀態，u 節點和 v 節點間已經不具有正向相似性的吸引力。

### 3.4.4 第四階段 權力連續性(Status Continuous)

#### 1. 階段性特徵：『社經地位』。

指衡量個體處理社交關係的能力，來確認個體的社會競爭力(social competence)，此一競爭力做為個體聲望的判斷標準，個體傾向建立『同質性』(homogeneity)的社交關係，

#### 2. 公式說明：

$$p(u) = \sum_{v \in N_u} \frac{p(v)}{k_v} \quad (6)$$

$$N_i = \{v_j\}: e_{ij} \in E \quad k_i = |N_i|$$

操作說明：

- ①若要算出 u 節點的聲望值，會先須要計算出他的所有鄰居的聲望值，所以，是一種疊代關係，算到收斂為止，初始值為 1/N。
- ②以 u 的其中一個鄰居 v 為例，我們要先得知 v 的鄰居個數，來作為 v 的分支度，接著將 v 的聲望值除以 v 的分支度，就是 v 節點貢獻給 u 的聲望值。
- ③而 u 不只一個鄰居，所以會把 u 所有的鄰居聲望值算出，就可以得到 u 的聲望值。

#### 3. 程式碼說明：

```
IVertex v=null;
IVertex[] candidate = getRankRangeVertex(window_radius, window_radius, u);
if (candidate == null || candidate.Length < 1)
    return;
else
    v = candidate[r.Next(0, candidate.Length)];
addEdge(u, v);
```

```

ArrayList list = new ArrayList();
int index = getRank(u);
int forw_index = index - forward;
int back_index = index + backward;
for (int i = forw_index; i < index; i++)
{
    if(g.ContainsVertex(m_PrestigeRank[i]))
        list.Add(m_PrestigeRank[i]);
}
for (int i = index + 1; i <= back_index; i++)
{
    if (g.ContainsVertex(m_PrestigeRank[i]))
        list.Add(m_PrestigeRank[i]);
}
return (IVertex[])list.ToArray(typeof(IVertex));

```

#### 程式實作：

在模型定義的連續權力性層級中，『社經地位』為階段性社交特徵，程式碼實作部份，個體間社交關係若以 u 節點為例(即為 u 編號之代理人)，先取出 u 節點的聲望值，以一定範圍的地位性(參數設定)為限，找出和 u 節點處於共同社經地位的節點，即受權力性影響的其它代理人個體，並將這些節點與 u 節點進行連結關係，完成與 u 節點聲望值相當的其它節點間(同等社會地位的同質個體間)的連續權力關係。節點聲望值的衡量方式，是一種疊代的計算關係；以 u 節點為例，除了必需考量 u 節點所擁有的鄰居節點數量外，更重要的是，這些 u 節點的鄰居節點們各自是與何種聲望值地位的節點連結，也就是說擁有的鄰居節點數目愈多的節點，並不一定代表此節點就是在社交網絡中，具有最高聲望值地位的節點，因為聲望地位的連續關係遠比單純的社交連結關係重要的多。以圖 19 說明，圖中每一個圓圈即為一個代理人，而在

此社交網絡中有各自不同的代理人個體，當圓圈愈大時，代表其節點擁有的鄰居節點數目愈多，而圓圈中的數字則是其節點在此社交網絡中所擁有的聲望值地位，由圖 19 中可以很清楚地看到其網絡中有二組連結關係，在聲望值 10 的部份，其上下二個節點間擁有的鄰居個數差異不大(圓圈大小沒有很明顯的差異性)，但在聲望值 8 的部份，其二個節點之間擁有的鄰居個數差異很大(圓圈大小有很明顯的差異性)；因此，在此階段中的社交建立原則乃是由聲望地位所代表的社會競爭力為主要社交行為的取決因素。

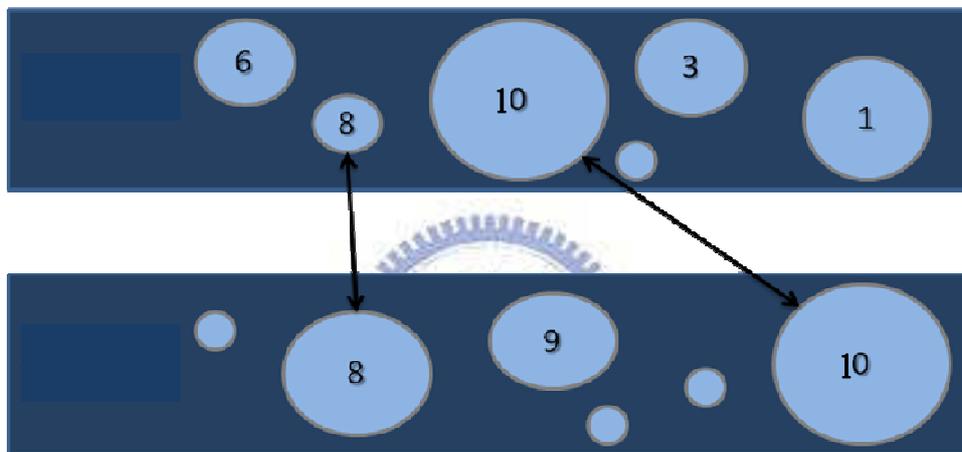


圖 20 網絡節點聲望值概略圖

### 3.4.5 第五階段 邊際衰退性(Marginal Decline)

#### 1. 階段性特徵：『衰退率』。

是一種進行性的連續喪失，個體會隨著生命週期的變化，造成個體社交關係的邊際效用遞減，進入衰退的時期，如，若個體進入了另一個新的社會環境中，將會與舊有的社交網絡漸漸失去聯繫。

#### 2. 公式說明：

$$Decay(u,v) = \sum_{v \in Nu} Neighbor(v) * decay_i \quad (7)$$

### 3. 程式碼說明

```
int count = (int)(rate * g.OutDegree(u));
ArrayList kills = new ArrayList();
foreach (IEdge e in g.OutEdges(u))
{
    kills.Add(e);
    if (count-- < 1)
        break;
}
foreach (IEdge e2 in kills)
    removeEdgeD(e2.Source, e2.Target);
```

#### 程式實作：

在模型定義的邊際衰退性層級中，『衰退率』為階段性社交特徵，程式碼實作部份，個體間社交關係若以  $u$  節點為例(即為  $u$  編號之代理人)，先取出  $u$  節點的鄰居節點，以一定範圍的衰退率(參數設定)為限，找出和  $u$  節點處於衰退狀態的節點，即受節點生命週期影響而使節點間的連結關係進入衰退時期的其它代理人個體，並將這些節點與  $u$  節點進行斷絕連結關係。

### 3.5 社交關係的個體差異性

每個個體在不同的情境下，其社交互動的行為模式都會有所不同，個體的社交行為會受到社交環境所影響。行為是隨著環境的變化而調整的，如圖 20 所示。在模型實作的部份，我們依據階段式需求金字塔來動態模擬個體的社交行為，並且將模型對應到一個具有多代理人的二維晶格上，如圖 21 所示。在二維晶格中，每一個個體具有差異性，有其不同的個體行為，而且個體會受到自己的階段式需求金字塔來發展社交關係。

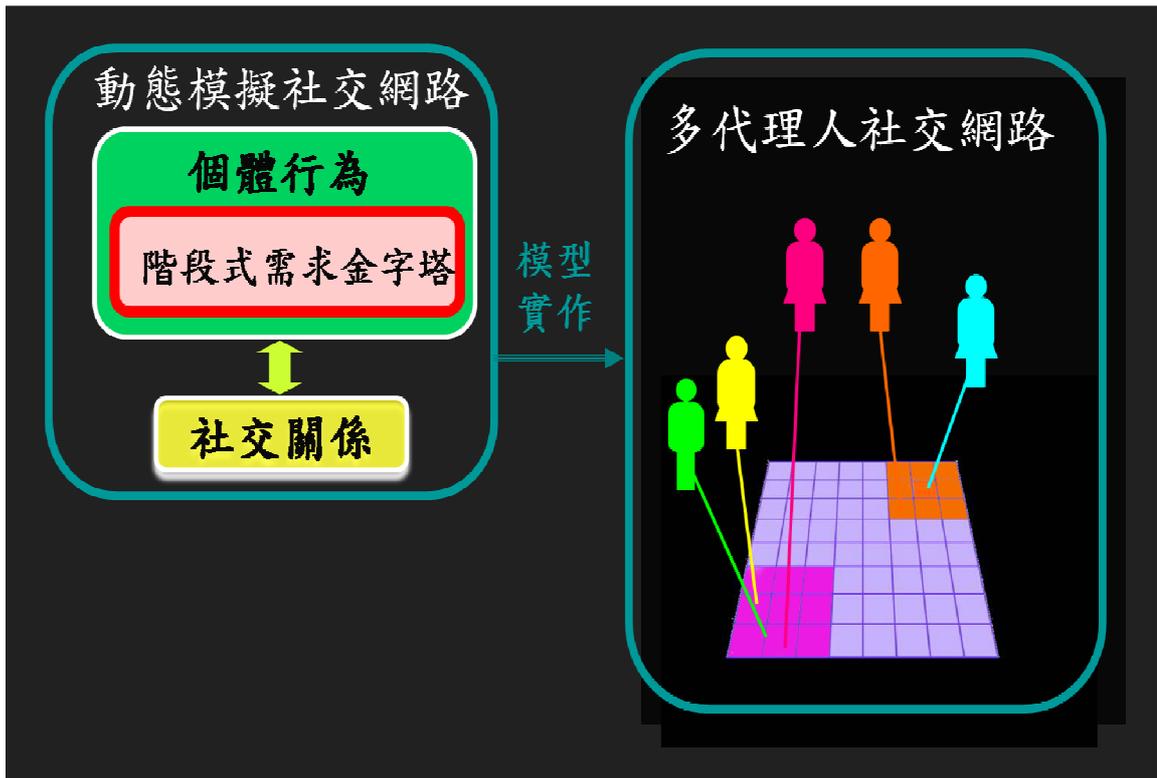


圖 21 模擬模型的整體架構(階段式需求金字塔)

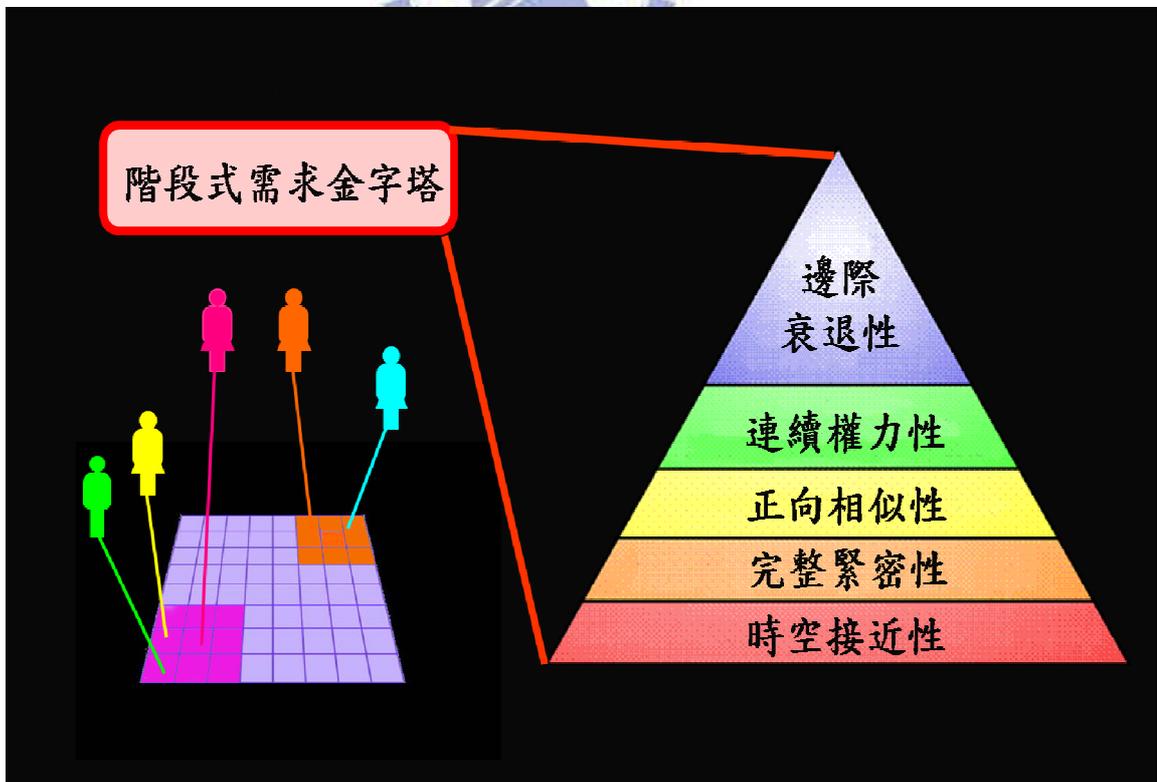


圖 22 階段式需求金字塔，作用於二維晶格上的個體

## 3.6 模型參數設計

依據真實社交網絡的建立方式，將社交關係分為二個重要部份，其分別為：

1. **代理人個體參數**：代表真實社會中每個個人，對每個個體來說有其自己的個別屬性，如：年齡、聲望值。
2. **代理人個體行為**：強調的是個體的行為因素，由於個體的社交行為容易受階段性特徵的影響而產生相應的改變，所以特別與『個體』單獨的屬性區分開來，如：時空接近性的影響、正向性相似性的影響。

本章節將清楚地描述模型透過參數設定的方式，來模擬代理人個體參數和代理人個體行為這兩個部份，如何藉由模擬作用於二維晶格的社交網絡上。

### 3.6.1 代理人參數

以下先介紹代理人個體行為狀態定義(圖 22)，共分為五個階段性任務，個體將處於不同階段中，遵循該階段性社交行為特徵，但是在該階段中的個體仍然可以與非階段中的個體建立起社交關係，只要個體彼此間的社交關係符合社交行為中規範的法則。

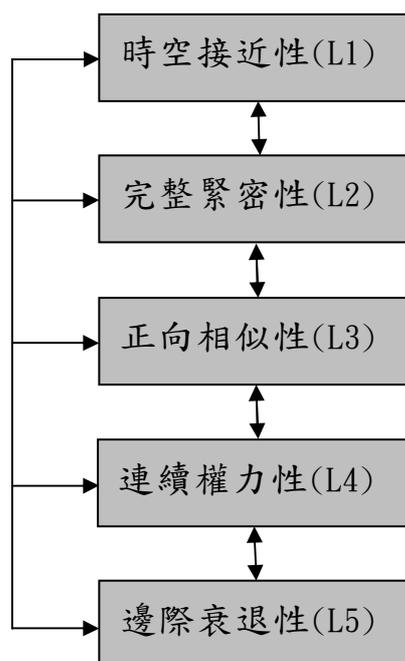


圖 23 代理人個體階段性社交關係圖

表格 2 代理人個體參數表

參數名稱	參數說明	參數值
編號	每個代理人具有唯一的編號，用以區分每個不同的代理人	1~ 總人口數
年齡	代理人個體年齡	0~ 100
個體位置	代理人個體在二維晶格上的位置集合	所在位置(X, Y)
個體聲望值	代理人個體在二維晶格上的聲望地位	0~總人口數
個體狀態	代理人個體的階段狀態	L1、L2、L3、L4、L5

### 3.6.2 社會網絡環境參數

社交網絡的環境參數如表格 3。

表格 3 社會網絡環境參數

參數名稱	參數說明	參數值
總人數(總代理人數)	依據該模擬環境設定	可變項
單位時間	程式模擬中代表真實社會的最小單位時間	可變項
移入率	每個代理人在社會網絡的環境生存率	0-100
移出率	每個代理人在社會網絡的環境淘汰率	0-100
生命期望值	每個代理人在社會網絡的環境適應率	0-100

**表格 3 環境參數調整說明如下：**

1. 『移入率』：係關係到個體總數的『變動』。
2. 『移出率』：要完全瞭解一個社交關係的動態過程，還需注意其相對的一面。隨著個體社交關係的生命週期數增長，個體的移出率逐漸提升。
3. 『生命期望值』：指每個個體參與社交關係的平均生命週期數。

### 3.7 模擬步驟說明

根據圖 23 模擬步驟說明圖，將詳細描述模型的流程步驟，程式的一開始，會進行初始化，設定參數(移入率、初始人數、社交次數)，針對一開始網絡中的初始點數、個體各階段的生命週期進行設定。圖 23 中，每一個框架是一個單位時間(年)，在這單位時間(年)中會去選擇，模擬流程中每人每年執行社交次數的人數數目，並判斷個體的生命歷程階段來進行不同的社交行為，透過模型中階段性金字塔的模式，以動態演化的方式形成社交網絡，在模擬步驟中的每單位時間(年)的終了，會去更新社交網絡中每個個體的聲望值、每個個體的生命週期，個體的聲望值將作為個體間進行社交策略時評估的準則，而個體生命週期的結束取決於各自生命歷程的終了，當部份個體進入移出社交網絡的衰退期，若此時社交網絡中的總人數限制未達飽和，將移入新的個體進入社交網絡中與其它個體產生社交互動，而整體社交網絡演化的終了取決於參數設定的演化年數，此演化年數必需要能確保社交網絡達到穩定可測量的狀態。次頁，圖 24、圖 25，分別就圖 23，進一步說明代理人個體的模擬流程和社交網絡的環境模擬流程；圖 24 描述代理人個體的初始化過程，前兩個步驟主要設定代理人參數(編號、位置)，再藉由判斷個體階段狀態，反映代理人個體的差異性；圖 25 描述社交網絡的環境初始化過程，前兩個步驟挑選出主要的個體，再藉由個體間社交互動的階段性狀態，持續動態的演化，使社交網絡中個體的社交行為具有其可變穩定性。

# 模擬系統架構

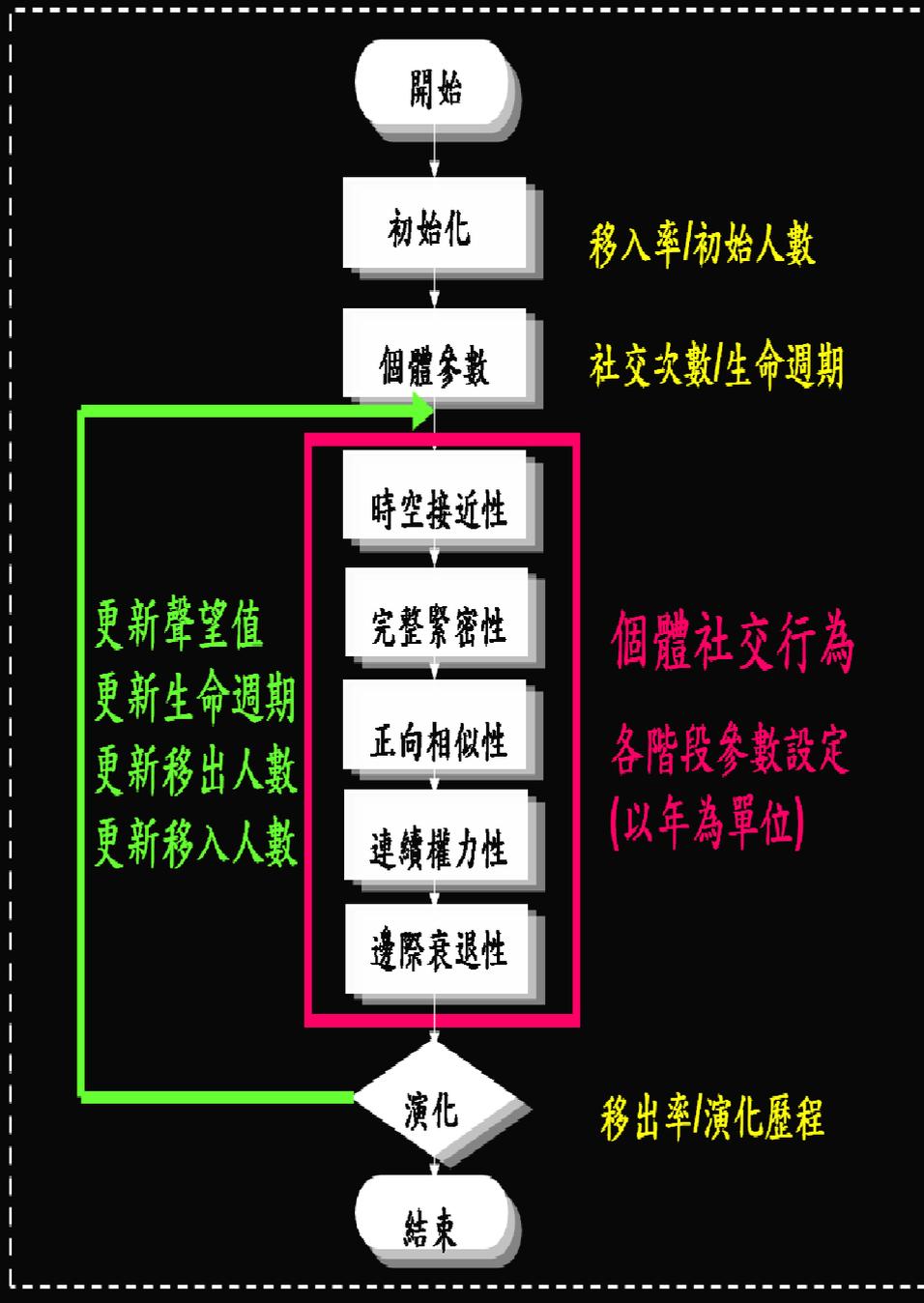


圖 24 模擬步驟說明圖

### 3.7.1 程式流程說明(個體)

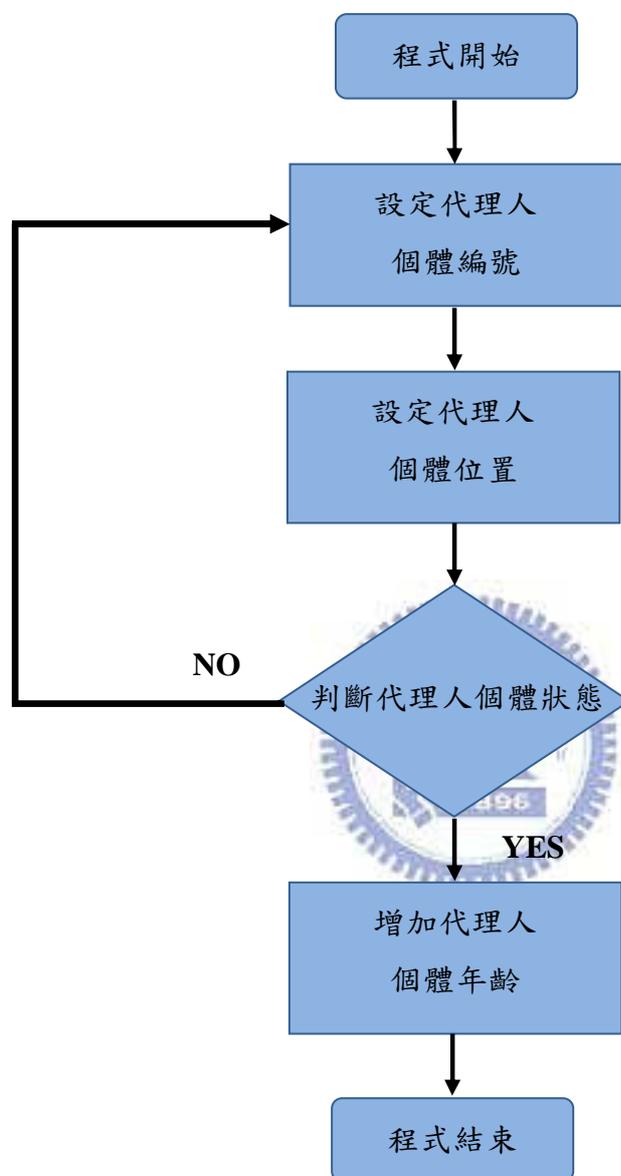


圖 25 代理人個體 模擬流程

### 3.7.2 程式流程說明(環境)

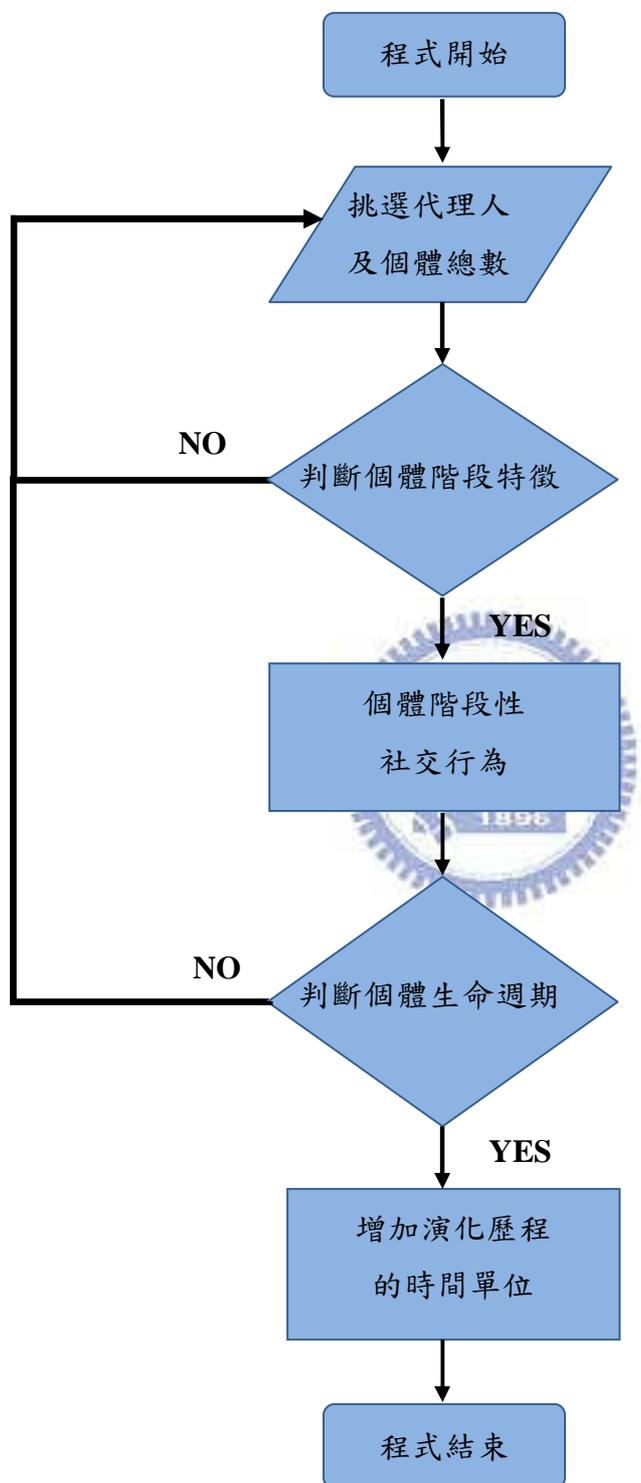


圖 26 社交網絡 環境模擬流程

## 第四章 實驗與結果

在本章節中根據第三章所提出的階段性社交關係架構，實作社交關係的建立模型，對於社交網絡模型參數敏感度分析皆有詳細的說明，本章節最後以流言傳播模擬個體在社交網絡的傳播動態，並根據社交網絡拓樸結構，針對不同階段作效果的評估。

### 4.1 模擬結果

社交網絡中的個體透過每個階段採取不同的社交策略，與其他個體進行互動，在網絡中相互作用的個體間的社交行為，使社交網絡藉由動態成長演化的方式形成。為了要正確評估社交網絡的狀態，是否符合真實社會的情況，必須以小世界性質中的二項指標—高群聚度和低分隔度進行驗證。除了了解社交網絡是否具有小世界性質之外，還必須進一步分析社交網絡的拓樸特性，如：社交網絡中個體的度分佈，以了解社交網絡的內部拓樸結構。

因為大量的實證研究表明，真實網絡幾乎都具有小世界效應[1]，同時科學家還發現大量真實網絡的節點度服從冪率分佈[2-3, 34-36]。在 Watts 和 Strogatz 關於複雜網絡的小世界現象的研究，以及 Barabási 和 Albert 關於複雜網絡的無尺度特徵的工作之後，學者們對於來自同領域的大量實際網絡的拓樸特徵進行了廣泛的實証性研究，表 4 列出了部份結果，測量的性質包括：節點數目、邊的數目、群聚度、分隔度、分支度，各種網絡對應的參考文獻見文獻[3]。由表 4 可以得知由社交關係形成的社會網絡，如：電影網絡、公司董事網絡、數學家合作網絡、物理學家合作網絡、生物學家合作網絡，這些社會領域中的網絡，不論節點數目的多寡，皆具有高群聚度(平均值 0.632)和低分隔度(平均值 5.352)的特性。

表格 4 各種實際網絡的基本統計數據(取自文獻[3])

類型	網絡	節點數目	連結數目	群聚度	分隔度	分支度
社會領域	電影演員	449,913	25,516,482	0.78	3.48	113
	公司董事	7673	55,392	0.88	4.6	14.4
	數學家合作	253,339	496,489	0.34	7.57	3.92
	物理學家合作	1,520,251	245,300	0.56	6.19	9.27
	生物學家合作	47,000,000	11,803,064	0.6	4.92	15.5
技術領域	電力網	4,941	6,594	0.08	19	2.67
	鐵路網	587	19,603	0.69	2.16	66.8
	電路網	24,097	53,248	0.03	11.1	4.34
	對等網絡	880	1,296	0.01	4.28	1.47
生物領域	代謝網絡	765	3,686	0.67	2.56	9.64
	蛋白質網絡	2,115	2,240	0.07	6.8	2.12
	海洋食物鏈網	135	598	0.23	2.05	4.43
	淡水食物鏈網	92	997	0.09	1.9	10.8
	神經網絡	307	2,359	0.28	3.97	7.68

### 4.1.1 小世界性質驗證—高群聚度

小世界網絡中節點的群聚係數，定義為某節點的所有相鄰節點之間連邊的數目占可能的最大連邊數目的比例，網絡的群聚係數為網絡中所有節點群聚係數的平均值。根據定義，我們可以藉由階段性需求金字塔形成的社交網絡，來呈現其具動態演化特性的社交網絡所具有的群聚度特性。

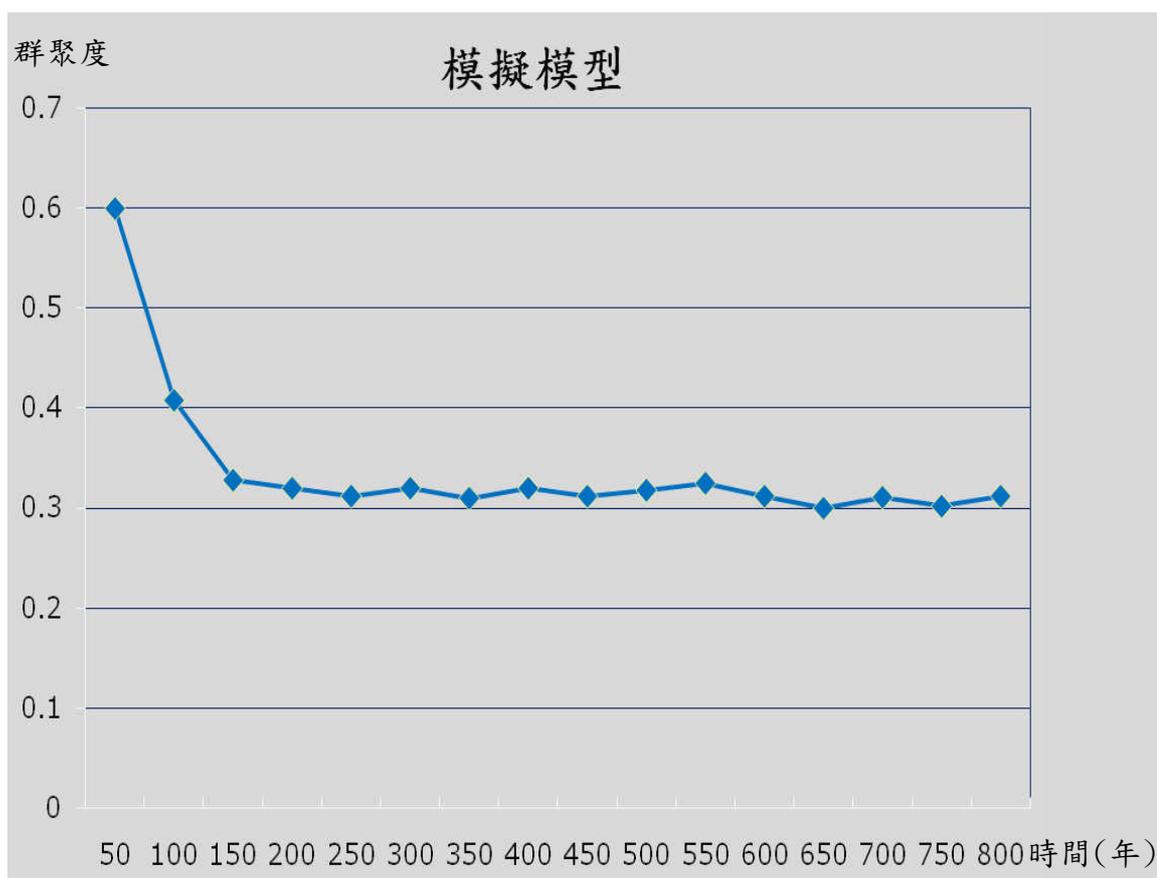


圖 27 小世界性質驗證—高群聚度實驗結果

#### 實驗結果

由圖 26 可以發現群聚度在社交網絡不斷演化下，會趨近於一個穩定平衡的狀態，其群聚係數約略落於 0.314。而若使用相同規模的節數數目，卻以隨機方式建立社交關係，由隨機建立連結關係形成的社交網絡的群聚度為 0.011。由模擬過程不斷延伸時間軸，可以發現不論社交網絡中的個體經過多少時間的持續演化，社交網絡模型中的個體間的群聚度最後會呈現穩定狀

態。由 4.1.1 小世界性質的驗證—高群聚度的實驗結果可以得知，社交網絡中的個體間彼此群聚現象明顯，且具有高群聚度的特性，意即每一個個體所擁有的社交圈子彼此也具有社交關係的機率是很高的。

#### 4.1.2 小世界性質驗證—低分隔度

小世界網絡中任意兩個節點之間的最短路徑，就是這兩個節點之間的距離，網絡中所有任意兩個節點之間距離的平均值就是這個網絡的平均距離，具有小世界性質的網絡，節點間的平均距離相對上非常小。在小世界網絡中，具有低分隔度的性質，也就是說兩個隨機選取的個體，即便分得很開，也能以很短的路徑連接起來。根據定義，我們可以藉由階段性需求金字塔形成的社交網絡，得到此社交網絡所呈現的分隔度為 3.41。若使用相同規模的節數數目，卻以隨機方式建立社交關係，由隨機建立連結關係形成的社交網絡的分隔度為 2.867。

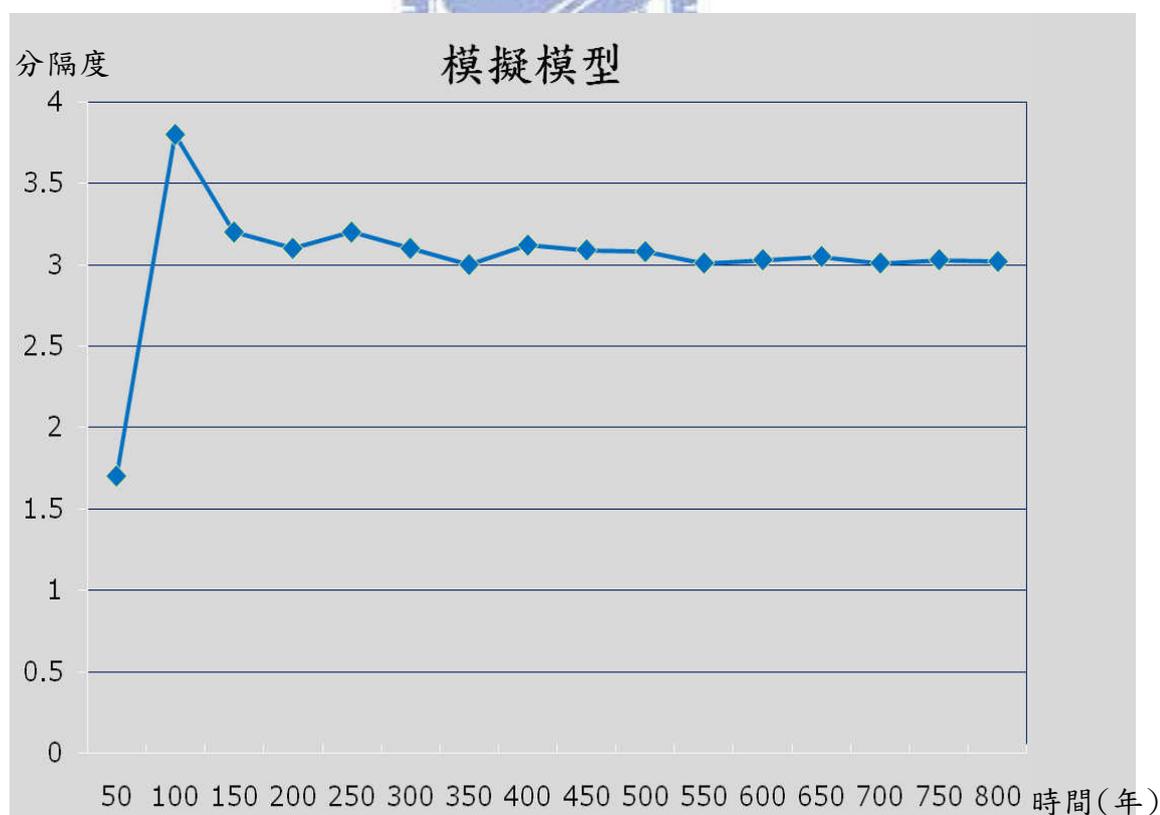


圖 28 小世界性質驗證—低分隔度實驗結果

## 實驗結果

由圖 27 顯示，社交網絡模型中個體間的分隔度呈現穩定狀態，並且具有低分隔度的特性，社交網絡中的個體間彼此分隔情況不明顯，每一個體都可以透過很少的中間人，就能與其它個體取得社交關係。由模擬過程不斷延伸時間軸，可以發現不論社交網絡中的個體經過多少時間的持續演化，社交網絡模型中的個體間的分隔度最後會呈現穩定狀態。

### 4.1.3 網絡拓撲性質分析—平均度分佈

圖 28 小世界性質驗證一度分佈實驗結果，說明社交網絡模型中個體間的平均度分佈呈現穩定狀態，社交網絡中的個體間擁有的平均朋友數落在某一均值上，因而個體在此社交網絡中能與其它個體取得社交關係。

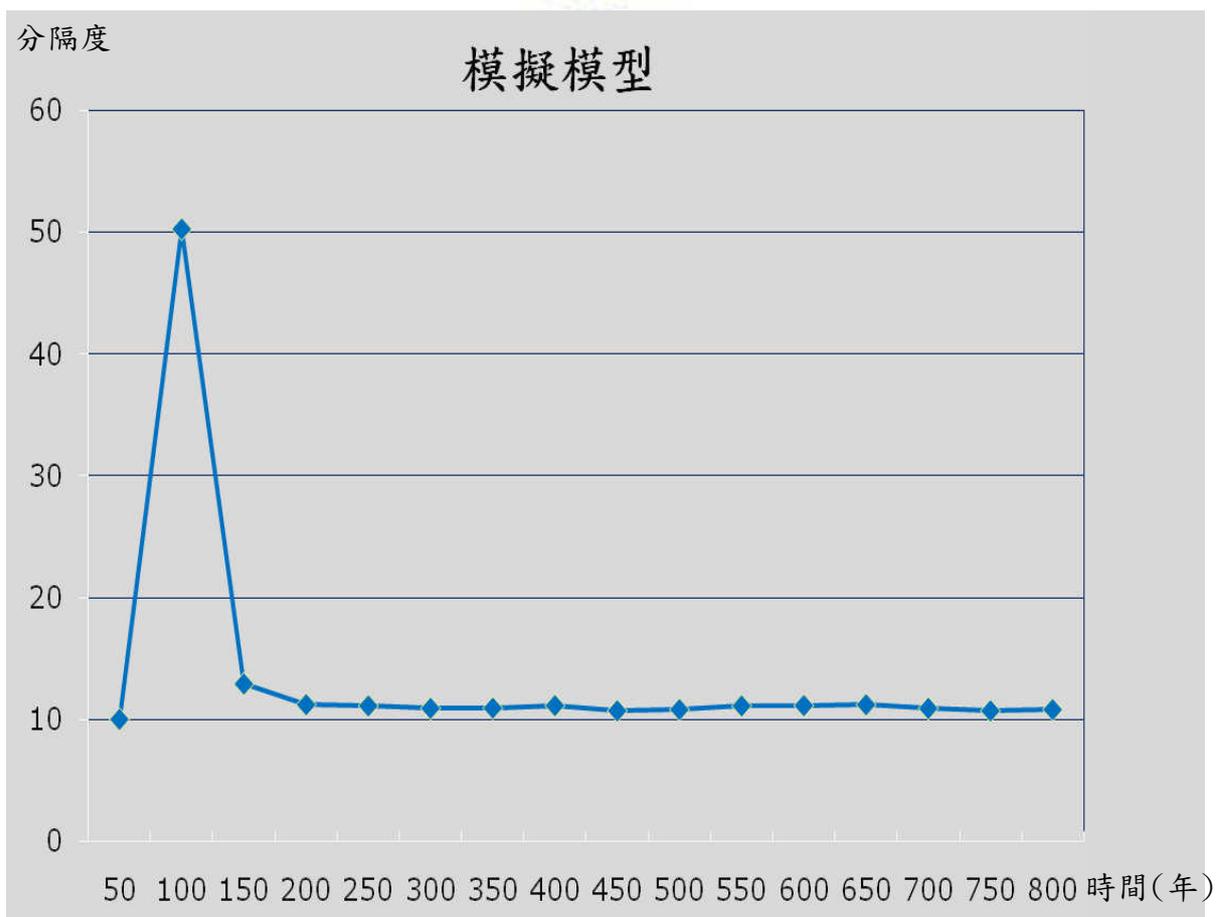


圖 29 小世界性質驗證一度分佈實驗結果

#### 4.1.4 網絡拓樸性質分析一度分佈(對數圖)

社交網絡模型中個體間的度分佈呈現穩定狀態，將個體的度分佈以對數圖來表現(圖 29)，可以發現度分佈會遵循冪次律，也就是說社交網絡中的多數個體擁有的朋友數並不多，而少數個體擁有的朋友數卻很多，形成了『富者益富』的現象。若節點的連結數目為  $k$ ，則這類節點在整個網絡中的分佈遵守一個冪次律： $k^{-\alpha}$ ，換句話說，網絡中大部分的節點其連結數目都是很小的。冪函數曲線是一條下降相對緩慢的曲線，這使得度分佈很大的節點可以在真實網絡中存在，這類的個體掌握著大量的社交資源，主導著整體的社交網絡。

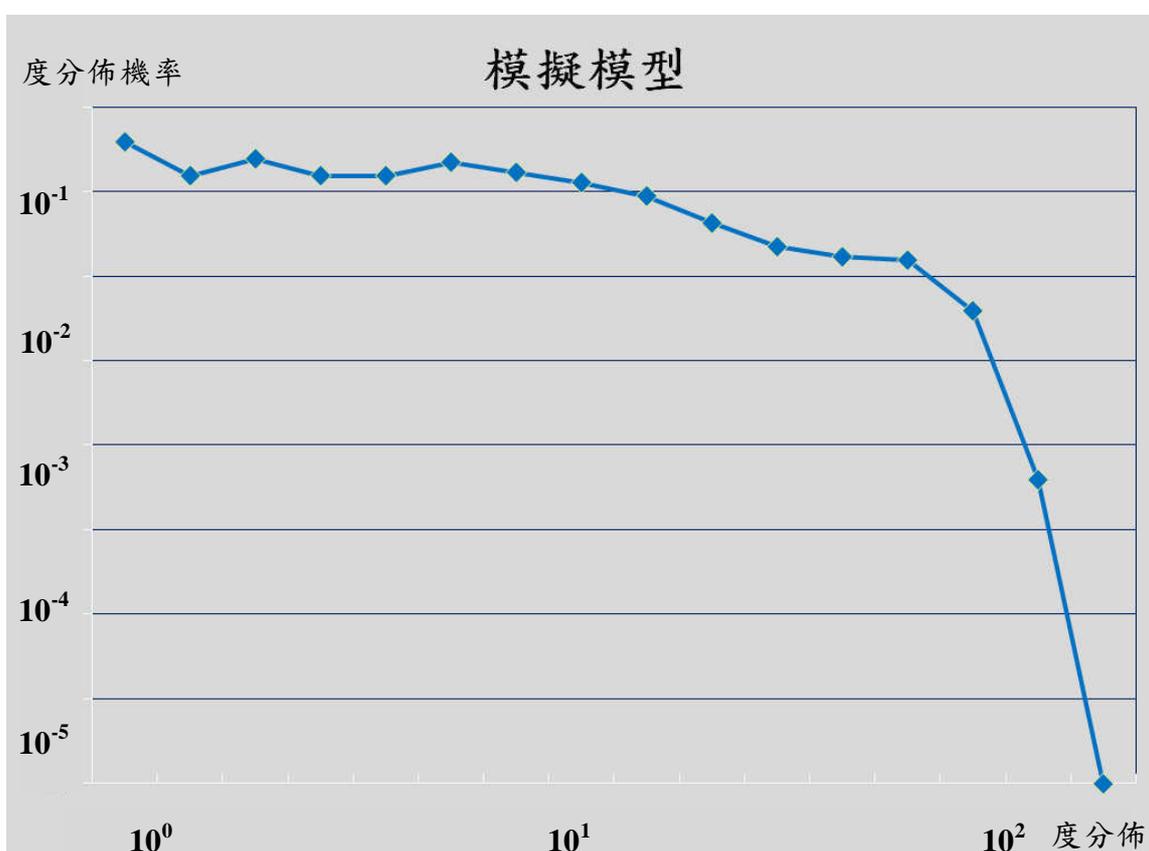


圖 30 小世界性質驗證一度分佈實驗結果(對數圖)

#### 4.1.5 社交網絡模型結論

由階段式需求金字塔建立的社交網絡模型，具有小世界性質，並且形成了一個無尺度網絡。而我們依照需求金字塔所建立的模型，去根據網絡特性得

到的實驗數據，和隨機網絡相比較，可以發現模型的各階段皆滿足小世界高群聚度和低分隔度的特性。

## 4.2 模擬模型階段性參數敏感度分性

為了要更進一步了解模擬模型各階段的參數特性，在接下來的章節中，會分別進行更進一步的研究，對金字塔層級中的每一階段作參數的敏感度分析。

### 4.2.1 參數敏感度相關性

#### 1. 群聚度分析

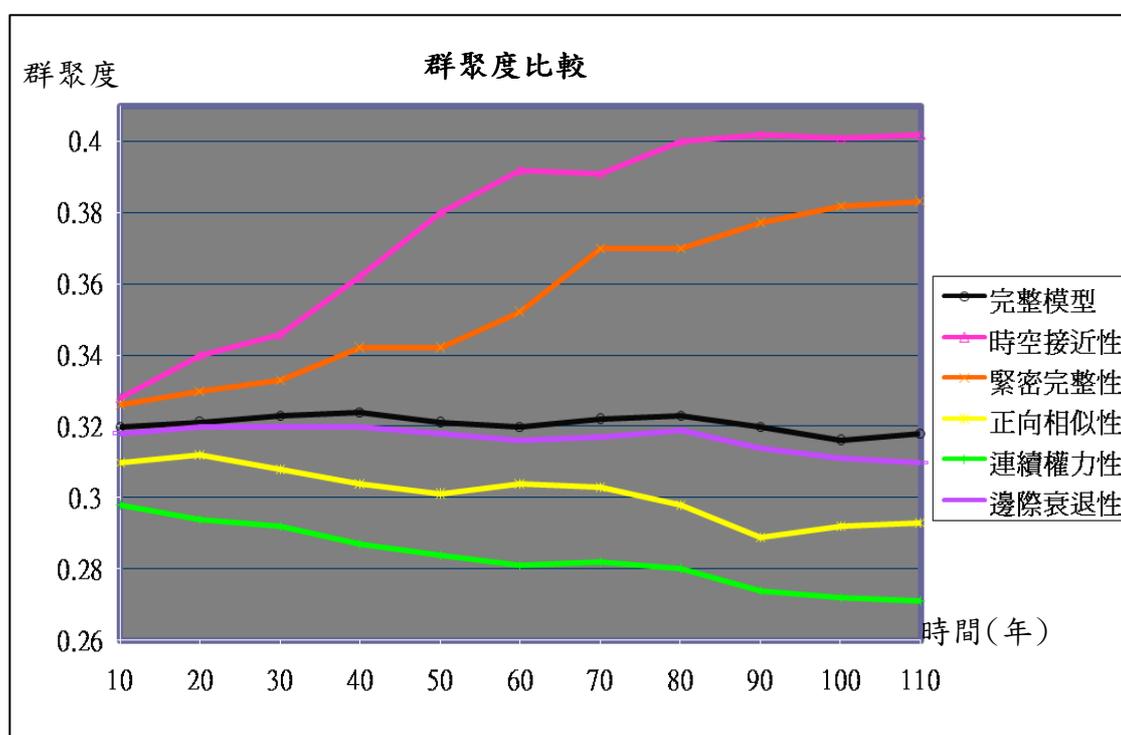


圖 31 小世界性質驗證—群聚度實驗結果(階段性模型)

圖 30 為群聚度實驗結果，實驗內容是根據模型的各階段詳細的進一步分析，圖中的 6 條曲線，上層的第 3 條線條是完整模型的部份，作為對照之用，而其它 5 條曲線是根據模型的各階段分別實驗的結果，可以發現在群聚度部份的實驗結果顯示，與完整模型相比較，時空接近性的社交吸引對群聚度的成長有正向影響；而連續權力性的社交吸引對群聚度成長有負向影響。

## 2. 分隔度分析

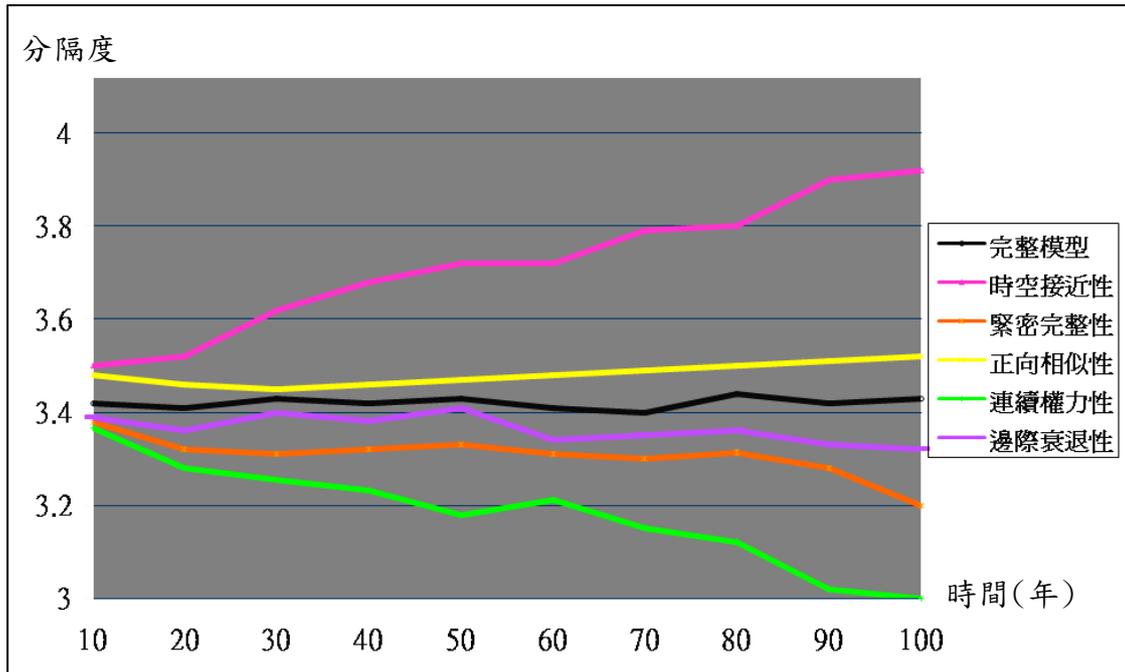


圖 32 小世界性質驗證—分隔度實驗結果(階段性模型)

圖 31 為分隔度實驗結果，圖中的 6 條曲線，上層的第 3 條線條是完整模型的部份，作為對照之用，與完整模型相比較，可以發現時空接近性的社交吸引力有較高的分隔度；而連續權力性的社交吸引力有較低的分隔度。

## 4.2.2 參數敏感度分析結論

表格 5 模型各階段群聚度和分隔度

小世界性質驗證	社交網路(需求金字塔)		社交網路(隨機連結)	
	群聚度	分隔度	群聚度	分隔度
完整模型	0.32	3.43	0.01	2.87
時空接近性	0.41	3.92	0.01	2.98
完整緊密性	0.38	3.22	0.01	2.85
正向相似性	0.30	3.50	0.01	2.97
連續權力性	0.26	3.08	0.01	2.63
邊際衰退性	0.31	3.49	0.01	2.96

個體數量：1000人  
實驗次數：10次

依照需求金字塔的階段性結構所建立的模擬模型，根據網絡拓撲特性—群聚程度和分隔程度所得到的實驗數據(表 5)，和同樣規模的隨機網絡相比較，可以發現模擬模型的各階段，皆滿足小世界高群聚度和低分隔度的特性。

根據 4.1 和 4.2 的實驗內容，由表格 5 中的數據顯示的結果，可以先針對所建立的社交網絡所呈現的『小世界性質』總結二個論點：

#### 1. 首先是時空接近性的部份。

這個階段對群聚度有正向影響，而對分隔度有負向影響；可能的原因就是透過時空接近性，會使社交關係形成一個個小團體，而小團體間接觸並不頻繁。形成了群聚度高、分隔度也高，就如同學生一開始建立社交關係的方式，都是透過先認識坐在前後左右的同學開始，因此，在班級中常常有小團體的產生。

#### 2. 連續權力性剛好和時空接近性形成不同的群體形式。

在這個階段對群聚度有負向影響，對分隔度有正向影響；可能的原因，像是透過連續權力性，會使社交關係形成一個個具有特殊地位的小團體，如：董事會成員因為具有某種社會地位，所以在社交網絡中形成一種特殊的小團體，又因為團體中的成員具有連結多數人的特性，所以使得整體網絡中的個體間的社交距離變短，造成具有低群聚度、低分隔度的社交性質。

### 4.3 模擬模型階段性網絡拓撲性質

為了要了解內部網絡的結構，進行第二個實驗的部份，就是分析社交網絡的拓撲結構。首先會先計算個體的分支度，也就是統計出個體所擁有的朋友數目，形成社交網絡的度分佈。在我們的模型中，度分佈是遵循冪次律，也

就是說社交網絡中的個體所擁有的朋友數目，是相差很多的，大多數的人只有少量的朋友數目，而少數的人具有大量的朋友數目，呈現富者益富的現象。

### 4.3.1 平均度分佈

表格 6 模型各階段平均度分佈值，呈現出模擬模型實驗的度分佈的結構，可以發現四個階段都滿足冪次律定則，而在表格 6 的右邊欄位是度分佈的平均值，可以發覺各階段平均度分佈值差異並不大，分佈值大約介於 9-11 之間；而由前頁表格 5，針對模型各階段所得到的群聚度和分隔度的實驗結果，可以發現模擬模型的各階段，皆滿足小世界高群聚度和低分隔度的特性；由表格 5、表格 6 得到的實驗數據，皆顯示模擬模型的各階段皆具有一致性的模式，仍然模擬模型的 5 個階段各是 5 個不同社交策略的行為，所以 5 個階段所形成的網絡拓樸結構應該有細微的差異，因此在後續將會針對的模型各個階段進行 4.5 相關實驗，以進一步的分析與了解整體社交網絡的內部拓樸結構（4.5 的相關實驗內容後續會加以詳細說明），在此章節中將針對模型各階段的度分佈的特性部份進行相關研究說明。

表格 6 模型各階段平均度分佈值

網絡拓樸結構分析	平均度分佈
完整模型	11.1
時空接近性	9.6
完整緊密性	11.2
正向相似性	10.1
連續權力性	10.6
邊際衰退性	11.3

### 4.3.2 度分佈（對數圖）

度分佈代表網絡中某個節點擁有相鄰節點的數目，即節點連結邊的數目為該節點的度，度分佈  $P(k)$  表示網絡中度為  $k$  的節點出現的機率。而在模擬模型中所呈現的網絡度分佈現象是遵循無尺度的特性，節點度分度為冪次分佈，說明在這樣的網絡特性中發生偏值的機率極高，就如同城市人口數具有偏值，而且其差距往往是幾百倍之多；模擬模型呈現的網絡結構不同於常見的常態分佈，在常態分佈中發生偏值的機率是很低的，就如同身高統計偏值發生的機會是非常小的。在具有冪次分佈特性的無尺度網絡中，具有無限延伸的可能性，仍而若要能夠完全符合真實的社會情況，就必需考慮到在實際的社會環境中，往往會受限於社會資源或是社會成本種種社會因素，產生截阻現象(cut-off)，因為社交網絡不可能無窮延伸，必定會有邊界的形成使得偏值的極值受到限度所限制，因此模擬模型所動態演化出的社交網絡，其網絡拓撲特性會呈現出二種網絡特徵冪次分佈、截阻區共存的現象(圖 31)。

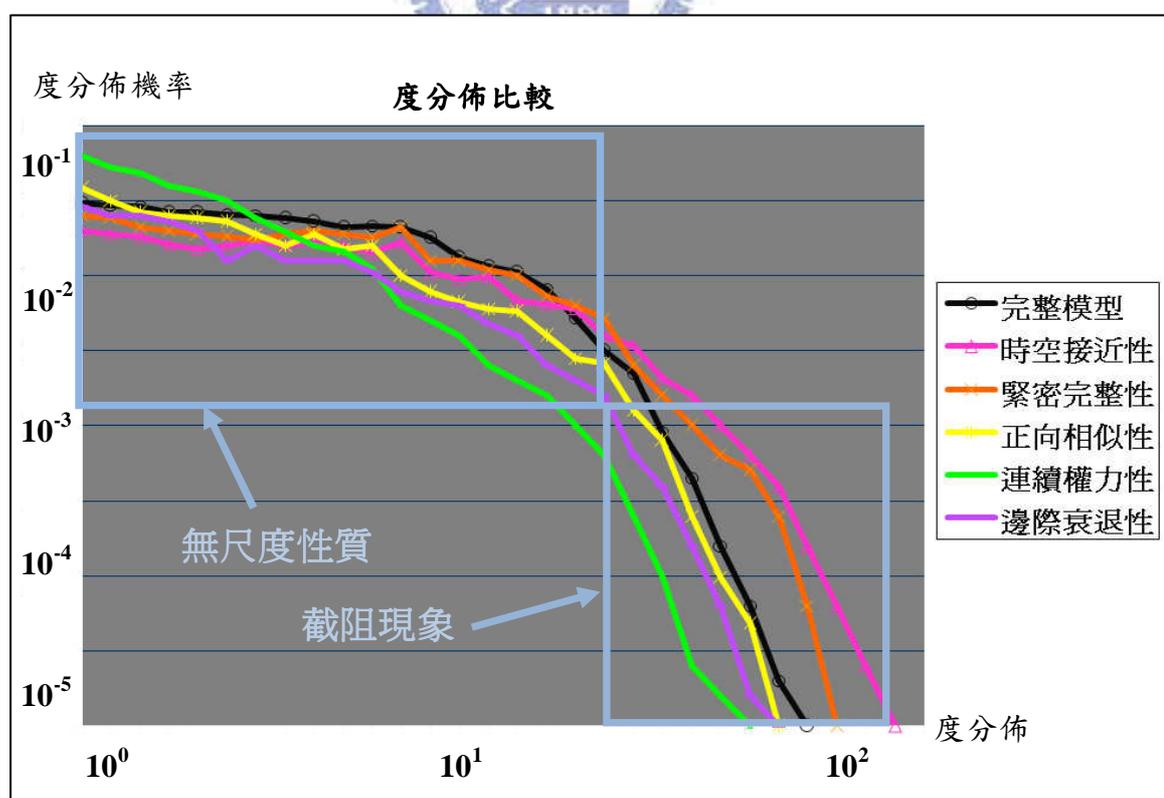


圖 33 小世界性質驗證—度分佈實驗結果(對數圖)

## 4.4 傳播的趨同模式

『傳播的趨同模式』(The Convergence Model of Communication)，並將傳播定義為：為達成相互瞭解，參與者製造並彼此共享資訊的過程[22]。傳播永遠是一種兩個人或兩個以上的人之間共同發生的事，是一種分享資訊的相互過程，意即傳播一定涉及一種關係；傳播網是由某種定型的資訊流方式中，有互相連絡的個體所構成的。在個體對事實的相互瞭解中，經過一段時間之後，這類資訊的分享作用，會導致個體與個體之間趨同(converge)或分歧(diverge)。而人際傳播即是在一種相關聯的架構中發生。資訊交換幾回合之後，參與者可能就轉移到一個新的議題上。

### 4.4.1 個體傳播行為

最常用來討論個體傳播的其中一種模型就是 SIR 模型，最早是在 1927 年，William Kermack 和 A.G. McKendrick 由數學模型所提出[30]。所謂的 SIR 模型就是針對代理人個體將之分為三類(圖 33)，S(Susceptible)代表的是易受感染的個體，I(Infected)則是代表已受感染個體，R(Recovered)代表已受感染而進入康復或死亡的個體。這三種處於不同狀態的個體彼此之間會進行社交互動，而使得其個體本身的狀態藉由社交關係建立與否，影響到社交網絡中的其它代理人個體，由社交網絡中個體間的傳播行為，影響到整體的網絡環境，造成趨同模式的形成，而在社交網絡中個體間的各種行為都具有傳染性，如：各類疾病的傳染；經濟活動的狂熱；流行時尚的觀念等等。



圖 34 SIR 疾病傳染模型

#### 4.4.2 傳播速度—每日新增傳播人數

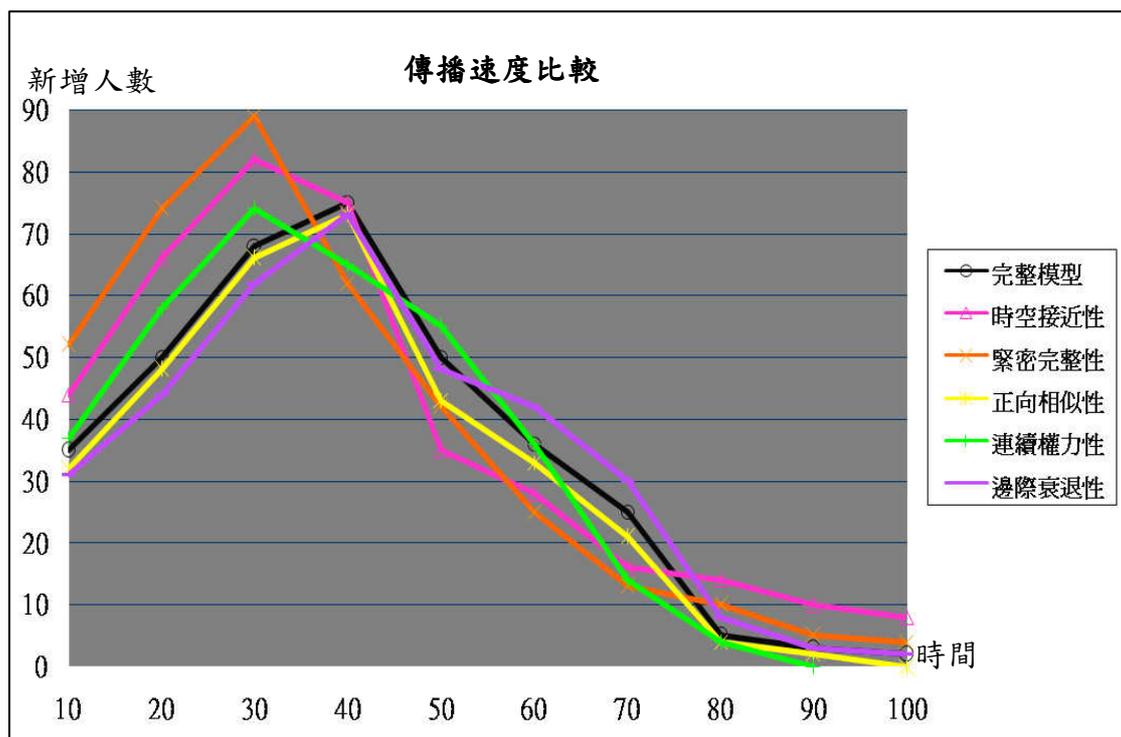


圖 35 模型各階層的傳播速度

#### 4.4.3 傳播速度—每日累積傳播人數

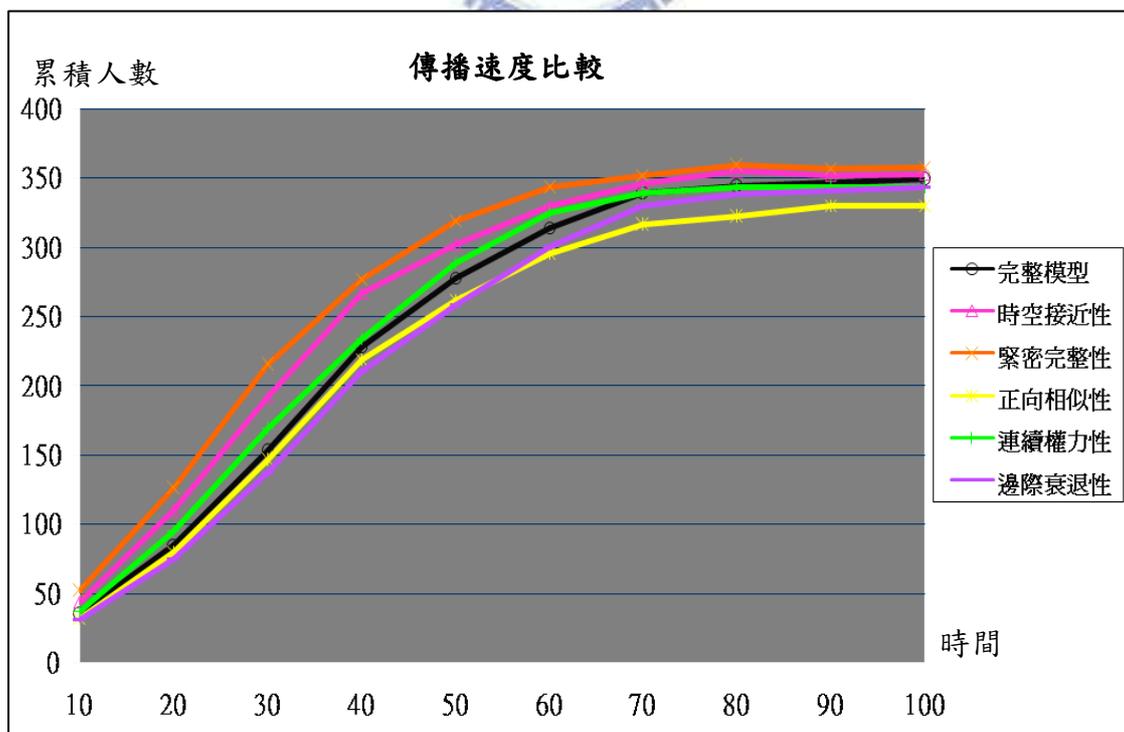


圖 36 模型各階層的傳播速度

## 實驗結果

圖 34、圖 35 模型各階層的傳播速度的實驗結果，可以發現模型中 5 個階層傳播的結果，很明顯的指出模擬模型各階段的差異，時空接近性的社交吸引力具有較慢的衰退速度，連續權力性的社交吸引力具有較快的衰退速度，由模擬過程不斷延伸時間軸，可以發現社交網絡中的個體經過單位時間的持續演化，最後模擬模型各階段呈現的差異度不再具有明顯的分別，因此，概觀來說實驗的結果，發現到模型確實具有階段的差異性，而在模式各階段中所呈現的程度差異性，將在 4.5 的實驗中找出其重要的拓樸性質。

## 4.5 模擬模型其它網絡拓樸性質

為了充分了解社交網絡內部的拓樸結構，4.5 節的實驗內容將針對網絡中連結關係的部份將之依據連結的型態予以區分開來，首先是計算強連結的部份，所謂的強連結的社交連結關係，是指將社交網絡緊密連繫形成群體關係的社交關係，就像是家人、親戚，這些在日常生活中與自己生活緊密相關的人群彼此之間存在的關係；而所謂的弱連結的社交連結關係，是指將不同群體連繫起來的橋樑，就像是點頭之交的情誼，這些社交關係使社交行為延伸到在更廣闊的社交網絡中，因而往往上具有更多的潛在性社交資源；如圖 36 所示，可以發現在模型的社交網路同時具有此兩種型態的社交連結型態存在。

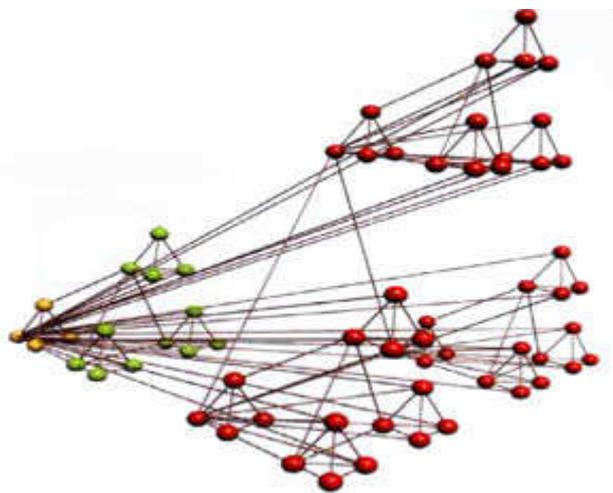


圖 37 網絡中強弱連結關係示意圖

### 4.5.1 連結關係型態

由圖 36 顯示出社交網路的形成，必需同時透過強連結的社交連結關係與弱連結的社交連結關係相互互動演化，因此在 4.5.1 實驗分析中，我們進一步將強連結、弱連結關係加以定義，由圖 37 作為說明。

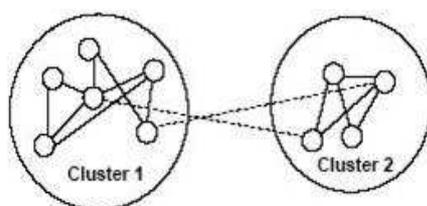


圖 38 群體透過弱連結建立關係

1. 強連結是經由社交情境將個體集合起來形成群體，如圖 37，群體 1、群體 2 各自內部的社交連結關係，就是強連結的連結關係。
2. 弱連結是在社交網路中將不同群體連結起來的連結型態，且弱連結具有重要的連結意義，弱連結亦是最多最短路徑通過的邊，如圖 37 群體 1、群體 2 群體間的外部弱連結關係，是群體內節點對外唯一的連結管道。

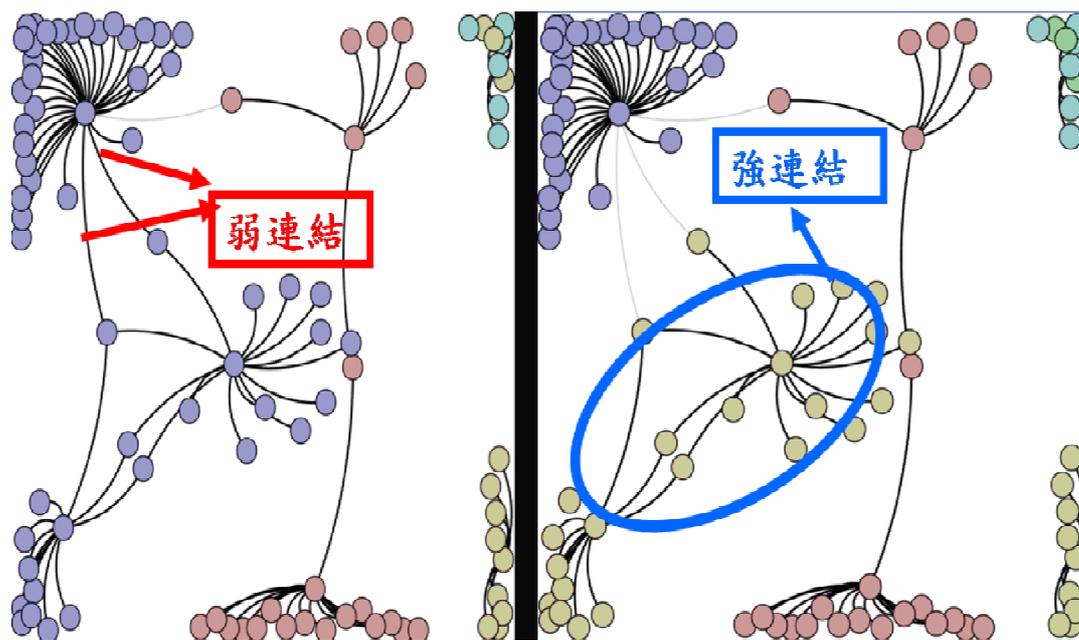


圖 39 強連結和弱連結的示意圖

## 實驗結果

圖 38 是以程式進行分析社交網絡結構，所得到的強連結和弱連結的示意圖。可以發現在左邊的圖中分別移除了二條邊之後，形成右邊的圖中有一個新的群體跑出來，所以左邊的這兩條邊就是所謂的弱連結，而右邊新產生群體節點之間的連結就是強連結，所以仍舊將群體緊密相連著。使用的方法，找出弱連結的方式是去找出整個網絡中最多最短路徑會經過的邊，將之視為弱連結，因為一旦移除了這樣的邊，會使得整體網絡的分隔度大大提升，而弱連結的優勢就是能縮短社交網絡中節點的距離。

### 4.5.2 連結關係模式

實際上用來描述人際關係的小世界的話，主要是以強關係（熟識的人之間的群落）和弱關係（鮮少聯絡的人之間的聯繫）構成的；而在研究發現主要造成小世界特性的，並不是強關係的社交連結關係，而是弱關係的社交連結關係。如果只有強關係，由於會有相當的侷限性，可能要必須透過非常多個體，才能連繫到遠處的某人；但是透過弱關係，卻可以較容易的跨過群落間的障礙，因此，也才能用極少的個體數目來聯繫到沒有直接連結關聯的個體。

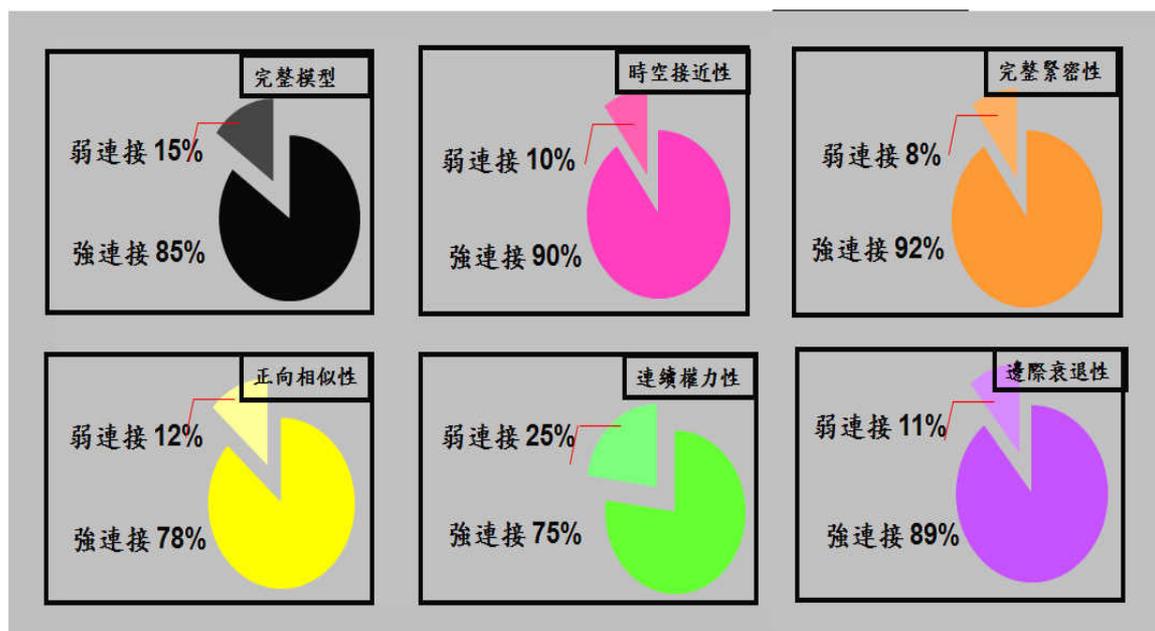


圖 40 模型各階段的強弱連結的比例

### 4.5.3 連結關係成長分佈

不同階段的社交網絡連結方式是造成傳播行為不同的主要因素，在模型中可以藉由實驗的方式發現，具有相同小世界與無尺度特徵的社交網絡，在動態生成網絡拓撲結構有很大的不一樣。在不同模型階段中，比較將社交網絡中不同弱連結的數目斷邊所造成的群體數目，可以發現群體規模大不相同。如圖 40 所示，當我們將社交網絡中最具有影響力的弱連結數目—最多個體必須經過的社交路徑逐一移除時，將使整個社交網絡的拓撲產生動態的影響。由實驗結果可以發現，弱連結的移除將對社交網絡群體數目造成影響，與完整模型的曲線圖相比較，可以發現其中在時空接近性和緊密完整性這兩個階段因為一開始在社交網絡中就形成較多群體的存在，因此一旦隨著移除關鍵的弱連結增加，將使得社交網絡快速形成多個孤立小群體的存在(圖 40)。

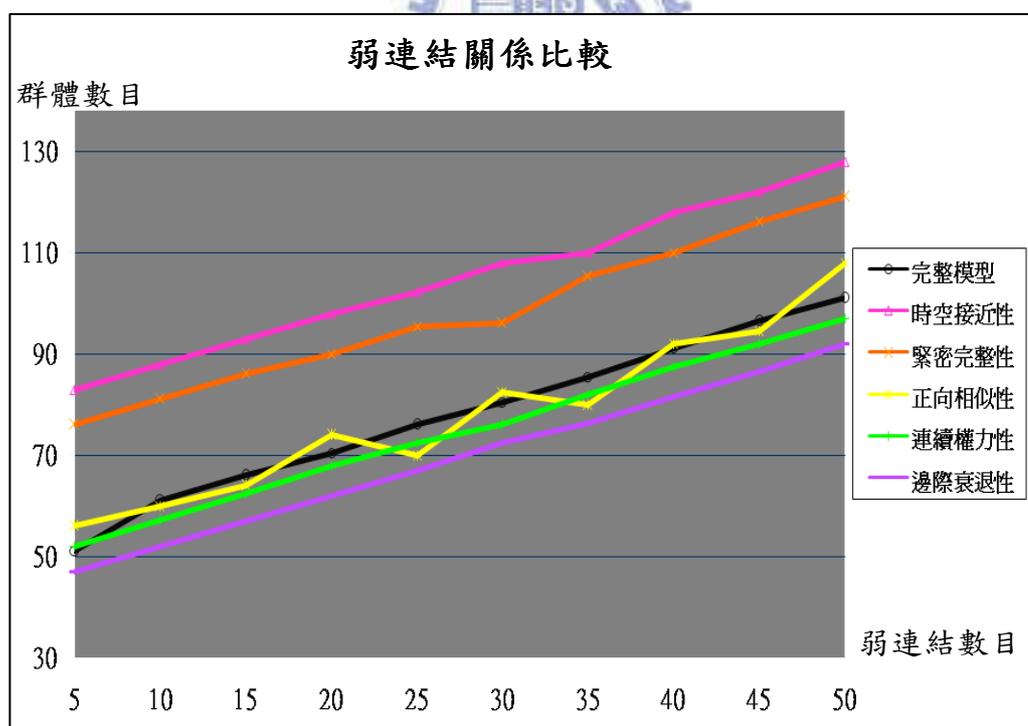


圖 41 模型各階段弱連結與群體數目

若我們進一步分析模型各階段對連結關係的影響力，將會發現時空接近性

和緊密完整性此兩個階段對社交關係的連結數目有較大的影響力，會使連結數目在時間的推移下，形成較多的連結總數。圖 41 說明，在弱連結和群體關係的成長上，為何時空接近性和緊密完整性對弱連結的移除較脆弱，因為隨著時間的演進，將會使社交關係形成多重連結的方式，而使得群體數目不斷變大。

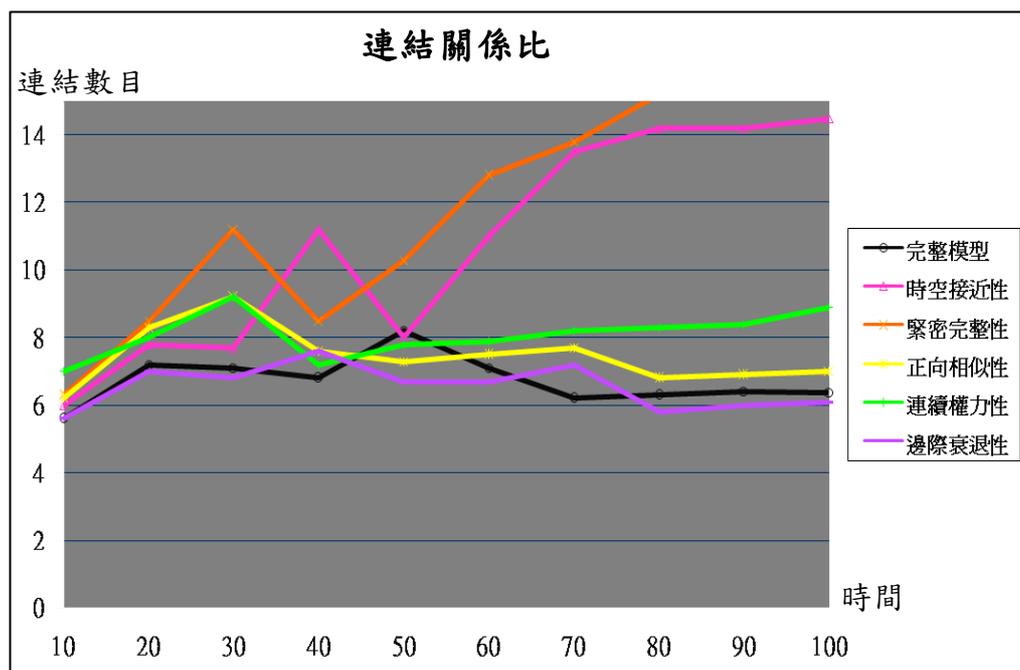


圖 42 各階段連結數目的成長

#### 4.5.4 模擬模型其它網絡拓撲性質結論

根據實驗結果，我們可以在網絡拓撲結構做個結論，強連結關係著眼於時間軸，是一種資訊認同的行為，所以傳播初期便能發揮顯著的影响力，便是強連結的優勢，時空接近性和完整緊密性皆有助於增加強連結的個數。而弱連結可以達成資訊散播的目的，當擁有較高的弱連結數，在資訊傳播上較具優勢，因為能在較短時間內即可傳播給社交網絡上的個體，就是所謂的弱連結優勢，而連續權力性有助於增加弱連結的個數。因為傳播行為的達成，是必須在弱連接和強連接間取得一個平衡的均值，透過模型可以知道社交關係連結方式的不同，會形成不同的傳播行為優勢，造成不同程度上的傳播現象。

## 第五章 結論與未來研究

我們提出了一個具有階段性需求的社交關係模型，此模型可以充分反映出社交關係透過所造成的影響。在我們的模型中充份呈現出人類社交行為的全貌，符合小世界性質—高群聚度和低分隔度的現象，並且可以藉由無尺度拓樸性質反應出個體發展社交關係的差異性。

### 5.1 結論

藉由具有階段性需求的社交關係模型，動態的模擬社交網絡有助於了解社交關係的連結模式，找出社交網絡的各種拓樸性質，可以進一步瞭解社交關係的各種傳播行為現象，像是弱連結的社交關係在社交網絡中所扮演的橋樑角色，強連結的社交關係具有個體在資訊認同過程中重要的影響力。社交網絡中所呈現出的網絡拓樸特性，對於了解真實社會中資訊串連的現象亦有很大的幫助，像是大眾都很重視的議題，包括金融泡沫是如何發生的、政治改革的影響力是如何造成的，這些都是跟社會中的個體社交行為有著密切的關係。

因為社交關係是影響著個體傳播的行為，當傳播擴散到整體的社會時，就會造成上述某一種特別的社會現象被突顯出來。我們模型中的社交網絡是一種接觸式的網絡，考量的是真實的人際互動。

以下為本論文的特點：

- 本論文提出的社交網路模擬模型，考量真實人際社交互動的原則，以馬斯洛的需求層次理論和格式塔認知法則作為基礎，定義出階段性的社交策略作為個體間進行社交關係的行為特徵。
- 模型中透過多代理人的機制，模擬在社交網路中個體真實的差異性社交行為，充分呈現小世界網路高群聚度、低分隔度的特性，和無尺度網路冪次分佈的網路拓樸結構。

- 模型實驗結果的部份，針對模擬過程中的各階段社交行為，進行參數的敏感度分析，發現不同的社交行為所呈現出的行為模式具有社交連結型態的差異，連結型態的不同對於個體的傳播行為將產生相對應的影響。

由我們的模型作為基礎，結合多種特質的社交網絡型態，將有助於更加了解人類社會中傳播動態的影響力。

## 5.2 未來研究方向

伴隨著科技的進步，個體間的社交關係建立方式，不再侷限於實體的媒介，而是藉由其它中介軟體，像是社交網絡軟體(Social Network Services, SNS)，考量的是虛擬的人際互動，不管是那一種社交網絡型態，皆會改變資訊傳播的方式。社交網絡軟體其實是通過技術，把現實生活的社會關係搬到網上，並使之強化，在我們模型的部份，仍可以部份改良而符合虛擬人際互動，如：時空接近性取決於上線的頻率，因為藉由增加曝光效應，將有助於時空接近性的影響；而完整緊密性所形成的三角閉合現象，則可以呈現出線上好友鏈結。在連結型態的部份，弱連結則是透過非常態的某件事或人建立起來的關係，像是在網路上認識的一位美國人，透過他，就能夠連接到美國其它任何一個陌生人，在網路上的萍水相逢，幾乎都是此類的弱連結，在虛擬社交網路中弱連結的傳播價值，遠大於強連結關係的社交價值。因此，透過考量虛擬層面的社交互動，對個體的社交行為將有全面性的了解。

未來在模擬模型中加入虛擬社交層面的考量，將有助於：

- 社交網絡軟體中個體所建立的社交關係，可作為社交網路模擬模型中與實証資料進行驗證的參考。
- 虛擬空間的社交行為模式，對於進一步了解個體的社交行為，及對社交網路環境所造成的衝擊影響，將有更深入的認識。

## 參考文獻

- [1] Duncan J. Watts and Steven H. Strogatz, "Collective Dynamics of 'small-world' Networks," *Nature*, vol.393, pp.440-442, 1998.
- [2] Re'ka Albert and Albert-La' szlo' Baraba'si , "Statistical mechanics of complex networks," *Rev. of Modern Physics*, vol.74, pp. 47-97, 2002.
- [3] M.E.J. Newman, "The structure and function of complex networks," *SIAM review*, Vol.45, No. 2., pp.167-256, 2003.
- [4] Re'ka Albert and Albert-La' szlo' Baraba'si, "Emergence of Scaling in Random Networks," *Science*, vol.286, pp. 509-512, 1999.
- [5] L.A.N. Amaral, A. Scala, M. Barthe'le'my, and H. E. Stanley, "Classes of small-world networks," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 97(2000), 11149-11152. 2000.
- [6] X.F. Wang and G. Chen, "Complex Networks: Small-World, Scale-Free and Beyond," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, First Quarter, pp.6-20,2003.
- [7] Cristopher Moore and M.E.J. Newman, "Epidemics and percolation in small-world network," *Phys. Rev. E*, vol.61, pp. 5678-5682, 2000.
- [8] R. Pastor-Satorras, and A. Vespignani, "Epidemic dynamics and endemic states in complex networks," *Phys. Rev. E* 63, 066117, 2001.
- [9] Chung-Yuan Huang, Chuen-Tsai Sun and Hsun-Cheng Lin, "Influence of Local Information on Social Simulations in Small-World Network Models," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol.8, no. 4, 2005.
- [10] Mari'an Bogun'a, R. Pastor-Satorras and A. Vespignani, "Absence of epidemic threshold in scale-free networks with connectivity correlations," *Phys Rev Lett*, 2003, 90, 028701.
- [11] Y. Moreno and A. V'azquez, "Disease spreading in structured scale-free

networks,” Eur. Phys. J. B 31, 265-271, 2003.

[12] Yamir Moreno, Romualdo Pastor-Satorras and Alessandro Vespignani, “Epidemic outbreaks in complex heterogeneous networks,” Eur. Phys. J.B, 26, 521-529, 2003..

[20] Rapoport, A., “Mathematical models of social interaction,” Handbook of Mathematical Psychology, 1963.2 : p. 493-579.

[21] Granovetter, M., “The Strength of Weak Tie,” American Journal of Sociology, 1973. 78: p.1360-1380.

[22] Everett M. Rogers, S.D. Lawrence Kincaid, “Communication Networks: Toward a New Paradigm for Research New York: The Free Press”, 1981. p.65.

[23] M.E. Roloff, “Interpersonal Communication—the Social Exchange Approach,” Beverly Hills, Calif: Sage, 1981.

[24] E. Foa & U. Foa, “Resource Theory of Social Exchange,” General Learning Press, 1976, pp.99-131.

[25] F. Heider, “The Psychology of Interpersonal Relation”, New York: Wiley, 1958.

[26] T.M., “The Psychology of Interpersonal Relation”, New York: Wiley, 1958.

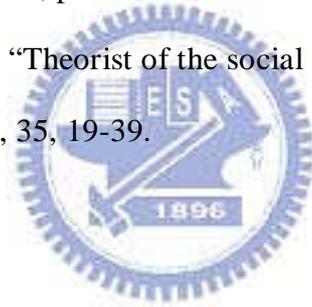
[27] E. Jacobson & S. Seashore, “Communication Patterns in Complex Organizations?”, Journal of Social Issues, 1951, 7. pp.28-40.

[28] Homans, George C, “Social Behavior as Exchange.” American Journal of Sociology, 1958, 63, 597-606.

[29] Fiske, S.T., & Taylor, S.E., “Social Cognition,” New York, 1991.

[30] Kermack, W.O. and McKendrick A.G., “A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics,” Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 1927. 115(772): p.700-721.

- [31] Milgram S, "The small world problem," *Psychology Today*, 1967, 2, p.60-67
- [32] Barabási A L, Albert R, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, 1999, 286, p.509-512
- [33] Barabási A L, Albert R, Jeong H, "Mean-field theory for scale-free random networks," *Physica A*, 1999, 272, p.173-187
- [34] Wang X F, "Complex networks: topology, dynamics and synchronization," *Int J Bifurcation & Chaos*, 2002, 12, p.885-916
- [35] Faloutsos M, Faloutsos P, Faloutsos C, "On power-law relationship of the internet topology," *Computer Communications Review*, 1999, 29, p.251-262
- [36] Liljeros F, Rdling C R, Amaral L A N, et al. "The Web of human sexual contact," *Nature*, 2001, 411, p. 907-908
- [37] Gillespie, A, G.H. Mead, "Theorist of the social act." *Journal for the Theory of Social behavior*, 2005, 35, 19-39.



## 附錄 程式碼

```
1 namespace social_sim
2 {
3     [Serializable]
4     public class Simulate
5     {
6         for (int i = 0; i < num_node; i++)
7         {
8             IVertex u = g.AddVertex();
9             m_Ages[u] = r.Next(1, 21);
10            m_Nums[u] = i;
11            m_Names[u] = i.ToString();
12            invers_map.Add(i, u);
13            m_BrithRates.Add(u, Simulate.BrithRate_0_19);
14            m_DeathRates[u] = Simulate.DeathRate_0_19;
15            int new_x=r.Next(0,(int)Math.Floor(Math.Sqrt(num_node)));
16            int new_y=r.Next(0,(int)Math.Floor(Math.Sqrt(num_node)));
17            Position p = new Position(new_x, new_y);
18            m_Positions[u] = p;
19            addPosInv(p, u);
20            matrix_index++;
21        }
22
23        public void level_1(IVertex u,int radius)
24        {
25            ArrayList neighbor = new ArrayList();
26            int x = ((Position)m_Positions[u]).x;
27            int y = ((Position)m_Positions[u]).y;
28            for(int i=x-radius;i<=x+radius;i++)
29                for (int j = y - radius; j <= y + radius; j++)
```

```

30         {
31             Position p = new Position(i, j);
32             neighbor.AddRange(getNodes_pos(p));
33         }
34     neighbor.Remove(u);
35     if (neighbor.Count < 1)
36         return;
37     IVertex w = (IVertex)neighbor[r.Next(0, neighbor.Count)];
38     addEdge(u, w);
39 }
40
41 public void level_2(IVertex u, double alpha)
42 {
43     if (alpha > 1 || alpha < 0)
44         throw new ArgumentException("Alpha 格式不正確");
45     IVertex[] neighbors = getNeighbors(u);
46     IVertex v = null;
47     if (neighbors.Length < 1)
48     {
49         v = getRandomNode();
50         while (u == v)
51             v = getRandomNode();
52         addEdge(u, v);
53     }
54     else
55     {
56         int exe_times = 0;
57         v = neighbors[r.Next(0, neighbors.Length)];
58         if (g.OutDegree(v) < 2)
59             return;

```

```

60         int count = exe_times;
61         foreach (IEdge e in g.OutEdges(v))
62         {
63             if (v == e.Target || u==e.Target)
64                 continue;
65             else if (addEdge(u, e.Target))
66                 count--;
67             if (count-- <= 0)
68                 break;
69         }
70     }
71 }
72 public void level_3(IVertex u, double rate)
73 {
74     if (rate > 1 || rate < 0)
75         throw new ArgumentException("rate格式不正確");
76     if (g.OutDegree(u) < 2)
77         return;
78     IVertex v = this.randomNeighbor(u);
79     if (!(g.ContainsEdge(u, v) && g.ContainsEdge(v, u)))
80         return;
81     IEdge uv = getEdge(u, v);
82     IEdge vu = getEdge(v, u);
83     ArrayList list_u = new ArrayList();
84     ArrayList list_v = new ArrayList();
85     foreach (IEdge eu in g.OutEdges(u))
86         foreach (IEdge ev in g.OutEdges(v))
87             if (eu.Target == ev.Target)
88                 {
89                     list_u.Add(eu);

```

```

90         list_v.Add(ev);
91     }
92     if (list_u.Count < 1)
93         return;
94     double offset = 0;
95     for (int i = 0; i < list_u.Count; i++)
96     {
97         double uw_wight = m_EdgeWight[(IEdge)list_u[i]];
98         double vw_wight = m_EdgeWight[(IEdge)list_v[i]];
99         if (uw_wight > 0.5 && vw_wight > 0.5)
100             offset += (uw_wight + vw_wight - 1);
101         else if (uw_wight > 0.5 && vw_wight < 0.5)
102             offset -= uw_wight - vw_wight;
103         else if (uw_wight < 0.5 && vw_wight > 0.5)
104             offset -= uw_wight - vw_wight;
105         else if (uw_wight < 0.5 && vw_wight < 0.5)
106             offset += (1 - uw_wight - vw_wight);
107     }
108     m_EdgeWight[uv] = ((1 - rate) * m_EdgeWight[uv])+(offset * rate);
109     m_EdgeWight[vu] = ((1 - rate) * m_EdgeWight[vu]) + (offset * rate);
110     if (m_EdgeWight[uv] > 1)
111     {
112         m_EdgeWight[uv] = 1;
113         m_EdgeWight[vu] = 1;
114     }
115     else if (m_EdgeWight[uv] <= 0)
116     {
117         removeEdgeD(u, v);
118     }
119 }

```

```

120     public void level_4(IVertex u, int window_radius)
121     {
122         IVertex v=null;
123         IVertex[] candidate = getRankRangeVertex(window_radius,
124                                                    window_radius, u);
125         if (candidate == null || candidate.Length < 1)
126             return;
127         else
128             v = candidate[r.Next(0, candidate.Length)];
129         addEdge(u, v);
130     }
131     public void level_5(IVertex u, double rate)
132     {
133         int count = (int)(rate * g.OutDegree(u));
134         ArrayList kills = new ArrayList();
135         foreach (IEdge e in g.OutEdges(u))
136         {
137             kills.Add(e);
138             if (count-- < 1)
139                 break;
140         }
141         foreach (IEdge e2 in kills)
142             removeEdgeD(e2.Source,e2.Target);
143     }
144     public void runSocialStratge2()
145     {
146         IVertex u = getRandomNode();
147         if (m_Ages[u] <= 10)
148             level_1(u, 1);
149         else if (m_Ages[u] > 10 && m_Ages[u] <= 25)

```

```

150         level_2(u, Simulate.getBeta14(0.01) );
151     else if (m_Ages[u] > 25 && m_Ages[u] <= 40)
152         level_3(u, 0.2);
153     else if (m_Ages[u] > 40 && m_Ages[u] <= 50)
154         level_4(u, 5);
155     else if (m_Ages[u] > 50 && m_Ages[u] <= 60)
156         level_5(u, 0.2);
157 }
158
159 public void runLoop(double brith_rate, double death_rate, double
160                                     socialtimes)
161 {
162     double brith_num =brith_rate * g.VerticesCount;
163     double death_num =death_rate * g.VerticesCount;
164     double social_num =socialtimes * g.VerticesCount;
165     double dot = social_num - Math.Ceiling(social_num);
166     if (r.NextDouble() < dot)
167         social_num++;
168     updatePrestige(0.01);
169     for (int i = 0; i < social_num; i++)
170     {
171         runSocialStratge2();
172     }
173     brith(brith_num);
174     death(death_num);
175     incr_age();
176 }
177 }
178
179

```