

具社會網絡模型的人群行為模擬

徐瑋呈

國立政治大學資訊科學系
hothero0705@gmail.com

李蔡彥

國立政治大學資訊科學系
li@nccu.edu.tw

摘要

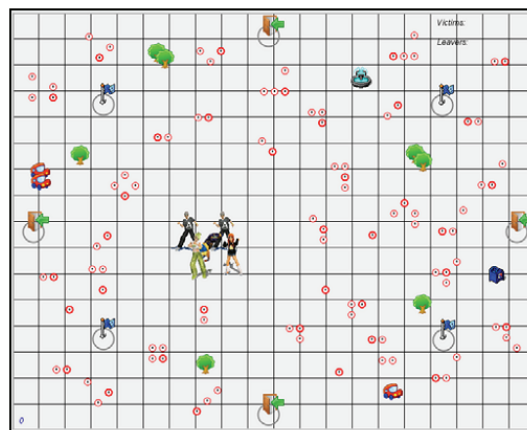
近年來人群模擬的應用逐漸普及，不論是災難現場人員避難的流動情形或者是都市規劃的模擬上，都有著十分顯著的發展。不過目前文獻上大部分的研究，多著重於視覺效果的模擬與呈現，少數已開始加入較深入的情緒及傳播模型，但尚未將不同個體間的社會關係考慮在模擬的模型中。因此，在本研究中，我們希望能在既有的人群行為的傳播模型中，加入個體間的社會關係，以使模擬結果能更加符合真實情況。我們將透過視覺化的工具及量化的指標，分析社會關係對於人群集體行為的影響。另外，我們也將探討誘發情緒之感染源的組態對集體行為的影響，探討激發或抑制集體行為的各種因素，以做為特定應用目的的設計依據。我們希望在過去對於人群模擬實作上的基礎之上，以創新研究取向建立一個研究人群集體行為的實驗平台。

關鍵詞：人群模擬、社會網絡、集體行為、電腦動畫、代理人模擬

1. 前言

在群體行為模擬的早期研究上，是以 Reynolds 提出的 boid 群聚模型(flocking model)[3] 最具代表性。在此模型中，個體具有自主性(autonomous)，且不用事前規劃群體行為，只要透過賦與個體簡單的規則，再透過個體間的互動，即可達到無事先規劃(Emergent)的群體行為。但在社會科學的研究上，Le Bon 在更早之前便提出群體的許多觀察與理論[12]，他認為群體的發生是因為容易受到別人的反覆影響去改變他們原有的想法，所以只要將某些特別的情緒廣泛傳播出去便可暫時的聚集人群。另外，Mark Granovetter 也在 Le Bon 之後提出了一個門檻理論(Threshold Model)[9]，他認為人會產生意願去參加一項行動，心理會有一個臨界點，也就是所謂的門檻值(Threshold)。即人在被群體的意志影響到某一程度，超過他心中的臨界點，便會產生意願參加這項行動。

在上述社會科學研究的理論基礎上，我們過去曾嘗試建立具有傳播模型之人群集體行為的模擬[31][2]。我們參考了 Reynolds 的群聚模型[19]和 steering behavior[20]，以代理人模擬(Agent-based Modeling, ABM)的方式，建置了一個具有自主性行



圖一、IMCrowd 系統模擬過程中的截圖範例[2]

為的多代理人(Multi-agent)系統，稱為 IMCrowd [31]。在這個系統中，我們以門檻理論為基礎，設計了一個傳播模型，以視覺化的方式呈現多種人群的集體行為，例如在逃避災害時的避難行為、因好奇心驅使的圍觀行為、及兩方對立的暴動行為等。圖一為此系統模擬過程中的截圖範例，其中每一個紅色圓圈都代表人群中的一個個體。

雖然此系統已能達到一定的模擬效果，但仍有許多可以改進的地方，這也是本論文研究的目的。例如，在先前的系統中，每一個個體的傳播屬性是可以有不同的設定，但我們假設這些個體之間的關係沒有特殊的差異。換言之，集體行為發生的對象是在一群烏合之眾上，這與真實世界的情況有一定的出入。另外，對於引發群體行為的早期接受者(Early Adopter)或我們所稱之為「感染源」，我們是以特殊型態之代理人(Special Agent)的方式進行設計。然而，這些特殊代理人在模擬初期的分佈組態及模擬過程中的行為，如何影響模擬的結果，是目前研究仍未探討的問題。本計畫主要的研究目的，在於希望能在現在具有傳播模型的人群模擬基礎上，加入個體間的社會網絡關係以及可參數化之感染源模型，探討這些因素對人群模擬結果的影響，以建立一個更加擬真的群體行為模擬。我們希望未來這個研究能做為社會科學研究的新工具，更能進一步在群體模擬的相關應用上，提供更真實有效的模擬技術。

2. 文獻回顧與探討

2.1 動畫模擬

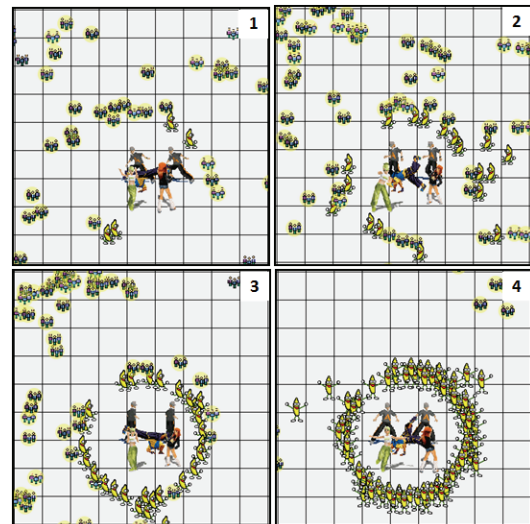
近年來,人群模擬是電腦動畫相關研究中一個相當受到關注的議題。從早期 Raynolds 鳥群模擬的研究[19]開始,到狡獪的魚[29]及紐約車站的人群模擬[21],都是以代理人模擬的方式進行人群的模擬。此類方法的缺點在於所能模擬的人數有限。近年來,也有許多研究是針對此缺點提出改進,嘗試模擬數量相當大的逼真人群[17][27][28]。但是這些研究的目的,都在對特定的應用目的上模擬出逼真的動畫視覺效果,而非建立在對人群行為瞭解與建模之上。另外,雖已有研究探討社會關係對虛擬環境中動畫角色的行為影響[16],但仍未對人際間的傳播模型進行探討。

2.2 社會學理論

在社會學的研究上,很早就有人群集體行為的探討。例如,Le Bon 對於群體行為便有很詳細的描寫[12]。他認為一個群體的發生,大部分是處在一個期待被受到注意的狀態下,所以很容易受到環境中其他人的"暗示"而有所影響。而剛開始是透過一種"相互傳染"的過程使得暗示得到傳播,當暗示被廣泛的傳染後,這個意識就會慢慢進入這些群眾個體的心理層面,使得這些個體失去之前他們所特別擁有人格意識。然後群眾就會將所要表達的情感透過暗示的觀念,轉換成一種實際的行動傾向,進而產生群眾行為。最後這些群體中的個體已不再是原先所獨立的心理狀態,而是經過群眾意識渲染後,所被支配的一致心理狀態。

在 Le Bon 的"The Crowd"書[12]中,他對於群體行為的定義是「這些偶然聚集成一群的人,他們本身所具有的獨特個性都消失了,不僅僅思想轉換成一個不同的方向,連感情也是,而暫時形成一種十分明確的集體心理」。他認為群眾會形成有三個主要原因: 1. 群眾的匿名性、2. 情緒的傳染性(Emotional Contagion)、3. 易受暗示性(Suggestibility)。Le Bon 對於動員群眾也有提出幾個有效且具體的作法: 斷言法、重複法與傳染法。首先需要做出一個強而有力的斷言(如:集會遊行的訴求口號或是交通的警告標誌),再不斷重複的去暗示這些群眾,直到進入潛意識為止,最後經由廣泛傳染後,達到可以支配且控制這些群眾的行為。

另外,社會學家 M. Granovetter 曾經提出一種適用於群眾行為的門檻模型(threshold model)[9]。他認為個體在決定參加與某些特定的事件與否或在面對特定情況時,心中會有一個參與的臨界點,在這裡稱為門檻值(Threshold)。他利用了這個門檻值解釋為什麼在特定的情境下,這些群眾表現常常發生矛盾然後不一致的現象。而每個個體心中的臨界點界定,會因為偏好的不同以及該事件有多少人參與所影響。假設一個群體中有五十個人,每個人的門檻值範圍界定在 0 至 49,而有一個人為 0,



圖二、IMCrowd 中圍觀集體行為的形成[2]

另一個人為 1,還有門檻值為 2 的人,依此類推下去。在這個假設下,集會遊行活動的骨牌效應是無法避免的。因為門檻值為 0 的人會帶頭騷動,以致門檻值為 1 的人加入,接著門檻值為 2 的人也跟著加入,然後就會像骨牌效應一般,直到第五十個人也加入這場集會遊行活動為止。

趙偉銘所提出的 IMCrowd 系統[2]依據《Emotional Contagion》[9]中的一段敘述:「情緒也有帶原者,他們很善於表達自己的喜怒哀樂,也有人特別能夠接納別人的情緒。情緒感染並不是一種疾病,但是感染的機制卻和生理疾病一樣。」將代理人(Agent)的情緒感染類比為純淨、潛伏期及情緒外顯三種狀態。純淨狀態的代理人即身上無任何感染的代理人。在環境中無感染源時,所有的代理人皆屬純淨狀態。代理人若曾接觸過感染源,便進入潛伏期狀態,外表看似與純淨狀態無異,但經過情緒刺激的累積,將有可能引發情緒成為情緒外顯狀態。在 IMCrowd 系統中,特殊代理人(special agent)扮演一個情緒的帶原者。此特殊代理人與一般代理人的差別在於特殊代理人在初始"感染源"型態後,便永久帶著感染源在環境中不斷嘗試的去感染其他人。而這感染源是一個自發性的,不易受到他人的影響,這就好比是現實情境中教唆、帶頭或推銷的人,藉由透過反覆的暗示來影響他人的行動。例如,在[2]的研究中,圍觀行為的發生是經過一段時間的醞釀及傳染後,短時間內產生的集體行為(如圖二所示)。其中,中間的表演者即為具感染力的特殊代理人。

2.3 人群模擬與社會網絡

少數規律(The Law of the Few)模型是由 Malcolm Gladwell 在 2000 年所提出[8]。當中提到,流行病的發生是從少數幾個感染病帶原者所開始蔓延,同樣的概念可以運用在流行風潮的產生上,由少數幾個有影響能力的人帶領,例如:藝人、智

慧型手機開發者等等。而在這個模型下有三種具有影響能力的人：連結者(Connector)、專家(Mavens)、銷售員(Salesmen)，其中連結者透過網絡(Network)概念將資訊傳播出去，尤其當此資訊為連結者所感興趣的。這網絡可視為一個團體，而連結者可視為一個號召者；專家為某一特定資訊的行家，特點是易形成喜好該相關資訊的小團體，也會主動分享與散播資訊給其他人，但其具潛在系統(Potential System)，在該團體或稱網絡中的個體會第一時間得知專家最新分享的資訊；銷售員為一個典型的說服者(quintessential persuaders)，他們會想辦法去改變其他人原先的決策，並試圖用他們的情緒去影響他人。

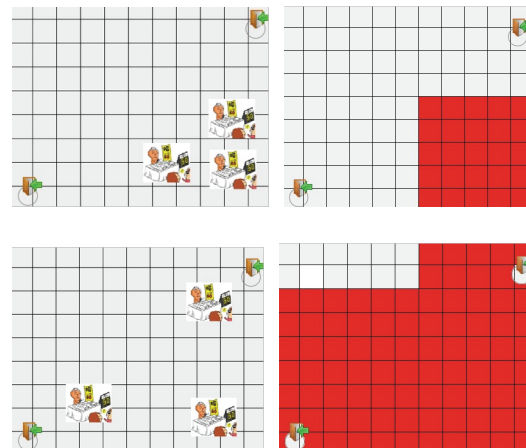
C.-T. Li 等在 2010 年提出以社會網絡(Social Network)為基礎的框架(Framework)[13]，當中包含主要兩個部分：基礎架構(Basic Architecture) 與社會網絡建置(Social Network Construction)。其中，基礎架構是參考 Reynolds 的群聚模型[19]，而社會網絡建置則採用 DBLP[5]的真實資料。DBLP 為一個線上的資訊科學相關書籍資料庫，以當中共同作者的關係作為該社會網絡的社會關係。

社會比較(Social Comparison)理論是另一相關研究議題。Natalie Fridman 等在 2007 年提出一個建立在社會比較理論的模型，希望能夠套用於絕大部分情況的群體模擬。而此論文的做法主軸為使用社會比較理論，去比較自己與其他人不一樣的地方，並嘗試去修改這些不一樣的特色(Feature)，以使自己與他人更為相似，相異度越來越低。此理論可以用在群聚運動以外的應用情境上，模擬更廣泛的集體行為。

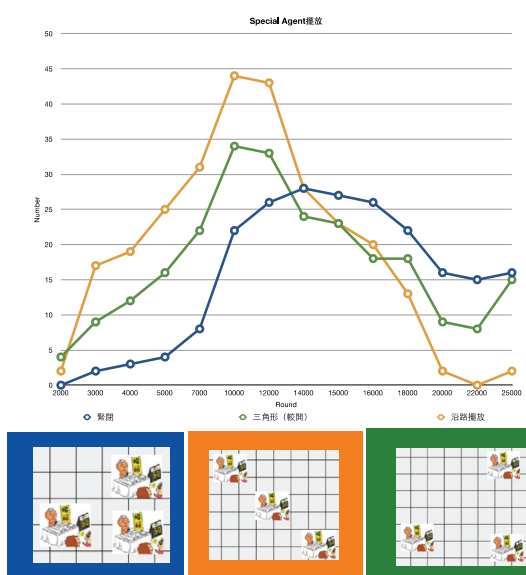
3. 感染源影響的實驗設計

在 IMCrowd 中，對於引發群體行為的早期接受者(Early Adopter)或我們所稱之為「感染源」，我們是以特殊代理人(Special Agent)的方式進行設計。在這當中，我們預先假設擺設感染源的方式會影響群體行為發生的規模大小以及機率，並以「第一個圍觀者」、「最大圍觀人數」、「成功完成 IMCrowd 一個生命週期的人數(即是最後有受群體行為影響的總人數)」等三項作為我們模擬結果的量測指標。

在進行此實驗前，我們針對 M. Gladwell 的少數規則模型[1]中銷售員(Sales)角色已先做初步的規劃，將其規劃成 IMCrowd 中的特殊代理人，繼承此平台中聚集(Gather)的集體行為。我們從實驗中發現，若擺放的感染源過於密集，無法創造出很大的群體行為(最大圍觀人數)。其中的原因之一是每一個感染源在地圖上都佔有一個區塊，所以可想而知，若是感染源擺放過於靠近，其感染源範圍便會重疊無法得到最大的效應，於是若把感染源擺設稍有距離的話便可得到相對於感染源擺放過於靠近來得較大的影響範圍。其概念如圖三所示。



圖三、感染源的影響範圍

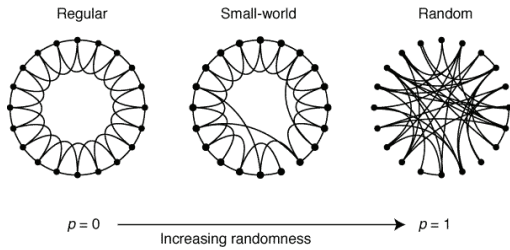


圖四、三種不同感染源擺設之實驗結果

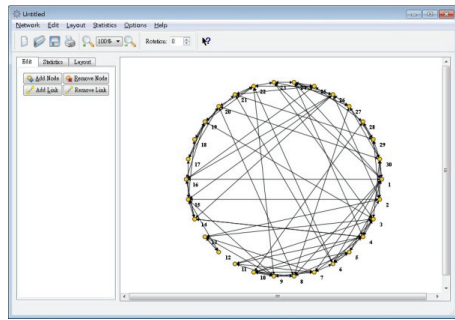
如圖四所示，從實驗數據中我們可以發現擺放較密集(藍線)產生出來的群體效應較平緩，不像擺放較鬆散(橙色與綠色)圖形呈現高低峰較明顯，在最高峰時有個很明顯的轉折點。這種情況可以比擬像是一群朋友進到賣場後同時被一個攤販吸引住，因此造成較陡峭的一個爆衝點，但也因為這樣，當這一群人一起離開時便會造成一個落差明顯的下降幅度。從以上的部份可以看出，感染源的擺設是有很顯著的影響。

4. 採用社會關係模型

為了實現真實世界中社會網絡的模型，我們於目前眾多的社會關係分析軟體[25]中挑選出其中一套具有理論基礎且跨平台的 SocNetV[24]作為我們加入人群模擬的社會關係模型之來源。我們選用以 SocNetV 產生隨機網絡(Random Network)四個方法之一的小世界(Small Worlds)，此方法採用 D. J. Watts 和 S. Strogatz 在 1998 年發表的模型，根據他



圖五、根據給予的機率值 p 產生出三種較為典型的社會關係圖[30]



圖六、SocNetV 執行畫面

們共同發表的論文” Collective dynamics of 'small-world' networks”為基礎所設計的[30]。

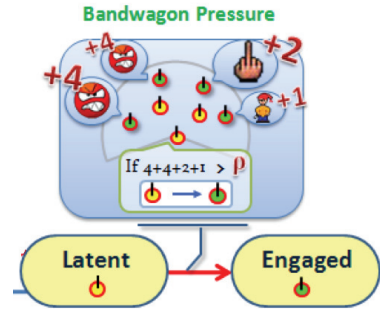
在這篇論文中提到有三種典型的社會關係圖，為 Regular、Small-World 和 Random(如圖五所示)，其產生根據模型中所賦予的一個機率值 p 決定 ($0 < p < 1$)，該值大小影響此模型協調(Tune)的力道，值越大越容易產生交錯複雜的圖形，也即更容易與不在附近的人產生關係。如第一個 Regular，只是單純與鄰近的人有關係，當調整機率 p 值到 Small World 時，比起(1)多出了幾條捷徑的感覺，人不再只與鄰近的人有關係。

本論文之後的實驗會根據此軟體產生出的小世界社會網絡加至模擬平台的代理人之間，使代理人間能依照所賦予的社會關係做出相對應的改變。SocNetV 軟體中的小世界模型有三個參數可設計，分別是 n (node 數量)， e (每個 node 平均連結數)， p (小世界中所定義之 Tune 的力道)。由 SocNetV 所產生的社會網絡範例如圖六所示。

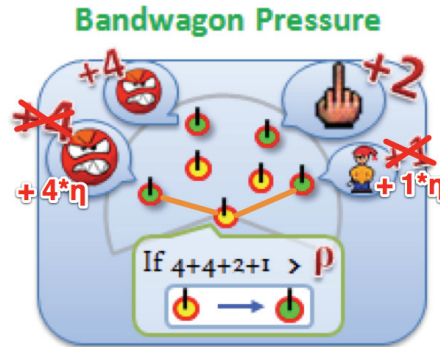
5. 社會關係對於人群發生的影響

在社會學中的「社會群體 (Social Groups)」[23][1]，乃泛指通過一定的社會關係結合起來進行共同活動的群體，是一種社會關係連結起來的群體。小世界網絡本身也可表示為一有密切關係的群體 (Affinity Group) [7]。我們透過社會群體的概念，為 IMCrowd 人群加入具小世界結構的社會關係，以藉此瞭解具有社會關係的社會群體對於人群發生的影響。

在 IMCrowd 系統[2]中，人群聚集發生的其中一個因素，是依據 Granovetter 所提之門檻值模型



圖七、IMCrowd 中 Bandwagon 機制示意圖



圖八、加入社會關係影響指數 η 示意圖

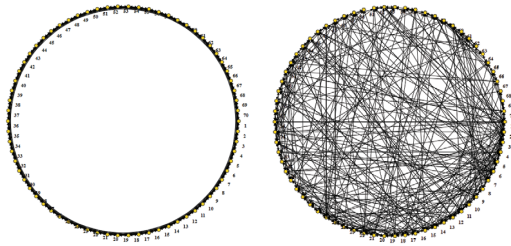
[9]，給予每一個代理人一個門檻屬性，在此我們稱之為 σ 。該屬性是依照附近的代理人是否被感染而決定是否參與這項群體行為。而在每一個模擬回合中，這些在 latent 狀態的代理人會偵測視野 (perception field) 中，所承受的 bandwagon pressure 總值 (意即視野中 Engaged 狀態的代理人所帶來的 bandwagon 總和)。而當這些 bandwagon pressure 總和超過該代理人的 σ 時，便會使得這些在 latent 狀態的代理人變成 engaged 狀態，開始進行集體心智 (collective mind)。在傳播過程中代理人的狀態型態如圖七所示。

我們針對 bandwagon pressure 加入了一個參數 η ，以做為社會關係在 IMCrowd 上的影響指數。不同於過往的是，latent 狀態的代理人看到 engaged 狀態且有社會關係 (如圖八中的咖啡色線) 的代理人時，會採用新的計算方式。

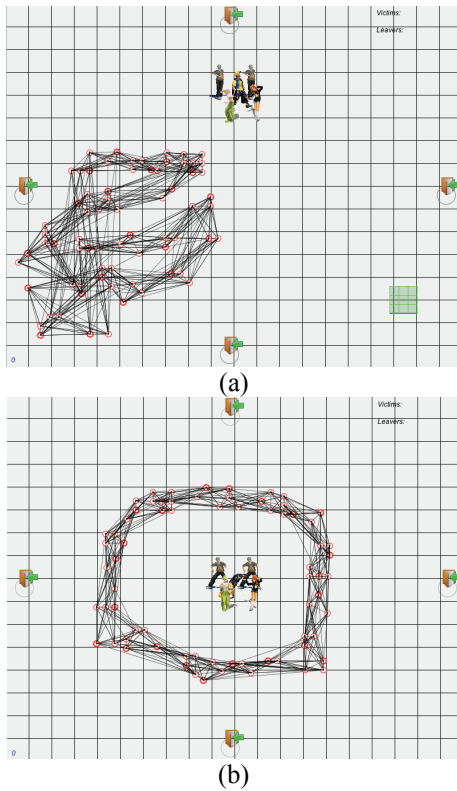
在 IMCrowd 系統中採用了一集體歇斯底里 (hysteria) 的機制，此為一個社會心理學的現象，代表人群進入狂熱狀態的持續程度[1]。在 IMCrowd 中，只有 engaged 狀態的代理人才會對此 hysteria 的值有所變動。這個 hysteria 的值在此以 τ 表示，是一個 $[0, \infty]$ 的整數。此 τ 值在代理人進入 engaged 狀態後會隨著模擬的回合數 (k) 增加而遞減。相關公式如下：

$$\tau_k = \tau_{k-1} + \sum_{\forall \text{producer}_j \in F} \xi_{jk}$$

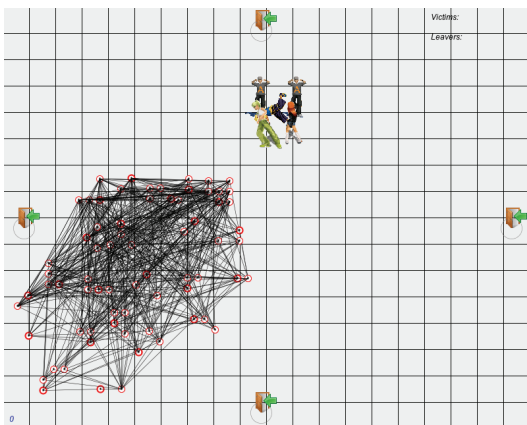
$$\xi_{jk} = \text{Round}(W_i * (1 - \gamma)^{n_i / \lambda})$$



圖九、small world 機率 0.0 及 1.0 的社會網絡

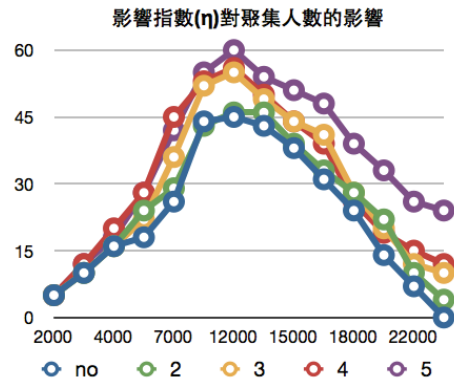


圖十、小世界機率值為 0.0 的模擬結果

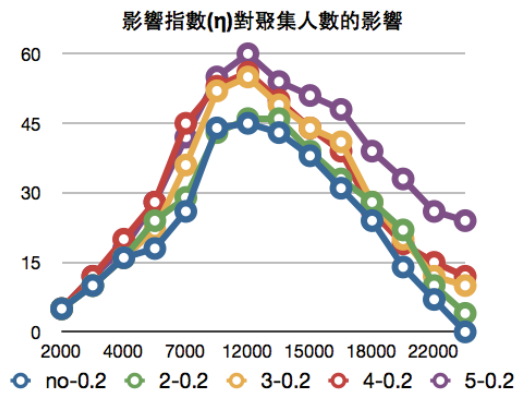


圖十一、小世界機率值為 1.0 的模擬結果

此處，我們對 ζ_{jk} (在 j 回合 k -th producer 對此代理人的影響值，其中 W_i 為此 producer 目前動作的權重、 γ 為此代理人的理性值門檻) 公式中的 γ 參數進行修改，若此 $producer_j$ (情緒散播者) 與運行此



圖十二、影響指數 (η) 對聚集人數的影響



圖十三、 $p=0.2$ 下 η 對聚集人數的影響

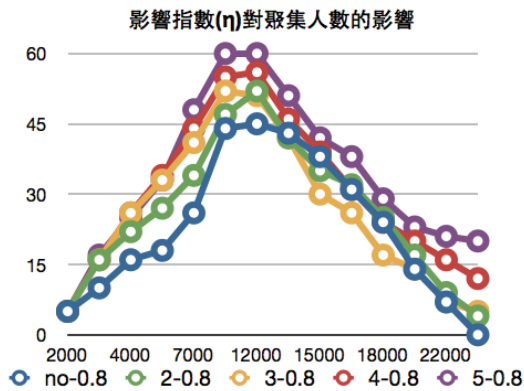
機制的代理人間有社會關係，便將 γ 遞減， $\gamma = \gamma - 1/\gamma$ ；若新的 γ 值小於 0，便直接將 γ 值設為 0。

前個章節所提之小世界機率值為 0 和 1 時有很大的落差，如圖九。IMCrowd 中對於小世界機率值為 0.0 的代理人間社會關係的呈現如圖十，其中圖十 (a) 為初始的分佈狀態，圖十 (b) 的代理人則依序圍繞成一個圈。另一方面，機率值為 1.0 的人群在模擬一段時間之後所呈現的組態如圖十一所示，相對於圖十中的例子，所呈現的結構明顯較錯綜複雜。

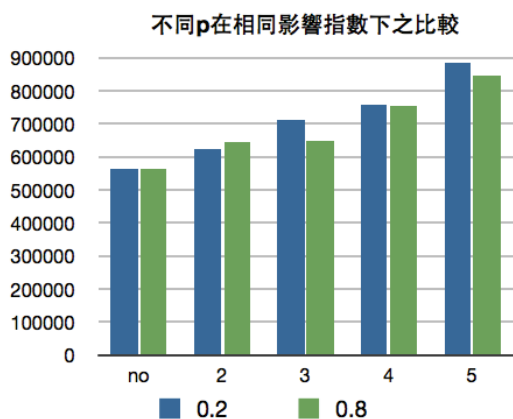
針對上述所提實驗設計，我們根據不同的變因進行探討，如：小世界模型中 p 值的改變和 IMCrowd 平台上社會關係影響指數大小等。其他因素如代理人的客製化、群體心理的相關設定 (如 α , β 等) 則保持不變。我們對比尚未加入社會關係前的 IMCrowd 模擬結果數據進行分析，而實驗所採用的群體行為為聚集 (Gathering)。

5.1 實驗一：影響指數 (η)

我們針對影響指數 η 進行實驗，以瞭解其對聚集發生人數的影響。我們預期隨著影響指數的上升，會得到較高的群體人數以及較持續的一個群體發生。如圖十二，我們的確可看到， $\eta=5$ 實驗產生的群體發生相對於 $\eta=2$ 高出非常多。其中 x 軸為回



圖十四、 $p=0.8$ 下 η 對聚集人數的影響



圖十五、不同 p 值對模擬結果的影響

合數，y 軸為該回合的 Engaged 狀態之代理人數目，圖標數字為 η 。(註： $\eta = \text{no}$ 代表未加入社會關係前)

5.2 實驗二：小世界模型機率值

我們針對影響指數 η 與小世界模型中機率值的組合去探討此機率值 p 對於聚集人數是否有影響。如圖十三所示，在其他條件不變的情況下，模型機率值 p 為 0.2，測量影響指數 η 從 2~5 及原始無社會關係之測量結果；圖十四則是測量模型機率值 p 為 0.8，其他條件不變下之測量結果。(註：圖標為 $\eta - p$)

接著，我們透過梯形公式（ $\text{回合間隔值} \times \text{人數和} / 2$ ）算出圖十三與圖十四圖形之各曲線的面積，相比較之結果如圖十五所示，橫軸為影響指數 η ，縱軸為聚集人數總和。從這比較的圖形中可以發現，小世界模型之機率值 p 對於聚集人數的影響並不顯著。因若此機率值 p 使代理人間之關係分布錯綜程度不同，導致聚集人數差異明顯，那麼在相同影響指數 η 下應可看到明顯的落差，甚至在影響指數 η 越高應更為明顯，但從目前實驗結果的圖形中並沒有看到。因此，我們可以知道此機率值 p 對於聚集人數的影響有限。

6. 結論與未來研究

經過這些實驗後，我們可以看到社會網絡模型對於人群行為模擬有著一定程度的影響。我們也可以得知，社會網絡的複雜程度，對於聚集人數的影響較不明顯。未來我們預計會朝這方向再繼續的琢磨，期許能找到些有影響的相關資訊。

在未來研究方向上，我們觀察到社會學中，有許多與社會網絡(Social Network)[26] 有關的概念，如人際關係(Interpersonal Relationship)[10]與社會資本(Social Capital)[22]等，對於人群間的互動與關係實作，應是一個很好的研究方向。另外，對 social network 進行分群（community detection）的相關研究，也都可以作為未來研究的參考。

致謝

我們要感謝台灣國科會對我們研究的支持。大專學生參與專題研究計畫(編號: NSC99-2815-C-004-028-E)。

參考文獻

- [1] 百度百科 - 社會群體：
<http://baike.baidu.com/view/183593.htm>
- [2] 趙偉銘 (2010) 以溝通模型模擬具有社會行為的虛擬人，國立政治大學資訊科學系碩士論文。
- [3] L.P. Boss “Epidemic hysteria: a review of the published literature,” *Epidemiologic Reviews*. Vol.19, No. 2, pp. 233-243, 1997.
- [4] R. Das, M. Mitchell, and J. P. Crutchfield, “Parallel Problem Solving from Nature,” (eds Davido, Y., Schwefel, H.-P. & Manner, R.) *Lecture Notes in Computer Science* 866, Springer, Berlin, pp. 344-353, 1994.
- [5] The DBLP Computer Science Bibliography:
<http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/>
- [6] W. Finnegan, “Affinity Groups and the Movement Against Corporate Globalization,” *The social movements reader: cases and concepts*, p. 210, 2003.
- [7] N. Fridman and G. A. Kaminka, “Towards a Cognitive Model of Crowd Behavior Based on Social Comparison Theory,” *Cognitive Systems Research*, 2010.
- [8] M. Gladwell *The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference*, London: Little, Brown and Company, 2000.
- [9] M. Granovetter, “Threshold Models of Collective Behavior,” *American Journal of Sociology*, Vol. 83, No.6, pp.1420-43, 1978.
- [10] Interpersonal Relationship - Wiki：
http://en.wikipedia.org/wiki/Interpersonal_relationship
- [11] D. Keltner and O. P. John, “Emotional Conver-

- gence Between People over Time,” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 84, No.5, pp. 1054-68, 2003.
- [12] G. LeBon, *The Crowd: A Study of the Popular Mind*, 1895.
- [13] C.-T. Li, H.-P. Hsieh, T.-T. Kuo, and S.-D. Lin, “SocioCrowd: A Social-Network-Based Framework for Crowd Simulation,” in *Proc. of ACM SIGGRAPH2010 (Posters)*, 2010.
- [14] C.-T. Li, T.-T. and H.-P. Hsien, “Crowd Simulation with Underlying Social Network,” ICG 2009 Term Project, 2009.
- [15] M. W. Macy and R. Willer, “From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling,” *Annual Rev. Social.*, 28, pp. 143-166, 2002.
- [16] S.R. Musse, and D. Thalmann, “A Model of Human Crowd Behavior: Group Inter-Relationship and Collision Detection Analysis,” in *Proc. of Eurographics Workshop*, pp. 39-52, 1997.
- [17] R. Narain, A. Golas, S. Curtis, and M. Lin, “Aggregate Dynamics for Dense Crowd Simulation,” *ACM Transactions on Graphics (Proc. of SIGGRAPH Asia)*, Vol. 28, No. 5, 2009, pp. 122:1-122:8.
- [18] M. A. Nowak and R. M. May, “Evolutionary games and spatial chaos,” *Nature*, Vol. 359, pp. 826-829, 1992.
- [19] C. W. Reynolds, ”Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model,” in *Proc. of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM Press, pp. 25-34, 1987.
- [20] C. W. Reynolds, ”Steering behaviors for autonomous characters,” in *Proc. of Game Developers Conference*, 1999.
- [21] W. Shao, and D. Terzopoulos, “Autonomous Pedestrians,” in *Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, 2005.
- [22] Social Capital – Wiki : http://en.wikipedia.org/wiki/Social_capital
- [23] Social Group – Wiki : http://en.wikipedia.org/wiki/Social_group
- [24] SocNetV (Social Networks Visualizer) : <http://socnetv.sourceforge.net/>
- [25] Social network analysis software - Wiki-20101006 : http://en.wikipedia.org/wiki/Social_network_analysis_software
- [26] Social Network - Wiki 2010. : http://en.wikipedia.org/wiki/Social_network
- [27] A. Sud, E.Andersen, S. Curtis, M. Lin, and D. Manocha, “Real-time path planning for virtual agents in dynamic environments,” in *Proc. of IEEE Virtual Reality Conference*, pp. 91-98, 2007.
- [28] A. Treuille , S. Cooper , Z. Popović, “Continuum crowds,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol.25, No.3, July 2006.
- [29] X. Tu, and D. Terzopoulos, “Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior,” in *Proc. of SIGGRAPH 1994*, 1994.
- [30] D.J. Watts, S.H. Strogatz, “Collective dynamics of 'small-world' networks,” *Nature*, 393(6684):409-10, 1998.
- [31] W.M. Zhao and T.Y. Li., “Simulating Collective Behaviors for Virtual Crowds with a Communication Model,” in *Proc. of Computer Animation and Social Agents*, 2008.