

行政院國家科學委員會  
尖端型專題研究計畫年度成果報告  
虛擬環境中互動式人群運動計畫之研究  
**Interactive Motion Planning for Crowd Simulation  
in a Virtual Environment**

計畫編號：NSC 90-2218-E-004-008

報告期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：李蔡彥 Email: li@nccu.edu.tw

執行機構及單位名稱：國立政治大學資訊科學系

## 一、中英文摘要

### (一) 中文摘要

由於電腦軟硬體之快速發展，3D繪圖在網際網路上的應用已日趨普及，而分散式虛擬環境便是此趨勢下快速發展的應用之一。本計畫的目標在為分散式虛擬環境，以運動計畫的演算法為基礎，建立一個模擬虛擬人群運動的系統。過去電腦動畫的相關研究中，曾有一些是以人工生命的法則，模擬虛擬生物（包含了魚及鳥等）的群聚行為。然而，我們認為人類的智慧比其他動物高，因此人群的運動除了有一般動物避碰及群聚的原則外，更應有其他動物所沒有的前瞻性計畫能力。因此，本計畫以運動計畫演算法及人工生命的法則，分別計畫及模擬一群人中導遊與跟隨者的運動，以使多個人群能在即時的情況下，以自主的方式到達所欲前往的地點。本研究已成功開發出一套具有幾何計畫能力的人群模擬系統，並與一個3D虛擬環境系統(ActiveWorld)完成整合測試。初步研究成果亦已於各國際研討會中發表。

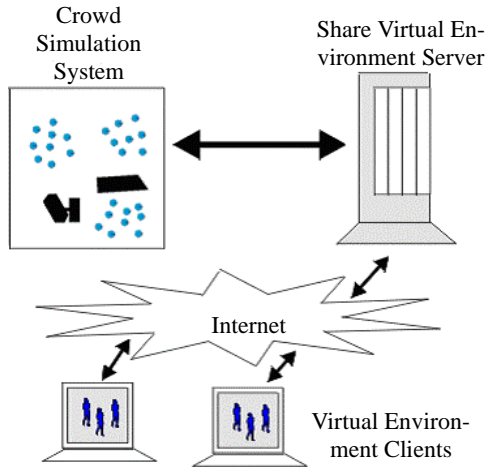
### (二) 英文摘要

Due to the rapid development of computer hardware and software, the applications of 3D graphics have become prevalent on the Internet. Distributed virtual environment is one of such applications along the trend. The goal of this research is to use mo-

tion-planning techniques to build a human crowd simulation system for distributed virtual environment systems. In the literature of computer animation, there have been works on using the principle of artificial life to simulate the flocking behavior of virtual creatures such as birds and fishes. However, we think human beings possess higher degrees of intelligence. A human crowd should not only follow the principles of collision avoidance and flocking, but also should have the ability of planning its motions. Therefore, in this research we adopt motion-planning algorithms and the rules of artificial life to simulate the motion of human crowds in real time. Each of the crowds consists of a leader and several followers moving autonomously. We have successfully developed a crowd simulation system with motion-planning capability and integrated it with a 3D virtual environment system called ActiveWorld. The preliminary results have also been published in several international conferences.

## 二、緣由與目的

虛擬人群研究以能產生逼真的人群動畫模擬為目標，以滿足商業、軍事、或娛樂等應用領域的需求。隨著電腦軟硬體設備的進步及網路通訊的發達，網路網際上的各種應用（如電子商務或電玩娛樂等）已逐漸普遍。然而，目前電子商務行銷介面，仍多以圖形及文字為主。近來少數網站推出以3D虛擬環境為主的介面製造真實

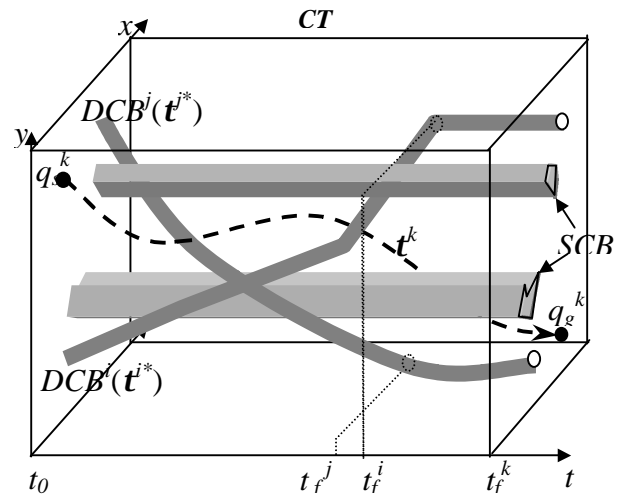


圖一、人群模擬系統在虛擬環境的定位

購物的感覺，但這些系統多缺乏真實環境中購物人潮的氣氛。本計畫提議以運動計畫的演算法及人工生命法則，模擬真實人群的有計畫性的運動，並結合商業用之虛擬環境系統，製造虛擬人群購物人潮的感覺。

在電腦動畫的文獻上，近十年來有許多模擬群體運動的研究，例如模擬鳥群及魚群的運動。[16][17][18][6]這些群體運動多是以人工生命法則的方式模擬產生[7]，而其運動的真實性已在許多電影或博物館中得到肯定。這類的行為又稱為「緊急行為(Emergent Behavior)」，因其法則多屬反應式法則(Reactive Rules)。但是我們認為人類之所以為高等動物，在於其行為較其他動物具備更豐富的計畫能力，而非只是反應式的行為。例如部分人群運動的產生，是以一個扮演類似導遊角色的人為主導者(Leader)，帶領其他跟隨者(Follower)移動參觀。這個導遊在運動之前，會根據環境中的障礙物及其他人群的運動，規劃出合理的運動路徑。過去在文獻上曾有虛擬人群模擬的相關研究，但其人群多缺乏此類運動計畫的能力。[4][13][14][15]

規劃物體運動路徑的問題在機器人學的領域裡，已有相當多的研究成果可資參考。[2][3][8]這些研究顯示運動計畫問題的複雜度與物體的自由度成指數關係。因



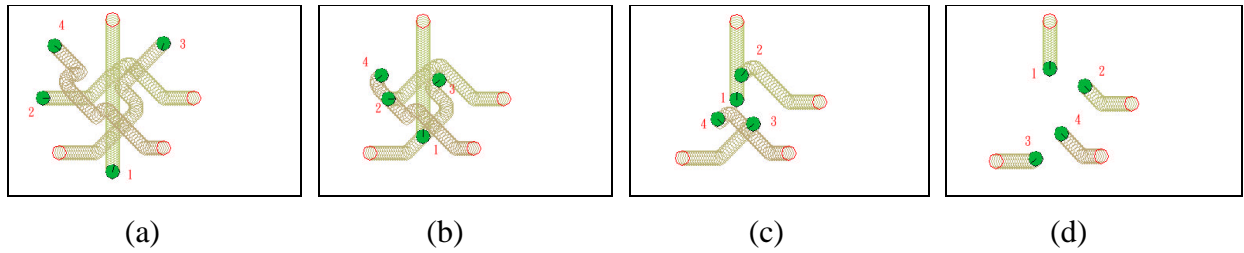
圖二：在CT-space中搜尋避碰路徑。

此，如果同時考慮人群所有人的運動，則問題的計算複雜度將十分高。對這類多個物體運動計畫的問題，文獻上有集中式(Centralized)及分離式(Decoupled)兩種解法。集中式的複雜度高但具完整性；而分離式的複雜度較可控制但可能缺乏完整性。[11][5]本研究所針對的人群運動應用，由於問題產生的時機具有循序的特性，因此適合以分離式的解法，一次只針對一個主體計畫，而將其他主體的運動當成一種計畫上的限制。

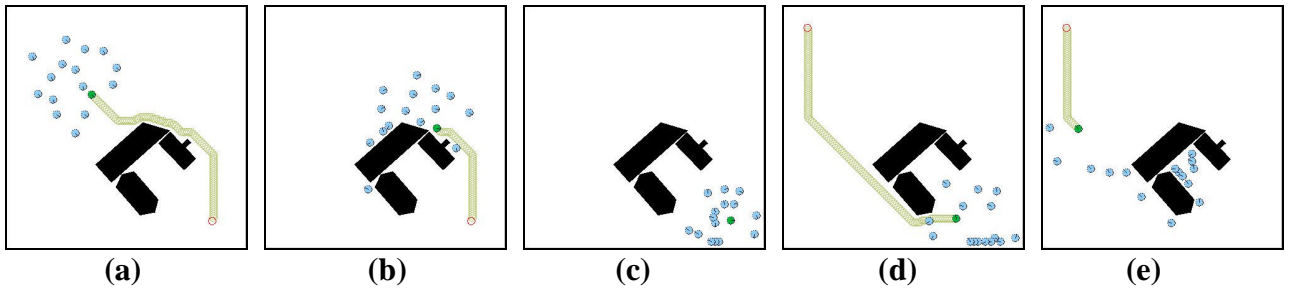
### 三、研究結果：

一般而言，一個分散式的虛擬環境多採用如圖一的主從式架構，而我們的虛擬人群模擬系統是位於伺服器端的一個模擬模組，真實的使用者不一定分辨真實或虛擬的使用的。本研究目前的主要成果可分成三部分：主導者間的運動計畫、跟隨者的運動模擬原則、及整體人群間的運動計畫。為簡化問題的複雜度，我們假設每一的虛擬人物可以用一個半徑為R的圓表示；而由於圓的對稱性，我們可以用兩個自由度(X,Y)代表其組態。

(一) 主導者的運動計畫：雖然幾何形狀已經簡化，但由於人群的個數可以是相當多，因此單是計畫主導者的運動，其複雜



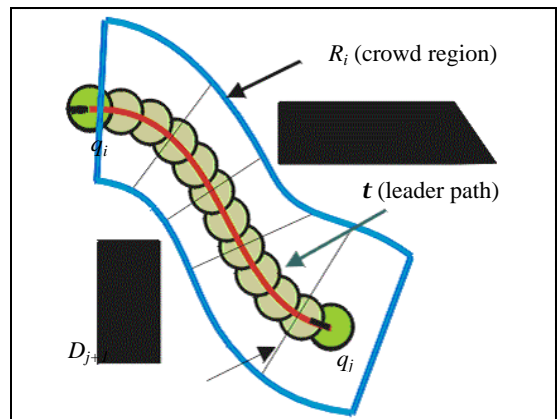
圖三：四個主導者交錯穿插的路徑計畫範例。(圖中數字為計畫的先後順序)



圖四：虛擬人群跟隨主導者的群聚行為及其受困的情形

度便相當高。我們所採用的是分離式的作法，因此每次計畫一個主導者時，都假設其他主導者目前已知的運動必須當成運動計畫時的限制。由於主導者的運動隨時間而變化，因此我們的計畫搜尋空間在於所謂的「組態時間空間(Configuration-Time Space, CT-space)」，而環境中的障礙物及移動中的虛擬人物皆是此空間中需避開的障礙物（如圖二）。在此空間中我們所採取的搜尋方式為位能場導向的最佳優先(Best-First)的搜尋法則。[3]而虛擬人物之間的避碰則是透過膨脹障礙物而將計畫物體縮小成一個點的方式以節省計算時間。此計畫模組的實驗結果如圖三之範例。

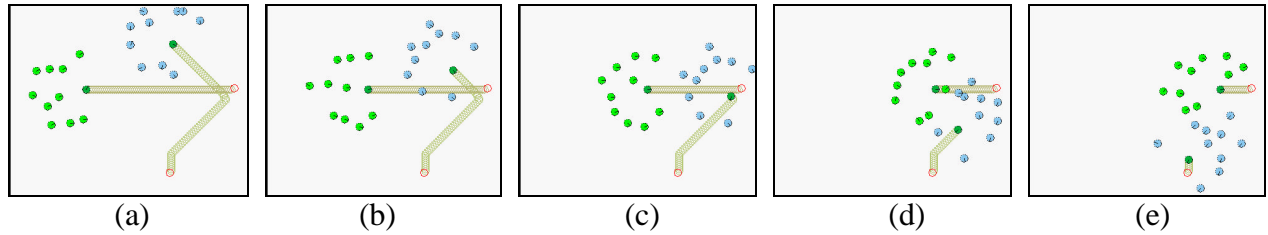
(二) 跟隨者的運動模擬原則：我們所採用的動畫模擬原則是人工生命中模擬虛擬生物群聚的虛擬力場為主，再加上適合人體運動的力。例如，一般群聚行為所用的力場包含了凝聚力、同向力、分散力等。[17]我們所加入的力包含主導者的吸引力及來自障礙物的排斥力。綜合這五個力，我們在一般場景的能模擬出人群集體跟隨主導者運動的動畫。但為了解決部分跟隨者可能被凹型障礙物絆住的問題，我們修改了主從者之間距離及吸引力方向的定義



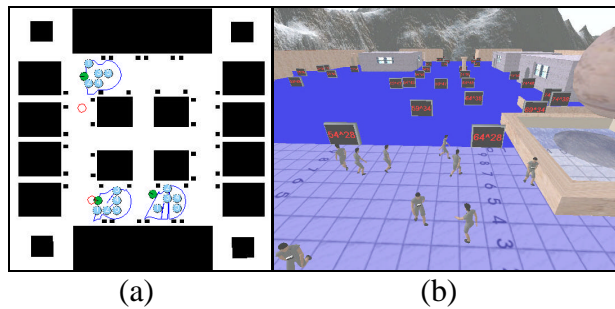
圖五：人群形狀預測方式

(如圖四)，使其在無法見到主導者的情形下，能跟隨其軌跡而非目前位置。實驗證明此法能有效改善障礙物陷阱的問題。

(三) 整體人群間的運動計畫：由於第一部份的運動計畫僅考慮主導者本身與其他主導者的關係，因此在第三部分我們將這個成果延伸到考慮人群與人群間的運動計畫。由於人群中跟隨者的運動並非以計畫的方式事先產生，因此人群間的避碰只能是粗略的估算，實際的情形尚須在執行時間(run-time)確認並修正。我們在計畫時間(planning time)只能希望不同大小的人群間不會有互相干擾的情形發生。首先，我們



圖六：兩個人群交錯而過的運動計畫模擬



圖七：與 3D 虛擬環境系統整合的人機介面

建立了一個估算人群形狀的模組，以粗估人群的縱深。(如圖五所示)此縱深代表人群在主導者身後會拖出多長的距離，此距離是人群大小的函式，亦會受到週邊環境的影響而改變。我們希望兩個人群的縱深在任何時間不會因相交而互相干擾。因此在計算出此縱深後，我們修改第一部份的運動計畫演算法，將碰撞偵測的檢查延伸到主導者及其身後縱深距離所隱含的軌跡。所計算出的人群運動範例如圖六所示。

我們已將上述三個運動計畫模組以JAVA 語言實作出來，並與商業用的虛擬環境系統 (ActiveWorld)整合[1]，進行3D人群運動模擬。實驗之人機介面如圖七所示。

#### 四、成果自評

人群運動模擬在電腦動畫的領域裡，一直是個亟待探討的困難問題。此問題困難的原因在於缺乏一個適當的人群模型及其所隱含的高計算複雜度。在這個研究計畫裡，我們嘗試為這個問題提出初步的解答，所獲致的成果包括：

1. 以分散式計畫法則合理解決主導者的線上運動計畫問題。

2. 以人工生命法則及人群運動特性，設計出合於人群模擬的運動法則。
3. 設計出估算人群形狀的演算法，並將運動計畫的考量延伸至整個人群。
4. 將人群運動模擬成功地在虛擬環境中得到驗證。

我們相信這些成果除了將有助於在電腦動畫中模擬人群外，對機器人學中運動計畫的研究，亦將有所助益。本計畫的初步成果，亦已整理發表於知名國際學術研討會。 [12][9][10]

#### 五、參考文獻

- [1] ActiveWorlds, URL:<http://www.activeworlds.com>.
- [2] J. Barraquand, L. Kavraki, J.C. Latombe, T.Y. Li, and P. Raghavan, "A Random Sampling Scheme for Path Planning," *International Journal of Robotics Research*, 16(6):759-774, Dec. 1997.
- [3] J. Barraquand and J. Latombe, "Robot Motion Planning: A Distributed Representation Approach," *International Journal of Robotics Research*, 10:628-649, 1991.
- [4] T.K. Capin, I.S. Pandzic, N. Magnenat-Thalmann, D. Thalmann, "Integration of Avatars and Autonomous Virtual Humans in: Networked Virtual Environments", *Proceedings of. ISICIS 98, IOS Press*, pp. 326 – 333, Amsterdam, Netherlands, 1998.
- [5] M. Erdmann and T. Lozano-Perez, "On Multiple Moving Objects," AI Memo No. 883, Artificial Intelligence Laboratory, MIT, 1986.
- [6] J. Funge, X. Tu, and D. Terzopoulos, "Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning, and Planning for Intelligent Characters," *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, pp. 29-38, 1999.
- [7] C.G. Langton, "Artificial Life," in C. G. Langton, editor, *Artificial Life, Volume VI of SFI Studies in the Sciences of Complexity*, pp. 1-47, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1989.
- [8] J.C. Latombe, *Robot Motion Planning*, Kluwer,

- Boston, MA, 1991.
- [9] T.Y. Li and Y.J. Jeng, "Planning Coordinated Motions for Multiple Virtual Human Crowds," in *Proceedings of the International Conference on Distributed Multimedia System (DMS2001)*, Taipei, Sept. 2001.
- [10] T.Y. Li, Y.J. Jeng, and S.I. Chang, "Simulating Virtual Human Crowds with a Leader-Follower Model," in *Proceedings of the 2001 Computer Animation Conference*, Korea, Nov. 2001.
- [11] T.Y. Li and J.C. Latombe, "Online Manipulation Planning for Two Robot Arms in a Dynamic Environment," *International Journal of Robotics Research*, 16(2):144-167, 1997.
- [12] T.Y. Li, J.W. Lin, Y.L. Liu, and C.M. Hsu, "Interactively Directing Virtual Crowds in a Virtual Environment," *Proceedings of the Tenth International Conference on Artificial Reality and Tele-existence*, Taipei, 2000.
- [13] S.R. Musse, F. Garat, D. Thalmann, "Guiding and Interacting with Virtual Crowds in Real-time," *Proceeding of Eurographics Workshop on Animation and Simulation '99 (CAS '99)*, pp. 23-34, Milan, Italy, Springer, 1999.
- [14] S. R. Musse and D. Thalmann, "A Model of Human Crowd Behavior : Group Inter-Relationship and Collision Detection Analysis," *Proceedings of Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation '97*, Springer Verlag, pp.39-51, 1997.
- [15] I.S. Pandzic, T.K. Capin, E. Lee, N. Magnat-Thalamann, D. Thalmann "Autonomous Actors in Networked Collaborative Virtual Environments", *Proceedings of MultiMedia Modeling '98*, pp. 138-145, IEEE Computer Society Press, 1998.
- [16] C. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model," *Proceedings of ACM SIGGRAPH'87*, pp.25-34, 1987.
- [17] C. Reynolds, "Steering Behaviors For Autonomous Characters," *Proceedings of Game Developers Conference*, 1999.
- [18] X. Tu and D. Terzopoulos, "Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior," *Proceedings of ACM SIGGRAPH'94*, 1994.