

具溝通機制及客製化事件的人群模擬

A Crowd Simulation Platform with Communication Mechanism and Customized Events

趙偉銘
國立政治大學資訊科學系
台北市指南路二段 64 號
t9148@cs.nccu.edu.tw

李蔡彥
國立政治大學資訊科學系
台北市指南路二段 64 號
li@nccu.edu.tw

ABSTRACT

在電腦動畫的領域裡，模擬人群的應用逐漸在電玩、電影及動線規劃等應用上，扮演著重要的角色。過去的人群模擬研究著重於碰撞避免及隊形維持，對於人群的互動機制則較少貢獻。我們利用 bottom-up 的方式，建立一個即時人群模擬的平台，特別在於人群中的 agent 因擁有一個別化的虛擬力參數而具異質性，並可藉由彼此訊息的傳遞，達到群體運動的可控制及客製化(customization)為目的。我們在此論文中將以動畫實例說明此人群模擬模型的有效性，並在 3D 動畫軟體中具體呈現。

Keywords

3D 動畫、人群模擬、agent-based 模擬、溝通模型

1. 簡介

在電腦動畫的領域，即時擬真的人群模擬一直不斷接受新的挑戰。儘管閃避碰撞及簡單的群聚運動已可用模仿生物的方式做不錯的呈現，但如何設計出令人信服的人群互動行為，仍是一項艱鉅的工作。

人群互動、結群的過程，一直是許多心理學者與社會學者所關心的課題。Le Bon Gustave 認為群體通常是處在一種期待注意的狀態中，因此很容易受人“暗示”。最初的暗示，通過“相互傳染”的過程，很快的便進入群體中所有人的頭腦。於是群體中的個體逐漸喪失獨特的人格意識，群體情感將暗示的觀念轉化為行動傾向，最後個體不再是原先的獨立心理狀態，而是受群體意志支配的一致心理狀態[8]。Kurt Lewin 亦提出 Group Dynamic，認為個人在團體中的表現與個人在獨處時的表現並不完全相同。原因在於群體中的個體在群體中的各種力量交互影響下，將產生相互依存的團體動力，而此動力將維繫團體的穩定運作[7]。

過去人群模擬的研究成果，主要偏重在移動中的碰撞避免及隊形維持；人群間個體的訊息傳遞機制研究，仍屬少見。我們的目的，便在於提供一個適當的模型，能在各種不同類型的 agent 之間建立彼此傳遞訊息的溝通機制。而且我們可進一步透過設置具特殊功能的 agent 及事件的方法，達到人群模擬可控制、可客製的擬真呈現效果。

這樣的模擬研究將可應用在許多領域上。如在電腦遊戲中，可使 NPC(Non-Player Control) 呈現擬真的集體行為，並依玩家的反應，產生不同的群體互動，增添更多趣味與體驗。另一方面，人群動畫特效在電影

製作上，逐漸扮演吃重的角色，最著名的便是電影“魔戒”系列，成千上萬的人群特效透過視覺的呈現，將大大震撼觀眾的感官。而我們的研究亦希望可使導演更易控制及客製想要呈現的群體運動行為。此外，警察相關機關在人民集會遊行前的管控模擬推演，建築物的逃生動線規劃，都可使用人群模擬的方式做有效的事前評估。

下一節將大致介紹過去人群模擬的相關研究；第三節將提到人群模擬的基礎架構，及個體間虛擬力的設計。第四節將介紹我們目前建立的溝通及傳遞機制。第五節將呈現實驗成果。第六節則是本研究的結論與未來發展。

2. 相關研究

群體模擬的研究在電腦動畫的領域已經進展多年。其中最具代表性的研究，便是 Reynolds 在 1987 年提出的類鳥群(boid)模擬 [2]。主要的方法在於使用三種虛擬力—排斥力(Separation)、凝聚力(Cohesion)、對齊力(Alignment)，使得類鳥群得以維持相同的速度與間距，呈現群體式的運動。

涂曉媛及 Terzopoulos 以 Reynolds 類鳥群的模型為基礎模擬魚群，學術界稱之為“曉媛的魚”[12]。見圖一。曉媛的魚被賦於內心狀態，如：性慾、饑餓感、恐懼感等。魚群可隨時間及環境改變，自動產生各種不同擬真的行為，如：會尋覓食物，吞嚥食物；會尋求配偶，進行求愛；發現危險，會進行逃避等。



圖一、曉媛的魚。鯊魚感到飢餓開始獵食，魚群感到危險時開始躲避。[12]

Reynolds 於 1999 年也持續將它原本的模型做延伸實作，像是找尋(seek)、躲避(flee)、追逐(pursuit)、漫遊(wander)、及碰撞偵測(obstacle avoidance)等，當這些行為被整合起來後，便可產生相當複雜的行為[1]。

Musse and Thalmann 視 agent 為個體，每個 agent 擁有自己的目標(goal)、agent 之間透過彼此目標的比較後，相似者將被歸為一群，並一起行動[11]。

Villamil, Braun and Musse 利用規則式模型(rule-based model)及心理模型使人群表現出 Group Dynamics[6]。agent 在每次互動後，都會累計彼此間的交易次數及好感度，這些值將影響 agent 形成 group 的形式，如跟隨、選擇團員及組團(grouping)[9]。

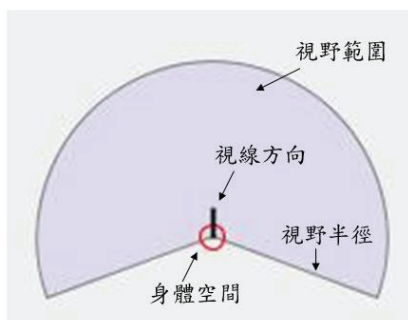
Rymill and Dodgson 則主要集中在人群模擬中的碰撞預測(collision prediction)及碰撞避免(collision avoidance)的研究，他們引用心理學的文獻，實作行人在行走時的閃避策略，如放慢速度跟隨、繞行並返回原路線(detour and return to path)及側身閃避(step-and-slide)等[5]。

Helbing 以物理力學建置行人動力(Pedestrian Dynamics)模型。[3]提出社會力(social force)的概念，agent 的運動將行為由下列四種力交互影響所決定：1.前往目標的自身驅力；2.為閃避他人的排斥力；3.為避開牆壁的排斥力；4.逃生門的吸引力。Helbing 使用社會力模擬人群逃生(escape panic)，實驗結果呈現逃生人群以弧形堵塞於門口處，與現實情況一致，並指出增設逃生門對於人群逃生率並無顯著改善[4]。

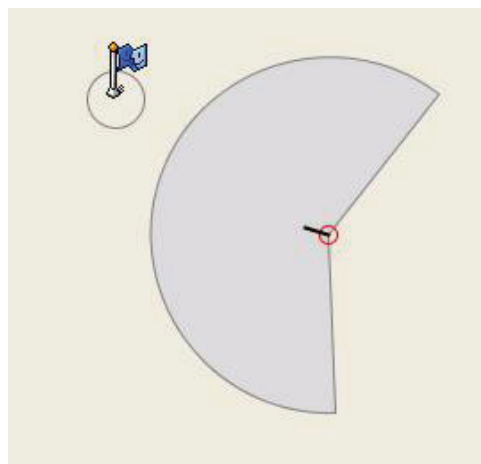
3. 虛擬個體(agent)的運動模型

本模擬系統採用 agent-based 的方式設計，並為系統實作了剛體(rigid body)物理引擎[10]，使得每個 agent 除了位置及初速外，還擁有自己的物理特性，如：質量、轉動慣量、重心、推力、轉向力(steering force)。透過合力、力矩的計算，便可得到 agent 的速度、角速度、方向向量等資訊。這樣的好處在於不管我們的模擬對象為何(如人、車、動物)，只需要調整些許物理參數及力的大小，便可有效改變 agent 呈現我們需要的運動模式。

每個 agent 除了物理屬性外，還具有角色(character)屬性，如身體的胖瘦、視野範圍、領導能力及理性程度(見圖二)。在每一個模擬的迴圈，agent 會持續計算新的視線方向，並朝該方向運動。如圖三所示，當 agent 視線內並無其它 agent 或障礙物時，agent 會持續向自己的目標移動。

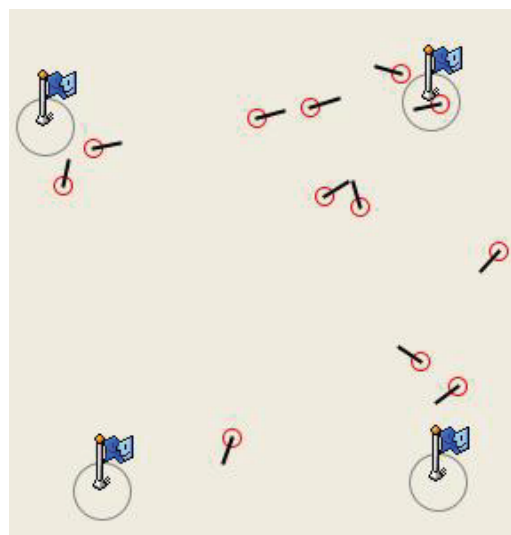


圖二、每個 agent 角色具有的基本屬性。



圖三、視野內無障礙物時 agent 會持續向自己的目標(插旗處)移動

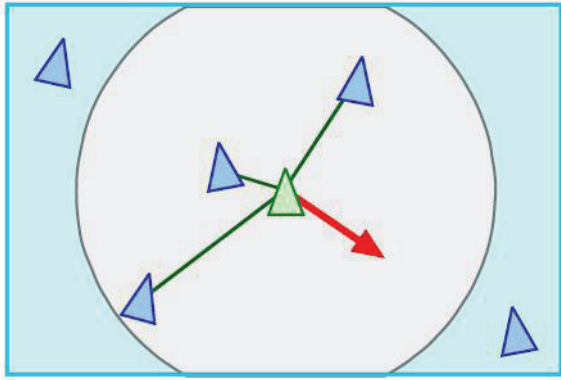
每個 agent 到達目標後，便會再向 goal manager 隨機要一個新的 goal，如圖四所示。至於環境中有多少個 goal 是可以依使用者的需要而設定的。



圖四、使用者可設置多個 goal。agent 到達目前的 goal 後，會轉往下一個所配置的 goal。

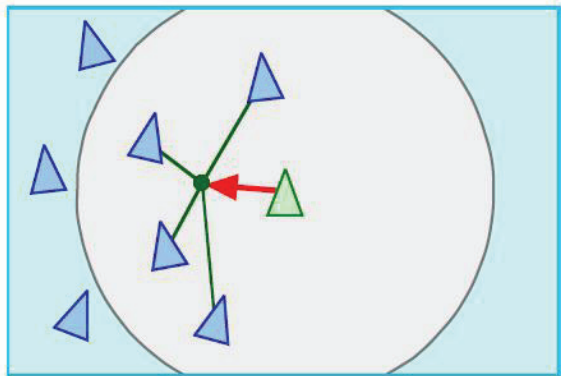
此外，我們將 Reynolds 的三種虛擬力實作於系統中，當鄰近的 agent 進入視野範圍，三種虛擬力(排斥力、凝聚力、及對齊力)便會開始作用，使 agent 們彼此避免碰撞，並呈現群聚的現象。下面將分別介紹這三種力及避開障礙物的方法。

排斥力(Separation) (如圖五所示)的目的在於使 agent 與 agent 之間保持某個特定距離以避免彼此碰撞。方法是將視野裡的 agent 逐一計算與它們之間的距離及相對方位，依相對方位施加反向的轉向力，且施加的轉向力與它們的分隔距離成反比。



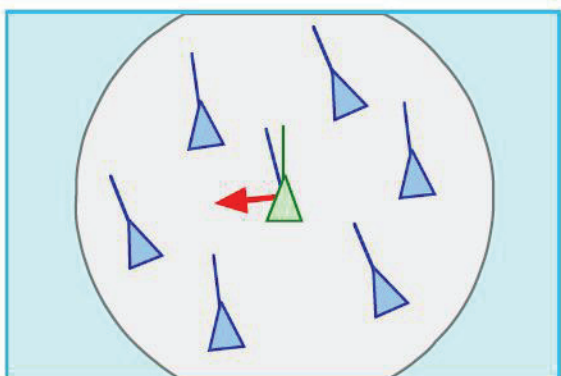
圖五、agent 間排斥力的計算示意圖[2]。

凝聚力(Cohesion) (如圖六所示) 的目的與排斥力相反, 它會先計算視野範圍內有多少個 agent, 並加總鄰近 agent 的位置總和, 然後算出彼此之間的平均位置。最後施加轉向力使它向平均位置趨近。



圖六、agent 間的凝聚力的計算示意圖[2]。

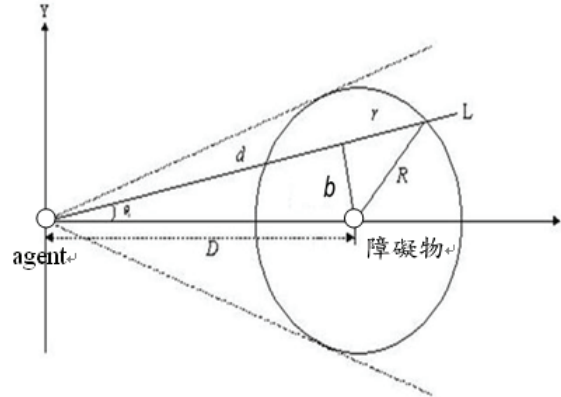
對齊力(Alignment) (如圖七所示) 的目的在於使鄰近的所有單位約略朝相同的方向前進。方法是先分別計算視野範圍內所有 agent 的方向向量, 累加後求出平均方向向量。最後施加轉向力使自己的方向向量向平均方向向量趨近。



圖七、agent 間的對齊力的計算示意圖[2]。

綜合上述三種力, 便可使 agent 達到彼此閃避及產生群聚的現象。

本系統中 agent 避開障礙物的機制主要是利用幾何的方法, 如圖八所示。當障礙物進入 agent 的視野範圍後, 我們先計算 agent 與障礙物位置差的向量 D 及 agent 的方向向量 L , 接著求 D 在 L 上的投影量 d , 再用 d 減 D 求出向量 b 。若 b 小於障礙物的半徑 R , 便計算 agent 與障礙物的相對方位(見圖八), 並施以相反方向的轉向力, 便可使 agent 避開障礙物。此外, 施以轉向力的大小將與向量 D 的長度成反比, 即距離障礙物愈近, 將施予愈大的轉向力。



圖八、利用幾何的方式, 偵測 agent 與障礙物的相對方位。

Reynolds 的三種虛擬力與碰撞預測, 都在其它 agent 或障礙物進入 agent 的視野範圍後才開始計算, 如此可節省大量的運算時間, 亦符合人類運動的現實情況。

4. 人群溝通、傳遞訊息的機制

群體的運動行為在許多時刻不僅只有單純的避碰與群聚。群體中的個體運動往往受到環境中的暗示而有所改變, 並逐漸影響鄰近的個體, 將影響力像傳染般的散播出去。就如同投石江心, 一個漣漪接著一個漣漪的向外擴張。個體們在彼此訊息傳遞的交互影響之下, 逐漸湧現新的群體意志及群體行為(emergent collective behavior)。比如某處發生槍戰, 最接近的人聽到槍聲便立刻展開奔逃, 而較遠方的人們見到前方人群莫名騷動, 也將逐漸受其影響開始躲避。過去人群模擬的研究, 鮮少考量人群裡的訊息溝通與傳遞方式, 故無法進一步擬真的控制人群運動。

為了解決前述遭遇的問題, 我們嘗試設計特殊的 agent, 透過力參數的設置, 賦予其"暗示"的能力。於是便可依事件之需要將特殊的 agent 放置於人群之中, 來擬真控制人群產生突發性之集體運動。如: 放置怪物在人群之中, 周圍的人應會四散而逃; 放置英雄人物, 應會凝聚群眾的運動趨勢等。

在過去使用 Reynolds 模型的系統裡, 所有 agent 計算合成虛擬力的方式都相同, 以產生群聚的效果。但如果要產生群聚以外的模擬效果或差異化的局部特效, 單一合成參數的方式是不夠的。我們的模擬平台採用 agent-based 的設計, 因此可以調控所有 agent 的基本屬性, 並賦予其獨特的參數值, 以合成影響個體運動的虛擬力。我們為每個 agent 設置兩組 Reynolds 的虛擬力(每一組都包含上一節介紹的三種虛擬力): R_b 與

R_i ，其中 R_b 是代表自主意識的虛擬力，用來決定 agent 自身的行動偏好(如：喜好接近其它人或保持距離)； R_i 則代表群體意識影響的虛擬力，它是 agent 視野範圍內所有 agent 身上感染源 ρ 的聯集(包含 agent 自身先前的傳染源)，而感染源最初皆來自具有暗示能力的特殊 agent，並具有時效性，其持續作用的時間長短可由使用者自行設置。 R_i 可以用下列公式表示：

$$R_i = \bigcup_{k=0}^n \rho_k \quad (1)$$

其中， n 是具感染力的 agent 個數。agent 最終運動所依據的虛擬力 R_s 則由下列公式所決定， γ 為 agent 的理性程度：

$$R_s = R_b \cdot \gamma + R_i \cdot (1-\gamma) \quad (2)$$

由此我們便可設計賦有暗示能力的特殊 agent，經由設置它們的位置，藉以散播影響力來控制模擬環境中的人群呈現方式。

此外，我們也設計了影響 agent 領導能力的參數值 μ ，參數範圍在(0, 100)之間，越大代表此 agent 的領導力越強。因為此參數值將影響其它 agent 計算視野範圍內所有 agent 的平均位置 P_{ave} 與平均速度 V_{ave} ，進而影響虛擬力的方向，以達跟隨 leader agent 的效果，公式如下：

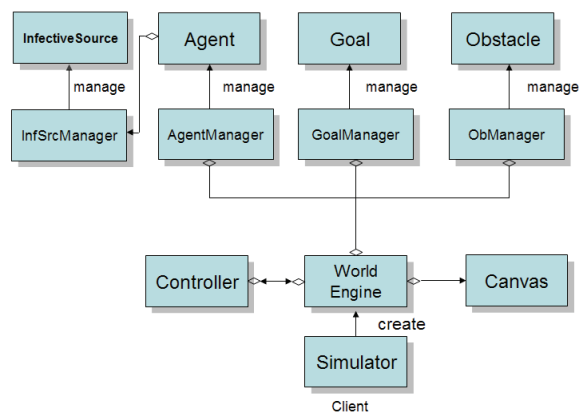
$$P_{ave} = \sum_{k=0}^n \mu_k \cdot p_k \quad (3)$$

$$V_{ave} = \sum_{k=0}^n \mu_k \cdot v_k \quad (4)$$

其中， n 、 p_k 與 v_k 分別是 agent 視野範圍內其它 agent 的總數、位置與速度。

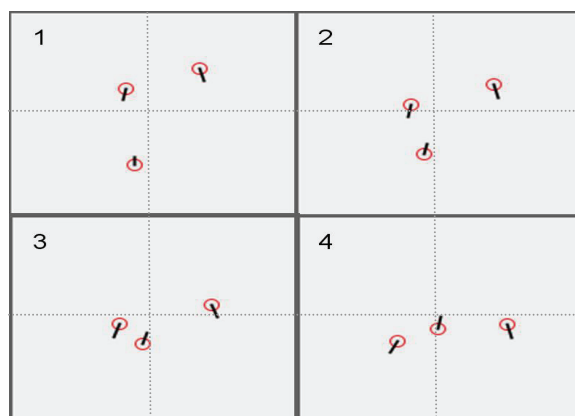
5. 實驗結果

研究的模擬平台已用 Java 建置完成，整體的設計架構可概分如下：World Engine、Controller、Agent Manager、Goal Manager、Obstacle Manager、InfectiveSource Manager 及 Canvas 等元件，如圖九所示。其中 World Engine 扮演中介溝通的角色，每個元件都需透過 World Engine 得到其它元件的資訊。Controller 負責接收使用者的參數控制，並更新各個 Manager 的資訊。Agent Manager 每回合負責計算所有 agent 的 Reynolds 虛擬力，即公式(2)中的 R_s ，並處理碰撞預測、碰撞避免，最後更新所有 agent 的物理狀態。Goal Manager 則負責管理 Goal 物件，當 Agent 完成目前目標時，便會向 Goal Manager 申請下一個目標。Obstacle Manager 則管理障礙物的設置與清除，Agent Manager 每回合都會向它詢問障礙物的資訊。每個 agent 都擁有 InfectiveSource Manager 管理內部的感染源 ρ_k ，以提供 Agent Manager 計算公式(1)中的 R_i 。待所有 Manager 完成一回合的所有計算，Canvas 便會重新繪製所有的物件。

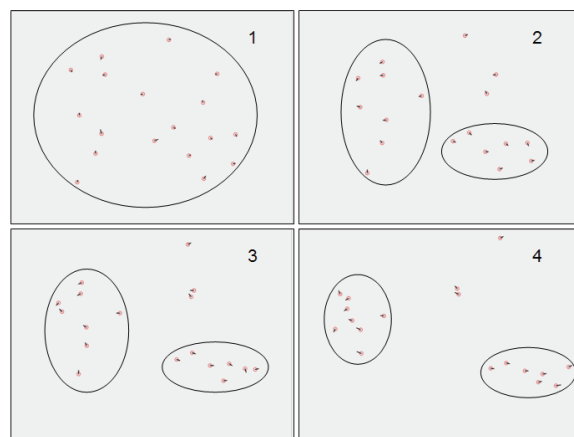


圖九、人群模擬的系統架構。

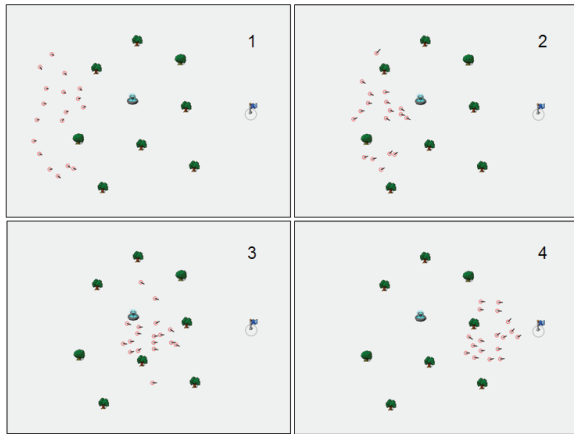
如圖十所示，我們的系統中的 agent 在運動模擬過程中能順利的閃避其它 agent。當系統未指定特定目標予 agent 時，由於 Reynolds 模型的虛擬力機制，我們可以觀察到自然群聚的行為，如圖十一所示。當系統中加入障礙物時，群聚的現象及避開障礙物的現象也能同時呈現出來，如圖十二所示。



圖十、agent 在運動過程中會逐漸閃避其它 agent。

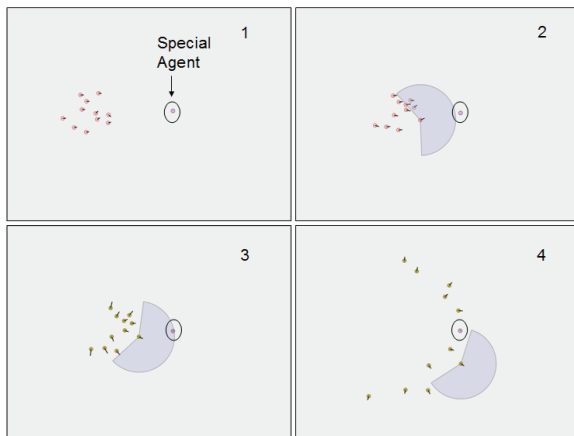


圖十一：無指定目標的 agent 將逐漸群聚，如圖圓圈中逐漸形成的兩組人群。

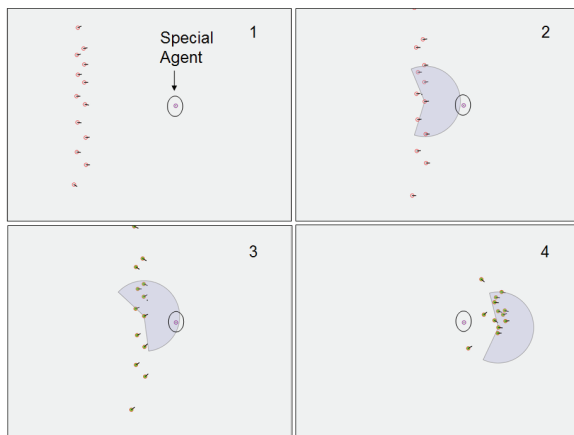


圖十二：agent 在運動中避開障礙物，並走向 goal。

為了要能測試本系統中 agent 差異化及可客製化的能力，我們在特定地點安置了特殊的 agent，以控制人群產生突發性之集體運動。例如，在圖十三(a)中，我們置放一個特殊 agent，它會下達散開的暗示，當其它 agent 接收到此暗示後便開始向外散開，並將此訊息傳播給周圍的其它 agent，於是產生向四周逃散的突發性



(a)



(b)

圖十三、特殊 agent 造成原本穩定運動的人群產生突發性群體運動。當 agent 的顏色由紅色轉為綠色時，代表此 agent 正在受到此特殊 agent 的影響。(a)特殊 agent 給予散開的暗示；(b)特殊 agent 給予凝聚的暗示

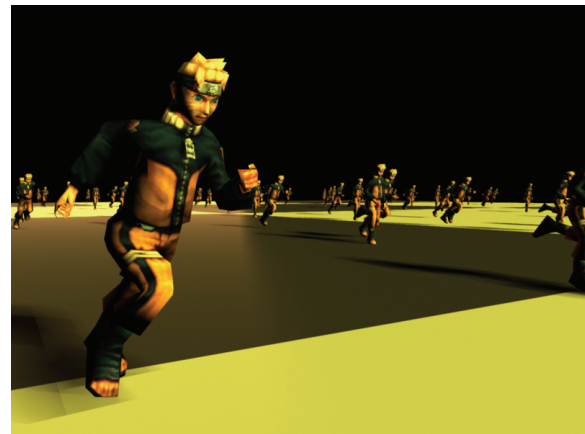
集體運動；在圖十三(b)中，我們改放置一個下達凝聚暗示的特殊 agent，它使原本分散的群體產生集合的突發性集體運動。

領導人在群體中往往扮演重要的角色。透過 agent 領導能力參數值的設置，將可呈現群體跟隨領導人的運動行為。如圖十四所示。

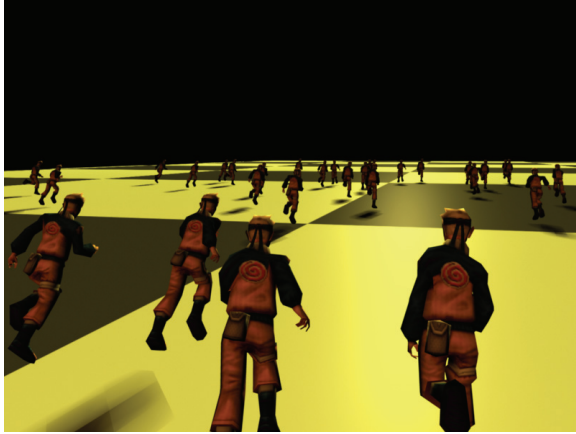


圖十四：群體跟隨領導人的運動行為

此外，我們撰寫 Maya 的 Mel Script 以匯入本模擬平台產生的 frame data，做為人群動畫的 global motion。再利用 MoCap 的跑步資料，輔以 Maya Trax Editor 製作三組 Cycle Clip 做為人群的 local motion。最後以 Mel Script 控制 global 與 local motion 便可迅速製作擬真之 3D 人群動畫，如圖十五。



(a)



(b)

圖十五：利用 Mel Script 將本模擬平台產生的 frame data 匯入 Maya，可迅速製作擬真之 3D 人群動畫。(a) 人群動畫的正面截圖；(b) 背照圖

6. 結論及未來發展

我們在心理學及社會學文獻得知，群體間的訊息傳遞是向四周鄰近的個體層層散播出去的，透過個體彼此互相影響的過程，新的突發群體行為(emergent collective behavior)便會逐漸湧現出來，進而影響著群體中所有個體的行為。以目前相關的研究來看，仍少有文獻能夠擬真模擬出如此的人群行為。

本模擬系統與過去研究最大的不同點，在於每個 agent 都擁有自己的物理屬性、虛擬力屬性及目標，於是我們設置特殊的 agent，並賦與其暗示其它 agent 的虛擬力。將之安置於模擬環境，透過傳染的機制，間接在模擬環境中影響人群呈現我們希望的突發群體行為行為。

本系統目前雖可有效達到閃避 agent、避開障礙物、人群聚集、暗示人群與訊息傳染的模擬呈現。但影響人群突發行為的因素相當複雜，如群體的大小、密度、組成結構、訊息傳遞機制等都可能造成不同的群體突發行為。此外，環境的影響因素與評估指標的建立，都是我們未來極欲了解並著手的工作。

7. 致謝

此研究在國科會 NSC 95-2221-E-004-015 計畫及國立政治大學頂尖大學計畫的支助下完成，特此致謝。

8. REFERENCES

- [1] C. W. Reynolds, "Steering behaviors for autonomous characters," *Proc. of Game Developers Conference*, 1999.
- [2] C. W. Reynolds "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model," *Proc. of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM Press, pp. 25-34, 1987.
- [3] D. Helbing and P. Molnar, "Social Force Model for Pedestrian Dynamics," *Physical Review*, pp.4282-4286, 1995.
- [4] D. Helbing, I. Farkas and T. Vicsek, "Simulating Dynamical Features of Escape Panic," *Nature*, 407(28):487-490, 2000.
- [5] J. Rymill and N. A. Dodgson, "A Psychologically-Based Simulation of Human Behaviour," *Theory and Practice of Computer Graphics*, p35-42, 2005.
- [6] K. Lewin, *A Dynamic Theory of Personality*, New York: McGraw Hill Custom Publishing, 1935.
- [7] K. Lewin, *Field Theory and Experiment in Social Psychology: concepts and methods*, 1939.
- [8] L. B. Gustave, *The Crowd : A Study of the Popular Mind*, 1895.
- [9] M. B. Villamil, A. Braun and S. R. Musse, "A Rules-Based Model Used to Describe Group Dynamics for Games," *Proc. of SIBGRAPI 2003*, IEEE, São Paulo, Brazil, 2003.
- [10] M. Bourg, *Physics for Game Developers*, O'REILLY, 2001.
- [11] S. R. Musse and D. Thalmann, "A model of human crowd behavior: Group inter-relationship and collision detection analysis," *Computer Animation and Simulations, Proc. of Eurographics Workshop*, 1997.
- [12] X. Tu, and D. Terzopoulos, "Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior," *Proc. of SIGGRAPH*, 1994.