

以演化方式模擬人群運動行為

王智賢

國立政治大學資訊科學系
g9022@cs.nccu.edu.tw

李蔡彥

國立政治大學資訊科學系
li@nccu.edu.tw

摘要

電腦動畫的應用中，虛擬人群模擬的需求越來越多，但模擬人群運動是一件十分繁瑣耗時的工作。過去有許多研究以虛擬力場模擬群體的運動，但所模擬出的行為與所設定的力場參數及環境設定有一定的關係。因此，我們提議以基因演算法的方式，針對不同環境及不同的行為期望，由系統自動演化出適當的力場參數，以做為不同情境下產生人群動畫的參考。我們已完成基因演算法的設計及初步的動畫模擬系統，並已進行了初步的實驗，以驗證此構想的可行性。

關鍵詞：電腦動畫、基因演算法、群體運動、電腦模擬、複雜系統。

1. 前言

群體運動的模擬在電腦動畫領域中，已經愈來愈受到實務界及學術界的重視。舉凡在自然科學領域中對生物群聚現象的模擬、虛擬人群在虛擬商城的應用、數位娛樂中的電影特效、以及數位遊戲等等皆少不了群體運動的要素。在虛擬商城的應用中，若有虛擬人群的存在，則可以利用人類的心理特性，把使用者吸引到特定的商點。其次，若使用者不熟悉虛擬世界的環境，也可由虛擬人群提供輔助引導的功能。另外，由於數位娛樂日漸受重視，虛擬人群的設計亦可應用於數位遊戲中，或用來滿足電影製作中提供人群動畫的特效。此外，虛擬人群的移動模擬，亦可用在規劃公共空間於緊急災難發生時，人群疏散時所需的動線規劃。

群體運動模擬的相關研究，已經持續一段相當長的時間，業已累積不少學術資料。在以往的許多相關的研究中，多是以自然界中生物(魚群或鳥群)群聚的動畫為主題來討論，且已有不錯的成果；但人群運動的模擬，在電腦動畫的領域中，仍是相當複雜的問題。這是因為人群移動的模擬必須同時考慮擬真效果、動畫產生的自動化程度、電腦計算的複雜度等因素。在擬真效果方面，由於人群移動雖然為一般生活上所常見，但目前文獻中仍卻缺乏具有代表性的移動行為模式的定義。同時由於人群運動多無固定規律的移動軌跡或類型，因此我們需要考慮在面對不同環境下，人群移動的差異性，才能夠符合特定情境中的期望。目前的做法，多藉由動畫師針對不同情境下的人群移動做個別設計，但其

所需的人力成本相當可觀。因此本研究希望能有效的自動化產生人群的移動，以減低動畫製作的成本。另外在電腦計算量方面，以往多是以建立機構學及動力學模型的方式，來設計虛擬人物，再大量複製虛擬人物(avatar)，以滿足群體運動的效果。但由於此法在動畫製作上的計算量相當大，因此模擬人群的數目不能太多。

因此，本研究將以電腦動畫領域中之群體運動模擬為主要的研究方向，針對人群移動的模擬提出一個務實、簡單的設計理念，以提昇動畫製作過程的自動化程度。首先，我們參考[11][12]的驅動力法則來設計人群中的人移動的特性設計適切的驅動力法則。其次，我們對於群體運動中不可避免的碰撞問題，使用有限狀態機的方法，在不同碰撞情形發生時，採取適切的碰撞處理策略。另外，我們使用基因演算法[7][9][10]來演化人群運動的控制變數，以產生適用於不同類別環境的人群運動。我們希望此方式可以增加動畫製作的自動化程度，減低動畫師的人力成本。

接下來的第二節中，我們會介紹與此題目相關的研究與研究方法；第三節是系統架構，用以說明人群移動模擬系統內所運用到的技術與系統的架構；第四節則是說明描述人群移動模擬系統中關於虛擬人的設計；關於將人工智慧演化機制用以產生不同的人群移動的形式(pattern)則在第五節中描述；第六節則是實驗結果與討論，將展示初步的結果；第七部分是結論與未來研究方向。

2. 相關研究

群體運動模擬的相關研究採用了許多與群聚模擬相關的方法，其主要可分成以下三類：分子系統(particle system)、群聚系統(flocking system)，以及行為系統(behavioral system)等方式。Renynold [11][12] 以簡單的區域法則，應用在群體中每一個體；個體間在區域空間中的相互影響，產生出自然界生物群聚的現象，例如鳥群的飛行。但由人群的移動通常是由較複雜動機與原則所驅使，使得一般動物的碰撞處理方式與驅動力的設計，無法完全滿足人群運動的模擬要求。Bouvier [1]、Brogan & Hodgins [2][3] 使用了以物理法則為主的分子系統，透過物理法則架構出虛擬人物，再由大量的虛擬人物來滿足群體運動的效果。例如[2]是以自行車競賽為例子，模擬群體的運動。由於採用了動力學的設計，可呈現更為真實的效果，但需較高的計算

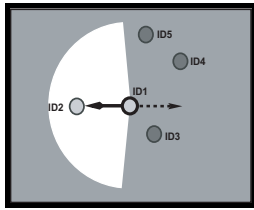


圖 1:視野範圍圖

成本。因此，這個方式在模擬的人群數量上限有一定的限制。Tu & Terzopoulos [4] 以行為法則為基礎，利用有限狀態機建構出認知模型，成功地模擬出一群魚群游動。在簡單的生物群聚行為（魚群）上面雖有不錯的呈現，但在面對人的複雜行為表現時，則受限於行為法則設計無法窮舉，因而無法完整建構出以人為主的模擬智能。Muse & Thalmann [14] 利用行為法則來設計虛擬人物，採劇本方式建構出複雜的社會互動，並以階層式架構提供不同程度的自動控制。他們 [14] 同時利用社會心理學理論模型，架構出 7 種人群移動的行為模式。Saiwaki, Komatsu, Yoshida, & Nishida, [13] 則以物理法則中 Chaos 的特性來設計虛擬人群。Chaos 原理只需利用少數的控制參數，便可產生人群移動的軌跡。另外，此研究利用電位相斥的原理，來設計避碰。不過其人群移動軌跡的多樣性，相當依賴初始化的參數設定，使得人群軌跡控制的精確度仍相當低。

在商業電腦動畫的應用中，PDI [15] 與 Pixar [17] 也針對群體移動動畫的自動化產生，架構出一些效果不錯的系統。PDI [14] 以物理力學 (physical force) 與程序性法則 (procedural rule) 兩者做整合應用。Pixar [17] 則是針對虛擬人物設計 4466 種獨立運動單元，以用來組合描述出 228 種不同的行為，像是好奇、緊張、驚慌、走路、奔走等等行為。上述兩項業界的動畫系統，可以提供一項更為簡單的輔助工具，以幫助動畫師設計群體中的個體。

運動計畫的研究領域中，Li, Jeng, & Chang, [8] 以多代理人運動路徑規劃的方式，來討論群體運動。在此研究中提出 Leader-Follower 模式，跟隨領導者 (leader following) 是群體運動中的一種移動模式。在群體中有一個領導者，負責帶領群體往所設定的目標移動，群體中其餘的個體都是跟隨者，跟著領導者移動。領導者以運動計畫方法，針對場景中做全區域性的路徑規劃，其追隨群眾以驅動力方式 [1] 來模擬。領導者所規劃的路徑，可提供給追隨者在面對障礙物時，對於追隨領導者所需移動的參考方向。

3. 系統概觀

本研究中的人群 (crowd) 是由團體 (groups) 所組成，團體的定義是在於同一團的虛擬人有其相同的移動行為與目的地。目前系統包含以下 4 個模組：WorldManager、Goal、Crowd 及 Render 模組。WorldManager 為訊息管理者，負責將各事件所觸發

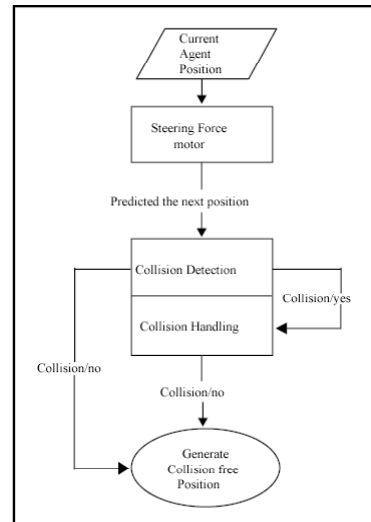


圖 2: 群眾的個體設計架構圖

的訊息，對應至相關模組處理。Goal 模組負責在多群 (multi-group) 的架構下作路徑規劃 [8]。繪圖 (Render) 模組部分，將所計算出結果輸出至 2D 畫面上。或是透過 VR World 的平台連結，提供即時性 3D 的互動式環境。人群模組提供了個體設計，使得在多個體 (Multi-agent) 的環境中，個體在彼此驅動力相互影響下，能表現出群體行為；而目前所討論的行為，以人群移動的行為為主。在第 4 節對於個體設計的機制有更為詳細說明。在演化機制 (EvoSys module) 模組部分，主要是評估人群模擬移動的表現。以基因演化機制自動演化出人群移動在不同情境中所需驅動力的加權參數組合。關於演化機制這部分，在第 5 節有更為詳細的說明。

4. 虛擬人個體運動模型設計

在本研究中，對於人群的設計是以個體的虛擬人的設計為出發點。我們將在 4.1 節說明虛擬人的移動特質，在 4.2 節從移動行為的產生所需虛擬力作用是如何設計，以及在 4.3 節中說明在移動過程中，處理不同碰撞事件的方式。

4.1 虛擬人個體運動模型設計

首先，我們參考 [11][12] 的虛擬力法則來設計人群中虛擬人物的移動機制，並針對人移動的特性設計適切的虛擬力法則。個體虛擬人受虛擬力的驅動，產生下一步的方向與位移長度。由於人的生理限制，因此我們將單位時間內虛擬人在轉體運動的最大轉動角度設定在 22.5 度角。另外我們設定人的可視角度範圍為 160 度角，而視野距離長度為以單人所佔用空間做為基本單位的 20 倍長。在可視範圍內的其他虛擬人物定義為鄰近者。其視野範圍的定義如圖 1 所示。在圖 1 中編號 1 為目前活動的虛擬人，圖中編號 1 的虛擬人前方有一實心線向量，表示此虛擬人目前速度的快慢與方向性。由於在視野範圍內可看到編號 2 的虛擬人，使得兩虛擬人之

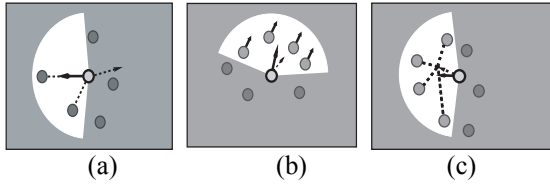


圖 3:分離力、調準力、及內聚力的範例

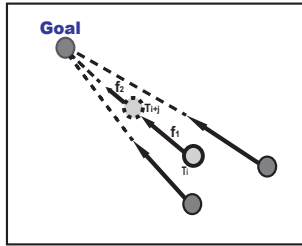


圖 4:吸引力

間產生驅動力。本圖的驅動力為分離力(separation)，以虛線來表示，對於視野範圍外的編號3、4、5的虛擬人對於目前活動中的編號1虛擬人由於是在視野範圍以外，所以對於編號1不會產生驅動的力作用。

圖 2 是群眾的個體設計架構圖。虛擬人會先透過虛擬力模組(steering force module)計算各種力的影響，再利用各虛擬力的總和，求出經由力影響後速度上的變化。此在本系統中，移動的行為可視為對於目前的位置加上目前速度的影響，計算下一步位置。此位置若發生碰撞，則因碰撞的種類不同，進行相對的碰撞處理機制，最後產生出安全的下一步移動位置，關於碰撞機制的說明在 4.3 節有更為詳盡的說明。

4.2 虛擬力的設計

虛擬力是決定為虛擬人移動方向與距離的主要依據。在目前的系統中，有下列 5 種力：分離力(separation)、調準力(alignment)、內聚力(cohesion)、追隨力(following)、及對障礙物的排斥力(repulsion)。藉由力相互的影響，可表現出不同的人群移動現象。而 5 種力的適用範圍，是由個體的視野範圍來決定。虛擬人分別針對鄰近者計算出不同的虛擬力，在合成最後的影響力。下面我們分別說明 5 種虛擬力的設計方式。

分離力(F_{sep})：針對同群體的鄰近者，計算其兩者之間的距離，並利用此距離的大小來計算排斥力強度。此力用來讓群體之間維持一個安全的距離。(如圖 3a)。

調準力(F_{align})：針對同群體的鄰近者計算群體的平均速度，再計算出自身的速度與其平均速度的差異。此速度差異的向量便可用以求出適當的調準力(如圖 3b)。

內聚力(F_{coh})：針對同群體的鄰近者求出此個別相對距離的移動分量並求其平均。由此平均可計算群體中心，再根據此中心計算出內聚力。

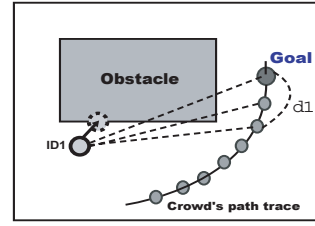


圖 5：群體路徑圖

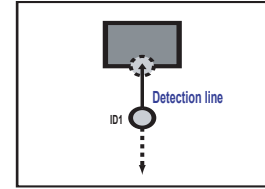


圖 6：障礙物的排斥力

追隨力(F_{att})：針對目標所在位置，計算虛擬人目前位置與目標位置(Goal)的距離長度，此力與相對距離的長度成正比。當兩者相對距離越遠，其追隨力也就越大，如圖 4 所示。

由於場景中障礙物的存在，使得虛擬人與目標間可能有障礙物的阻隔。本研究採用[8]所提出的方法，對於目標的給定利用虛擬人與目標兩者間的相對位置，檢查相對位置中是否無障礙物影響。若有障礙物阻隔，則透過模擬前所採取的運動計劃，所產生群體路徑，利用此軌跡提供虛擬人找尋無碰撞的位置，如圖 5 所示。

障礙物的排斥力(F_{rep})：障礙物的排斥力是虛擬人對於場景中的障礙物與邊界，所產生的排斥力，如圖 6 所示。我們以虛擬人目前的速度，預測在 t 時間之後所產生的未來位置。若此位置與障礙物或邊界發生碰撞，則以新預測位置的相對距離產生障礙物排斥力，同時排斥力的方向性與自身目前速度方向是反向。

當上述的五項虛擬力產生之後，系統以不同的加權指數 (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)，計算其總合力(F)(如方程式(1))，此便是驅動虛擬人運動的合力。在本研究中運動機制的設計為以(1)所得到總合力(F)，計算此驅動總合力與自身目前移動的方向向量的相差角度 θ ，可以算出在 2 維運動空間中 F_x 及 F_y 移動分量的力(如方程式(2)及(3))。

$$F = S_1 * F_{Att} + S_2 * F_{Sep} + S_3 * F_{Align} + S_4 * F_{Coh} + S_5 * F_{rep} \quad (1)$$

$$F_x = F * \cos \theta \quad (2)$$

$$F_y = F * \sin \theta \quad (3)$$

4.3 碰撞機制設計

在 4.2 節虛擬力影響下所產生出的下一步位置，尚未能確定是否無碰撞發生。因此若碰撞偵測結果傳回發生碰撞的情況，則依不同碰撞情況交由不同的碰撞機制處理(如圖 7 所示)。碰撞處理主要是利

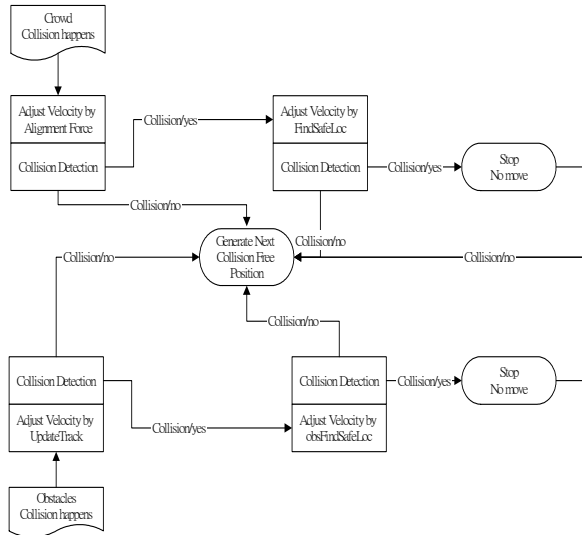


圖 7：碰撞偵測與處理流程說明

用調整虛擬人自身的速度，使得經由調整之後的速度，所產生的下一步，不再發生任何碰撞。本研究將邊界或是障礙物視為相同的處理機制來處理，行人也按此相同流程來處理。其策略的執行順序如表格 1 所列，當策略一無法解決碰撞發生時，就執行策略二。一旦策略一，二皆無法得出無碰撞的下一步時，則策略三就是停止在原地不動。因此經由圖 7 的碰撞處理流程後，必會產生無碰撞(Collision Free)的下一步。

5. 人群移動行為的演化機制

在人群移動行為模擬的過程中，人群行走的路徑軌跡會因所設定的情境、地形與障礙物的變化而有所不同。例如在公園等戶外空曠場所，其人群彼此所保持的相對距離，相對於狹隘的都市街道來得更大，群體移動的速度也較為緩慢。由於隨其不同情境需求例如空曠地方、單一出入口、活動空間中障礙物多的情境等等，使得參數組合的最佳解也有所不同，窮舉法無法有效找出此最佳解。因此本研究採用基因演算法的演化機制，自動找尋最佳解。

基因演算法是一種模仿自然界天擇與優勝劣敗法則的搜尋方法。在演算的過程中，先將問題相關之參數進行編碼並計算各種解的目標函數值。透過編碼過的解進行交配(crossover)、突變(mutation)等演化機制，再根據各解的適應值的大小來選擇(selection)何者會繼續演化，何者將被消滅。此流程一代一代的進行，最後解答將朝向最佳化的結果發展。基因演算法利用整個解空間的群體解來搜尋，而非如傳統演算法由單一起始點搜尋，可以避免落入局部最佳解的情形。由於以上的特性，使得基因演算法不同於以往的搜尋方式，較容易在問題空間找到整體的近似最佳解。

5.1 人群移動的演化機制

表 1：碰撞處理策略執行順序

處理策略 碰撞事件	策略 1	策略 2	策略 3
行人	自身減速	4 方向搜尋	停止， 留在原地
邊界或障礙物	參考群體 軌道	8 方向搜尋	停止， 留在原地

在本研究中人群移動的演化機制，是利用基因演算法。在基因編碼的部分是利用字串編碼方式(Bit String)的方式，將第 4.2 節所述驅動力的加權值參數組以字串編碼方式(Bit String)二進位數字來表示，組成一條染色體。我們根據每個驅動力的加權值設計為基因(Gene)，分別針對加權值給予 10bit 的編碼，因此染色體編碼後的長度為 50 bit。

初始化所設定的代數為 20 代，每一代中產生 200 個染色體。每一個染色體用於一次的模擬，在產生新模擬之後，其每次模擬過程由系統紀錄，經適應函數的評估產生適應值(Fitness)。本研究的選擇機制是採用輪盤式選擇(roulette wheel selection)，在每一代的演化過程中，首先依每個物種(字串)的適應函數值的大小來分割輪盤的位置，適應函數值越大的話，則在輪盤上佔有的面積比例也越大。每個物種在輪盤上佔有的面積比例越大代表被挑選到交配池中的機率越大。然後隨機選取輪盤的一點，其所對應的物種即被選入到交配池中。目前本研究採用的交配機制為單點交配(one-point crossover)。隨機決定一交配點(cut point)。交換點是以亂數選擇介於 1 至個體長度之間的任意整數。將舊世代字串位於交換點右側的基因互相交換，生成兩個新染色體，完成交配運算。我們所採用的突變方法是隨機的選取一染色體的字串，並隨機選取突變點，而突變過程發生機率由突變機率所控制。目前系統的突變機率值設定為 0.01，突變過程針對單一位元進行突變演算，對於二進制的位元字串而言就是將字串的 0 變 1，1 變成 0。

5.2 人群移動的適應函數定義

基因演算法的基本精神是以『適者生存』的模式，來搜尋最佳的問題解。使用者依其情景與移動行為的不同，所選取的適應函數也有所不同。這使得對於不同移動行為模擬所採用的適應函數為多個不同基本適應函數的組合。因此必須藉由正規化的動作，將多個不同的適應函數所分別得出的適應函數值，變成同一效度性的適應值。配合使用者對於各適應函數的加權比值高低的設定，並透過加權比重的總合產生適應值，以做為輪盤式選擇法決定染色體被選中而繁衍下一代的機率，以便搜尋出最佳解。在討論適應函數設計前，我們首先必須定義虛擬人與人群的相對關係，本研究是採用以單一虛擬人為中心點，評估週遭鄰近虛擬人群與自身的相

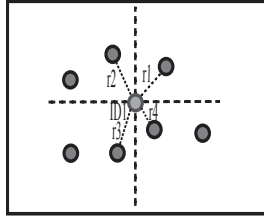


圖 8：鄰近群取樣圖

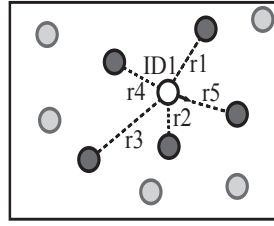


圖 9：人群間的相對距離

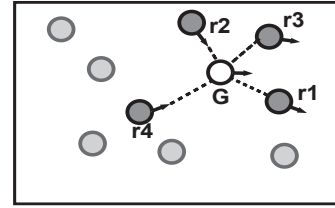


圖 10 群眾與目標物的相對距離

對關係。在圖中 8 所示，以 ID1 為主的虛擬人作為參考中心，並採用 k-nearest 的取樣機制，這邊 k 值的設定為 4，選其 4 個方向中離 ID1 相對距離最近的週遭人群。圖 8 中的虛線為取樣出的鄰近者，

以下分別針對本研究定義的 5 項基本適應函數及其正規化來說明。

- 群眾之間所保持的相對距離

如圖 9 所示，在單位時間中，以個體(ID1)為中心找出 k (在本例中 k=4) 個最近個體的相對距離(r_1, r_2, r_3, r_4)，然後求其平均數(R_j) (如(4)式)。與使用者所設定的期待值(U_e)相減，取其差額的絕對值。當差額越小時，表示其模擬的表現越能接近使用者的主觀期待。這邊的正規化設計是以(5)式所得出的值(F_j)，除以人群的個體數目(N)，以求平均值(R_m) (如(6)式)。假設總模擬時間長度為 L，我們可求出此次模擬針對相對距離的適應函數值(F_m) (如(7)式)。

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} r_i}{k} \quad (4)$$

$$F_j = \frac{1}{|R_j - U_e|}, \quad 0 < F_j \leq 100 \quad (5)$$

$$R_m = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} F_j}{N} \quad (6)$$

$$F_m = \frac{\sum_{m=1}^{m=L} R_m}{L} \quad (7)$$

- 群眾與目標物的相對距離

個體在某時間以目標終點(G)為中心對於其所屬的人群求出兩者之間的相對距離 (r_i)，並以 k-nearest 鄰居的機制，在此群體中取樣出 k 個距離此目標物最近的鄰近者群再求其平均數(G_r) (如(8)式)，此為目標物與其他個體的相對距離(G_m)。與使用者所設定的期待值(U_e)相減取絕對值，當差額越小時，表示其模擬的表現越能接近使用者的主觀期待(如(9)式所示)。群體的模擬表現是在單位時間中以人群的個體數目(N)人求平均值(G_k) (如(10)式)。假設總模擬路徑時間長度為 L，則在此次模擬針對彼此相對距離的適應函數值(F_G)可如(11)式所定義。(另請參考圖 10 範例所示。)

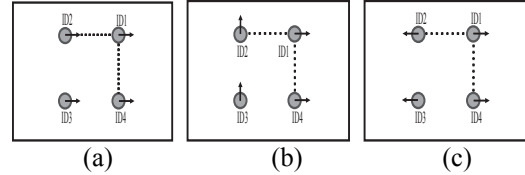


圖 11：群體角度的一致性

$$G_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} r_i}{k} \quad (8)$$

$$G_j = \frac{1}{|G_m - U_e|}, \quad 0 < G_j \leq 100 \quad (9)$$

$$G_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} G_j}{N} \quad (10)$$

$$F_g = \frac{\sum_{k=1}^{k=L} G_k}{L} \quad (11)$$

- 模擬過程中人群移動所發生的碰撞次數

記錄此群體在每次模擬路徑中的碰撞次數。碰撞次數越低，代表表現越好。個體在單位時間中記錄此團體中虛擬人群所發生的碰撞次數(C_s)。我們將團體人數 (N) 減去單位時間內的碰撞次數定義為碰撞次數，經由正規化後所得即為適應函數值 C_j (如(12)式)。系統再依照總模擬路徑的長度為 L，可計算得出此人群的碰撞適應函數值 F_C (如(13)式)。

$$C_j = \frac{N - C_s}{N} \quad (12)$$

$$F_c = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} C_j}{L} \quad (13)$$

- 人群面向角度在時間上的一致性

個體的面向角度在此研究中，與群體移動方向的一致性相關。因此紀錄在模擬過程中，我們以自身面向角度與週遭人群面向角度的差異來定義此適應函數。此差異量越小表示其面向角度的一致性越高。以在圖 11(a)中的 ID1 為例，透過 k-nearest 鄰居的方式取樣出 ID2 及 ID4，再計算 ID1 與 ID2 及 ID4 之間面向角度的差異量(如(15)式所示)，代入(16)式即可得出一致性的適應函數值。在圖 11 的範例中，一致性最高者為圖 11(b)，而一致性最低者為

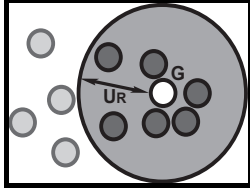


圖 12：特定區域的到達人數

圖 11(c)。

對於群體的一致性表現，便是根據上述做法求出每一個體的局部一致性，在求其在單位時間內的群體所得到平均的一致性表現(如(17)式所示)。最後再根據模擬的時間長度求出整體對於一致性表現的適應函數值 F_a (如(18)式所示)。

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} (C_j - C_i)}{k}, i \neq j \quad (15)$$

$$A_j = (1 - \frac{A_j}{180}) \quad (16)$$

$$A_m = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} A_j}{N} \quad (17)$$

$$F_a = \frac{\sum_{m=1}^{m=L} A_m}{L} \quad (18)$$

- 人群在指定的時間，到達所指定區域的人數
假設使用者可設定所指定到達的區域的中心點(G)及半徑大小(U_R)，如圖 12 所表示的灰色區域。在使用者所設定的時間中，我們希望計數到達此設定區域的人數($A_{arrival}$)，如圖 12 中所示的黑色圈。此數字與群體總個數(N)相比即為此類適應值(F_{ts})的定義。(如(19)式所示)

$$F_{ts} = \frac{A_{arrival}}{N} \quad (19)$$

- 人群的空間分佈率

我們在此系統中以人群的位置分佈所達成的最大面積，以及人群相對距離的變異量為此適應值的主要考量。人群分佈面積是透過 convex hull 的演算法，計算人群所涵蓋的最大幾何凸多邊型，此多邊形之面積(C_{space})，除以人群中的人數(N)，即為人群中個人的平均活動面積，面積越大表現越好。如(20)式所示，我們可以計算出空間利用率的適應函數值(F_{su})。

$$F_{su} = \frac{C_{space}}{N} \quad (20)$$

- 人群相對距離的恆常性

關於人群相對距離的恆常性，我們是以虛擬人與群體彼此之間距離的變異量為主要考量。如圖 13(a)所示，以個體(ID8)為中心，取樣出 k 個距離此個體最近的個體(ID4, ID7, ID9, ID10)，再求其個體與其他個體的相對距離(R_i)，並求出平均數(R_{mean}) (如(21)式所示)。以 ID8 分別對於鄰近個體求出的相

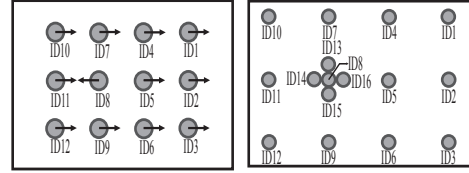


圖 13：相對距離的恆常性

對距離(R_i)與平均數(R_{mean})，再以此算出相對距離的變異量(如(22)式所示)。代入(23)式可得到 ID8 與週遭鄰近群的相對距離變異量的適應函數值(F_j)。群體在單位時間的模擬表現是以人群的個體數目(N) 求出群體的平均適應函數值(F_i) (如(24)式所示)。配合總模擬路徑時間長度 L ，可以利用(25)式算出群體對彼此相對距離變異量的整體適應函數值 (F_v)。從圖 13(b)中，對 ID1,2,3,4,6,8,10,12 而言，距離變異量為 0，但對 ID5,7,9,11 而言，其不為零的變異量將增加群體的變異量，並減少了群體相對距離一致性的適應函數值。

$$R_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} R_i}{k} \quad (21)$$

$$S_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=k} (R_i - R_{mean})^2}}{K} \quad (22)$$

$$F_j = \frac{1}{S_j}, 0 < F_j \leq 100 \quad (23)$$

$$F_t = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} F_j}{N} \quad (24)$$

$$F_v = \frac{\sum_{t=1}^{t=L} F_t}{L} \quad (25)$$

透過上述適應函數所產生的適應值，由於每項適應函數的設計皆為不同，因此以正規化方式來取得正規化之後的各項適應值。研究中所採用的正規化方式為按照各項本身適應函數的變化，取其合理的上下限區間範圍，以轉換為相同的尺度，使得適應值之間可以相互比較，並根據不同移動行為來採取不同的權重。本系統以不同的加權指數($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$)，計算其總適應值(F_{sum}) (如方程式(26))，此便是模擬人群移動所產生的演化適應值。

$$F_{sum} = S_1 * F_m + S_2 * F_g + S_3 * F_c + S_4 * F_a + S_5 * F_{ts} + S_6 * F_{su} + S_7 * F_v \quad (26)$$

6. 實驗設計

在設計實驗時，我們假設移動的時間長度及人與人之間的理想距離為使用者設定的合理參數。針對人群移動時候，使用者所設定的終點可視為此同一群人有意圖前往終點；而系統所規劃出來的路

徑，可應用在所屬有相同意圖的同一群人上。在本章節中，我將分別在 6.1 節及 6.2 節，說明我在系統中，所討論的情境與移動行為，並在 6.3 節中列出目前實驗的結果。

6.1 情境環境的說明

目前其他相關研究，都是以模擬群體運動中的情境事件為主，藉由模擬一些特定的情境來說明人群移動。本研究提出以下典型的情境，來模擬人群移動的環境。

- 群聚移動與鬆散移動：此移動模式的理想狀態為人群移動所分佈的空間為使用者指定的最小安全距離，同時又能將碰撞的次數減少到最低。
- 追隨移動：此模式是用在人群移動過程中，與所追隨的領導者之間保持緊密的跟隨關係。這樣的移動特性可以看出領導者身後的人群如何能保持跟上領導者的距離。
- 單一出入口：當人群透過碰撞處理與最佳虛擬力的相互作用，可以達到在指定的時間中，通過單一出入口的人群移動方式。

6.2 移動行為與對應的適應函數

在基因演算法中，我們利用適應性函數對於每一次的模擬結果做表現評估。在此研究中，我們採用多目標最佳解的求解方法，採取使用者的預期目標設定，其表現的評估為接近預定的目標者為佳。在適應函數的設定方面，我們是以人群移動的特徵為目標做設定。因此我們利用上述章節的說明所制定之適應函數的線性組合定義整體的適應函數，再應用在對應的情境中。在表二中，我們列出在不同情境中對個別適應函數所設定的加權比重值。

表二：不同移動行為對個別適應函數的係數設定

	G_A	G_B	G_C	G_D	G_E
人群密集 Exp1A	2	0	1	1	0
人群散離 Exp1B	5	0	1	1	0
追隨移動 Exp2A	0	5	1	1	0
追隨移動 Exp2B	0	5	1	1	0
單一出入口 Exp3	0	0	1	1	2

G_A ：群眾之間所保持的相對距離

G_B ：群眾與目標物的相對距離

G_C ：人群面向角度在時間上的一致性

G_D ：模擬過程中人群移動所發生的碰撞次數

G_E ：指定的時間，到達所指定區域的人數

6.3 實驗結果

本研究透過演化方式來討論三組人群移動方式並演化出最佳的虛擬力參數組合。並將此成果以動畫方式來呈現。其中 Exp1A、Exp1B、Exp2A、及 Exp2B 的圖例順序分別為由上而下播放，而 Exp3 是由左至右。

- 人群密集(Exp1A)：在此實驗可以看出，我們設定人群中的最小相對距離為 2，使得人群移動為密集群集方式。

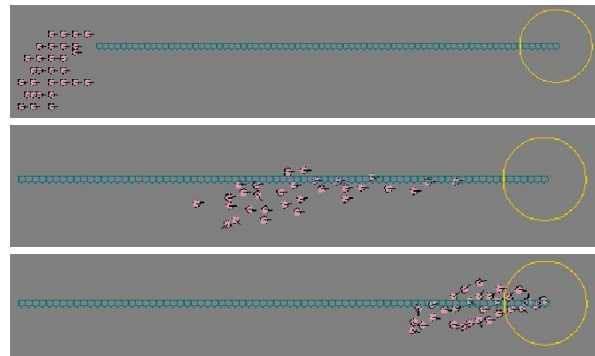


圖 14：人群密集(Exp1A)的實驗結果

- 人群散離(Exp1B)：此實驗可以看出與上述不同之處在於我們設定人群中的最小相對距離為 6。

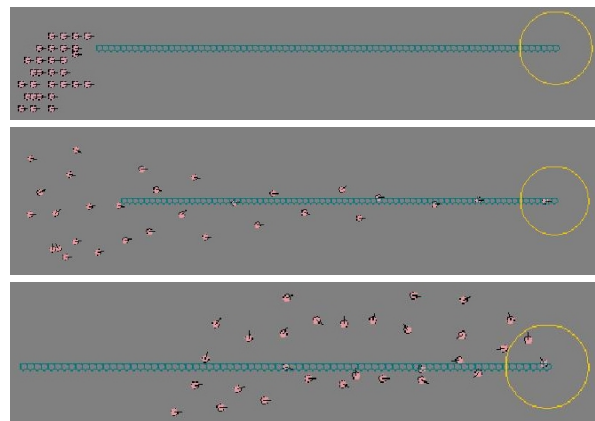
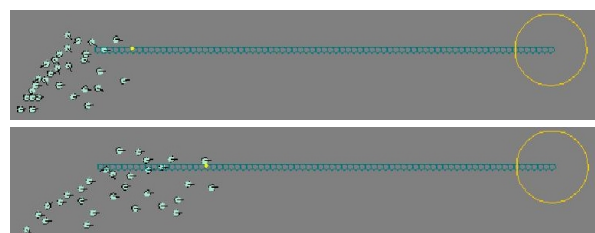


圖 15：人群散離(Exp1B)的實驗結果

- 追隨移動(Exp2A)：在圖中的黃色小圈為領導者，其領導者身後為一群追隨者。我們設定追隨者與領導者保持 2 的相對距離。



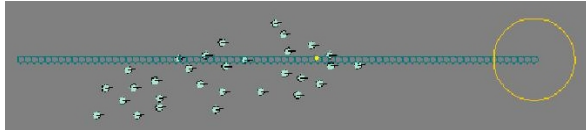


圖 16：追隨移動(Exp2A)的實驗結果

- 追隨移動(Exp2B)：與 Exp2A 相似，惟相對距離設定為 15。

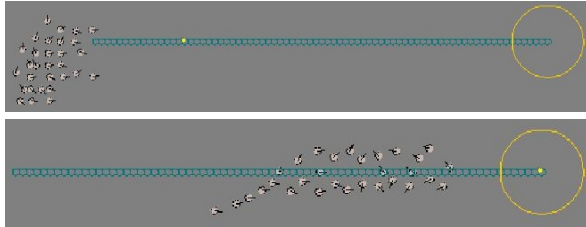


圖 17：追隨移動(Exp2B)的實驗結果

- 單一出入口(Exp3)：模擬人群可在指定的時間長度下通過單一出口，到達所指定的空間區域。

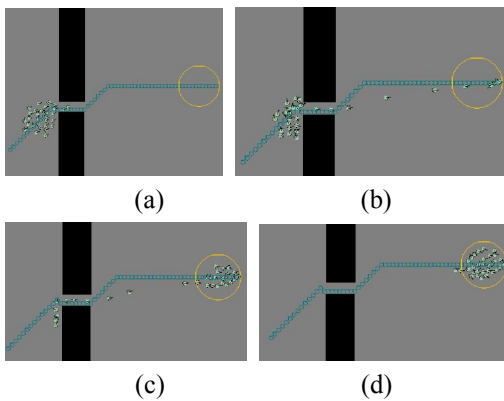


圖 18：單一出入口(Exp3)的實驗結果

7. 結論

由於人群移動模擬在電腦動畫及其相關應用上，需求日益增加，但目前仍無一個對於人群移動的問題定義，使得此研究需要跨領域來整合研究，在研究中，我們提出了對於人群移動的特徵，以作為演化所需要的適應函數，同時定義了 3 組移動行為，未來將會針對移動行為樣式做進一步的討論，並配合移動樣式設計更適切的虛擬力。

致謝

本研究在國科會計畫 NSC94-2213-E-004-006-的支助下完成，特此致謝。

參考文獻

- [1] Bouvier, E., Cohen E., and Najman. L. , (1997) "From crowd simulation to airbag deployment: particle systems, a new paradigm of simulation," in *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 6, No.1, 94-107.
- [2] Brogan, D. and Hodgins, J., (1997) "Group Behaviors for Systems with Significant Dynamics," in *Autonomous Robots*, 4, 137-153.
- [3] Brogan, D.C., Metoyer, R.A. and Hodgins, J.K., (1998) "Dynamically simulated characters in virtual environments," in *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.18, No5, 58-69.
- [4] Funge, J., Tu, X., and Terzopoulos, D., (1999) "Cognitive Model: Knowledge, Reasoning, and Planning for Intelligent Characters," in *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 29-38.
- [5] Holland J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1975.
- [6] Karl, S. (1994) "Evolving Virtual Creatures," in *Computer Graphics, Annual Conference Series, (SIGGRAPH '94 Proceedings)*, 15-22.
- [7] Koza, J. R. , (1992) *Genetic Programming : On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, Cambridge, MA, MIT Press.
- [8] Li, T. Y., Jeng, Y. J., and Chang, S. I., (2001) "Simulating virtual human crowds with a leader-follower model," in *Proceedings of 2001 Computer Animation Conference*.
- [9] Mitchell, M. , (1998) *An Introduction to Genetic Algorithms*, Cambridge, MA , MIT Press.
- [10] Mitsuo, G. and Runwei, C., (1997) *Genetic Algorithms & Engineering Design*, John Wily & Sons. Inc.
- [11] Reynolds, C. W., (1987) "Flocks, herds, and schools : A distributed behavioral model," in *Computer Graphics*, 25-34.
- [12] Reynolds, C. W., (1999) "Steering behaviors for autonomous characters," in *Game Developers Conference*.
- [13] Saiwaki, N., Komatsu, T., Yoshida, T., and Nishida, S., (1997) "Automatic generation of moving crowd using chaos model," in *IEEE Int. Conference on System, Man and Cybernetics*, 3715-3721.
- [14] Musse S. R. and Thalmann. D., (2001) "Hierarchical model for real time simulation of virtual humancrowds," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 7(2):152-164.
- [15] AntZ. <http://www.antz.com>
- [16] ActiveWorld <http://www.activeworlds.com/>
- [17] Bugs Life. <http://bugslife.com>